

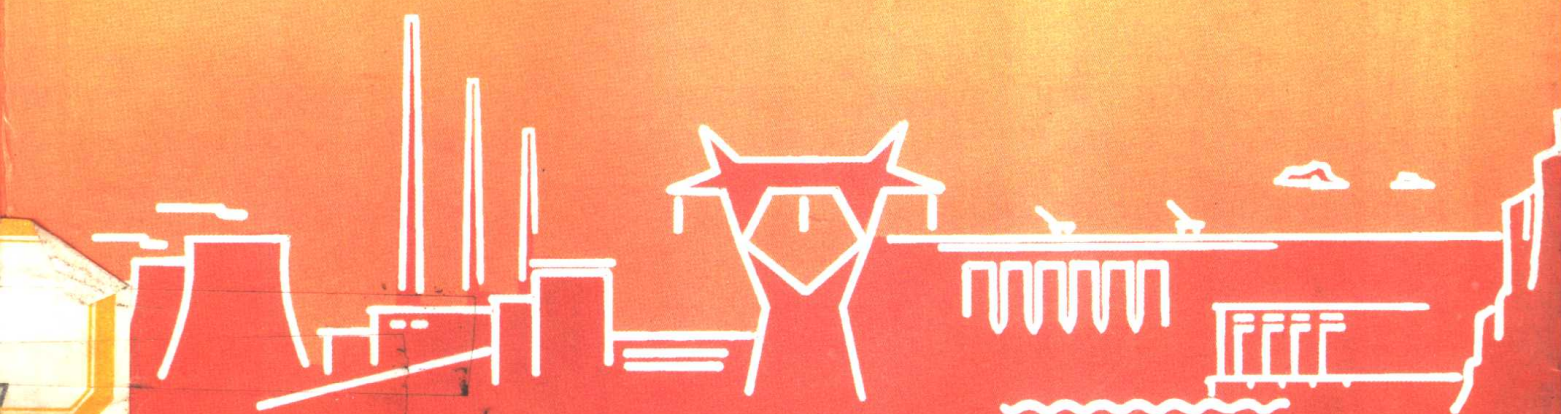


普通高等学校热能动力类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

环境质量评价

华北电力大学 赵毅 编



中国电力出版社

ISBN 7-80125-323-X



9 787801 253231 >

ISBN 7-80125-323-X/TK·91

定价: 17.90 元

991110

普通高等学校热能动力类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

环境质量评价

华北电力大学 赵毅 编

中国电力出版社

19

出

hin

rin

197

s ar

An

内 容 提 要

本书较系统地讲述了环境质量评价的理论基础,以环境要素为主线,系统地介绍了环境质量现状评价和环境影响评价的理论、方法及应用。

本书共分十二章,第一章为绪论,讲述了环境质量评价的基本概念;第二章为环境背景和污染源,介绍了环境背景的内容和污染源调查、评价方法;第三章重点讨论了环境标准和排放标准;第四章介绍了环境质量现状评价和影响评价方法学和评价工作程序;第五、六、七、八章以现状和影响评价为一体介绍了大气、水体、土壤、噪声的评价方法;第九章讨论了区域环境质量综合评价方法和有关实例研究;第十章简要论述了生物环境影响评价和社会—经济环境影响评价内容;第十一章介绍了风险评价技术;第十二章以火力发电厂建设项目环境影响报告书的编制为主线,讨论了工程建设项目环境影响评价工作的方方面面。

全书既考虑到电力工业生产的环境保护的实际情况,又兼顾了新理论和新方法。

本书既可作为高等学校环境科学、环境工程、环境规划与管理等有关专业的本科生和研究生的教材和参考书,也可供环保、建设及规划设计部门从事环境保护的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境质量评价/赵毅编. —北京:中国电力出版社,

1997

高等学校教材

ISBN 7-80125-323-X

I. 环… II. 赵… III. 环境质量-评价-高等学校-教材 IV. X82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 04580 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市水利局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1997 年 11 月第一版 1997 年 11 月北京第一次印刷

, 787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 419 千字

印数 0001—3820 册 定价 17.90 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

环境质量评价是环境科学学科中新发展的重要分支学科。它既是环境管理的科学依据,又是实现全面环境管理的重要手段。同时从环境质量这一基本概念出发,通过评价人类经济活动和发展对环境质量的影响以及环境质量变化对人类社会行为、生存与发展的影响,可以对人类社会行为进行判断、调整 and 选择提供科学依据。我国电力系统十分重视电力建设和生产的环境保护工作,严格执行环境影响评价制度并开展了大量的环境质量评价工作。越来越多的环境保护工作者要求学习和掌握这方面的知识,电力类高校中环境工程、环境监测、电厂化学等专业为本科和研究生开设了环境质量评价课程,但目前尚无一本体现电力建设和生产特色的环境质量评价教材。为此根据普通高等学校热能动力类教学指导委员会的推荐和要求,为适应电力类高等院校环境工程专业的教学需要,编写了《环境质量评价》教材。

本书在编写过程中,既得到了电力部环保办公室领导的大力支持,也受益于华北电力大学环境工程系老师们的多年教学经验和科研成果,在此向他们表示感谢。

环境质量评价的有关理论、方法正在迅速发展,且学科领域十分广泛,由于编者的学识有限,书中错误、遗漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1996 年底于华北电力大学

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 环境、环境要素和环境质量	1
第二节 环境质量评价	3
复习题	6
第二章 环境背景和污染源	7
第一节 环境质量评价参数	7
第二节 环境本底、背景和基线值	8
第三节 污染源调查与评价	12
复习题	23
第三章 环境质量评价标准	25
第一节 环境质量标准	25
第二节 污染物排放标准	36
复习题	45
第四章 环境质量现状评价和影响评价概述	46
第一节 环境质量现状评价概述	46
第二节 环境影响评价概述	50
复习题	58
第五章 大气环境质量评价	59
第一节 大气环境质量现状评价	59
第二节 大气环境影响评价	71
复习题	102
第六章 水环境质量评价	105
第一节 水环境质量现状评价	105
第二节 水环境影响评价	121
复习题	162
第七章 土壤环境质量评价	164
第一节 土壤环境质量现状评价	164
第二节 土壤环境影响评价	173
复习题	182
第八章 环境噪声评价	183
第一节 环境噪声现状评价	183
第二节 环境噪声影响评价	192
复习题	196

第九章 区域环境质量综合评价	197
第一节 区域环境质量评价概述	197
第二节 区域环境质量综合评价实例研究	199
复习题	215
第十章 其它环境要素的环境影响评价	216
第一节 生物环境影响评价	216
第二节 社会—经济环境影响评价	219
第三节 建设项目的环境影响经济损益分析	221
复习题	224
第十一章 环境风险评价	226
第一节 环境风险评价概述	226
第二节 环境风险识别	229
第三节 环境风险的度量	234
第四节 环境风险评价与管理	241
复习题	245
第十二章 工程建设项目环境影响评价	246
第一节 火电厂建设项目环境影响报告书编制的前期工作	247
第二节 拟建项目地区区域环境状况	258
第三节 环境影响预测及评价	272
第四节 污染防治对策	280
第五节 结论及其他	285
复习题	287
参考文献	289

第一章 绪 论

环境质量是环境科学的一个最核心的基本概念。环境质量学则是环境科学基本理论的几大柱石之一。而环境质量评价是环境科学的一个主要分支学科。

60年代以来,世界各国开始注意环境质量评价研究工作,美国在1977~1981年环境科学规划中曾多处提出开展环境质量评价研究。美国、前苏联、日本、加拿大、英国等国先后提出了用于评价环境质量的水平及变化的多种环境指数。1971年,在美国费城,美国科协主持召开了环境质量指标讨论会;1974年,国际科学联合会、环境科学委员会在加拿大召开了环境质量会议;1969年,美国制定的《国家环境政策法》中首次建立了环境影响评价制度。以后,很多国家建立了环境影响评价制度,环境影响评价成了环境保护的热门领域。1980年,联合国环境规划署工业环境办公室颁布了《工业环境评价指南》,提出了国际性通用的评价准则。1983年3月,中国城乡部与联合国环境规划署在广州联合召开了发展中国家环境影响评价会议。所有这些都为环境质量评价工作的展开和提高以及环境质量评价学科的形成打下了良好的基础。高等院校为适应社会的需要,增设了环境质量评价课程并开展了研究,使该学科处于稳步发展之中。目前,该学科的发展趋势不仅注重评价的结果,而且更重要的是有针对各类污染源的控制方面的规划。

我国十分重视环境质量评价工作,1973年以来,开展了很多区域性环境质量评价工作,其中著名的有北京西郊、东南郊环境质量评价、南京城区环境质量评价、官厅流域环境质量评价、渤海环境质量评价等。1979年,中国环境科学学会环境质量评价委员会在南京成立,其编写了环境质量评价方法指南。1979年颁布的《中华人民共和国环境保护法》(试行)规定了在我国实行环境影响评价制度。1986年颁发了《建设项目环境保护管理办法》,对环境影响评价的要求作了具体规定。1993年,国家环保局发布了《环境影响评价技术导则》,电力工业部针对电力工业生产排污量较大的特点,开展了大量的环境质量现状和环境影响评价工作。1996年,电力工业部与国家环保局共同颁发了《火电厂建设项目环境影响报告书编制规范》。可以说,环境质量评价已成为环境管理的基本手段,在经济建设中,为保护环境,贯彻预防为主、防治结合、综合治理的方针发挥了重大的作用。

第一节 环境、环境要素和环境质量

一、环境和环境要素的概念

从哲学角度来看,环境是一个相对概念,是一个相对于主体而言的客体。作为一个专门术语,环境有比哲学定义更明确更具体的科学定义。因为不同学科有着不同的研究对象和研究内容,因此,在不同学科中,环境的科学定义是不同的,其差异也源于对主体的界定。比如,在社会学中,环境被认为是以人为主体的外部世界;在生态学中,环境被认为

是以生物为主体的外部世界；对于环境科学而言，环境是一个决定本学科性质和特点、研究对象和内容的基本概念。几十年来，环境科学家在这个问题上进行了长时间的探讨，在环境一词的定义上，出现了很多种提法。自1972年斯德哥尔摩人类环境会议和1974年联合国环境规划理事会之后，环境的概念逐步达到统一。目前比较一致的看法是：环境是指围绕人类社会的空间及其可以直接、间接影响人类生活和发展的各种自然因素和社会因素的总体。其中自然因素的总体称为自然环境，它在人类社会未出现前就已客观存在。目前，认为自然环境是以大气、水、土壤、地形、地质等的一次构成要素为基础，并把植物、动物、微生物等作为二次构成要素的体系的总合。社会环境是人类发展的结果，它是人类在不断提高物质和文化水平过程中创造出来的人工环境和人类在生产生活中所形成的人与人之间关系的总体。它包括了各种人工构筑物和经济、政治、文化等要素。

人类与环境的联系密不可分，摄入的水和空气可成为人体的一部分，土壤中生产出的粮食可变成人体的组织，因此，人类与环境之间并没有明显的界限，故环境亦可理解为人类赖以生存的所有要素及条件的综合，它作用于人类，制约着人类的发展。同时，人类的活动又影响环境。

《中华人民共和国环境保护法（试行）》指出“本法所称环境是指：大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、水生生物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等”。该法给出的是自然环境所包含的主要基本内容，它是一种把环境中应当保护的客体界定为环境中的一种工作定义，其中的每一项可以认为代表一种环境要素。可以说，环境是由许多环境要素组成的。各环境要素之间是相互联系、相互影响、相互制约的，构成环境的整体。研究其中一个要素时必须与其它要素联系起来考虑。环境中的天然物质和污染物是在整个环境中迁移、转化、蓄积和消失的。例如，人类以其开采的化石燃料（煤、石油等）为材料进行发电，在燃烧过程中燃料产生大量 SO_2 、 NO_x 排入大气，在大气迁移、转化过程中被转化为 H_2SO_4 和 HNO_3 ，以酸雨形式降至地面和水体中，使水体pH值降低；酸雨渗入地下，变成潜水，酸性潜水通过渗滤作用流入水体，在渗滤过程中溶解了土壤中大量金属离子，造成水和土壤污染，使水生、土生动植物的生长繁殖受到影响，并通过食物链最后影响人类。

二、环境质量

环境质量是指环境素质的好坏。衡量的标准是：在某一具体环境内，环境的总体或环境某些要素，对人类的生产生活的适宜程度。因此，环境质量的优劣往往是根据人类的要求而定的。例如根据人体健康对饮用水的要求，地下水污染严重的地方，环境质量就坏，反之，环境质量就好；根据人群对生活舒适的要求，嘈杂的城区，环境质量就坏，恬静的郊野环境质量就好；对经济开发来说，水热条件适宜，土地肥沃、资源丰富、交通方便的区域，环境质量就好，反之环境质量则坏。此外，控制污染、保护环境、改造自然和合理利用资源等，都可视为改善环境质量，这样，环境质量又具有人类与环境相互协调程度的含义。

环境质量包括自然环境质量和社会环境质量，自然环境质量又分物理的、化学的和生物的质量。对一个区域而言，若按构成自然环境要素划分，又可包括大气、水、土壤、生

物等环境质量。社会环境质量则包括经济的、文化的和美学等方面的环境质量。将这些环境要素的质量值，按一定方式归纳整理得到该区域的环境综合质量值，然后，按照人们制定的标准可以对该地区的环境质量做出综合性评价。

第二节 环境质量评价

环境质量评价是按照一定的评价标准和方法确定一个区域范围内环境质量状况，预测环境质量变化趋势和评价人类行动对环境的影响的一门学科。

一个好的评价要把握以下几个关键：正确地认识环境；分解构成环境的因子；选择评价因子；正确获取评价因子的性状数值；选择恰当的评价标准；采用适当的模式进行归纳综合；将定量化的数据转化为定性的语言；根据评价结果提出环境污染控制规划及其它建设。对环境质量评价人员则要求比较全面系统的环境方面的知识——人工环境的了解，要具备化学、物理学、地学、生物学、卫生学和社会经济学等方面的知识。

一、环境质量评价分类

1. 按评价的时间来划分

环境质量评价可以分为回顾评价、现状评价及预测评价三种类型。

(1) 环境质量回顾评价 指对区域过去历史时期的环境质量，根据历史资料进行回顾评价。通过回顾评价可以揭示出区域环境污染的发展变化过程，推测今后的趋势。这种评价需要大量过去的环境历史资料，而实际所能提供的资料往往有限，因此，所得的评价结论的可靠性往往较差。

(2) 环境质量现状评价 一般是根据近两三年的环境监测资料，进行环境质量的现状评价，以阐明环境的污染现状，为区域环境污染综合防治、区域规划提供科学依据。

(3) 环境质量预测评价（或影响评价） 是对一项拟开发行动方案或规划所产生的环境影响进行识别、预测和评议，并在评价基础上提出合理减轻或消除对环境影响的对策。环境影响评价包含了很广泛的内容，它的评价结论是环境保护决策的重要依据，环境影响评价报告书一经批准，具有环境法律效力。电力系统拟建或扩建、改造电厂，均需开展该类评价。

2. 按环境要素来划分

环境质量评价按环境要素划分可以分为单环境要素的质量评价和整体环境质量的综合评价，有时还可以是部分环境要素的联合评价。

单个环境要素的质量评价分大气、地表水、土壤、作物等的污染评价。部分环境要素的联合评价有地表水、地下水的联合评价；土壤、作物的联合评价；地表水、地下水、土壤及作物的联合评价等。整体环境的综合评价是指对环境各要素综合评价。这种评价工作量大，难度高，因此，国内开展较少。

3. 按评价区域划分

环境质量评价按评价区域划分可分为城市环境质量评价、流域环境质量评价、海域环境质量评价和全国环境质量评价等。

4. 按评价对象的特点划分

环境质量评价按评价对象的特点分可分为自然环境质量评价、污染环境质量评价、农业环境质量评价、风景游览区环境质量评价和名胜古迹区环境质量评价等。

5. 按评价时的参数选择来划分

环境质量评价按评价时的参数选择分可分为化学评价、物理评价、生物学评价、生态学评价、卫生学评价等。

环境质量评价的类型不同，目的不同，选择的参数和标准也就不同，结论也就不一样。

二、环境质量评价的程序

环境质量评价的程序如图 1-1 所示。这是一种广义评价的程序。从图 1-1 可以看出，环境质量评价基本上可以分为三方面的工作，即污染源、环境污染现状和生态效应的调查、监测和评价。其一般的工作程序是：调查、监测、评价、规划。

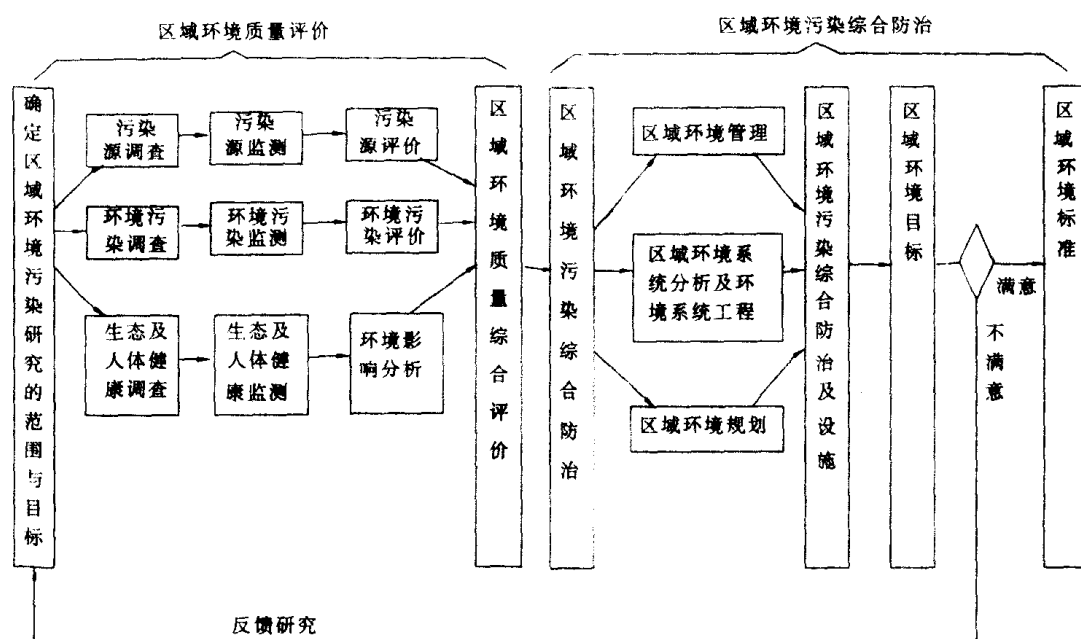


图 1-1 区域环境质量评价程序

三、环境质量评价的精度

所谓评价的精度，是指评价获得的结果与环境质量真实状况的差异。差异越小，则评价精度越高，反之则越低。一般来说，评价精度是由环境要素的取样密度来控制的（见表 1-1）。环境质量评价的对象不同，目的不同，评价的范围大小不同，所要求的评价精度也不一样。

四、环境质量评价的依据

环境质量评价是环境保护的一项先行性、基础性工作。开展这项工作，必须遵循下列依据：

(1) 《中华人民共和国宪法》 该法二十六条中规定：“国家保护和改善生活环境和生

态环境，防治污染和其它公害”。环境质量评价是一项严肃的工作，必须以国家大法为依据。

表 1 1 不同区域类型环境质量评价各环境要素的取样密度

评价类型	评价地区 面 积 (km ²)	取 样 密 度						
		地 表 水			地下水	土 壤	作 物	大 气
		水	底 泥	水生生物				
城市分区环境质量评价	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$
城市整体环境质量评价	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$
小流域环境质量评价	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$
中等流域环境质量评价	$n \cdot 10^3 \sim$ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$
大流域环境质量评价	$n \cdot 10^4 \sim$ $n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10 \sim$ $n \cdot 10^2$
沿海海域环境质量评价	$n \cdot 10^3 \sim$ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	—	—	—	—
全国环境质量评价	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^3 \sim$ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2 \sim$ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3 \sim$ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10 \sim$ $n \cdot 10^2$

(2) 《中华人民共和国环境保护法》(试行) 该法第二条中对环境保护的任务做了如下规定：“保证在社会主义现代化建设中，合理地利用自然资源，防治环境污染和生态破坏，为人民造成清洁适宜的生活和劳动环境，保护人民健康，促进经济发展”。为了实现这一任务，在第四条中又提出：“全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民”。这些是环境质量评价工作必须遵循的方针。

(3) 我国环境政策 包括工业建设布局、能源和水域环境政策与自然保护区政策等，其中较重要的有《建设项目环境保护管理办法》和《环境影响评价技术导则》，这些政策是进行环境质量评价，特别是环境影响评价，分析环境问题和制定环境对策的依据。

(4) 国家公布的各项环境质量和污染物排放标准 是评价环境质量等级的尺度。

五、环境质量评价的作用和地位

环境质量评价是环境管理工作的重要组成部分，或者说是环境管理工作的基础。通过环境质量评价，可找出区域的主要污染物和污染源，弄清区域的主要环境问题，指出区域环境质量发展变化的规律，这就为制定区域污染综合防治规划、确定重点治理工程方案和拟定地方有关环境保护法规条例提供科学依据。环境影响评价为较好地解决开发活动和环境保护之间的矛盾提供了途径，是贯彻预防为主方针、强化管理的重要手段。

从学科发展的角度来看，环境质量评价是形成环境质量评价学的基础，并与环境质量评价学相互依存，只有通过大量的环境质量评价的实践，才能建立和发展出环境质量评价学的理论和方法。反过来，这些理论和方法又将指导和推动环境质量评价工作向更深入、更广泛的方向发展。

复 习 题

1. 什么是环境？什么是环境要素？
2. 什么叫环境质量？
3. 简述环境质量评价的类型及主要内容。
4. 试述环境质量评价的作用。

第二章 环境背景和污染源

第一节 环境质量评价参数

多种环境要素构成环境，而每一个环境要素的状况可由许多参数加以描述，这些参数决定着环境要素的质量，它们被称为环境要素的质量参数（或称质量因子）。环境质量参数可以用各种物理和化学指标来表示，例如，大气中各有害气体含量、飘尘含量等，水的 pH 值、透明度、COD 和挥发酚浓度、环境噪声强度的 dB (A) 值；也可用生物指标表示，例如，水体中大肠杆菌数、生物多样性指数等。参加环境质量评价的质量参数被称为评价因子或评价参数。由于各方面条件的限制和实际需要，环境质量评价工作往往选取少部分质量参数做为评价参数，例如，燃煤电厂的环境质量现状和影响评价大多选 SO_2 、 NO_x 和飘尘为评价参数。

环境质量评价工作中涉及较多的环境要素及其质量参数（评价参数）。

一、大气

- (1) 风向、风速；
- (2) 降水量和湿度；
- (3) 温度（平均最高最低温度，气温垂直分布）；
- (4) 大气组成：指现有污染物浓度，如悬浮颗粒、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、碳氢化物、光化学氧化剂、重金属和各种微量污染气体等。

二、水体

- (1) 水文平衡：区域的降雨量与地下水、地面水流量、湖泊和水库水量、植物群落分布等之间的关系；
- (2) 地下水状况：地下水储量，主要含水层补给量或亏损量，影响水流的地质构造；
- (3) 沉积：潜在的水土流失可能性、沉积物流入水体的量；
- (4) 地面水：流量、流速、季节变化频率和持续时间、正常年、丰水年、枯水年的流量、水生物生态特征；
- (5) 水质：地面水和地下水水质，如水中各种矿物组成的浓度、各种无机和有机污染物浓度，水温、溶解氧饱和度等指标；
- (6) 水生生物种群、底质的污染物组分等。

三、土壤

土壤的物理、化学性质，土壤中污染物质的种类、含量，土壤的沉陷、隆起、侵蚀状况。

四、生态

各种物种的组成，罕见的、稀有的或濒临灭绝的物种；陆生和水生植物种群；不同群

体的繁殖水平。

五、环境噪声和电磁辐射

电磁辐射和放射性水平、交通量强度、振动、居住区噪声水平、工作环境噪声水平等。

六、社会经济

(1) 人口结构及动态：人口数，年龄及性别分布，农村、城市人口分布、民族分布、出生率、死亡率、迁入及迁出情况等；

(2) 劳动就业、收入分配和消费，有劳动力人口中就业人口比例，各部分社会成员的收入状况，消费方式；

(3) 生产状况；

(4) 健康状况和营养水平；

(5) 城乡基础设施状况：包括道路交通，治安保卫和防火设施，保健卫生，污水处理设施和固体废弃物处理和处置设施等的配备。

七、文化

(1) 教育水平：高等学校数量及分布，中等及初等学校数量及分布，大、中专就读人数比例等；

(2) 校园环境：就餐服务质量、图书馆服务设施、体育娱乐设施等；

(3) 业余生活：影剧院分布密度及服务设施、上座率、体育运动水平及设施等。

为了了解和评价环境要素的质量状况的变化，了解一个地区受到污染的状况，必须首先了解环境要素，质量参数的背景状况以及引起环境背景变化的人类活动产生的污染源的情况。

第二节 环境本底、背景和基线值

区域环境背景调查是环境质量评价的基础工作，它包括区域环境特征和背景值调查两个方面。

一、区域环境本底、背景和基线值

环境本底值是未受人类活动影响的自然环境物质的组成量。但在人类长期活动的影响下，特别是当今频繁的社会经济活动的影响下，自然环境的原始组成已不存在。由于污染物在环境中的迁移、扩散，在人迹少的高山和南极及北极，均发现了环境污染物。因此环境本底值的实际含义应该是环境背景值。所谓环境背景值应该是以受人类活动影响较小的清洁区监测所得到的质量参数的统计平均值。

在对一个区域进行日常监测或以环境质量评价为目的进行系统监测调查时所获取的是该区域各个部分环境质量参数的现状实际值，该值叫做环境基线值，也即作为该区域今后环境质量变化的参照系。在进行环境影响评价时，往往是以当地各环境质量参数的现状值作为基线值，将开发活动所增加的值叠加在基线值上与相应的环境质量标准比较，再评价该开发活动所产生的影响的程度，以采取必要的污染防治对策或决定开发活动地点是否合适。例如，某地拟建燃煤电厂，该地大气中 SO_2 、 NO_x 和粉尘等浓度将相应增加，接纳电厂

烟气的大气中 SO_2 、 NO_x 和粉尘等的基线值通过监测已确定。经过影响评价（含环境治理工程分析）推断该电厂建成后， SO_2 、 NO_x 和粉尘的浓度超过大气环境标准，此时，有两种选择，一是改变厂址，选择环境容量较大（基线值低）的地点建厂，二是在原选厂址建厂，但必须改善环境治理工程的效果。

环境背景和基线值在环境质量评价中具有重要的实际意义。一个地区的背景值和基线值的差异反映该区域不同地区环境受污染和破坏程度的差别。因为环境背景值是建立在环境物质自然释放与人为释放的动态平衡基础上的，因而环境物质的区域背景值与该区域人群健康之间也处于相对平衡状态。背景值既可作为环境受污染的起始值，同时也可作为衡量污染程度的基准。

二、环境背景调查

环境背景（基线）调查包括地形地貌、大气、水体状况、土壤组成、植被条件、作物等各种环境要素的主要质量参数，它们是环境质量评价的基础资料。

（一）大气环境背景（基线）

一个地区的大气环境背景，包括以下几个方面：

1. 风向和风速

利用本地气象部门的资料，研究该地区风向和风速的变化规律，是进行大气环境质量评价的重要参数。可以利用当地几个气象站的资料，分析水平风场的变化规律，当地的盛行风向以及季节变化。

2. 气温

气温是环境变化的重要因素之一，它的变化往往引起环境中污染物的迁移转化以及其它气象条件和水文条件的改变。气温的垂直变化是决定大气稳定程度的重要因素，了解温度的垂直变化规律，掌握当地逆温层的生消过程，这些是大气环境质量评价的关键性工作。以上资料大多可取自当地气象站，有些需在评价区域内现场观测。

3. 能见度和日射量

大气污染可以使能见度降低，使直接辐射量消减，分析日射量和能见度资料，掌握它们的变化规律，有助于了解区域大气污染发展的历史，特别是收集近几十年来能见度和日射量的变化，对评价一个区域的大气环境质量变化很有好处。

4. 大气稳定度

大气稳定度是大气污染物扩散程度的重要标志。确定大气稳定度的方法很多，首先要收集太阳高度角、日射量、云量、地面风速的资料，利用各种现有的分类表可查出大气稳定度。

5. 降水

降水对大气污染物有强烈的净化作用，雨季时空气中降尘和飘尘的浓度最低，大气环境质量评价工作要了解年内不同季节的雨量的分布、年降雨量的差异、地形对降雨的影响等。除此，分析降水的化学组分，对研究大气污染的形成、污染物的迁移和提供酸雨的信息十分有用。收集全部降雨过程不同时段样品，有助于对大气洁净程度及酸雨降落规律的认识。

6. 大气组分

监测大气中的各种组分，特别是颗粒物、 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 O_3 、 Pb 、苯并[a]芘、氟化物、 C_nH_n 等的浓度可获取大气环境质量现状评价中的背景值 and 环境影响评价中的基线值，同时可了解当地大气受人类活动及自然条件变化（如火山爆发、地震等）的影响。

（二）地面水环境背景

1. 河流水文状况

河流水文背景资料对于研究河流污染是很重要的。主要包括评价区域内河流的水量、水位、流速和泥沙量等资料。特别是河流水量的变化，它受不同季节气温和降水量控制，影响河水中含沙量，直接影响河水水质的变化、河水中污染物的迁移转化以及河流的自净作用。进行河流水质评价，必须详尽收集上述资料。

2. 水体中各种水质参数数据的收集和监测

（1）物理参数：色、嗅、温度、固体（残渣）量、油类和脂肪量。

（2）化学参数：可分为无机和有机两种。重要的无机参数包括含盐量、硬度、pH值、酸度、碱度、铁、锰、氯化物、硫酸盐、硫化物、重金属（砷、汞、镉、铬、铅、铜、锌等）、氮（氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐）、氟和磷等营养物质。表示有机物量的综合指标最常用的有BOD（生化需氧量）、COD（化学需氧量）和TOC（总有机碳浓度）。在水质特征中具有潜在重要性的有机参数还有各种有毒有机化合物如农药、PCB等的浓度。

（3）生物参数：水生生物如鱼类、节肢动物和微生物等。

3. 水体底质状况

从水中沉降下来的物质，沉积于水底形成水底沉积物或底质。底质于水本体通过化学、物理、生物和水动力学过程互相发生物质和能量的交换，底质反映了水本体过去和现在的组分变化。它是底栖生物的支持体，它的性质和状况影响底栖生物的种类、数量及变动。因而对整个水体的水生生态系统发生影响。它为水本体的自净提供容纳、消除有害物质、贮备生物营养物质的场所，反之，底质积累，污染物会释放出来，在很长时间内影响水体水质。

（三）地下水环境背景

地下水受到有害物质污染，或者经污染物在地下水体中的扩散，其化学成分及分布就与天然水不同。天然地下水的化学成分是由气候、岩石、土壤、生物、地下水动力条件等多种因素制约，它具有区域特点和自然的分带规律，在一个自然单元内反映地下水一般特征的总矿化度，从补给区到排泄区，总是由低到高。各个含水层间的化学特征明显。由于人类活动引起的地下水污染，它的物质成分和扩散规律决定于污染源的性质、污染途径和地下水的水动力条件，其对地下水的影响，在强度上比自然作用大，在规模和范围上比自然作用小。地下水污染监测网的布置，应考虑污染源的分布和扩散形式、环境水文地质条件、地下水的开采状况、区域水化学特征等因素。监测网的设置采取点面结合的方法，抓住重点，并对整个评价区的情况作适当的控制。监测的对象主要是排放量大的有害物质、危害性大的污染源、重污染区及重要的供水水源地。污染区监测点的布置方法，应主要根据污染物在地下水中的扩散形式来确定。

（四）地质和地貌环境背景

地质和地貌环境背景决定区域自然污染源分布规律和污染物迁移过程的基本因素。

区域地质背景主要指区域的地层、岩性、地质构造和裂隙的基本情况，特别是岩石的组成及其化学成分，往往是土壤化学成分形成的重要因素。此外还应研究区域的矿产资源、包括岩浆矿床、沉积矿床及其它非金属矿藏等。

区域的地貌条件是影响降水量、土壤和植被分布以及水土流失的重要因素，也是水环境中污染物迁移的动力因素，即决定污染物的迁移方向和速度。

地貌条件对大气中污染物的迁移和扩散也有较大影响，地处平原的城市，大气中的污染物很容易被风带走，地处盆地和谷地的城市，由于地形的影响，在局部地区可能出现污染物的积累，很难扩散出去，以致出现严重的污染现象。

地貌条件的调查包括山地形态、组成、山地高度、山脉走向等。在水质评价中，还应 对河谷形态、河谷横剖面、纵剖面、河流的比降进行研究。可以利用较大比例尺的地形图，计算河流比降和确定河谷形态。此外，对流域范围内的盆地、洼地的特征、喀斯特的分布、黄土的性质及分布、红土层的年代及分布等都应有所了解，在有条件时，应对这些物质的化学组成进行分析。

(五) 土壤和生物环境背景

对土壤环境背景的调查，主要体现在对土壤特征的研究和了解，其内容如下：

土壤的化学性质包括 pH 值、石灰反应、有机质、氮、磷、钾以及微量元素。

土壤的物理性质包括土壤水分和质地状况。

土壤粘土矿物类型包括高岭石、蒙脱石、水化云母、绿泥石。

土壤成土母质的特征包括岩石的种类、组成、化学成分。

土壤微生物包括土壤微生物群落和土壤微生物对农药的降解。

上述土壤特征，可根据环境质量评价时的具体要求进行调查。除此以外，还应对土地利用状况进行研究，包括农、林、牧用地情况，用地面积，生产产量，可以用适当比例尺的地图画出农、林、牧用地的分布。采用农产品化学成分作为环境质量评价参数时，应注意把已受污染的农产品加以区分，一般都采用新生部分、果实、根系等，混合样品亦可。但研究污染物对人体健康的影响关系时，应以果实部分为主。对污水危害农作物的情况、污染物在土壤中的含量、农药使用的种类和用量、化肥使用的种类和用量也应进行调查。

生物环境背景调查包括主要生物资源、种类、形态特征、生态习性、特别应注意珍稀动植物的情况，例如，区域范围内如有森林分布，要搞清是原始森林还是次生林，森林分布的面积，森林面积的变化，主要树种、树龄、产量、蓄积量等。森林面积变化是环境质量变化的重要标志。

植物化学成分在环境质量评价时也是重要参数，植物样品应该考虑在不同土壤类型中取得，应该采集不同群种植物的根、茎、叶。

(六) 社会经济环境背景

社会经济环境背景主要包括有以下内容：

- (1) 人口、人口密度、村镇、城市工业区与居住区的分布；
- (2) 区域范围内社会环境结构的状况；

(3) 区域范围内经济结构的特点, 包括工业结构、工业分类及分布、工业人口、产品种类、生产额、税、利及产值等; 农业结构、农民户数、农田面积、牧业面积、水产养殖水面面积、各种农副产品的单位面积产量、产值等;

(4) 区域范围内文化、古迹及考古点的状况;

(5) 区域内由环境污染产生的社会经济问题等;

(6) 其它。

第三节 污染源调查与评价

一、污染源的含义

污染源即环境污染物的发生源, 污染物的来源。通常把能产生物理的(光、声、热、辐射或能改变、影响环境物理质量的)、化学的(无机物、有机物或能改变、影响环境化学质量的)、生物的(毒素、病菌或能改变、影响生物群落结构等)有害物质(能量)的设备、装置、场所等称为环境污染源。

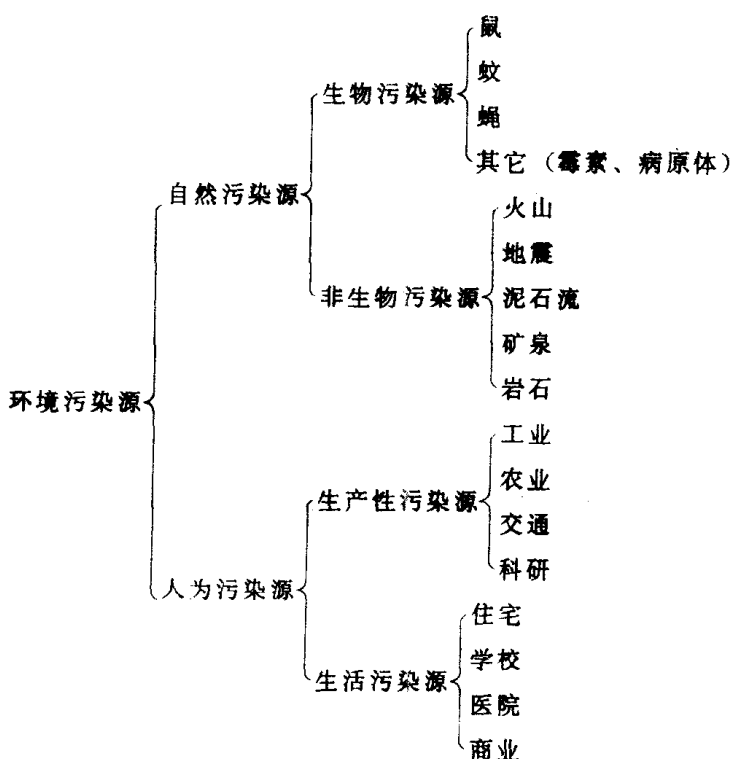
污染物因子是指任何物质(能量), 以不适当的浓度、数量、速率、形态和途径进入、作用环境系统并对环境生态系统产生污染或破坏的物质(能量)则称为环境污染物因子, 简称污染物因子。

二、污染源的类型

根据污染物的来源、特性、结构形态和调查研究目的的不同, 污染源有如下分类系统:

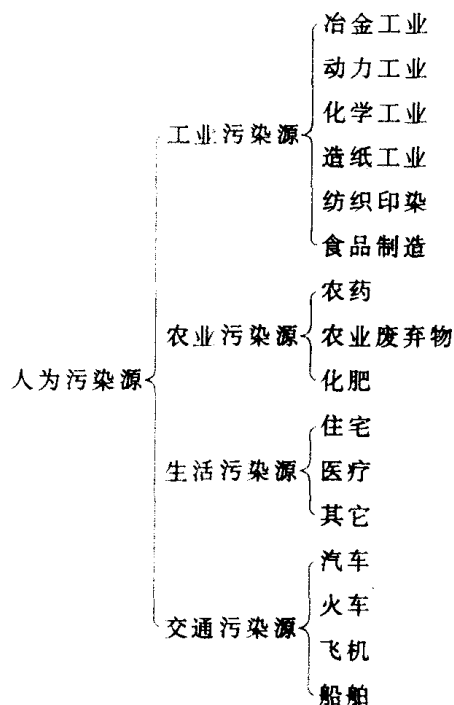
1. 按污染物来源分类

根据污染物产生的主要来源, 可以把污染源分为自然污染源和人为污染源。

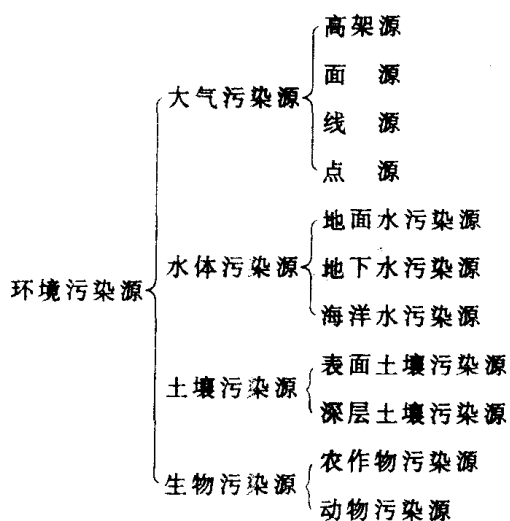


2. 根据污染物的特性分

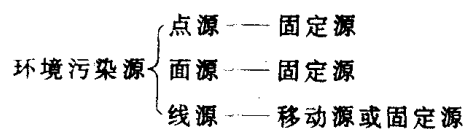
在人为污染源中，又可根据污染源产生污染物的特性不同，将污染源分为四大类：



3. 按其对环境要素的影响分



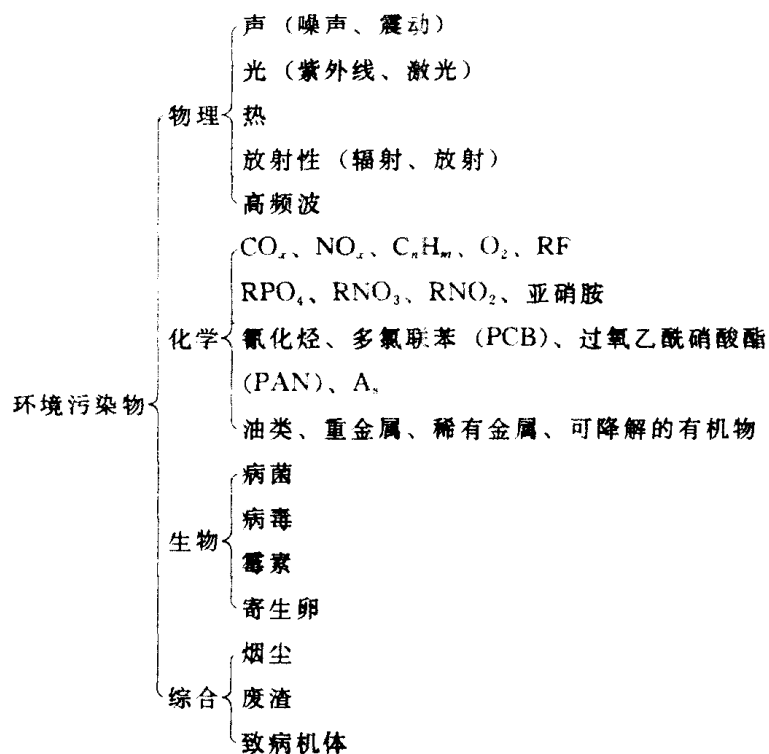
4. 按污染源形态特征分



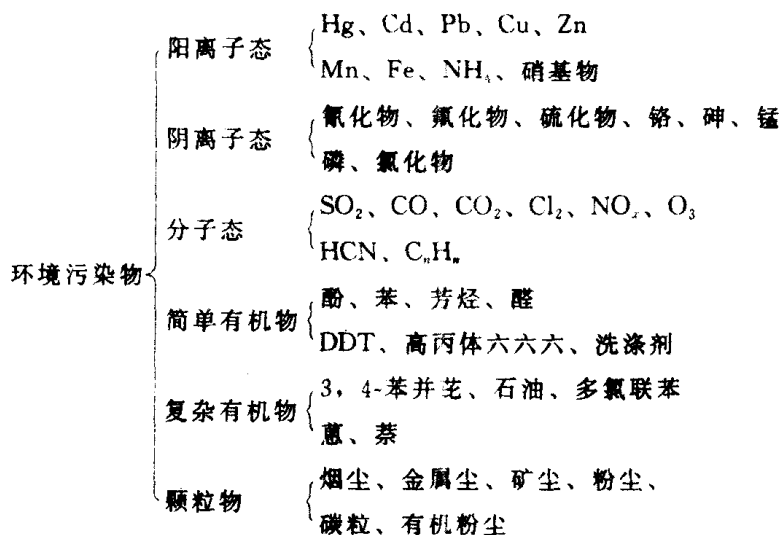
三、污染物的分类

污染物的分类主要依据污染物的理化性质、存在形态和控制标准。

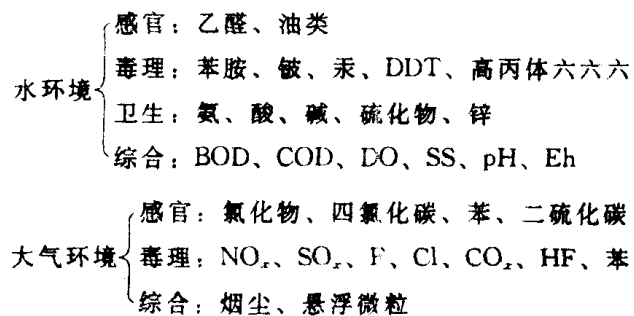
1. 按污染物的理化生物特性分



2. 按污染物存在形态分类



3. 按污染物的控制标准分类



4. 根据污染物污染范围的广度分类

根据污染物污染范围的广度又可将污染物分成三类，它们是：局地污染物、区域污染物和全球性污染物。

四、污染源调查内容

污染源调查的目的是为了弄清污染源的类型、数量、分布；各类污染源排放污染物的种类；数量及随时间的变化；各种源的排放方式、排放规律；由于污染源的排放而造成的对人群及环境的危害；已经采取的治理措施和效益等。污染源的调查可为环境质量评价和区域污染综合防治提供依据。

污染源调查的重点是人为污染源，主要有工业污染源、农业污染源、生活污染源和交通污染源，下面讨论几种人为污染源的调查内容。

(一) 工业污染源调查内容

1. 生产和管理

(1) 概况调查：企业名称、位置、主管机关、企业性质、规模；占地面积、职工总数；投产时间、产品、产量、产值、生产水平等。

(2) 工艺调查：工艺原理、工艺流程、工艺水平、设备水平。

(3) 能源、原材料调查：燃料、原材料的种类、产地、成分、单耗、总耗、资源利用率，部颁标准。

(4) 水源调查：供水类型、水源、供水量、单耗、总耗、部颁指标、水的利用率。

(5) 生产布局调查：原料、燃料堆场、水源、车间、办公室、厂区、居住区、堆渣区、排污口、绿化带、污水排放系统等的平面布设。

(6) 管理调查：管理体制、编制、制度、管理水平及经济指标。

2. 三废排放及治理

(1) 三废排放调查：种类、数量、成分、浓度、性质、绝对排放量（日、年）、排放方式、规律、途径、历史、事故、排放口位置、类型、数量、控制方式；三废排放的工艺、部位、副反应产生条件（温度、压力）。

(2) 三废治理调查：工艺改革，综合利用，管理措施，治理方法，方法来源，工艺、投资、成本、效果、运转费用，管理体制及费用、编制、问题、改进措施，今后治理规划、计划方案或设想。

3. 三废危害调查

危害对象、程度、原因、历史、损失、赔偿、职工及居民职业病、常见病、多发病、自发症状、癌症死亡率，病物相关分析、代谢产物有毒成分分析，重大污染事故发生时间、起因、危害程度、处理情况。

4. 生产发展调查

发展方向、规模、布局、指标三同时措施、预期效果和存在问题。

(二) 农业污染源调查内容

1. 农药使用情况的调查

农药使用的品种、数量、使用方法、有效成分含量（有机氯、有机磷、汞制剂、砷制

剂等)、使用剂量、时间、农作物品种、使用年限。

2. 化肥使用情况的调查

化肥使用的品种、数量、使用方式、使用时间、每亩平均用量等。

3. 农业废弃物的调查

(1) 水土流失情况调查。

(2) 农作物秸杆、牲畜粪便、农用机油等。

(三) 生活污染源调查内容

1. 生活污染源含义

它指城镇居民生活中排出的废弃物,包括城市垃圾、粪便、生活污水、生活污水和燃煤排放的废气等。

2. 调查内容

(1) 城市居民人口调查:总户数、总人口、人口分布、密度、居住环境等。

(2) 城市居民用水和排水调查:居民用水类型(集中供水、自备水)、不同居住环境用水量(楼房、平房、生活、办公、旅馆、饭店、学校、医院等)、不同居住环境排水量、排水方式、污水去向。

(3) 城市垃圾量调查:种类、数量、垃圾点分布、清洁队位置和管辖范围。

(4) 民用燃料调查:燃料构成(煤、煤气、液化气)、年使用量、使用方式。

(5) 城市垃圾、污水处理方法调查:城市垃圾总量、处理方式、总点数、处理站自然环境、处理量、处理效果、投资、费用、管理人员及水平。城市污水总量、处置方式、污水处理厂数量、分布、处理方式、处理量、处理效果,投资、运转维护费用及效益。

(四) 交通污染源调查内容

1. 噪声的调查

车辆种类、数量、车流量、车速、路面宽度、级别、道路两侧设施、绿化等情况、噪声时空分布。

2. 尾气的调查

车辆(飞机、船舶)的种类、数量、年耗油量、单耗指标、燃油构成(汽油、柴油)、成分(硫、四乙基铅)、排气量、排气成分(SO_2 、 NO_x 、 CO 、 C_xH_x 、铅、苯并芘等)。

五、污染源调查方法

(一) 污染源的普查

从有关部门查清调查范围内工矿企业、事业单位名称,然后通过发放三废调查表的方法对工矿企事业单位的规模、性质和排污量进行一次概略的调查,确定其中哪些是有污染源的企事业,筛选出重点调查对象。

(二) 污染源的重点调查

在普查基础上,选择规模大、污染物排放量大、影响范围广、危害程度大的污染源为重点调查对象。主要调查和剖析内容有:排放方式及规律,污染物的物理、化学和生物特性,主要污染物的跟踪分析,污染物流失原因的分析等。为了保证污染源评价的精度、重点调查污染源的数目,应控制其等标污染负荷占评价区总等标污染负荷的80%以上,或控

制重点污染源污染物的排放量占评价区总排放量的 60% 以上。污染源的重点调查要求工作人员深入现场, 进行实地调查、实地采样监测, 并附有必要的理论计算。通过重点调查, 完成污染源调查的全部工作, 总结出行业的排污系数: 吨产品排污量、吨原料排污量或万元产值排污量。

(三) 污染物排放量、排放强度的计算

在生产过程中排放的污染物来源于原材料的流失、产品的流失以及副产物的排放等, 可以通过物料衡算的方法来推算污染物排放量和排放强度, 也可以通过实测数据来推算排放强度。

1. 物料衡算法

其基本原理是物质不灭定律。根据各种燃料、材料的各种组分含量和单位时间内的耗量, 推算出转化为污染物的量。

(1) 定额法

定额法的依据是一个工厂在正常生产情况下, 生产过程排放的污染物是有定额的。计算公式如下:

$$E_i = e_{i\text{定}} \times M$$

$$E_i = F_i - (a_i + b_i + c_i + d_i) \cdot M$$

式中 M ——产品的产量;

E_i ——某污染物的排放量;

$e_{i\text{定}}$ ——污染物定额排放量;

a_i ——进入产品结构中的某污染物质;

b_i ——进入副产品或回收物中的某污染物质;

c_i ——在生产过程中某污染物的转化量;

d_i ——某污染物治理量;

F_i ——原料、燃料中污染物的总释放量。

(2) 排污系数法

按单位产品或产量排出污染物质量的指标计算总排放量, 计算式如下:

$$E_i = MR_i$$

式中 E_i ——某污染物排放量, t/d;

M ——产品数量或产量;

R_i ——某污染物的排放系数。

排放系数是在污染源重点调查的基础上, 经过大量实测统计工作而取得的。下面列出一些废气和废水污染物的排放系数 (见表 2-1、表 2-2)。

(3) 燃料燃烧排放污染物的计算

废气排放量是指工业锅炉、采暖炉等燃料燃烧装置, 以煤、油、气等为燃料在燃烧过程中通过排气筒或无组织排入大气的数量。如有净化装置, 则是通过净化处理装置后排入大气的数量。在实际工作中常用经验公式。

表 2-1

烟气中污染物排放系数

燃料种类	污染物名称	火力发电	工业锅炉	家用和商业取暖
燃 煤 (kg/t)	甲醛	0.0022	0.0022	0.0022
	CO	0.22	1.32	22
	CH ₄	0.088	0.44	4.4
	NO _x	8.8	8.8	3.52
	SO ₂	16.72S*	16.72S*	16.72S*
燃 气 (kg/100 万 m ³)	甲醛	15.89	31.78	忽略
	CO	忽略	6.30	6.30
	CH ₄	忽略		忽略
	NO ₂	6200	3400	1843
	SO ₂	6.4	6.30	6.30
	有机化合物	47.67	79.65	忽略
	粉尘	238.50	286.02	301.91
燃 油 (kg/m ³)	甲醛	0.07	0.238	0.238
	CO	0.0048	0.238	0.238
	CH ₄	0.381	0.238	0.357
	NO ₂	12.470	8.568	8.568
	SO ₂	18.683×S*	18.683×S*	18.683×S*
	SO ₃	0.2756×S*	0.238×S*	0.238×S*
	粉尘	1.20	2.737A 1.785	0.952

注 表中 S* 代表煤中可燃硫百分比或油中含硫量 (%)；A 代表重油排粉尘量。

表 2-2

工业废水中污染物排放系数

工业类型	产 品	排水系数 (m ³ /t)	污 染 物	污染物排放系数 (kg/t)
采 矿	铁 矿	6~9	固体物	4
	煤 矿	3.5~0.5		
	铜 矿	27~30		
	铅锌矿	4.6~6.6		
冶金工业	炼 焦	0.2~0.3	酚 总 硫 氧化物 固体物 固体物 铜 锰 铅 铜 锌 砷 氟	0.4~0.6
	生 铁	10~15		0.68~0.12
				0.31~0.465
	钢	1~3		24
	铜	80~100		35.6~44.6
				0.052~0.065
				0.079~0.099
	铅	80~100		0.024~0.03
				0.0024~0.003
				0.114~0.130
				0.051~0.064
	铝			1.4

续表

工业类型	产 品	排水系数 (m ³ /t)	污 染 物	污染物排放系数 (kg/t)
化学工业	氯	0.045	硫 酸	9
	水 银		氯	0.9
	纯 碱	10	氨	0.05
	硫 酸	2~5	硫 酸	5
	合成氨	1.36	氨	0.052
	尿 素	0.55	氨	1.63
	乙 烯	0.057		
	二甲苯	0.5~20	有机物	3~5
	煤 油	0.5~1	油	0.005~0.01
	聚氯乙烯	9.132	有机物	COD1200~1500
	合成橡胶	0.465		
	DDT	5.1	硫 酸	1kg

固体燃料的理论空气需要量按下式计算：

$$V_0 = 4.22 \times \frac{Q_{\text{net}}}{1000} + 0.5 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

固体燃料燃烧的烟气量按下式计算：

$$V_y = 3.72 \times \frac{Q_{\text{net}}}{1000} + 1.65 + (\alpha - 1)V_0 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

式中 Q_{net} ——燃料低位发热量，kJ/kg；

α ——空气过剩系数，见表 2-3。

表 2-3 炉膛空气过剩系数参考值

炉 型	手烧炉	链条炉 振动炉排 往复炉排	煤粉炉	沸腾炉	油 炉	气 炉	其它炉
α	1.4	1.3	1.2~1.25	1.05~1.1	1.15~1.2	1.05~1.2	1.3~1.7

二氧化硫的计算：

$$V_{\text{SO}_2} = 0.7 + \frac{S \cdot B}{100} \times \frac{273 + t_r}{273} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$G_{\text{SO}_2} = 2 \times \frac{S \cdot B}{100} \quad (\text{kg}/\text{h})$$

式中 V_{SO_2} ——二氧化硫单位时间排放量，m³/h；

G_{SO_2} ——二氧化硫单位时间排放量，kg/h；

S ——煤的含硫量，%；

B ——用煤量，kg/h；

t_r ——排烟温度，℃。

$$G_{\text{SO}_2} = 16W \cdot S (\text{kg})$$

式中 G_{SO_2} ——二氧化硫排放量, kg;

W ——耗煤量, t;

S ——煤的全硫分百分含量 (去掉百分号 “%”)。

NO_x 的计算:

$$G_{\text{NO}_x} = \left(\frac{Q/1.05506}{3.8 \times 10^6} \right)^{1.18} \times 0.4535$$

式中 G_{NO_x} —— NO_x 的单位时间排放量, kg/h;

Q ——热量, kJ。

燃煤烟尘的计算:

$$Y = W \times A\% \times B\%(1 - \eta)$$

式中 Y ——煤尘排放量, t/h;

W ——用煤量, t;

A ——煤的灰分;

B ——烟气中烟尘占煤总灰分量的百分数, 其值与燃烧方式有关, 见表 2-4;

η ——除尘器效率, %。

各种除尘器效率可查表 2-5, 若安装两级除尘装置, 其效率分别为 η_1, η_2 , 则除尘装置总效率 $\eta_{\text{总}}$ 可按下式计算:

$$\eta_{\text{总}} = \eta_1 + (1 - \eta_1)\eta_2$$

表 2-4 各种燃烧方式的锅炉烟尘占
煤炭总灰分的百分比 (B)

炉 型	B (%)
手烧炉	15~20
链条炉	15~20
机械风动抛煤炉	20~40
沸腾炉	40~60
煤粉炉	70~80
往复炉	15~20
化铁炉	23~35

表 2-5 各类除尘器的除尘效率 (η)

除尘器类型	除尘效率 η (%)
重力沉降	40~50
离心旋风	80
湿式洗涤	85
布袋过滤	90
静 电	95

2. 实测法

可通过连续或间断采集样品, 分析测定工厂或车间外排的废水和废气量及浓度, 按下式计算:

$$m_i = C_i \times Q_i \times 10^{-6} (\text{废水: t/年或 t/d})$$

$$m_i = C_i \times Q_i \times 10^{-9} (\text{废气: t/年或 t/d})$$

式中 m_i ——污染物排放量;

C_i ——实测浓度 (废水, mg/l; 废气, mg/m³);

Q_i ——废水、废气排放量 (m³/年或 m³/d)。

六、污染源评价

(一) 评价目的

污染源评价是在查明污染物排放地点、排放方式、数量和规律基础上,综合考虑污染物毒性、危害和环境功能等因素,通过适当数学处理或标准化处理,以潜在污染能力表达评价区域内环境污染问题,进而确定主要污染源、主要污染物和各污染源的主要污染物。

(二) 评价方法

1. 类别评价

类别评价主要是对单一污染物进行评价,采用污染物的相对含量(浓度)、绝对含量(体积和重量)、统计指标(检出率、超标率、超标倍数、标准差、概率加权值)等评价污染物和污染源的污染程度。

2. 综合评价

综合评价是较全面、系统地衡量污染源污染能力的评价方法,它不仅考虑了污染物的种类、浓度、绝对排放量和累积排放量,而且还考虑了排放途径、排放场所的环境功能。

综合评价工作中两个主要问题是选择评价参数和确定评价标准。评价参数的选择应根据污染物的排放量、毒性及对环境 and 人群的影响,一般尽可能把排放量大、毒性大,对环境和人群影响大的污染物都选作评价参数,但有时也受所选评价标准中污染物数量的控制。关于评价标准,目前根据工业污染源评价的水平,参考 GB 3838—83《地面水环境质量标准》、GB 3095—82《大气环境质量标准》、前苏联《地面水中有害物质极限允许浓度》和《居民区空气中有害物质极限允许浓度》等资料,对工业污染源排放的废水、废气中有害物质的评价,形成了一个暂时的统一评价标准,见表 2-6 和表 2-7。

表 2-6 废水中主要有害物质的评价标准

序 号	有害物质名称	评价标准 (mg/l)	序 号	有害物质名称	评价标准 (mg/l)
1	悬浮物	50	12	石油类	0.5
2	BOD	5	13	锌	1.0
3	COD	10	14	镍	0.5
(以上为综合污染指标)			15	铍	0.0002
4	挥发性酚	0.01	16	氟化物	1.0
5	氰化物	0.1	17	硫化物	0.1
6	砷	0.08	18	苯胺类	0.1
7	总 汞	0.001	19	硝基苯胺	0.5
8	镉	0.01	20	有机磷	0.03
9	三价铬	0.5	21	有机氯	0.02
	六价铬	0.05	22	氨氮 ^①	1.0
10	铅	0.1	23	锰 ^①	0.5
11	铜	0.03	24	镭 ^①	0.05

① 为上海市评价标准。

表 2-7

废气中主要有害物质的评价标准

序 号	有害物质名称	评价标准 (mg/m ³)	序 号	有害物质名称	评价标准 (mg/m ³)
1	二氧化硫	0.15	21	苯 酚	0.01
2	氮氧化物按 (NO ₂ 计)	0.10	22	苯乙烯	0.003
3	一氧化碳	4.0	23	甲 醛	0.01
4	氯	0.03	24	乙 醛	0.01
5	氯化氢	0.015	25	甲 醇	1.0
6	氟化氢	0.005	26	丙 酮	0.35
7	硫化氢	0.008	27	丙烯醛	0.03
8	氰化氢	0.01	28	甲硫醇	9×10 ⁻³
9	砷化氢	0.06	29	粉尘及烟尘	0.30
10	二硫化碳	0.005	30	吡 啶	0.08
11	氨	0.2	31	六价铬的化合物 (按 Cr ⁶⁺ 计)	0.0015
12	硝酸 (按 HNO ₃ 计)	0.4	32	锰及其化合物 (按 MnO ₂ 计)	0.01
13	硫酸 (H ₂ SO ₄ 计)	0.1	33	铅及其化合物 (按 Pb 计)	0.0007
14	汞 (按 Hg 计)	0.0003	34	镉及其化合物 (按 Cd 计)	0.003
15	四氯化硅	0.005	35	砷及其化合物 (按 As 计)	0.003
16	苯	0.8	36	铍及其化合物 (按 Be 计)	0.00001
17	甲 苯	0.6	37	铜 (按 Cu 计)	0.001
18	二甲苯	0.2	38	五氧化二砷	0.002
19	苯 胺	0.03	39	苯并[a]芘	1.0μg/100m ³
20	硝基苯	0.008	40	丙 烯	0.05

现在全国统一采用等标污染负荷法,其物理意义是把排放介质稀释(浓缩)到排放标准时的体积,其计算公式为:

(1) 某污染物的等标污染负荷 (P_i)

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i ——某污染物的年排放量, t/a;

S_i ——某污染物的评价标准, mg/l (水), mg/m³ (气)。

(2) 某污染源(工厂)的等标污染负荷(P_n),指所排放的各污染物的等标污染负荷之和。

$$P_n = \sum_{i=1}^j P_i (i = 1, 2, \dots, j)$$

(3) 某区域(或流域)的等标污染负荷(P)为该评价区(或流域)所有污染源的等标污染负荷之和。

$$P = \sum_{n=1}^K P_n \quad (n = 1, 2, \dots, K)$$

(4) 区域中某个污染物的总等标污染负荷($P_{i\text{总}}$)为该区域(或流域)内所有污染源 i 污染物的等标污染负荷之和。

$$P_{i\text{总}} = \sum_{n=1}^K P_n \quad (n = 1, 2, \dots, K)$$

(5) 某污染物在污染源或区域中的负荷比($K_i, K_{i\text{总}}$)

$$K_i = \frac{P_i}{P} \times 100\% \quad K_{i\text{总}} = \frac{P_{i\text{总}}}{P} \times 100\%$$

(6) 某污染源在区域中的污染负荷比(K_n)

$$K_n = \frac{P_n}{P} \times 100\%$$

通过以上一系列计算后,将评价区内污染物等标污染负荷($P_{i\text{总}}$)大小排列,分别计算百分比及累计百分比,将累计百分比大于80%左右的污染物列为该区域的主要污染物。

将评价区内污染源的等标污染负荷(P_n)大小排列,分别计算百分比及累计百分比,将累计百分比大于80%左右的污染物列为该评价区内的主要污染源。

采用等标污染负荷法处理容易造成一些毒性大、在环境中易于积累且排放量较小的污染物排不到主要污染物中去,然而对这些污染物的排放控制又是必要的,通过计算后,还应做全面考虑和分析,最后确定出主要污染源和主要污染物。

复 习 题

1. 什么是环境本底值、背景值和基线值?
2. 大气环境质量参数环境背景调查的内容是什么?
3. 污染源的种类有哪些?
4. 为什么要进行污染源调查?
5. 简述污染源调查的方法。
6. 什么是污染源评价的目的?
7. 一个好的污染源评价要把握哪几个要点?
8. 某厂锅炉用煤量为4t/h,低位发热量 Q_{net} 为27170kJ/kg,空气过量系数 α 为1.15,求每小时产生的烟气量。
9. 某厂锅炉年耗煤量2000t,煤的含硫量为4%,求全年排放的 SO_2 量。

10. 某厂有一台往复炉, 装有脉冲布袋除尘器, 该炉全年用煤 2000t, 煤的灰分为 25%, 求全年烟尘排放量。

11. 已知某化工厂全年排放废水 1000 万 t, 测得废水中的 A₅ 平均浓度为 1mg/l, BOD₅ 均为 360mg/l, 求该厂 A₅ 和 BOD₅ 的全年排放量?

12. 某电厂周围大气污染源调查后得到如下数据:

厂名称	SO ₂ (t/年)	NO _x (t/年)	烟 尘 (t/年)	厂名称	SO ₂ (t/年)	NO _x (t/年)	烟 尘 (t/年)
邢电老厂	1432.5	358.5	1837.4	邢织染厂	394.2	213.7	427.1
邢电新厂	10487.3	2621.8	7327.8	邢轮胎厂	336	191	236
邢钢厂	1906.66	1122.3	3134.1	邢薄板厂	173.4	217.1	233
邢水泥厂	317.2	209.5	9025	邢车辆厂	54.4	54.5	147.9
邢玻璃厂	733.9	277.7	518.2	邢棉纺厂	76.8	17.1	77.3
邢冶金厂	582.66	187.88	959.65	邢砂轮厂	39.22	22.3	93.4
邢造纸厂	552.63	316	587.3				

(1) 确定各工厂废气的等标污染负荷。

(2) 电厂周围区域主要污染工厂是哪三个?

(3) 电厂周围区域主要污染物是什么?

13. 某城市水污染源调查的数据如下:

工业名称	总产值 (万元/年)	Zn (t/年)	BOD ₅ (t/年)	COD _{Cr} (t/年)	酚 (t/年)	Cr (t/年)	Hg (t/年)
冶 金	68644	23	628	1282	1.4	4	0
电 力	11015	0	0	55	0	0	0
化 工	151200	10	3731	7573	15	0.3	0.06
食 品	28725	0	1796	4674	11	0	0

(1) 确定各工业行业废水的等标污染负荷?

(2) 该城市何种工业是主要废水污染源?

(3) 该城市水质的主要污染物是什么?

(4) 该城市万元产值废水等标污染负荷及万元产值排污最重的行业是哪个?

第三章 环境质量评价标准

环境质量是指在特定的历史时期和特定的条件下环境系统状态的整体表示，环境质量评价则是对环境系统状态与人类社会生存发展需要之间所存在的客观关系进行评定。为了对环境质量进行评价，或对环境系统能做出正确评价结论，其关键不仅在于对环境质量有清晰的认识，而且必须建立或使用一套既能体现出人类社会生存发展的需要，又能具体衡量环境质量对人类社会生存发展需要满足程度的指标体系。我们将这套指标体系及各个指标值的对应含义称为环境质量评价标准。

虽然国内、外对环境质量评价标准进行了很多研究，但由于认识上的局限和理论上的困难，至今尚未能形成一套完整而又实用的体系，目前只能暂时用环境质量标准来代替环境质量评价标准，同时，在环境质量评价的工作中，常常会用到污染物排放标准，因此也将其列入环境质量评价标准之内。

第一节 环境质量标准

环境质量标准是各国政府对环境要素中各种污染物在一定时间和空间范围内的允许含量所做的强制性规定，应该说，它可体现出社会生存和发展需要的程度。然而目前的问题在于：社会的生存发展对环境质量的要求，不仅有环境被污染的方面，而且还有环境要素配置和联系状态等其它方面，这是目前环境质量标准所没有包含的内容，因此，现行的环境质量标准只能是环境质量评价标准的初级形式。

一、环境质量标准与环境质量基准的关系

制订环境质量标准时，必须首先对环境各种污染物浓度对人体、生物及建筑设施等的危害影响进行综合研究，分析污染物剂量——接触时间和环境效应之间的相关性。关于这种相关性的系统资料称为环境基准。基准资料是依据大量的科学实验和现场调查研究的结果综合分析得出来的。对于各种环境要素，有各种不同的基准，如大气和水的基准；与人体健康有关的则是卫生基准；与各种动植物有关的则是生物基准；与建筑物受损害有关的则是建筑基准。它们的研究方法也不尽相同。环境基准资料来源于许多国家、多种学科、不同部门的广泛研究成果。

通过上述讨论，可以认为环境质量标准和环境基准关系，是两个密切相关但又不能混淆的两个概念。基准是环境质量标准的基础和核心，它属于纯自然科学范畴，而标准属于上层建筑范畴。基准值决定了标准的基本水平，也决定了环境质量应控制的基本水平。有关它们的联系与区分，可以进一步归纳为以下几点来理解：

(1) 环境基准是单一学科的研究结果，它所表述的是某种污染物质在某一环境要素中的存量与单一效应之间的关系，而标准则是在多个学科研究得到的基准的基础上所表述的

环境污染与人类社会生存与发展的政治的、经济的、技术的多种效应之间的综合关系。

(2) 基准是纯粹的科学研究结论。它不以人的意志为转移，不能做为环境质量评价的依据，而标准则是将基准与人群健康、社会经济发展和生态保护等对环境需要综合起来进行综合分析和平衡的结果，并由国家以法律形式颁布，因此它是环境质量评价的依据。

(3) 基准没有时间性，或者说它的时间性与地球演化的周期在同一数量级上，而标准则有明显的时间性，也就是说它将随社会发展的需要而改变。

二、环境质量标准的类型和级别

1. 环境质量标准分类

环境质量标准有多种分类法，大多以环境要素来划分，如大气环境质量标准，水环境质量标准，土壤环境质量标准等。还有从环境功能的角度来分类的，如居住环境质量标准和工作环境质量标准等，实际上，不同类型的提法常常是混合使用的，比如在水环境质量标准中，常分为饮用水标准，渔业水质标准和灌溉水质标准等。这些名称既体现环境要素的特点又体现环境功能的特点。

2. 环境质量标准的分级

环境质量标准的级别也有不同的分法。由于环境标准主要是为环境管理服务的，因此根据管理的层次或行政隶属关系可以分为国家级和地方级两个层次，或称为国家环境质量和地方环境质量标准。这里所说的地方环境质量标准也包括流域或水系的环境质量标准。

国家环境质量标准是由国家规定的，是指各种环境要素中各类有害物质在一定时间和空间范围的容许含量。它是统一衡量全国各地环境质量所达到水平的准绳，是各地进行环境管理的依据。

地方环境质量标准是根据国家环境质量标准的要求，结合地方的环境特点制定的。通常是以当地的自然地理环境特点如气象、水文、土壤、地质、地貌、生物以及经济技术水平、工农业生产布局、人口密度、政治文化要求等诸因素为依据，由地方环境保护部门会同其它有关部门，对整个地区进行全面规划和综合平衡之后，补充国家环境质量标准中不包含的主要污染物的项目及其容许浓度，因此，它是国家环境质量标准在地方的具体体现，是实现环境质量分级管理的具体依据。

三、国内外主要环境质量标准

1. 我国主要的环境质量标准

(1) 环境空气质量标准：我国在 1962 年颁布了工业企业设计卫生标准，首次对居民区内大气中的 12 种有害物质规定了最高允许浓度。后于 1982 年颁布了 GB 3095—82《大气环境质量标准》，1996 年颁布了 GB 3095—1996《环境空气质量标准》，用以代替 GB 3095—82，具体内容见表 3-1。

表 3-1 中，年平均为任何一年的日平均浓度的算术均值；季平均为任何一季的日平均浓度的算术均值；月平均为任何一月的日平均浓度的算术均值；日平均为任何一日的平均浓度；一小时平均为任何一小时的平均浓度，植物生长季平均为任何一种植物生长季月平均

表 3-1

环境空气质量标准

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
二氧化硫 SO ₂	年平均	0.02	0.06	0.10	mg/m ³ (标准状态)
	日平均	0.05	0.15	0.25	
	1 小时平均	0.15	0.50	0.70	
总悬浮颗粒物 TSP	年平均	0.08	0.20	0.30	
	日平均	0.12	0.30	0.50	
可吸入颗粒物 PM ₁₀	年平均	0.04	0.10	0.15	
	日平均	0.05	0.15	0.25	
氮氧化物 NO _x	年平均	0.05	0.05	0.10	
	日平均	0.10	0.10	0.15	
	1 小时平均	0.15	0.15	0.30	
二氧化氮 NO ₂	年平均	0.04	0.04	0.08	
	日平均	0.08	0.08	0.12	
	1 小时平均	0.12	0.12	0.24	
一氧化碳 CO	日平均	4.00	4.00	6.00	
	1 小时平均	10.00	10.00	20.00	
臭氧 O ₃	1 小时平均	0.12	0.16	0.20	
铅 Pb	季平均	1.50			μg/m ³ (标准状态)
	年平均	1.00			
苯并 [a] 芘 B [a] P	日平均	0.01			
氟化物 F	日平均	7*			
	1 小时平均	20*			
		月平均	1.8**	3.0***	
	植物生长季平均	1.2**	2.0***		

* 适用于城市地区。

** 适用于牧业区和以牧业为主的半农半牧区、蚕桑区。

*** 适用于农业和林业区。

浓度的算术均值；标准状态指温度为 273K，压力为 101.325kPa 时的状态；总悬浮颗粒物 (TSP) 指能悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物；可吸入颗粒物 (PM₁₀) 指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的颗粒物；氮氧化物 (以 NO₂ 计) 指空气中主要以一氧化氮和二氧化氮形式存在的氮的氧化物；铅 (Pb) 指存在于总悬浮颗粒物中的铅及其化合物；苯并 [a] 芘 (B [a] P) 指存在于可吸入颗粒物中的苯并 [a] 芘；氟化物 (以 F 计) 指以气态及颗粒态形式存在的无机氟化物。

不同地区有着不同的自然条件与不同的经济发展水平，即使在同一地区中，不同的地

段也具有不同的社会功能，因而对环境的质量的要求会不同，因此该标准的标准值分为三级，它们对应着社会功能的三个类区：一级标准为对一类区的要求，即对国家规定的自然保护区、风景游览区、名胜古迹和其它需要特殊保护的地区的要求；二级标准为对二类区的要求，即对城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区的要求；三类标准为对三类区的要求，即对特定工业区。

(2) 地面水环境质量标准：地面水环境质量标准 (GB 3838) 是水环境质量标准较重要的一种，具体内容见表 3-2。它适用于江、河、湖泊和水库等地面水域。依据地面水水域使用目的和保护目标将其划分为五类：

I 类标准适用于源头水和国家自然保护区。

II 类标准适用于集中式生活饮用水水源地的一级保护区、珍贵鱼类保护区及鱼虾产卵地。

III 类标准适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、一般鱼类保护区及游泳区。

IV 类标准适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区。

V 类标准适用于农业用水区及一般景观要求水的标准。

表 3-2 地面水环境质量标准 mg/L

序号	参 数	分 类				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
	基 本 要 求	所有水体不应有非自然原因所导致的下述物质： a. 凡能沉淀而形成令人厌恶的沉积物 b. 漂浮物，诸如碎片、浮渣、油类或其他的一些引起感官不快的物质 c. 产生令人厌恶的色、臭味或混浊度的物质 d. 对人类、动物或植物有损害、毒性或不良生理反应的 e. 易滋生令人厌恶的水生生物的				
1	水温 (°C)	人为造成的环境水温变化应限制在： 夏季周平均最大温升 ≤ 1 ，冬季周平均最大温降 ≤ 2				
2	pH	6.5~8.5				6~9
3	硫酸盐 ^① (以 SO_4^{2-} 计) $\leq$	250 以下	250	250	250	250
4	氯化物 ^① (以 Cl^- 计) $\leq$	250 以下	250	250	250	250
5	溶解性铁 ^① $\leq$	0.3 以下	0.3	0.5	0.5	1.0
6	总锰 ^① $\leq$	0.1 以下	0.1	0.1	0.5	1.0
7	总铜 ^① $\leq$	0.01 以下	1.0 (渔 0.01)	1.0 (渔 0.01)	1.0	1.0
8	总锌 ^① $\leq$	0.05	1.0 (渔 0.1)	1.0 (渔 0.1)	2.0	2.0
9	硝酸盐 (以 N 计) $\leq$	10 以下	10	20	20	25
10	亚硝酸盐 (以 N 计) $\leq$	0.06	0.1	0.15	1.0	1.0
11	非离子氨 $\leq$	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2

续表

序号	参 数	分 类				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
12	凯氏氮 $\leq$	0.5	0.5	1	2	2
13	总磷 (以 P 计) $\leq$	0.02	0.1 (湖、库 0.025)	0.1 (湖、库 0.05)	0.2	0.2
14	高锰酸盐指数 $\leq$	2	4	6	8	10
15	溶解氧 $\geq$	饱和率 90 %	6	5	3	2
16	化学需氧量 (COD _{Cr}) $\leq$	15 以下	15 以下	15	20	25
17	生化需氧量 (BOD ₅) $\leq$	3 以下	3	4	6	10
18	氟化物 (以 F ⁻ 计) $\leq$	1.0 以下	1.0	1.0	1.5	15
19	硒 (4 价) $\leq$	0.01 以下	0.01	0.01	0.02	0.02
20	总砷 $\leq$	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
21	总汞 ^② $\leq$	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
22	总镉 ^③ $\leq$	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
23	铬 (6 价) $\leq$	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
24	总铅 ^② $\leq$	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
25	总氰化物 $\leq$	0.005	0.05 (渔 0.005)	0.2 (渔 0.005)	0.2	0.2
26	挥发酚 ^② $\leq$	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
27	石油类 (石油醚萃取) $\leq$	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
28	阴离子表面活性剂 $\leq$	0.2 以下	0.2	0.2	0.3	0.3
29	总大肠菌 ^③ (个/L) $\leq$			10000		
30	苯并 (a) 芘 ^③ ($\mu\text{g/L}$) $\leq$	0.0025	0.0025	0.0025		

① 允许根据地方水域背景值特征做适当调整的项目。

② 规定分析检测方法的最低检出限, 达不到基淮要求。

③ 试行标准。

(3) 地下水质量标准: 该标准于 1993 年颁布 (GB/T 14848—93), 具体内容见表 3-3。它适用于一般地下水, 不适用于地下热水、矿水、盐卤水。根据我国地下水状况、人体健康基准值及地下水质量保护目标, 并参照生活饮用水、工农业用水水质要求, 将地下水质量分为五类:

I 类: 主要反映地下水化学组分的天然低背景含量, 适用各种用途。

II 类: 主要反映地下水化学组分的天然背景含量, 适用于各种含量。

III 类: 以人体健康基准值为依据, 主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水。

IV 类: 以农业和工业用水要求为依据, 除适用于农业和部分工业用水外, 适当处理后

可作生活饮用水。

V类：不宜饮用，其它用水可根据使用目的选用。

表 3 3 地下水质量分类指标

项目 序号	标准值 项目	类别				
		I类	II类	III类	IV类	V类
1	色 (度)	≤5	≤5	≤15	≤25	>25
2	嗅和味	无	无	无	无	有
3	浑浊度 (度)	≤3	≤3	≤5	≤10	>10
4	肉眼可见物	无	无	无	无	有
5	pH	6.5~8.5			5.5~6.5, 8.5~9	<5.5, >9
6	总硬度 (以 CaCO ₃ , 计) (mg/L)	≤150	≤300	≤450	≤550	>550
7	溶解性总固体 (mg/L)	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000
8	硫酸盐 (mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
9	氯化物 (mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
10	铁 (Fe) (mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤1.5	>1.5
11	锰 (Mn) (mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.0	>1.0
12	铜 (Cu) (mg/L)	≤0.01	≤0.05	≤1.0	≤1.5	>1.5
13	锌 (Zn) (mg/L)	≤0.05	≤0.5	≤1.0	≤5.0	>5.0
14	钼 (Mo) (mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.1	≤0.5	>0.5
15	钴 (Co) (mg/L)	≤0.005	≤0.05	≤0.05	≤1.0	>1.0
16	挥发性酚类 (以苯酚计) (mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.002	≤0.01	>0.01
17	阴离子合成洗涤剂 (mg/L)	不得检出	≤0.1	≤0.3	≤0.3	>0.3
18	高锰酸盐指数 (mg/L)	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10	>10
19	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	≤2.0	≤5.0	≤20	≤30	>30
20	亚硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.02	≤0.1	>0.1
21	氨氮 (NH ₄) (mg/L)	≤0.02	≤0.02	≤0.2	≤0.5	>0.5
22	氟化物 (mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
23	碘化物 (mg/L)	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤1.0	>1.0
24	氰化物 (mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
25	汞 (Hg) (mg/L)	≤0.00005	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	>0.001
26	砷 (As) (mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.05	>0.05
27	硒 (Se) (mg/L)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.1	>0.1

续表

项目 序号	标准值 项目	类别				
		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
28	镉 (Cd) (mg/L)	≤ 0.0001	≤ 0.001	≤ 0.01	≤ 0.01	> 0.01
29	铬 (六价) (Cr ⁶⁺) (mg/L)	≤ 0.005	≤ 0.01	≤ 0.05	≤ 0.1	> 0.1
30	铅 (Pb) (mg/L)	≤ 0.005	≤ 0.01	≤ 0.05	≤ 0.1	> 0.1
31	铍 (Be) (mg/L)	≤ 0.00002	≤ 0.0001	≤ 0.0002	≤ 0.001	> 0.001
32	钡 (Ba) (mg/L)	≤ 0.01	≤ 0.1	≤ 1.0	≤ 4.0	> 4.0
33	镍 (Ni) (mg/L)	≤ 0.005	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.1	> 0.1
34	滴滴涕 ($\mu\text{g/L}$)	不得检出	≤ 0.005	≤ 1.0	≤ 1.0	> 1.0
35	六六六 ($\mu\text{g/L}$)	≤ 0.005	≤ 0.05	≤ 5.0	≤ 5.0	> 5.0
36	总大肠菌群 (个/L)	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 100	> 100
37	细菌总数 (个/mL)	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 1000	> 1000
38	总 α 放射性 (Bq/L)	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	> 0.1	> 0.1
39	总 β 放射性 (Bq/L)	≤ 0.1	≤ 1.0	≤ 1.0	> 1.0	> 1.0

(4) 环境噪声标准: 我国目前常用的主要环境噪声标准是 GB 3096—82《城市区域环境噪声标准》, 具体内容见表 3-4。

表 3-4

城市区域环境噪声标准

等效声级 heq/dB (A)

适用区域	昼 间	夜 间	适用区域	昼 间	夜 间
特殊住宅区	45	35	商业中心区	60	50
居民、文教区	50	40	工业集中区	65	55
一类混合区	55	45	交通干线两侧	70	55
二类混合区	60	50			

其中一类混合区指一般商业与居民混合区, 二类混合区指工业、商业、少量交通与居民混合区, 交通干线指车流量每小时 100 辆以上的道路。

2. 国外主要的环境质量标准

(1) 国外大气环境质量标准: 表 3-5~表 3-7 给出美国、德国、加拿大和日本颁布的标准。

(2) 国外地面水环境质量标准, 见表 3-8、表 3-9。

(3) 国外环境噪声标准见表 3-10。

表 3-5

美国的大气环境质量标准

污 染 物	接 触 时 间	第 一 种 标 准 浓 度 值	第 二 种 标 准 浓 度 值	备 注
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	
一氧化碳	1h	40000 (39)	40000 (35)	①接触时间为 1, 3, 8, 24h 的标准, 一年中不得超过一次。 ②接触时间为 1 年的标准, 任何一年均不得超过
	8h	10000 (9)	10000 (9)	
碳氢化合物	3h	160 (0.28)	160 (0.28)	
二氧化氮	1h	100 (0.05)	100 (0.05)	
光化学氧化剂	1h	160 (0.08)	160 (0.08)	
颗粒物	24h	260 (—)	150 (—)	
	(1 年几何平均值)	75 (—)	60 (—)	
硫氧化物	3h		1300 (0.5)	
	24h	365 (0.13)	260 (0.1)	
	1a	80 (0.03)	60 (0.02)	

注 ppm 为旧国际计量单位, 现已不采用, 仅做参考。

1. 第一种标准用以保护公共卫生的标准, 并且有相当程度的安全性;
2. 第二种标准用以保护水、土壤、农作物、植物、工业品家畜、野生生物、大气能见度、气候、运输以及人体健康免受污染危害的标准。

表 3-6

德国的大气环境质量标准

污 染 物 质	30min 平 均 值	
	mg/Nm^3 (ppm)	mg/Nm^3 (ppm)
	长 期 暴 露	8h 不超过一次
氯 气	0.3 (0.1)	0.6 (0.2)
硫化氢	0.15 (0.1)	0.3 (0.2)
氟氧化物	1 (0.5)	2 (1)
二 氧 化 硫	长 期 暴 露	2h 不超过一次
	0.4 (0.15)	0.75 (0.3)

* 指原西德的大气环境质量标准。

表 3-7

加拿大和日本的大气环境质量标准

污 染 物	日 本 (1973 年 5 月)		加 拿 大 (1973 年 1 月)	
	暴露时间 及统计参数	最大允许浓度	暴露时间 及统计参数	最大允许浓度
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)
二氧化硫	每天时平均值	120 (0.04)	年平均值	30 (0.01)
	1h 平均值	300 (0.10)	24h 平均值	180 (0.07)
			1h 平均值	510 (0.17)
一氧化碳	每天时平均值	12 (10)	8h 平均值	6 (5)
	8h 平均值	25 (20)	1h 平均值	16 (13)

续表

污 染 物	日 本 (1973 年 5 月)		加 拿 大 (1973 年 1 月)	
	暴露时间 及统计参数	最大允许浓度	暴露时间 及统计参数	最大允许浓度
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)
悬浮物颗粒	每天时平均值 1h 平均值	100 (—) 200 (—)	年平均	60 (—)
二氧化氮	每天时平均值	40 (0.02)		
光化学氧化剂	1h 平均值	120 (0.06)		
总氧化剂			24h 平均值 1h 平均值	30 (0.015) 100 (0.05)

- 注 1. 在比较不同国家的标准时, 必须注意到大气质量标准的意义和测量大气质量的方法两者的差别;
2. 悬浮物颗粒指悬浮物在大气中的气动力直径不超过 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物;
3. 光化学氧化剂是指由光化学反应所产生的氧化物如臭氧、过氧硝酸乙酰酯等(它们仅限于那些从中性碘化钾缓冲液中将碘化物分离出来的物质, 二氧化氮不包括在内)。

表 3-8 美国 1971 年对地面水环境质量的建议

离子、生物或 物质名称	单 位	水 的 用 途			
		城 市	工 业	农 业	休养(鱼类和 野生动物)
藻类	标准单位体积	1000	1000	无有毒藻类	无有毒藻类
碱度	ppm	120	50~120	—	—
氨	ppm	0.1	—	—	0.3
BOD	ppm	最大 1.0~3.0 平均 0.75~1.5	未制定	未制定 未制定	未制定 未制定
碳酸盐	ppm	150	3~100	—	—
硼	ppm	1	—	0.2~0.3	—
镉	ppm	0	0	0	0
钙	ppm	—	—	40	—
二氧化碳	ppm	—	—	20~40	—
碳酸盐	ppm	—	200~400	10	—
氯化物	ppm	50	20~250	100	—
铬	ppm	0	0.05	0	10.0
大肠杆菌	MPN/100mL	50	—	—	500~100
色度		20~70	100~1000	—	—
铜	ppm	3.0	—	0.2	1.0
氰化物	ppm	0	0	0	0
溶解氧 (DO)	ppm	4.0 以上	0.2~2.0	0.2	4.0 以上
上浮固体		0	0	0	0
氟化物	ppm	1.5	1.0	—	5.0
氢离子浓度	pH	6.5~8.5	6.0~9.6	—	5.0~9.5
铁	ppm	0.3	0.5	—	—

续表

离子、生物或 物质名称	单 位	水 的 用 途			
		城 市	工 业	农 业	休养 (鱼类和 野生动物)
镁	ppm	—	—	20	—
硝酸盐	ppm	10	0	—	44
油	ppm	0	0	0	0.3
酚类化合物	ppm	0	0.001~0.01	0.005~0.02	0.2~1.0
放射性	Ci/l	基底	基底	基底	基底
钠	ppm	0~10	50	10	—
硫酸盐	ppm	250	100~250	190	—
悬浮固体	ppm	—	—	无污泥沉积	无污泥沉积
总溶解固体	ppm	1000	100~1000	—	—
温度 (期望)	°C	10	15.6	15.6	0~33.3
总氮	ppm	10	—	—	10
混浊度	ppm	0~40	10~50	—	2000

表 3-9

美、日、法、前苏的水环境质量标准

有害物名称	最 高 允 许 浓 度 (mg/L)				
	美国 (1968 年)	日 本	法 国	前苏联 (1971 年)	
	公共水体标准	河水水质污染法 (1970 年内阁 会议决定)	水体中特殊组分 的最大允许浓度	地面水有害物质 最高允许浓度	沿海水质标准
悬浮物	—	25~100	—	—	—
酸碱性 (pH)	5.8~8.6	6.5~8.5	—	6.5~8.5	—
BOD ₅	—	1~10	—	4	—
COD	—	—	—	—	—
硫化物 (以 H ₂ S 计)	—	—	—	无	—
氰化物 (以 CN 计)	0.1 (不得已时 0.2)	不能检出	不能检出	0.1	—
氟化物 (以 F 计)	0.6~1.7	—	1	1.5	—
游离氯 (以 Cl 计)	—	—	—	无	—
氯化物	<250, 理想 <25	—	250 (以 Cl 计)	—	—
氯及其化合物	0.5, 期望 <0.01	—	—	—	—
氯化物	—	—	—	2 (以 N 计)	—
硝酸盐	10, 理想 0	—	2~5 (以 N 计) 9~22 (以 NO ₂ 计)	10 (以 N 计)	—
硫酸盐	250, 期望 <50	—	250	—	—
可溶性固体	—	—	—	—	—

续表

有害物名称	最高允许浓度 (mg/L)				
	美国 (1968 年)	日 本	法 国	前苏联 (1971 年)	
	公共水体标准	河水水质污染法 (1970 年内阁 会议决定)	水体中特殊组分 的最大允许浓度	地面水有害物质 最高允许浓度	沿海水质标准
铁	0.3	—	0.2	0.5	—
铬	0.05 (6 价铬)	<0.05 (6 价铬)	不能检出	0.1 (6 价铬) 0.5 (3 价铬)	0.1 (6 价铬) 0.5 (3 价铬)
砷	0.01 (不得已 时 0.05)	<0.05	0.05	0.05 (无机、 3 价砷)	—
银	0.05	—	—	—	—
铜	1.0	—	1.0	0.1 (2 价铜)	0.1
汞	0.05	不能检出	—	0.05 (无机、 2 价汞)	—
镉	0.01	<0.01	—	0.01 (2 价镉)	0.01
钡	1.0	—	—	4.0	—
锌	5.0	—	5.0	1.0	1.0
铅	0.05	<0.1	0.1	0.1 (二价铅) 0.0001 (四乙基铅)	无
镍	—	—	—	0.10 (二价镍)	—
硒	0.01	—	0.05	—	—
镁	—	—	125	—	—
铍	—	—	—	0.0002	—
锰	0.05	—	0.1	10.0 (4 价锰) 1.0 (2 价锰)	—
油类	—	—	—	0.1 (汽油)	0.1
多氯联苯	—	—	—	—	—

表 3-10

各国环境噪声标准

国家名称	地区分类与标准值 [dB (A)]	修 正 值
ISO 第 43 技术 委员会 (声学)	基本值, 35~45 [dB (A)]	时间修正 { 白天 0 晚上 -5 深夜 -10 到 -15 脉冲性与纯音性噪声修正 +5
	不同地区噪声标准的修正值:	
	乡村住宅、医疗地区	
	郊区住宅、小马路	
	城区住宅	
	工厂附近或主要街道旁的住宅	
	城市中心	
	工业地区	

续表

国家名称	地区分类与标准值 [dB (A)]				修 正 值			
英 国	基本值: 50dB (A)				时间修正	工作日 8:00~18:00	+5	
	不同地区噪声标准的修正值					夜间 22:00~7:00	-5	
	乡村		-5	其他		0		
	郊区、少量交通		0	新工厂、新结构、新工艺		0		
	城市居住区		+10		非特定区的已建工厂		+5	
	居住为主, 但混有一些轻工业或主要道路		+10			特定区内旧厂		+10
	一般工业区		+15					
	主要工业区, 很少居民		+20					
前苏联	住宅区 (距离 2m)	45	时间修正	白天	+10			
	中学、幼儿园			夜间	+0			
	疗养区	40	持续时间	56~100%	0			
	新设计的住宅区	45		18~56%	6			
	居民点的住宅区	50		6~18%	10			
			<0%	15				
美 国 (昼/夜)	区 域	基本噪声水平	常见的峰值	不常见的峰值	备 注			
	医院、疗养院	45/35	50/45	55/50	室内噪声级 生活区为 50 卧室为 35 新学校为 45 老学校为 55			
	安静居住区	55/45	65/55	70/65				
	混合区	60/45	70/55	75/65				
	商业区	60/50	70/60	75/65				
	工业区	65/55	75/60	80/70				
	主要交通干线	70/65	80/70	90/80				
瑞 士 (昼/夜)	区 域	平 均	1h6~70 次峰值声级	1h1~6 次峰值声级	建设作业发生率	修正		
	医院	45/35	50/45	55/50	20% 5% 1%	5 10 15		
	居住区	55/45	65/55	70/65				
	工厂、居住混合区	60/45	70/55	75/65				
	商业区	60/50	70/60	75/65				
	工业区	65/55	75/60	80/70				
	干线路旁	70/60	80/70	90/80				

第二节 污染物排放标准

排放标准以环保法为根据, 是实现环境质量标准的强制手段, 是直接的执法标准。制定和实施排放标准, 不仅在控制污染物排放、保护环境方面至关重要, 而且为环境质量评价工作尤其是环境影响评价工作提供了必要的工具和依据。

一、排放标准的分类

1. 浓度标准

它规定了企业或设备的排污口排放污染物的浓度。废水中的污染物浓度以 mg/L 表示，废气中的污染物浓度以 mg/m^3 表示。该标准的优点是简单易行，只要监测总排放口的浓度即可，缺点是忽略了含污染物介质（废水、废气）的流量，有时难以评价和比较不同排污口的真实排污量。

2. 地区系数法标准

这是根据环境质量目标，各地自然条件、环境容量、性质功能、工业密度等，规定不同的系数的控制污染源排放的方法。如日本，为控制大气 SO_2 的点排放源，给各地规定了不同的系数 K 值， K 值规定后，某个企业的 SO_2 允许排放量决定于其烟囱高度。 K 值是根据环境质量标准和大气扩散模式计算的，为逐步达到环境质量目标， K 值可一年或几年改变一次，逐步强化控制。

我国制定了与日本 K 值法类似而有改进的 P 值法以控制 SO_2 的点源排放，还制定了 B 值法以控制 SO_2 面源排放。

3. 总量控制标准

该标准的基本特征是：由于在发生源密集的地区，出现只对一个单独的发生源规定排放标准，不能控制环境质量的情况而发展了这种方法。它是以环境质量标准为基础，考虑自然特性，计算出环境容量（满足环境质量标准的污染物总允许排放量），然后综合分析所有区域内的污染源，建立数学模式，计算每个源的污染分担率和相应的允许排放量，求得最优方案。每个源都控制小于最优方案的规定值，即可保证环境质量标准的实现。

4. 负荷标准（或称排放系数）

这是美英等国使用的方法，它采用分行业、分污染物来控制，以每吨产品或原料计算的任何一日排放污染物的最大值和连续 30 天排放污染物的平均值来表示。此法比总量控制法简单，不需计算复杂的环境总容量和各种源的分担率，对不同行业产品、品种、工艺要区别对待。我国 1988 年颁布的工业污染物排放标准也属此类。

5. 工艺标准

基本精神是由环境保护部门深入工业企业调查后，与每个企业协商确定排放标准。

二、我国主要的排放标准

1. 工业 GB 51—73《三废排放试行标准》

根据污染物对人体的危害程度，并考虑到我国现实情况，暂订十三种有害物质的排放标准（见表 3-11）。凡排放上述有害物质，其排出口处的排放量（或浓度）不得超过此标准。

表 3-11 十三类有害物质的排放标准

序 号	有害物质名称	排放有害物企业	排 放 标 准		
			排气筒高度 (m)	排 放 量 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)
1	二氧化硫	电 站	30	82	
			45	170	

续表

序 号	有害物质名称	排放有害物企业	排 放 标 准		
			排气筒高度 (m)	排 放 量 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)
1			60	310	
			80	650	
			100	1200	
			120	1700	
			150	2400	
		冶 金	30	52	
			45	91	
			60	140	
			80	230	
			100	450	
			120	670	
		化 工	30	34	
			45	66	
			60	110	
			80	190	
2	二氧化碳	轻 工	100	280	
			20	5.1	
			40	15	
			60	30	
			80	51	
			100	76	
3	硫化氢	化工、轻工	120	110	
			20	1.3	
			40	3.8	
			60	7.6	
			80	13	
			100	19	
4	氟化物 (换算成F)	化 工	120	27	
			30	1.8	
5	氮氧化物 (换算成NO ₂)	化 工	50	4.1	
			120	24	
		冶 金	20	12	
			40	37	
			60	86	
			80	160	
			100	230	

续表

序 号	有害物质名称	排放有害物企业	排 放 标 准		
			排气筒高度 (m)	排 放 量 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)
6	氯	化工、冶金	20	2.8	
			30	5.1	
			50	12	
		冶 金	80	27	
			100	41	
7	氯化氢	化工、冶金	20	1.4	
			30	2.5	
			50	5.9	
		冶 金	30	14	
			100	20	
8	一氧化碳	化工、冶金	30	160	
			60	620	
			100	1700	
9	硫酸(雾)	化 工	30~45		260
			60~80		600
10	铅	冶 金	100		34
			120		47
11	汞	轻 工	20		0.01
			30		0.02
12	铍化物 (换算成 Be)		45~80		0.015
13	烟尘及生 产性粉尘	电 站 (煤粉)	30	82	
			45	170	
			60	310	
			80	650	
			100	1200	
			120	1700	
			150	2400	

2. GB 8978—88《污水综合排放标准》(代替 GB51—73 废水部分)

根据中华人民共和国《环境保护法(试行)》、《水污染防治法》、《海洋环境保护法》和国务院环境保护委员会《关于防治水污染技术政策的若干规定》，为了控制水污染，保护江河、湖泊、运河、渠道、水库和海洋等地面水体以及地下水体水质的良好状态，保障人体健康，维护生态平衡，促进国民经济和城乡建设的发展，特制订本标准。

本标准适用于排放污水和废水的一切企、事业单位。

(1) 标准分级

本标准按地面水域使用功能要求和污水排放去向，对向地面水水域和城市下水道排放的污水分别执行一、二、三级标准。

1) 特殊保护水域，指国家 GB 3838—88《地面水环境质量标准》Ⅰ、Ⅱ类水域，如城镇集中式生活饮用水水源地一级保护区、国家划定的重点风景名胜区水体、珍贵鱼类保护区及其他有特殊经济文化价值的水体保护区，以及海水浴场和水产养殖场等水体，不得新建排污口，现有的排污单位由地方环保部门从严控制，以保证受纳水体水质符合规定用途的水质标准。

2) 重点保护水域，指国家 GB 3838—88Ⅱ类水域和《海水水质标准》Ⅱ类水域，如城镇集中式生活饮用水水源地二级保护区、一般经济渔业水域、重要风景游览区等，对排入本区水域的污水执行一级标准。

3) 一般保护水域，指国家 GB 3838—88Ⅳ、Ⅴ类水域和《海水水质标准》Ⅲ类水域，如一般工业用水区、景观用水区及农业用水区、港口和海洋开发作业区，排入本区水域的污水执行二级标准。

4) 对排入城镇下水道并进入二级污水处理厂进行生物处理的污水执行三级标准。

对排入未设置二级污水处理厂的城镇下水道的污水，必须根据下水道出水受纳水体的功能要求按 2) 和 3) 条规定，分别执行一级或二级标准。

(2) 标准值

本标准将排放的污染物按其性质分为二类。

表 3-12 第一类污染物最高允许排放浓度 mg/l

序 号	污 染 物	最高允许排放浓度	序 号	污 染 物	最高允许排放浓度
1	总 汞 ^①	0.05	6	总 砷	0.5
2	烷基汞	不得检出	7	总 铅	1.0
3	总 镉	0.1	8	总 镍	1.0
4	总 铬	1.5	9	苯并(a)芘 ^②	0.00003
5	六价铬	0.5			

① 烧碱行业（新建、扩建、改建企业）采用 0.005mg/l。

② 为试行标准，二级、三级标准区暂不考核。

1) 第一类污染物，指能在环境或动植物体内蓄积，对人体健康产生长远不良影响者，含有此类有害污染物质的污水，不分行业和污水排放方式，也不分受纳水体的功能类别，一律在车间或车间处理设施排出口取样，其最高允许排放浓度必须符合表 3-12 的规定。

2) 第二类污染物，指其长远影响小于第一类的污染物质，在排污单位排出口取样，其最高允许排放浓度必须符合表 3-13 的规定。

表 3-13

第二类污染物最高允许排放浓度的标准值

mg/l

污 染 物	标 准 分 级				三级标准
	一 级 标 准		二 级 标 准		
	规 模				
	新扩改	现 有	新扩改	现 有	
1 pH 值	6~9	6~9	6~9	6~9*	6~9
2 色度 (稀释倍数)	50	80	80	100	—
3 悬浮物	70	100	200	250**	400
4 生化需氧量 (BOD ₅)	30	50	60	80	300***
5 化学需氧量 (COD _{Cr})	100	150	150	200	500***
6 石油类	10	15	10	20	30
7 动植物油	20	30	20	40	100
8 挥发酚	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0
9 氰化物	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
10 硫化物	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
11 氨氮	15	25	25	40	—
12 氟化物	10	15	10	15	20
	—	—	20****	30****	—
13 磷酸盐 (以 P 计)①	0.5	1.0	1.0	2.0	—
14 甲醛	1.0	2.0	2.0	3.0	—
15 苯胺类	1.0	2.0	2.0	3.0	5.0
16 硝基苯类	2.0	3.0	3.0	5.0	5.0
17 阴离子合成洗涤剂 (L, AS)	5.0	10	10	15	20
18 铜	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
19 锌	2.0	2.0	4.0	5.0	5.0
20 锰	2.0	5.0	2.0*****	5.0*****	5.0

① 为排入蓄水性和封闭性水域的控制指标。

* 现有火电厂和粘胶纤维工业，二级标准 pH 值放宽到 9.5。

** 磷肥工业悬浮物放宽至 300mg/l。

*** 对排入带有二级污水处理厂的城镇下水道的造纸、皮革、食品、洗毛、酿造、发酵、生物制药、肉类加工、纤维板等工业废水，BOD₅ 可放宽至 600mg/l，COD_{Cr} 可放宽至 1000mg/L。具体限度还可以与市政部门协商。

**** 为低氟地区（系指水体含氟量 < 0.5mg/l 允许排放浓度）。

***** 合成脂肪酸工业新扩改为 5mg/l，现有企业为 7.5mg/L。

3. 火电厂大气污染排放标准

根据我国大气二氧化硫及酸雨污染日趋加剧，火电厂是排放二氧化硫的重点行业的特点，对 1997 年 1 月 1 日起待审查批准环境影响报告书的新、扩、改建火电厂实行二氧化硫的全电厂排放总量与各烟囱排放浓度的双重控制。同时考虑到推动火电厂高效静电除尘器应用，另外，根据近几年我国已开始改进锅炉低氮燃烧技术，为促进该技术推广发展，及

是控制火电行业氮氧化物的排放,1996年3月,我国颁布了GB 13223—1996《火电厂大气污染物排放标准》,以替代1991年颁布的GB 13223—91《燃煤电厂大气污染物排放标准》。主要内容如下:

(1) 年限划分

标准将火电厂按年限划分为以下三个时段

Ⅰ时段——1992年8月1日之前建成投产或初步设计已通过审查批准的新、扩、改建火电厂;

Ⅱ时段——1992年8月1日起至1996年12月31日期间环境影响报告书通过审查批准的新、扩、改建火电厂,包括1992年8月1日之前环境影响报告书通过审查批准、初步设计待审查批准的新、改、扩建火电厂;

Ⅲ时段——1997年1月1日起环境影响报告书审查批准的新、扩、改建火电厂。

(2) 烟尘排放标准

火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度是以出口过量空气系数 α 为1.7(第Ⅰ、Ⅱ时段)或1.4(第Ⅲ时段)时的固态排渣煤粉炉为基础而定的。

第Ⅰ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度和烟气黑度按表3-14规定执行。

表 3-14 第Ⅰ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度和烟气黑度 mg/m^3

分 类	燃料收到基灰分 $A_{ar}, \%$							烟气林格曼 黑度 (级)
	$A_{ar} \leq 10$	$10 < A_{ar} \leq 20$	$20 < A_{ar} \leq 25$	$25 < A_{ar} \leq 30$	$30 < A_{ar} \leq 35$	$35 < A_{ar} \leq 40$	$A_{ar} > 40$	
电除尘器 ^①	200	300	500	600	700	800	1000	1
其它除尘器 ^②	800	1200	1700	2100	2400	2800	3300	1

① 也适用于袋式除尘器。

② 其它除尘器包括文丘里、斜棒栅、泡沫、水膜、多管、大旋风等除尘器。

第Ⅱ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度和烟气黑度按表3-15规定执行。

表 3-15 第Ⅱ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度和烟气黑度 mg/m^3

分 类	燃料收到基灰分 $A_{ar}, \%$							烟气林格曼 黑度 (级)
	$A_{ar} \leq 10$	$10 < A_{ar} \leq 20$	$20 < A_{ar} \leq 25$	$25 < A_{ar} \leq 30$	$30 < A_{ar} \leq 35$	$35 < A_{ar} \leq 40$	$A_{ar} > 40$	
670t/h 及以上、 或在县及县以上 城镇规划区内的 火电厂锅炉	150	200	300	350	400	450	600	1
670t/h 以下且 在县规划区以外 地区的火电厂锅 炉	500	700	1000	1300	1500	1700	2000	1

第Ⅳ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度按表 3-16 规定执行。

表 3-16

第Ⅲ时段的火电厂锅炉最高允许烟尘排放浓度

mg/m³

分 类	烟尘最高允许排放浓度
在县及县以上城镇规划区内的火电厂锅炉	200
在县规划区以外地区的火电厂锅炉	500
第Ⅰ时段的在县及县以上城镇规划区内、1997年1月1日后还有10年及以上剩余寿命的火电厂锅炉 ^①	600

① 剩余寿命=设计寿命-累计运行时间。

液态排渣煤粉炉、旋风炉、流化床锅炉执行表 3-14 至表 3-16 时,要先将相应的标准值乘以表 3-17 中的炉型折算系数 K ,再作为该种炉型锅炉的烟尘浓度的标准值。

表 3-17

炉 型 折 算 系 数

炉 型	煤 粉 炉		旋 风 炉		流 化 床 锅 炉	
	固态排渣	液态排渣	立 式	卧 式	沸腾炉及低循环倍率	高循环倍率
K	1.0	0.7	0.5	0.3	0.5	1.0

实测的烟尘排放浓度,应按下式换算为过量空气系数 α 为 1.7 或 1.4 时的浓度值:

$$c_{\text{烟尘}} = c'_{\text{烟尘}} \frac{\alpha'}{\alpha}$$

式中 α' ——实测的除尘器出口过量空气系数;

α ——标准值对应的过量空气系数,第Ⅰ、Ⅱ时段, $\alpha=1.7$,第Ⅲ时段, $\alpha=1.4$;

$c'_{\text{烟尘}}$ ——实测的除尘器出口烟尘浓度, mg/m³;

$c_{\text{烟尘}}$ ——换算到 α 为 1.7 或 1.4 时的实测烟尘排放浓度, mg/m³。

(3) 二氧化硫排放标准

火电厂全厂二氧化硫最高允许排放量按下式计算确定:

$$Q_{\text{SO}_2} = Pu\bar{H}_g m \times 10^{-6}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

$$u_i = \bar{u}_{10} \left(\frac{H_{ei}}{10} \right)^{0.15}$$

$$H_g = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{ei}^2}$$

$$H_{ei} = H_{si} + \Delta H_i$$

式中 Q_{SO_2} ——全厂二氧化硫允许排放量, t/h;

N ——全厂烟囱数；

i ——烟囱序号 ($i=1, 2, \dots, N$)；

$\bar{u}$ ——各烟囱出口处风速的平均值, m/s；

u_i ——第 i 座烟囱出口处环境平均风速, m/s；

$\bar{u}_{10}$ ——地面 10m 高度处平均风速, m/s (采用电厂所在地最近的气象台、站最近五年观测的距地面 10m 高度处的风速平均值, 当 $\bar{u}_{10} < 1.3$ m/s 时, 取 $\bar{u}_{10} = 1.3$ m/s)；

H_g ——全厂烟囱等效单源高度, m；

H_{si} ——第 i 座烟囱的几何高度, m；

H_{ei} ——第 i 座烟囱的有效高度, m；

ΔH_i ——第 i 座烟囱烟气抬升高度, m；

P ——排放控制系数, 按表 3-18 查取；

m ——地区扩散条件指数, 按表 3-18 查取。

表 3-18 排 放 控 制 系 数

地 区	P			m
	I 时段	II 时段	III 时段	
城 市	8.947	7.460	5.802	1.893
丘陵及其它 ^①	13.421	11.936	11.936	1.893
平 原	6.186	3.608	3.608	2.075

① 其它地区指山区、海边及多年平均风速小于 1.0m/s 的地区。

火电厂二氧化硫最高允许排放量按全厂建设规模计算, 所采用的烟囱高度以 240m 为极限, 超过 240m 时, 仍按 240m 计算。第 III 时段的火电厂, 除控制全厂二氧化硫最高允许排放量外, 各烟囱 SO_2 最高允许排放浓度还要同时执行表 3-19 的规定。

表 3 19 第 III 时段火电厂各烟囱 SO_2 最高允许排放浓度

燃料收到基硫分 (%)	≤ 1.0	> 10
最高允许排放浓度 (mg/m^3)	2100	1200

实测的 SO_2 排放浓度, 应按下式换算至 α 为 1.4 时的浓度值:

$$c_{\text{SO}_2} = c'_{\text{SO}_2} \frac{\alpha'}{1.4}$$

式中 α' ——实测的过量空气系数；

c'_{SO_2} ——实测的 SO_2 排放浓度, mg/m^3 ；

c_{SO_2} ——换算至 $\alpha=1.4$ 时的实测 SO_2 排放浓度, mg/m^3 。

(4) 氮氧化物排放标准

第 III 时段火电厂锅炉氮氧化物最高允许排放浓度按表 3-20 执行。

表 3 20

第Ⅲ时段火电厂锅炉氮氧化物最高允许排放浓度

mg/m³

锅炉额定蒸发量 ^①	煤 粉 锅 炉	
	排 渣 炉	固 态 排 渣
≥1000t/h	1000	650

① 锅炉额定蒸发量低于 1000t/h 的暂不要求。

实测的氮氧化物体积浓度按下式换算到 α 为 1.4 时的浓度值：

$$C_{\text{NO}_x} = C'_{\text{NO}_x} \cdot \frac{\alpha'}{1.4}$$

式中 α' ——实测的过量空气系数；

C'_{NO_x} ——实测的氮氧化物体积浓度，%或 $\mu\text{l/l}$ ；

C_{NO_x} ——换算到 α 为 1.4 时的实测氮氧化物体积浓度，%或 $\mu\text{l/l}$ 。

在此标准中，氮氧化物质量浓度以 NO_2 计，按下式将体积浓度换算成质量浓度：

$$1\mu\text{l/l NO}_x = 2.05\text{mg/m}^3 \text{ NO}_x$$

1996 年 12 月，国家环保局颁发文件（环科 [1996] 942 号）对该标准部分内容进行了修改。

复 习 题

1. 环境质量评价标准目前主要用什么标准？
2. 什么叫环境质量标准？为什么制定它？
3. 什么叫排放标准，它与环境质量标准的关系如何？
4. 环境质量标准与基准的区别和联系是什么？
5. 我国大气质量标准主要分几级，主要适用哪类地区？
6. 有一燃煤电厂，排放废气 $8.5 \times 10^5 \text{m}^3/\text{h}$ ，废气中烟尘浓度 $250\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 浓度 $300\text{mg}/\text{m}^3$ ，问该电厂的排气筒应设多高？
7. 有一人造纤维厂的一个车间，排放 CS_2 废气，该车间已建有一个 40cm 高的排气筒，每小时排放 CS_2 废气 $14\text{kg}/\text{h}$ ，现在车间要扩大生产，扩产后 CS_2 排放量将增加到 $20\text{kg}/\text{h}$ ，问排气筒需加高多少才能满足排放标准？

第四章 环境质量现状评价和影响评价概述

第一节 环境质量现状评价概述

对一定区域内人类近期的和当前的活动导致环境质量变化,以及由此变化引起人类与环境质量之间的价值关系的改变进行评价,称为环境质量现状评价。

环境质量的现状反映了人类已进行或当前正在进行的活动对环境质量的影响,由于人类对环境质量的要求,除了要求维持生存繁衍的基本条件外,还要求能满足人类追求安逸舒适的需要,因而对这种影响的评价应根据一定区域内人类对环境质量的取向来进行评价。我们知道,人类对环境质量的要求是多方面的,概括地讲,主要有自然资源、生态、社会经济和生活等。这样,环境质量现状评价就有一个评价内容的问题。

一、环境质量现状评价的内容

(一) 自然资源环境质量评价

人们把大气、水、土壤看作是一种有限的资源,尤其是大气,这是工业化革命以来由于污染事件不断发生而逐渐认识到的。因此,人们在对大气、水和土壤进行评价时注意更多的是污染评价,即评估人类的生产与生活活动所排放出来的各种污染物对大气、水和土壤的污染程度,以及由此对人体健康所造成的危害程度。

(二) 生态环境质量的评价

主要以生态学原理为基础,以保护生态平衡,永续利用自然资源为目的,评估一定区域内生态系统是否处于良性循环状态,以及生态系统被破坏的程度。

(三) 社会经济和生活环境质量评价

该方面的评价可从不同角度进行,如适应人类生活美好舒适的需要,从审美的观点出发,采用一定的评价方法对环境美学价值进行评价,以适应人类健康的需要,可从卫生学的角度进行评价;以社会经济协调发展为目的,可从经济学的角度进行评价。

二、环境质量现状评价的方法分类

随着环境质量评价方法学的发展,出现了很多环境质量现状评价方法,但由于环境质量现状评价的视角是多方位的,至今我国尚未形成统一的评价方法系列,较成熟的主要方法有环境质量指数法、概率统计法、模糊数学法、生物指标法。

这四类方法有区别,但无明显的界限,只是从方法学的阐述上的便利来划分的,表4-1反映了这四类方法的主要区别和联系。

三、环境质量现状评价的基本程序

环境质量现状评价的程序因其目的、要求及评价对象的不同,可能略有差异,但基本过程如下:

表 4-1

环境质量现状评价方法分类

编号	评价方法分类	细 目	逻辑概念	评价因子 (参数) 特点	备 注
1	环境 (质量) 指数法	(1) 一般指数类 (2) 分级指数类	在一定时空条件下 环境质量是确定性的, 可推理的	(1) 理化指标 (2) 通过民意测验或专家咨询取得的评分值	这三类方法可以互相渗透、综合运用
2	概率统计法		在一定时空条件下 环境质量是随机变化的	(1) 理化指标 (2) 通过民意测验或专家咨询取得的评分值	
3	模糊数学法	(1) 模糊定权法 (2) 模糊定级法 (3) 区域环境单元模糊聚类法	环境质量等级的界限是模糊的; 环境质量变化的界限也是模糊的	(1) 理化指标 (2) 通过民意测验或专家咨询取得的评分值	
4	生物指标法	(1) 指示生物法 (2) 生物指数法 (3) 其它	生物与它生存的环境是统一整体; 生物对其生活环境质量变化非常敏感	(1) 生物的生理反应指标 (2) 环境中生物的种、群变化	(1) 生物指标也可用概率统计和模糊数学方法进行分级和聚类 (2) 生物指数也是一种环境指数

1. 确定评价目的

进行环境质量现状评价首先要确定评价目的,主要是指本次评价的性质、要求以及评价结果的作用。评价目的决定了评价区域的范围、评价参数、采用的评价标准。如锦州发电厂的环境质量现状评价的目的是掌握该电厂在不同气象条件下对锦州市的大气污染程度及污染物的分布,为大气污染控制提供依据。因此评价区域重点为锦州市区(在一定气象条件时的下风向),评价参数为 SO_2 、 NO_x 和飘尘,评价标准为大气环境标准。同时,要制定评价工作大纲及实施计划。

2. 收集与评价有关的背景资料

由于评价的目的和内容不同,所收集的背景资料也要有所侧重。如以环境污染为主,要特别注意污染源与污染现状的调查;以生态环境破坏为主,要特别进行人群健康的回顾性调查;以美学评价为主,要注重自然景观资料的收集。

3. 环境质量现状监测

在背景资料收集、整理、分析的基础上,确定主要监测因子。监测项目的选择因区域环境污染特征而异,但主要应依据评价的目的。有关各类监测指标,可参看《环境监测》书籍。

4. 背景值的预测

事先对背景值进行预测有时也是非常必要的。例如在评价区域比较大或监测能力有限的条件下，就需要根据监测到的污染物浓度值，建立背景值预测模式。

5. 环境质量现状的分析

选取适当方法，通过上机运算，指出主要的污染因子、污染程度和危害程度。

6. 评价结论及对策

对环境质量状况给出总的结论，提出建设性意见。

四、环境指数

环境质量现状评价方法经历了以下发展过程：开始是从直觉的感官性状指标，如大气和水的臭味、颜色、透明度等进行描述性评价，以后用单项物理、化学和生物指标进行一定程度的定量评价。从1965年来已发展到用综合性的质量指数来评价一个地区一个环境要素和一个地区多要素的综合环境质量。到目前为止，环境指数法仍是环境质量现状评价的主要方法。

最早的水环境质量指数是在1965年由霍顿(Horton)提出来的，而大气环境质量指数则是在1966年由格林(Green)最早提出的，30年来，又出现了许多种不同类型的指数，在环境质量现状评价中发挥了重要作用。

从狭义的环境保护概念出发，环境质量和环境污染是两个相反的概念。一个环境指数的值设计成随环境质量的提高而递增称作环境质量指数，而指数的值随环境污染程度的增加而递增则应称环境污染指数。这两类指数在环境质量现状评价中均有应用，环境质量指数一般是国内的习惯，而环境污染指数为国外的习惯。

(一) 环境指数的作用

环境监测、调查取得的大量的包括物理、化学和生物方面指标的数据，它们虽然可反映出环境质量的现状，但如把它们直接置于环境管理决策人员或广大民众面前，他们将很难从整体上、宏观上准确了解环境质量的现状。将大量监测数据和资料经过整理、分析和归纳成环境质量指数，用它来表征环境质量状况就比较容易被人理解和接受。建立环境指数，是环境质量现状评价方法的一大进步。具体地说，环境指数有以下作用：

(1) 对评价区域环境质量进行分级，以便于不同区域、不同时期的环境质量进行比较，这有助于环境管理的决策，例如决定污染综合防治方案，制定环境保护规划。

(2) 检查环境标准的执行情况，主要检查环境质量和污染物排放标准的执行状况。

(3) 用于确定区域环境质量现状和分析变化的趋势。

(4) 信息交流向公众报告环境质量状况，必要时根据指数值发出警报。

(5) 有利于科学研究，环境指数将大量的监测数据归纳为少数有规律的指标，便于科研人员进一步探索环境现象的本质。

(二) 用指数法评价时的主要环节

用指数法评价时的有些环节在环境质量现状评价的基本程序中已有讨论，现就用指数法评价的几个重要的、较特殊的问题讨论如下：

1. 确定所要评价的环境要素及其评价参数的依据

(1) 依据环境质量现状评价的目的和要求。所选的评价要素和评价参数应能满足预定

的目的和要求。一般说，做区域环境质量综合评价要求选择较多的环境要素及参数参加评价，以利作出较全面、确切的评价结论。在做环境影响评价的现状评价部分时，选择的环境要素和参数应该是受拟议行动影响的那些内容。

(2) 区域污染源调查和评价所确定的主要污染源和主要污染物。

(3) 评价费用的限额与评价单位可能提供的监测和测试条件。

2. 环境指数的设计、选用和综合

环境质量现状评价应尽可能选择国内或地区范围内已通用的评价指数。这样做的优点是评价结果具有可比性，又节省工作量。其次是选用国内外使用较多、较成熟的指数。在不得已时才自行设计指数。新设计的指数要求物理概念明确，便于解释，同时易于计算。

从指数单元变成分指数，再从分指数转成总指数，这是建立环境指数的一般过程，这里有一个指数综合的问题，综合的常用方法有三种：

(1) 代数叠加：即把每个分指数的权值按1考虑叠加。

(2) 加权平均：可以是分指数和权值的乘积加和取平均，也可以是分指数的幂函数与数值乘积加和再开方平均。

(3) 加权平均兼顾极值：在分指数中往往有个别极大值对环境质量的变化有重要影响。因此，在考虑平均值外还需兼顾极值的情况。

3. 权值的确定

在指数单元综合为分指数，将分指数综合为总指数时，各指数单元或分指数的重要性可以是不同的，这就要赋予不同的权值。依两种情况，采用不同方法定权：

(1) 评价参数为抽象的、宏观的如美学评价参数，综合评价的评价参数如大气、水体等，可采用专家打分法或调查统计法两类定权方法。

(2) 评价参数为具体的、微观的如评价参数为 SO_2 、 NO_x 等，尽量选用客观定量数据作定权因子，选用序列综合法或公式法两类来定权。

4. 环境质量分级

为了评价环境质量的现状，需将指数值与环境质量状况联系起来，建立分级系统。分级系统是依据环境质量评价的目的、调查历史上环境污染状况和环境质量参数实际监测数据的相关关系资料，经过汇总分析，找出环境指数与实际环境污染的定量关系建立起来的。环境质量分级系统应在实用中不断检验、修订、逐步完善，使之较为客观地反映环境质量状况。

环境质量分级系统是评价方法的重要组成部分，实际上是如何使评价结果更准确地反映环境质量的一种手段和标准。一般均按一定的指标对环境指数范围进行客观分段。分段的依据通常是污染物的超标倍数、超标污染物的种数、不同污染物浓度对应的环境影响程度等。

环境质量的高低，主要是从生态状况，尤其是人群健康状况出发。环境质量分级应力求使划分的质量级别与生物、人群健康受环境污染影响的程度相联系。具体方法可采用系统分级法。从污染物浓度分级，综合成环境要素的质量级别，进而再综合成环境单元的质量级别。

划分环境质量等级，通常参照以下分级基准（见表 4-2）。

表 4-2 环 境 质 量 分 级 基 准

分 级	特 点
清 洁	适宜于人类生活和生物生长
未 污 染	各环境要素污染物均不超标，人类生活、生物生长正常
轻 污 染	至少有一个环境要素的污染物超标，除敏感性生物受害外，一般生物生长正常或可能受轻微影响，广大人群健康一般不发生急、慢性中毒
中 污 染	一般 2~3 个环境要素质量指数大于 1，个别要素指数超过 20 以上，生物生长一般均受明显影响，敏感生物受害严重。人群健康受害明显
重 污 染	一般有 3~4 个环境要素质量指数大于 1，个别环境要素指数超过 30 以上，人群健康和生物受害严重，敏感生物不能生长

第二节 环 境 影 响 评 价 概 述

一、环境影响评价的概念

人们的开发行动可能引起物理、化学、生物、文化、社会经济环境系统的改变或新的环境条件的形成，这叫做环境影响。这种影响的后果有时会十分严重，那么，在人们采取对环境有影响的行动之前，在充分调查研究的基础上，识别、预测和评价这种行动可能带来的影响，按照社会经济发展与环境保护相协调的原则事先制定出消除或减轻环境污染和破坏的对策，就能较适当地解决社会经济发展与环境保护之间的矛盾，这种做法叫做环境影响评价，它是一项技术。

二、开发决策与环境影响评价

自然环境是人类社会得以生存和发展的基础，我们总称人类为维持和改善自己生存条件而对自然环境采取的一切行动为人类的开发活动。环境问题的产生，直接与开发行动的环境影响程度有关，而这种影响程度则取决于开发行动的种类、规模、实施的地点和方式。开发行动的种类、规模、地点及方式是开发决策的重要内容。所以开发决策与环境问题密切地联系在一起。

传统的开发决策追求的目标是经济的高速增长。甚至只是相对说较短时期内的经济高速增长，所以决策时所考虑的约束条件只是直接与经济增长有关的那些技术和经济条件，如：交通、市场、原料、劳动力、工艺、设备等；很少甚至完全不考虑对环境的影响，即只对开发活动进行技术经济评价，并在此基础上做出决策。在传统开发决策影响下，19 世纪 60 年代以来的一百多年中，随着经济的不断增长，人类开发行动对环境的影响越来越大，给世界上大部分国家都造成了严重的环境污染，某些甚至还是全球性的，如海洋污染，酸雨和沙漠化等等，与此同时，还产生了资源枯竭的威胁。因此，不改变这种传统的开发决

策，环境问题无法解决，而且将更为严重，直接危及人类生存。

合理的开发决策所追求的目标，应该是人类生活条件不断改善。这里不仅包括由于经济增长带来消费的改善，而且也包括人类生活环境的不断改善，这是一个把人类眼前利益和长远利益结合起来的目標，在这一目标下决策时，不仅需要考虑技术经济条件的约束，而且必须考虑保护环境与保护资源的约束，即对开发活动进行可行性研究时，不仅要进行技术经济评价，同时还必须进行环境影响评价。以确定开发活动对环境的影响和对策，并在这两个评价的基础上进行开发决策。

开发决策中考虑的开发行动受环境保护和资源保护的约束限度，是一个应该认真考虑的课题。开发行动必然会改变环境、消耗资源，但并不一定必然引起环境问题。在亿万年的进化演变过程中，环境系统形成了自身的稳定性和惯性，只要外加的影响不超过一定限度，它就可以保持原状，或在一定时期内恢复原状。因此，能否引起环境问题，关键在于开发行动的类型、规模、地点和方式以及消除或减轻环境影响所采取的措施。认为必须停止经济发展以保护环境观点是行不通的。因为人类只要存在和发展，就要不断改变环境。正确的做法只能是在开发决策时，考虑环境与资源的约束，选择最适当的开发行动种类、规模、地点和方式，以合理的代价协调发展与环境的关系，以达到社会经济高速度发展的同时，避免或最大限度地减少对环境的逆影响。作为开发决策的基础之一，环境影响评价工作应该包括两部分内容，一是对开发行动的环境影响进行预测，即对所评价的开发活动可能造成的环境影响的类型、程度、范围和过程进行预测和评价；二是提出环境对策建设；即在环境预测和评价的基础上，对可能采取的环保措施的费用和效益，进行分析，并权衡开发活动的效益和环境影响的得失。

三、环境影响评价制度

用法律规定环境影响评价是一个必须遵守的制度，叫环境影响评价制度。1969年，美国在国家环保政策法中规定：“申请立法和对人类环境质量具有显著影响的其它重大联邦行动都必须提供详细的环境影响报告书”，美国成为世界上第一个实行环境影响评价制度的国家。环境影响报告书是环境影响评价工作的成果。30年来，环境影响评价制度成为许多国家协调社会经济发展与环境保护之间关系的重要手段。除美国外，加拿大、日本、澳大利亚、荷兰、菲律宾和中国等很多国家也建立了环境影响评价制度。

我国在1979年公布的中华人民共和国环境保护法的第六和第七条中明确规定了环境影响评价制度，这是一项十分重大的环境管理措施。

四、环境影响评价分类

环境影响评价制度规定：“在中华人民共和国领域内的工业、交通、水利、农林、商业、卫生、文教、科研、市政建设、住宅（高层建筑）等对环境有影响的一切基本建设项目，和改建工程、扩建工程、技术改造项目（不含土建设备更新），以及区域开发建设项目，包括引进建设项目（中外合资、中外合作、外商独资的建设项目），都必须执行环境影响报告书的审批制度。这些开发建设项目，按其规模、性质，可分为单项建设项目和区域开发建设项目两类环境影响评价。这两类环境影响评价工作的技术要求及规范，各有其侧重点。

（一）单项建设项目环境影响评价

冶金、矿山、石油、化工、电力、轻纺、港口建设、核电站等新建、改建、扩建和进行技术改造的项目的环境影响评价工作具有较明确的目的,它根据建设项目规划设计资料,在可行性研究阶段,对厂址和工程进行论证。预测建设项目可能对环境造成的近期或远期影响,对拟采取的防治措施进行评价。论证和选择技术可行、经济、布局上合理,对环境的有害影响较小的最佳方案。经过论证,如认为对环境影响不大,或虽有一定影响,但经过采取防治措施能弥补的,可以同意建设项目上马。如认为对环境影响很大,即使采取防治措施也是难以补救的,就不能同意建设,应考虑另外选址或取消项目。

改建、扩建和进行技术改造的工程,在项目设计的规划阶段,还应考虑对建设项目有关的原有污染,在经济合理的条件下,同时进行治理。

(二) 区域环境影响评价

《中华人民共和国环境保护法(试行)》规定:“在老城市改造和新城市建设中,应根据气象、地理、水文、生态等条件,对工业区、居民区、公用设施、绿化地带等作出环境影响评价,全面规划,合理布局,防止污染和其它公害,有计划地建设成为现代化的清洁城市”。

区域不限于城市,还包括工矿区、农业区、牧业区、林业区、风景游览区、渔业区、流域综合开发区、自然保护区等。

区域环境影响评价主要是在调查环境现状的基础上,进行大气扩散规律、水体和土壤自然净化能力的研究。根据社会经济发展规划,预测区域开发中可能出现的环境问题,并提出功能分区,工业合理布局以及防治环境污染、环境破坏的相应对策,它为政府环保和有关部门制定经济发展和工业布局规划、环境规划、环境管理措施、立法和经济措施提供科学依据。实现资源、人口、环境与经济增长之间的和谐发展。

五、环境影响评价的程序

根据国家有关环境保护法规和法律,环境影响评价工作应遵循两个程序:

(一) 环境影响评价管理程序

该程序见图 4-1,这个程序规定了环境影响评价任务的确定及对环境影响报告书的审批、生效或返工以及报告书结论的验证等行政管理上必须完成的工作。

(二) 环境影响评价的技术工作程序

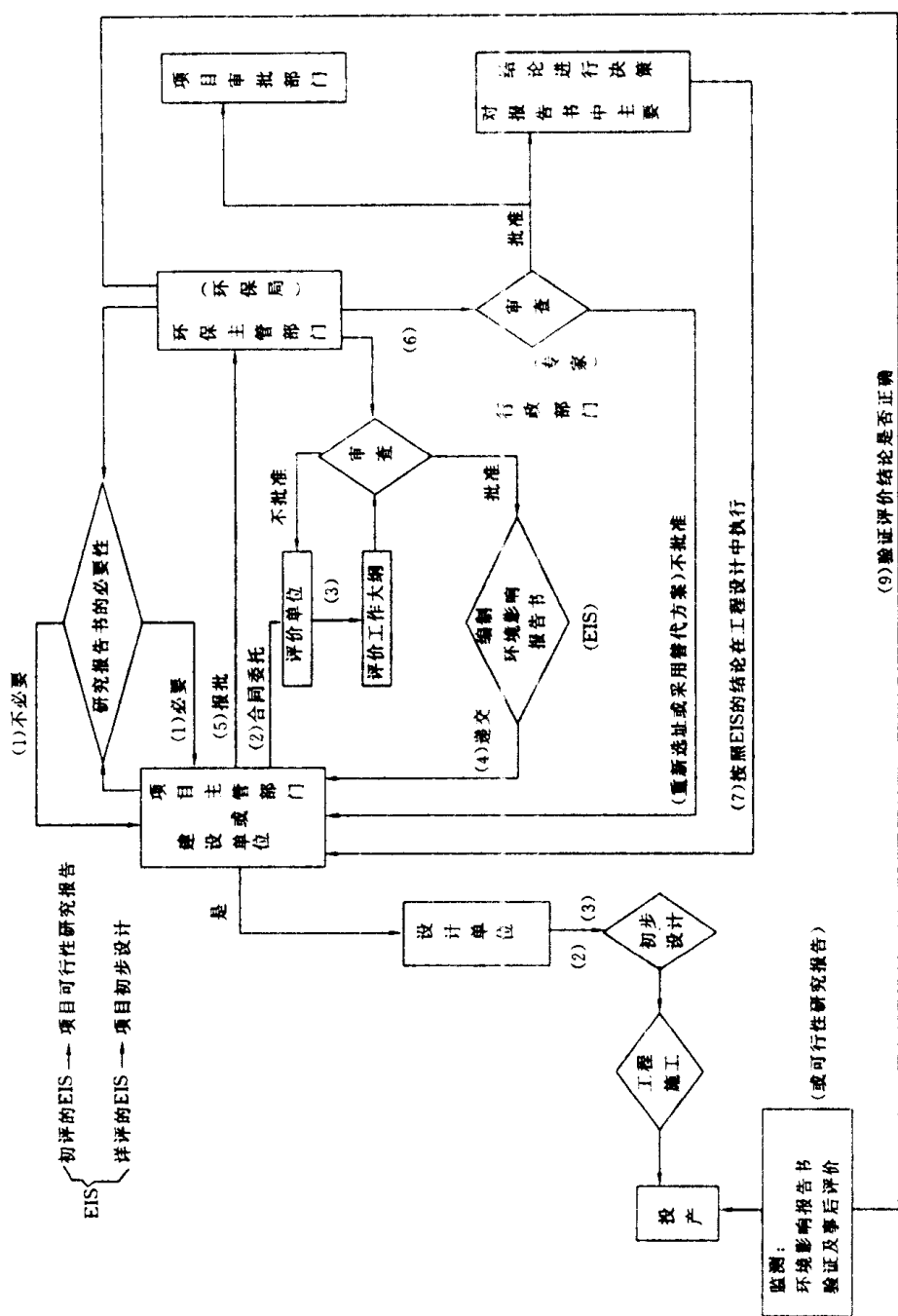
程序见图 4-2。环境影响评价是一个涉及面广、综合性强、由多学科参加的技术工作。其工作量大小、内容繁简、工作的深度和广度将随开发行动规模与当地环境状况的不同而异,但技术工作的基本程序,一般须经历前期准备、总体设计、组织实施与报告书编制四个阶段。

1. 前期准备阶段的工作

(1) 建设单位向环保管理部门提交建设计划与有关文件资料。主要有开发方案、建设布局、排放的主要污染物种类、性质、数量以及拟采取的环境措施。其目的是供环保部门确定环境影响评价的要求,委托任务书。

(2) 建设单位根据环保部门要求,提出委托任务书。

(3) 承担评价任务的单位编写评价大纲。评价工作大纲中规定了评价的等级、评价范



制、评价标准、工程分析的内容、环境现状评价的内容和方法、环境影响预测的方法及要求、环境经济分析的要求等。

2. 总体设计的工作

主要是根据已审批的评价工作大纲编制实施计划，规定了评价项目的分解，分项目承担单位的任务，进度网络计划以及费用预算等。

3. 组织实施阶段

是环境影响评价的关键。

4. 编制评价报告书阶段

将各部分评价结果汇总，进行综合分析。

六、环境影响评价的基本环节

由图 4-2 可知，环境影响评价包含许多环节，以下讨论三个主要内容。

(一) 环境影响的识别

环境影响的识别就是要解决开发行动的哪些活动或建设项目的哪些事项会对哪些环境要素的质量参数产生影响，影响的特征如何等问题。

1. 开发行动或建设项目的工程分析

首先要弄清工程情况和污染物的产生和去向，因此，认真细致、全面具体地进行工程分析，准确地掌握各个生产工序排放污染物的种类、数量、组成，以及对环境可能造成影响的的各种活动，并正确地进行评价，是环境影响评价的基础。建设项目性质不同，工程分析的重点也不同。燃煤电厂是以排放污染物为主的工业建设项目，工程分析的主要内容有：

(1) 生产操作过程

1) 可以利用生产流程图，分析正常（连续）、间隙、全负荷、半负荷等各种工况条件下，各种废弃物排放方式、次数、持续时间和排放量，并尽量在流程图的有关部位加以标明。另外，必须说明不同季节和物料变更时，出现的最高污染负荷及其周期。

2) 根据各种工况的流程图，作出原料、添加剂、产品、中间产物和废弃物的物料平衡图，并测算出各种废弃物的组份、浓度。

3) 当上述设计资料不齐备时，亦可参照同类型装置的实测数据近似推算。

(2) 原料（包括辅助原料）处理过程

根据建设项目直接有关的原料处理操作（装卸、运输、预处理、储存等），分析各种条件下的污染物。

(3) 能源源强

列出燃料平衡图，分析各种工况条件下各种废弃物的排放方式、数量、组分。

(4) 运输过程

按照运输特点（海运、内河水运、铁路、公路与管道），分析各种运输条件下可能产生的污染物及清扫排放物的处理方式。

(5) 废弃物的处理与控制过程

根据上述各过程排放的废弃物，分析采取防治措施后（如综合回收、物化、生化等方法），最终排入环境的污染物数量、组成。

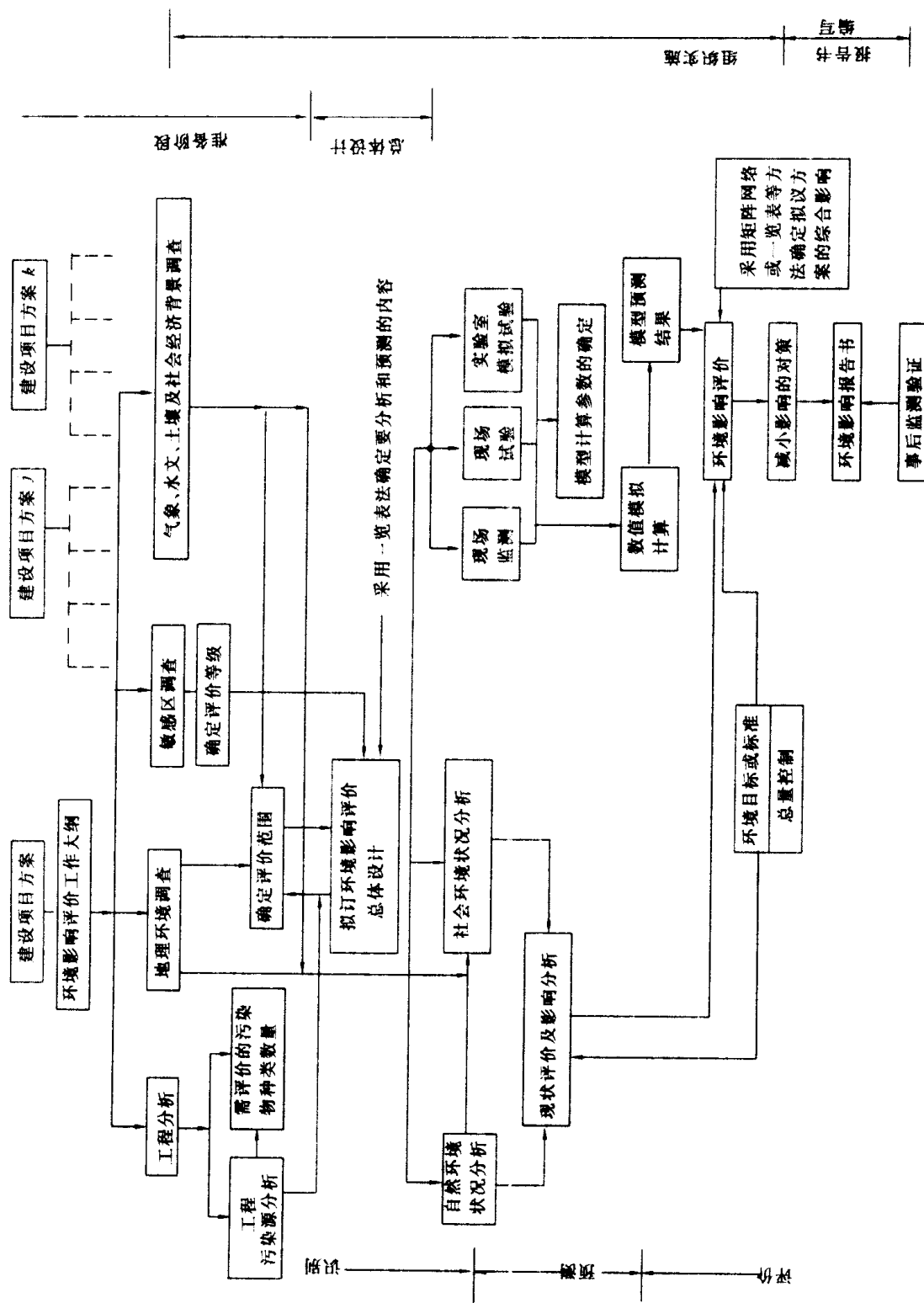


图 4-2 环境影响评价技术工作程序

(6) 事故预测

可根据历史记载, 以及有经验的操作人员判断, 对生产装置的偶然事故和不测事故的潜在危害作出估计, 并对下述情况力求定量描述:

1) 确定任何有潜在危险物质的位置、储存和生产中使用的数量。

2) 确定发生任何事故时, 可能对周围环境带来危害的范围。

3) 确定导致事故的可能途径, 诸如误操作、设备年久失修、腐蚀、生产失控、加料过多、杂质、满溢、失火、爆炸, 并判别出现事故的几率、危害后果以及拟采取的防范措施。

2. 受影响范围内环境质量现状的描述

对评价区域内环境质量现状的描述和评估的目的是提供开发行动或项目建设前环境状况的基线水平, 它也是比较不同拟议行动方案环境影响的基准。

与开发行动有关的环境要素很多, 一般包括以下几方面的描述和评价:

1) 地理环境状况;

2) 大气环境状况;

3) 水环境, 含水的用途、水的供应和水质、水生生态及底质现状;

4) 噪声现状;

5) 固体废弃物的处置与处理;

6) 环境辐射状况;

7) 土壤中有害有毒物质水平;

8) 能源与自然资源的开发利用;

9) 自然生态, 如植被和野生生物的栖息地状况、种群多样性等;

10) 土壤和地质条件;

11) 土地的使用和管理状况, 如娱乐、居住、商业和工业用地的分配, 名胜古迹的保护等;

12) 社会经济状况等。

一般来说, 以排放污染物为主的建设项目主要是对前七个方面的影响。

3. 识别被开发行动或建设项目所改变的环境因素

(1) 污染效应

1) 大气质量: 是否有有害有毒物或大量其它污染物排入大气? 对大气质量产生什么影响? 影响程度如何? 会不会引起大气质量退化? 会不会改变大气的物理化学组成?

2) 水质: 对水的用途、水的供应和水的质量产生什么影响? 影响程序如何? 是否引起海水污染? 会不会影响水生贝壳类的生活环境和渔业生产? 是否把有害有毒物质或固体废物排入水体, 是否明显增加水体的沉积物? 对水体的温度有无显著影响?

3) 噪声: 是否产生附加噪声? 对附近的居民或野生生物可能发生什么影响? 所产生的噪声的性质和强度以及对当地的干扰程度如何?

4) 固体废弃物: 对固体废弃物的产生、管理有什么影响? 产生哪些类型的固体废弃物?

5) 辐射: 是否产生声、热和能的辐射? 是否产生电磁效应或放射效应、机械振动或其它干扰当地及毗邻地区的热、电和微波辐射?

6) 有害物质：可否产生有毒、有害、易爆物质和其它可能的有害物质？

(2) 能源和自然资源

是否要大量的不可更新的能源？

对电力的生产传输和使用有何影响？

是否影响石油的开采、精炼、运输和使用，是否影响天然气的开发、生产、传输和使用？是否影响煤和矿物的开采、储运、管理、收获、运输和使用？

是否影响能源和自然资源的保护？

产生什么样的能源需求、使用和分配方式？

(3) 土地的使用和管理

1) 娱乐场地：对公园或其它具有重大景观、游览价值的地区有何影响？

2) 名胜古迹的保护：对政府已备案或即将备案的具有考古学价值的地点或资源有无显著影响？

3) 美学：是否损害该地特有的景物？是否改变当地的美学质量？

(4) 社会经济

是否破坏现有的土地使用？是否改变该地的经济基础？是否增加交通量而加剧交通堵塞？是否增加人口密度？是否影响街区特点和街区之间的联系？是否会增加就业机会？会不会引起住房、家庭和企事业单位迁移？是否需要增加新的公共服务设施？对该地区居民生活质量有何影响？对当地政府财政收支有无显著影响？是否诱发人口、工商业增长或全面的经济增长？

一项开发行动对环境的影响是多方面的，人们不可能对可识别出的所有影响加以分析，预测和评价，以上仅对电力工业生产建设（燃煤电厂）的环境影响有关方面予以讨论，不同的开发行动，其环境影响的识别的重点应有所不同。

七、环境影响的预测

环境影响预测的任务主要是事先估计或拟议开发行动或建设项目所产生的环境因子变化的量和空间范围及其它们在时间的变化阶段的情况等。

近十几年来已发展了各种各样的预测手段和模型，其中气质和水质预测模型的定量性好且也较成熟，而土壤和生物环境影响预测的模型定量性较差。值得注意的是，即使定量性好的模型也往往都是数值解或近似解，这正是目前某些通用预测模型的精确性同其实用性之间存在的不可调和矛盾的原因所在。对于文化和景观环境影响主要是采用专家经验判断的方法。大部分社会经济方面的预测主要是根据专家的经验 and 历史趋势外推。基于上述情况，有的学者提出了一种自适应影响预测法。一种被广泛使用的自适应性处理方法是自适应的环境评价和管理程序(AEAM)，该程序把预测影响的方法与处理不确定性手段结合在一起。

八、环境影响评价

在影响识别、预测基础上对环境影响进行评价，通过评价比较出各个比选方案的优劣，从而提出优选方案推荐给决策部门。

环境影响评价通常包含以下主要环节：

(1) 将影响预测的结果与环境质量现状（拟议活动的影响尚未施加于各环境要素之前）进行比较，确定发生显著影响的时间和期限、影响的范围、时间跨度，还要区分影响是可逆的还是不可逆的。然后分别判断这些影响是否被接受。对于气质、水质和噪声等影响可依据环境标准和基准进行判断，而对土地利用方式变化及其对动、植物种的后果则较困难。

(2) 把单项环境要素影响评价的结果综合起来进行总的评价。影响的综合涉及到要用共同的单位来表示不同性质的影响，另外还要确定各个影响的权重。

对于很多工业建设项目，其影响的环境要素较少，将单项要素的评价结果分别列出就可说明问题。而对于很多大型的水利工程、港口建设影响和矿山开发等涉及的环境要素很多，此时，综合评价是必须的。

(3) 对拟议开发行动或建设项目产生的环境影响如果不能被接受，则可以否定该行动或项目，也可以提出消除或减轻环境影响的措施，使环境影响控制在允许的范围内，或者采取其它替代方案。何者更合理，应通过环境经济分析，从社会、经济和环境总体效益最好作为判据。所以在环境影响评价工作中环境经济和社会效益评价是基本的组成部分。

(4) 提出拟议行动环境保护对策建议。

复 习 题

1. 什么是环境质量现状评价？为什么要进行现状评价？
2. 选择环境质量评价的环境要素及其评价参数的依据是什么？
3. 进行环境质量现状评价前的准备工作含哪些主要内容？
4. 什么叫环境质量指数？它的用途是什么？
5. 什么叫环境影响？
6. 什么叫环境影响评价？
7. 简述环境影响评价和环境质量现状评价的区别和差异。
8. 什么是环境影响评价制度？
9. 开发决策与环境影响评价的关系如何？
10. 建立环境影响评价工作程序的目的是什么？具体程序如何？
11. 环境影响评价的基本环节有哪些？
12. 环境影响评价工作中的拟建项目工程分析的重要性是什么？主要有哪些环节？

第五章 大气环境质量评价

第一节 大气环境质量现状评价

描述和反映大气环境质量现状既可从化学的角度,也可以从生物学、物理学和卫生学的角度,它们都从某一方面说明了大气环境质量的好坏。由于我们最终保护的是人,以人群效应来检验大气质量好坏的卫生学评价可能更科学更合理一些。但这种方法难以量化,所以目前用得最多最普遍的是监测评价,即用环境指数的评价方法。

一、一般型大气环境指数评价方法

这类指数首先计算数值,然后按分级系统确定大气质量等级。

(一) 格林大气污染综合指数

1966年美国的格林以二氧化硫和烟雾系数(间接表示空气中颗粒物的浓度)为参数,建立了SO₂污染指数(I₁)和烟雾系数(COH)及污染指数(I₂)

$$I_1 = a_1 s^{b_1} = 84.0 s^{0.431}$$

$$I_2 = a_2 c^{b_2} = 26.6 c^{0.576}$$

然后将两个污染指数加以平均,得到综合污染指数(I):

$$I = \frac{1}{2}(I_1 + I_2) = 42.0 s^{0.431} + 13.3 c^{0.576}$$

式中 s ——SO₂ 实测日平均浓度, 10⁻⁶g/g;

c ——实测日平均烟雾系数, COH 单位/305m;

a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 ——确定指数尺度的常数。

格林对SO₂和COH建设用希望、警戒和极限三级水平的日平均数值(见表5-1)作为假设标准,并规定当SO₂和烟雾系数达到希望、警戒和极限水平时,污染指数分别为25、50和100。因此,该指数可做如下分级:

表 5-1 格林的SO₂和COH日平均浓度标准

污 染 物	希望水平	警戒水平	极限水平
SO ₂ (ppm)	0.06	0.3	1.5
烟雾系数 (COH 单位/305m)	0.9	3.0	10.0
污染指数	25	50	100

当 $I < 25$ 时, 空气清洁而安全; $I > 50$ 时, 空气有潜在危险性; I 值达 50、60、68 时, 应分别发出一、二、三级警报, 采取减轻污染的有关措施; $I = 68$ 时, 相当于煤烟型大气污染事件的水平。

COH 与颗粒物浓度有函数关系, 粗略地说, $1\text{COH} \approx 125\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{TSP}$ (美国), 该指数适

用于我国北方冬季或以燃煤为主要污染源的场合，由于我国反映烟尘污染水平的参数一般取飘尘，当飘尘浓度单位取 mg/m^3 时，COH 约是它的 10 倍，换算后便可计算格林大气污染综合指数，从采用的标准看，该指数显然可用于评价大气质量的逐日变化的评价。

(二) 北京西郊的大气环境质量系数

在进行北京西郊的环境调查、研究工作中，曾进行了大气环境质量评价，他们使用统一形式的公式来评价大气、地面水、地下水等，其通式如下：

$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中 P ——环境质量系数；

P_i —— i 污染物的污染指数；

C_i —— i 污染物的实测浓度；

S_i —— i 染物的评价标准；

n ——污染物种类数。

他们只用飘尘和二氧化硫为评价参数。按我国规定的居民区大气日平均最高允许浓度标准 $S_{\text{飘尘}} = 0.15\text{mg}/\text{m}^3$, $S_{\text{SO}_2} = 0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 。

在作出飘尘和 SO_2 浓度等值线分布图的基础上，采用微分面积叠加法（方格网）计算各部位的大气环境质量系数（ $P_{\text{大气}}$ ）值，并提出下列分级标准，见表 5-2。

表 5-2 北京西郊大气质量分级标准

$P_{\text{大气}}$	0~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~4.5	4.5~10	>10
级 别	清洁	微污染	轻污染	中污染	重污染	严重污染

(三) 南京大气质量指数

在南京城区环境质量综合评价中，采用了统一的公式计算各种环境要素质量，当

$$\sum_{i=1}^k W_i \neq 1$$

$$Q_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^k W_i} \sum_{i=1}^k W_i \cdot P_i$$

式中 Q_i ——大气质量指数；

P_i ——污染指数，其表达式为 $\frac{C_i}{S_i}$ ；

C_i —— i 污染物实测浓度；

S_i —— i 污染物评价标准；

W_i —— i 污染权重值（本评价中取 $W_i = 1/3$ ）；

k ——污染物的个数。

他们共选了三个评价参数，即 SO_2 、 NO_2 、降尘。其评价标准是：

SO ₂	0.15mg/m ³
NO ₂	0.10mg/m ³
降尘	8.0t/(km ² ·m)

根据各监测点的监测数据和计算的指数值，先绘制等值线图，然后再做等污染指数值，其分级标准见表 5-3。

表 5 3 南京大气环境质量指数分级标准

Q _i	<0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.0	>1.0
级 别	清洁	尚清洁	轻污染	中污染	重污染

(四) 上海大气质量指数 (I₁)

该指数由上海第一医学院姚志麒教授提出来的，他认为，如果采用 $\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{S_i}$ 时存在下述不足，假如大气中有一个污染物浓度不高，甚至很低，这时按平均值计算得到的指数并不高，从而掩盖了高浓度污染物的污染情况。而事实上，当大气中出现任何一种污染物的严重污染，都有可能引起较大的危害，因此在设计指数时，除了考虑平均值外，也要适当考虑 $\frac{C_i}{S_i}$ 中的最大值。他将大气质量指数表示为 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)$ 平均和 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)$ 最大值的函数。令纵坐标 y 代表 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)$ 平均，横坐标 x 代表 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)$ 最大，则大气污染的程度或大气质量可用 x 和 y 轴平面上的一个点 $P(x, y)$ 来表示。 x 和 y 值越大，大气质量越差，反之则越小。因此大气质量指数与 $\sqrt{x^2 + y^2}$ 成比例，即：

$$I'_1 = \alpha \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$= \alpha \sqrt{\left(\max \left| \frac{C_1}{S_1}, \frac{C_2}{S_2}, \dots, \frac{C_k}{S_k} \right| \right)^2 + \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{S_i} \right)^2}$$

式中 α ——比例常数，当各个 $\frac{C_i}{S_i}$ 值均等于 1 时，令： $I'_1=1$ ，则 $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 。

将 α 代入 I'_1 式中：

$$I'_1 = \sqrt{\frac{\left(\max \left| \frac{C_1}{S_1}, \frac{C_2}{S_2}, \dots, \frac{C_k}{S_k} \right| \right)^2 + \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{S_i} \right)^2}{2}}$$

考虑到 x 只是几个 $\frac{C_i}{S_i}$ 值中的一个最高值，而 y 则代表全体 $\frac{C_i}{S_i}$ 的平均值，因此认为在适当兼顾最高值的原则下，可考虑对平均值加较大的权，当最高 $\frac{C_i}{S_i}$ 值与平均 $\frac{C_i}{S_i}$ 值相差悬殊，即 $\frac{x}{y}$ 越大时，应给平均值加上越大的权重，他们定 x 的权为 1， y 的权为 $\frac{x}{y}$ ，则可得大气质量指数 (I_1) 的计算公式：

$$I_1 = \frac{(1)x^2 + \left(\frac{x}{y}\right)y^2}{1 + \frac{x}{y}} = \sqrt{xy}$$

$$= \sqrt{\left(\max \left| \frac{C_1}{S_1}, \frac{C_2}{S_2}, \dots, \frac{C_k}{S_k} \right| \right) \times \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{S_i}}$$

该指数形式简单，计算方便，适用于综合评价几个污染物共同影响下的大气质量，它可用于评价大气质量长期变化的趋势。同时，沈阳环保所的研究人员参照美国 PSI 值对应的浓度和人体健康的关系对 I_1 值实现了大气污染分级，结果见表 5-4。使该指数可进行大气环境质量逐日变化的评价，目前，它是最通用的大气环境质量现状评价的指数。

表 5-4 上海大气质量指数分级

分 级	清 洁	轻 污 染	中 污 染	重 污 染	极 重 污 染
I_1	<0.6	$0.6 \sim 1$	$1 \sim 1.9$	$1.9 \sim 2.8$	>2.8
大气污染水平	清 洁	大气质量三级标准	警戒水平	警告水平	紧急水平

(五) 橡树岭大气质量指数

它是由美国原子能委员会橡树岭国立实验室 1971 年提出的，它包括五项污染物，即 SO_2 、 NO_2 、 CO 、氧化剂和颗粒物。指数公式为：

$$\text{ORAQI} = \left[5.7 \sum_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \right]^{1.37}$$

式中 C_i —— i 污染物实测 24 小时平均浓度；

S_i —— i 污染物的大气质量标准。

ORAQI 的尺度是这样确定的，当各污染物的浓度相当于未受污染的背景值时，ORAQI = 10，当各种污染物的浓度均达相应标准，即 $C_i = S_i$ 时，ORAQI = 100，式中的系数 5.7 和指数 1.37 就是根据这个尺度条件算出来的。橡树岭国立实验室按 ORAQI 的大小，将大气质量分为六级，见表 5-5。

表 5-5 ORAQI 的大气质量分级

分 级	优 良	好	尚 可	差	坏	危 险
ORAQI	<20	$20 \sim 39$	$40 \sim 59$	$60 \sim 79$	$80 \sim 100$	≥ 100

ORAQI 所选参数较多，可以综合反应大气环境质量，在应用时如低于 5 个参数，可参照 ORAQI 确定的尺度条件加以修正。

(六) 沈阳地区大气质量指数

沈阳地区采用了与橡树岭大气质量指数相似的指数，用于该地区 1978 年前的大气质量现状评价，表达式为：

$$AQI = \left[3.2 \times 10^{-6} \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{S_i} \right]^{-0.36}$$

式中 AQI——沈阳大气质量指数；

C_i —— i 污染物实测的日平均浓度， mg/m^3 ；

S_i —— i 污染物的居住区日平均最高允许浓度， mg/m^3 。

该指数共选 5 个评价参数，即 SO_2 、 NO_x 、CO、飘尘、苯并（a）芘。在确定系数时，采用的基本参数见表 5-6，当 C_i 等于背景浓度时， $AQI=100$ ； C_i 等于明显危害浓度时， $AQI=20$ 。中间各级参照美国 PSI 分级进行质量等级的划分，见表 5-7，当 C_i 等于质量标准时， $AQI=60$ 。

表 5-6 沈阳大气质量指数的基本参数

项 目	污 染 物				
	飘 尘 (mg/m^3)	SO_2 (mg/m^3)	NO_x (mg/m^3)	CO (ppm)	苯并 (a) 芘 ($\mu\text{g}/100\text{m}^3$)
	浓 度				
背景值	0.05	0.02	0.01	0.1	0.05
标准值	0.15	0.15	0.13	1.0	0.1
明显危害值	1.0	2.0	1.0	1.2	8.0

表 5-7 沈阳大气质量指数分级

AQI 分 级	81~100	61~80	42~60	35~41	<35
污染程度	清 洁	轻污染	中污染	重污染	极重污染

(七) 大气污染综合指数 (PINDEX)

1970 年由白勃考提出的，当时考虑颗粒物质、 SO_x 、 NO_x 、CO、烃类和氧化剂六项评价参数进行计算，具体过程较烦琐。1971 年，根据美国环保局公布的大气质量标准，对 PINDEX 作了修改，他确定颗粒物质 (PM)、 SO_2 、 NO_x 、CO 和氧化剂为评价参数，具体计算式如下：

$$\text{PINDEX} = \text{PM} + \text{SO}_2 + \text{NO}_x + \text{CO} + \text{O}_3$$

计算时需掌握大气中五项污染物和碳氢化合物的实测数据 (24h 平均浓度)。先按 1g 分子氮氧化物与 1g 分子碳氢化合物在阳光作用下合成光化学氧化剂，算出产生的氧化剂量，加在原实测的氧化剂浓度内，剩余的氮氧化物中，假定一半为 NO_2 ，然后将五项污染物的浓度，分别除以相应的大气质量标准 (24h 平均浓度)，得各污染物的分指数，其总和为 PINDEX 指数，即：

$$\text{PINDEX} = \frac{C_{\text{PM}}}{S_{\text{PM}}} + \frac{C_{\text{O}_2}}{S_{\text{O}_2}} + \frac{C_{\text{NO}_x}}{S_{\text{NO}_x}} + \frac{C_{\text{CO}}}{S_{\text{CO}}} + \frac{C_{\text{O}_3}}{S_{\text{O}_3}}$$

PINDEX 不但可以比较各大城市总体污染的高低,同时从各分指数的比例,还可分析评价区的重点污染物,该指数还可用来权衡多个污染控制方案的利弊得失。

(八) 密特大气质量指数 (MAQI)

这是美国密特公司在美国环境质量委员会委托下研究的一种指数,它以五项污染物为评价参数,采用美国大气质量二级标准对五项污染物规定的不同平均时间九项浓度标准作为计算依据。MAQI 是五项分指数的综合计算结果,计算式如下:

$$\text{MAQI} = \sqrt{I_C^2 + I_S^2 + I_P^2 + I_N^2 + I_O^2}$$

式中 I_C ——CO 的分指数;

I_S ——SO₂ 的分指数;

I_P ——颗粒物质的分指数;

I_N ——NO₂ 的分指数;

I_O ——氧化剂的分指数。

各单一指数的组成考虑了高浓度值的出现,分别表示为

$$I_C = \sqrt{\left(\frac{C_{c8}}{S_{c8}}\right)^2 + \delta_1 \left(\frac{C_{c1}}{S_{c1}}\right)^2}$$

$$I_S = \sqrt{\left(\frac{C_{sa}}{S_{sa}}\right)^2 + \delta_2 \left(\frac{C_{s24}}{S_{s24}}\right)^2 + \delta_3 \left(\frac{C_{s3}}{S_{s3}}\right)^2}$$

$$I_P = \sqrt{\left(\frac{C_{pa}}{S_{pa}}\right)^2 + \delta_4 \left(\frac{C_{p24}}{S_{p24}}\right)^2}$$

$$I_N = \frac{C_{Na}}{S_{Na}}$$

$$I_O = \frac{C_{o1}}{S_{o1}}$$

式中 各项分子 C_i ——实测污染物浓度;

各项分母 S_i ——相应标准;

下角字母 C、S、P、N、O——五种污染物;

下角字母 a——年平均;

24、8、3、1——分别代表 24、8、3、1 小时平均。

δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 为系数,当该系数相应项 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)^2 > 1$ 时, $\delta_i = 1$; 当 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)^2 < 1$ 时, $\delta_i = 0$

将各项分指数代入 MAQI 可得:

$$\begin{aligned} \text{MAQI} = & \left[\left(\frac{C_{c8}}{S_{c8}}\right)^2 + \delta_1 \left(\frac{C_{c1}}{S_{c1}}\right)^2 + \left(\frac{C_{sa}}{S_{sa}}\right)^2 + \delta_2 \left(\frac{C_{s24}}{S_{s24}}\right)^2 \right. \\ & \left. + \delta_3 \left(\frac{C_{s3}}{S_{s3}}\right)^2 + \left(\frac{C_{pa}}{S_{pa}}\right)^2 + \delta_4 \left(\frac{C_{p24}}{S_{p24}}\right)^2 + \left(\frac{C_{Na}}{S_{Na}}\right)^2 + \left(\frac{C_{o1}}{S_{o1}}\right)^2 \right]^{1/2} \end{aligned}$$

计算 MAQI, 必须具备比较完善的监测手段,掌握全年完整的监测数据。MAQI 是用

以评价大气质量长期变化的指数,可每月、季或一年计算一次,每次计算都应取最近12个月内大气监测结果作为原始数据。

(九) 极值指数 (EVI)

极值指数也是美国密特公司研究提出的,用以突出反映一个地区短时间(1~24h)内出现的高浓度污染。因为,由于几小时、一天或几天内出现的特别高浓度的污染值,对人体健康及动植物的影响有时显得更严重,所以对短时间高浓度污染的评价也很重要,美国常以 EVI 和 MAQI 配合使用,它的计算式为

$$EVI = \sqrt{E_c^2 + E_s^2 + E_p^2 + E_o^2}$$

式中 E_c ——CO 的分指数, $E_c = \sqrt{\left(\frac{A_{c8}}{S_{c8}}\right)^2 + \left(\frac{A_{c1}}{S_{c1}}\right)^2}$;

E_s ——SO₂ 的分指数, $E_s = \sqrt{\left(\frac{A_{s24}}{C_{s24}}\right)^2 + \left(\frac{A_{s3}}{S_{s3}}\right)^2}$;

E_p ——颗粒物质的分指数, $E_p = \frac{A_{p24}}{S_{p24}}$;

E_o ——氧化剂的分指数, $E_o = \frac{A_{o1}}{S_{o1}}$;

各项分子 A——一年内某种污染物监测数据中,超过相应标准的历次高浓度的平均值;

分母 S——代表该种污染物的标准;

下角字母和数字——意义同 MAQI。

(十) 加拿大大气质量指数

与前述指数相比,这个由加拿大殷哈伯建议的大气质量指数相对来说复杂一些,它是由三个指数组成——特定污染物指数、城际大气质量指数和工业排放量指数。

1. 特定污染物指数

包括 SO₂、NO_x、CO、氧化剂、颗粒物质和烟雾系数 (COH) 6 个分指数。以颗粒物质的分指数 I_{PM} 为例,按下式计算:

$$I_{PM} = \frac{(C_1 C_2 C_3 \cdots C_n)^{\frac{1}{n}}}{70}$$

式中 n ——每个监测站一个月内监测数据的个数;

C ——各次监测的浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

70——加拿大大气质量标准规定的颗粒物质几何年平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

计算的程序是:当计算出月平均指数后,再计算年平均指数(各月的算术平均),当一个城市设有几个监测站时,将各站指数加以平均,可得全市年平均指数。最后,把全国各城市的年平均分指数按城市人口数加权,即为全国年平均颗粒物质分指数,其余五种污染物的分指数各有计算公式,这里从略。同样,可计算全市、全国污染物的年平均分指数,并进而用下式计算全国某年的特定污染物指数:

$$I_{sp} = \left[\frac{1}{5} (0.5 I_{PM}^2 + 0.5 I_{CO}^2 + I_{SO_2}^2 + I_{NO_x}^2 + I_O^2) \right]^{1/2}$$

2. 城际大气质量指数

又称区域性大气质量指数,它是为评价市区周围的大气质量而设计的。计算时,以各地机构上的能见度为评价参数。表达式如下:

$$I_{reg} = \frac{V_n}{2\bar{V}_n}$$

式中 V_n ——选作基准的北方两航站的平均能见度,这两航站远离主要城市,很少受大气污染;

$\bar{V}_n$ ——某地机场的平均能见度。

3. 工业排放量指数

多用于评价远离市中心的地区,特别是大工厂附近地区的大气质量。所谓工业排放量(考虑 SO_2 和颗粒物),是指加拿大全国的排放量减去各城市地区的排放量。按下式计算:

$$I_{ie} = \frac{F_{ie}}{P_c} \bigg/ \frac{E_i}{P_{can}}$$

式中 F_{ie} ——一个省内工业排放的 SO_2 或颗粒物数量;

P_c ——该省的人口数;

E_i ——全国的 SO_2 或颗粒物排放量;

P_{can} ——加拿大全国人口数。

计算的 I_{ie} 按各省人口加权,计算成全国平均的 SO_2 和颗粒物工业排放量指数,再按下式综合成一个全国工业排放量指数 I_{ie} :

$$I_{ie} = \left[\frac{(I_{ieSO_2})^2 + (I_{iePM})^2}{2} \right]$$

4. 大气质量综合指数

殷哈勃建议对三个分指数分别加权 5, 3, 2, 最后综合成全国大气质量综合指数如下:

$$I_a = \left[\frac{5(I_{sp})^2 + 3(I_{reg})^2 + 2(I_{ie})^2}{10} \right]$$

二、分级型大气环境指数评价方法

这类指数的特点是按评价参数的浓度值划分等级或评分,然后对各评价参数的计分进行综合后评价。

1. 污染物标准指数

污染物标准指数是 1976 年美国公布的,简称 PSI,供各州使用。PSI 选 SO_2 、 NO_x 、CO 氧化物、颗粒物及 SO_2 与颗粒的乘积六个评价参数,PSI 与六个参数的关系是分段线性函数。已知各污染物的实测浓度后,可利用表 5-8,用内插法计算各污染物的分指数,然后选择各分指数中最大者报告为 PSI,也可将表 5-8 制成图,从图上确定分指数。

PSI 是在全面比较六个参数之后,选择污染最重的分指数来报告大气环境质量的,突出了第一参数的作用,使用方便,结果简明。PSI 值分级与人体健康状况对照明确,分级的原则和依据可供其它指数分级时参考。

但在 PSI 表中,只有六个参数,其它污染物的 PSI 值,可参照 PSI 制定分段线性函数的方法,确定其它污染物的 PSI 值与浓度之间的分段线性函数关系,用于其它污染物的 PSI

表 5.8

污染物标准指数(PSI)与各污染物浓度的关系及分级

PSI	大气污染 浓度水平	污 染 物 浓 度						大气 质量 分级	对健康的一般影响	要求采取的措施
		颗粒物 (24h) (μg/m³)	SO ₂ (24h) (μg/m³)	CO (8h) (μg/m³)	O ₃ (1h) (μg/m³)	NO ₂ (1h) (μg/m³)	SO ₂ 和颗粒物 (μg/m³)			
500	显著危害水平	1,000	2,620	57.5	1,200	3,750	480,000	危险性	病人和老年人提前死亡,健康出现不良症状,影响正常活动	全体人群应停留在室内,关闭门窗。尽量减少体力消耗,避免交通
400	紧急水平	875	2,100	46.0	1,00	3,000	393,000		健康人除明显强、剧症状、降低运动耐受力外,提前出现某些疾病	老年人和病人应停留在室内,避免体力消耗,一般人群应避免户外活动
300	警报水平	625	1,600	34.0	800	2,250	261,000	很不健康	心脏病和肺病患者症状显著加剧,运动耐受力降低,健康人群中普遍出现症状	老年人和心脏病、肺病患者应停留在室内,并减少体力活动
200	警戒水平	375	800	17.0	400	1,130	65,000	不健康	易感的人症状有轻度加剧,健康人群出现刺激症状	心脏病与呼吸系统疾病患者应减少体力消耗和户外活动
100	达大气质量一级标准	260	365	10.0	160	*	*	中等		
50	为大气质量一级标准的 50%	75**	80**	5.0	80			良好		
0		0	0	0	0					

* 浓度低于警戒水平时,不报告此分指数;

** 一级标准年平均浓度。

值的预报。

2. 大气监测评价方法

它是中国环境学会环境质量评价专业委员会建设的一种分级评价方法。大气中几种污染物的浓度限值及评分见表 5-9。

表 5-9 大气质量分级和评分表

项 目	分 级									
	第一级(理想级)		第二级(良好级)		第三级(安全级)		第四级(污染级)		第五级(重污染级)	
	标 准 值 评 分									
	范 围	评分	范 围	评分	范 围	评分	范 围	评分	范 围	评分
降尘	≤8	25	≤12	20	≤20	15	≤40	10	>40	5
飘尘	≤0.10	25	≤0.15	20	≤0.25	15	≤0.50	10	>0.50	5
二氧化硫	≤0.05	25	≤0.15	20	≤0.25	15	≤0.50	10	>0.50	5
氮氧化物	≤0.02	25	≤0.05	20	≤0.10	15	≤0.20	10	>0.20	5
一氧化碳	≤2	25	≤4	20	≤6	15	≤12	10	>12	5
总氧化剂 (一次最大)	≤0.05	25	≤0.1	20	≤0.20	15	≤0.40	10	>0.40	5

该评价方法，暂选用监测规范中的降尘、颗粒物、SO₂ 为必评参数，CO、NO_x、O₃ 为自选项目，可任选其中污染最重的一项参加评价，因此，本评价方法共选 4 个参数。

分级评分的计算方法，采用百分制，评分越高，大气质量越好。评价时先由表 5-9 求得各评价参数的评分值 A_i，根据各参数评分值 A_i 求 M，M 值即为大气质量的分数。计算式如下：

$$M = \sum_{i=1}^4 A_i$$

式中 A_i——i 污染物评分值；
M——大气质量分数；
4——评价参数的项数。

M 值应在 20~100 之间，可按表 5-10 分级评价大气质量。该方法可用于一日监测数据的评价，也可用于一个时段，如一月、一季、一年的大气监测数据的评价。在描述大气质量状况时要分别描述本地区一类区、二类区、工业区、整个城市的大气质量状况。

表 5-10 分 级 标 准

M	100~95	94~75	74~55	54~35	34~17
大气质量等级	第一级 (理想级)	第二级 (良好级)	第三级 (安全级)	第四级 (污染级)	第五级 (重污染级)

三、大气污染生物评价方法

植物长期生活在大气环境中，其生理功能与形态特征常常受大气污染作用而发生改变。大气中的某些污染物还可被植物叶片吸收，在叶片中积累。所有这些变化都可在一定程度

上指示大气污染状况。由于植物长期生活在一个固定的地方，因此它指示的大气污染状况具有长期和综合的特点。总的说，植物对大气污染的反应，特别是大气污染物在叶子上造成的可见伤害症状，常用来研究大气污染对植物的作用，评价人类活动对大气环境的影响程度。但由于多种不良生长条件（热、冷、旱、涝、盐、风病虫）及不同种植物对同一污染物的反应不同等因素，大气污染所引起的植物伤害症状往往缺乏唯一性，这就要求开展该方面的评价要具备一定的基础知识和经验，还要有其它方面的资料配合。

1. 各种有害气体对植物伤害症状的鉴别

这是大气污染生物评价的基础，鉴别的方法有：

(1) 根据污染源的排放特征及其位置进行判断

不仅要了解附近工厂企业排放的有害气体种类，并且要了解其排放量、烟囱高低、位置等，判断出何种有害气体是危害的主要原因。

(2) 根据植物叶片上出现的症状进行判断

有害气体危害植物的症状主要表现在叶片上，不同的有害气体往往使植物的叶片出现不同形式的危害症状。因此，除了调查污染源来判断受害原因外，应该根据受害症状的不同，来鉴别造成危害的气体种类。

现将几种常见的有害气体造成的典型症状简述如下：

二氧化硫：症状主要出现在叶脉间，呈现大小不等的，无一定分布规律的点、块状伤斑，与正常组织之间界线明显，也有少数伤斑分布在叶片边缘，或全叶褪绿黄化、幼叶不易受害，伤斑颜色多为土黄或红棕色，但伤斑的形状、分布和色泽因植物种类和受害条件的不同，都会有一定的变化。例如单子叶植物伤斑常沿平行脉呈条状，分布在叶尖或叶片隆起部位，针叶树木受害部位一般从叶尖开始向基部扩展，阔叶树通常在脉间出现不规则的大斑块或斑点，有时伤斑成长条状。

氟化氢：伤斑多半分布在叶尖和叶缘，受害伤斑与正常组织之间有一明显的暗红色界线，少数为脉间伤斑，幼叶易受害。另外，伤斑的分布与叶片的厚薄、叶脉的粗细和走向也有一定的关系，通常侧脉不明显或细弱的叶片受害斑多，连成整块，位置也不固定；侧脉明显的伤斑多分散在脉间；平行脉叶片的受害部位常在叶尖或叶片的隆起部位；叶质厚硬的伤斑常分布在主脉两侧的隆起部位或叶缘；叶片大而薄的伤斑多分布在边缘，常连成大片。

氯气：大多为脉间点块状伤斑，与正常组织之间界线模糊，或有过渡带，严重时全叶失绿漂白甚至脱落。

氨气：大多为脉间点块状伤斑，伤斑呈褐色或褐黑色，与正常组织之间界线明显，症状一般出现较早，稳定较快。

二氧化氮：大多为叶脉间不规则伤斑，呈白色、黄褐色或棕色，有时出现全叶点状斑。

臭氧：大多为叶面散布细密点状斑，呈棕色或黄褐色，少数为脉间块斑。

过氧乙酰硝酸酯：叶片背面变为银白色、棕色、古铜色或玻璃状，不呈点、块状伤斑。有时在叶子的尖端、中部或基部出现坏死带。

乙烯：叶片发生不正常的偏上生长（叶片下垂），或失绿黄化，并常常发生落叶、落花、

落果以及结实不正常的现象。

酸雾（硫酸、盐酸、硝酸等）：叶上出现细密、近圆形坏死斑。

（3）根据叶片内部形态变化及含污量鉴定

当根据外部症状尚不能确定危害的污染物种类时，可以进一步观察叶片内部的形态变化，分析其含量。例如，将受害叶片作横切面观察，受 SO_2 危害的叶片维管束一般看不出明显的影响，而受 HF 危害的叶片导管和韧皮部细胞会受影响而表现红棕色，受 SO_2 危害的细胞收缩变形，原生质变为黄褐色。而被 HF 危害的细胞不明显变形，原生质表现红褐色或红棕色。

叶片含污量分析应该在了解污染源的基础上进行。如有 SO_2 、HF、 Cl_2 、 NH_3 污染源的可以分别分析叶中含硫量、含氟量、含氯量、总氮量或铵态氮等是否增高。

（4）根据受害植物种类的不同来判断污染物的种类

有些植物对不同污染物的抗性和敏感性并不相同，因此根据受害植物种类的不同，也可以判断污染物的种类。表 5-11 给出了对主要污染物敏感的植物及其反应浓度。

表 5-11 对主要污染物敏感的植物及其反应浓度

污 染 物	反 应 浓 度	敏 感 植 物
SO_2	$< 0.25 \sim 0.3\text{ppm}$ 不引起急性中毒， $0.1 \sim 0.3\text{ppm}$ 长期暴露可慢性中毒	紫花苜蓿、大麦、棉花、小麦、三叶草、甜菜、莴苣、大豆、向日葵等
臭 氧	在 $0.02 \sim 0.05\text{ppm}$ 时最敏感植物可产生急性或慢性中毒	烟草、番茄、矮牵牛、菠菜、土豆、燕麦、丁香、秋海棠、女贞、梓树等
PAN	在 $0.01 \sim 0.05\text{ppm}$ 时最敏感的植物产生危害，也可引起早衰	矮牵牛、早熟禾、长叶莴苣、斑豆、番茄、芥菜等
HF	最敏感的植物在 0.1ppm 即有反应在叶中浓度达到 $50 \sim 200\text{ppm}$ 时敏感植物出现坏死斑	唐菖蒲（浅色的比深色的敏感）、郁金香、金荞麦、玉米、玉簪、杏、葡萄、雪松

2. 综合生态指标

可以根据植物种类和生长情况选择一些综合性的指标作为评价参数，然后仔细观察记录这些评价参数的特征，以此划分大气污染等级。表 5-12 是根据树木生长和叶片症状划分的大气污染等级。

表 5-12 大气污染的生物学分级

污 染 水 平	主 要 表 现	污 染 水 平	主 要 表 现
清 洁	树木等生长正常，叶片面积含铅量接近清洁对照区指标	中 污 染	树木生长正常，但可见典型受害症状
轻 污 染	树木生长正常，但所选指标明显高于清洁对照区	重 污 染	树木受到明显伤害、秃尖、受害面积达 50%

第二节 大气环境影响评价

大气环境影响评价可概括为：定量地评价拟开发行动或建设项目建设前大气环境质量的现状，识别开发行动对大气环境的哪些质量参数产生影响和预测建设项目投产后大气质量的变化，解释污染物质在大气中的输送、扩散和变化的规律，提出建设项目和区域环境污染源的控制治理对策。

下面介绍大气环境影响评价主要内容。

一、评价工作级别和范围的确定

1. 评价工作的分级

根据评价项目的主要污染物排放量、周围地形的复杂程度以及当地执行大气环境质量标准等因素，将大气环境影响评价工作划分为一、二、三级。分级依据见表 5-13。表中 p_i 为等标排放量，它是经过对建设项目的初步工程分析，选择 1~3 个主要污染物，由下式计算得到的。

$$p_i = \frac{Q_i}{S_i} \cdot 10^9$$

式中 p_i ——等标排放量， m^3/h ；

Q_i ——单位时间排放量，应符合排放标准， t/h ；

S_i ——大气环境质量标准， mg/m^3 。

表 5-13 评 价 工 作 级 别

p_i (m^3/h) 地 形	$p_i \geq 2.5 \times 10^9$	$2.5 \times 10^9 > p_i \geq 2.5 \times 10^8$	$p_i < 2.5 \times 10^8$
复杂地形	一	二	三
平 原	二	三	三

2. 评价范围的确定

建设项目的大气环境影响评价范围，主要根据项目的级别确定，此外还应考虑评价区内和评价区边界外有关区域的地形、地理特征及该区域内是否包括大中城市的城区、自然保护区、风景名胜区等环保敏感区。一般可取项目的主要污染源为中心，主导风向为主轴的方形或矩形。如无明显主导风向，可取东西向或南北向为主轴。对于一、二、三级评价项目，大气环境影响评价范围的边长，一般分别不应小于 16~20km、10~14km、4~6km。平原取上限，复杂地形取下限。考虑到界外区域对评价区的影响，对于地形、地理特征和排放高度、排放量较大的点源的调查，还应扩大到界外区域，各方位的界外区域的边长大致为评价区域边长的二分之一。

二、大气环境状况调查

1. 地理地形图

收集评价区及界外区的地形图，在该地形图上应标有地表状况，拟建项目厂区、村镇、城市分布，主要厂矿及大型建筑物、构筑物分布，常规气象站和监测站位置等。并划明评价区及界外区范围。

2. 自然环境调查

重点调查当地的长期气候特点，选用地理条件基本一致距建设项目最近的气象台站的气候要素资料（最近5年以上的平均值）。列表载明逐月及全年的气压、气温、降水、湿度、日照、蒸发量、平均风速、主导风向、大风、雷暴、雾日、扬沙等项目内容（其中蒸发量、雷暴、雾日、扬沙等项目视地区气候特点而定）。此外还应简要说明环境水文、土壤、植被概况及特点。

3. 社会环境概况调查

主要说明：评价区及界外区中城镇、村落分布，城市性质，工业结构、农、牧、林业结构，风景旅游点、名胜古迹分布，该地区城市发展规划及环境规划要点等。

4. 大气污染源调查和统计

(1) 评价参数的筛选

在污染源调查中，应根据评价项目的特点和当地大气污染状况对评价参数进行筛选。首先应选择该项目等标污染排放量较大的污染物为主要评价参数，其次，还应考虑在评价区内已造成严重污染的污染物。污染源调查中的污染物数一般不应多于5个。对某些排放大气污染物数目较多的企业，如钢铁企业，其污染物数可适当增加。

(2) 大气污染源调查的对象

对于一、二级评价项目，应包括拟建项目污染源（对改建、扩建工程应包括新、老污染源）及评价区内工业和民用污染源；对于三级评价项目可只调查拟建项目工业污染源。

(3) 拟建项目污染源调查方法

对于新建项目可通过类比调查或设计资料确定；对于改扩建项目的现有工业污染源调查，可以现有的工业污染源调查资料为基础，再对变化情况进行核实、调整。

(4) 一级项目污染源调查内容

1) 按生产工艺流程或按分厂、车间分别绘制污染流程图。

2) 按分厂或车间逐一统计各有组织排放源和无组织排放源的主要污染物排放量。

3) 对改扩建项目的主要污染物排放量应给出：现有工程排放量、新扩建工程排放量，以及预计现有工程经改造后污染物的消减量，并按上述三个量计算最终排放量。

4) 除调查统计主要污染物的正常生产的排放量外，对于毒性较大的物质还应估计其非正常排放量。如点火开炉、设备检修、原燃料中毒性较大成分含量的波动，净化措施达不到应有效率的设备及管理事故等。除极少数要求较高的一级评价项目外，一般只对上述各项中排放量显著增加的非正常排放进行统计。

5) 污染物排放方式。统计时，可将污染源划分为点源和面源。面源包括无组织排放源和数量多，源强、源高都不大的点源。可根据污染源源强和源高的具体分布状况确定点源的最低源高和源强。厂区内某些属于线源性质的排放源可并入其附近的面源，按面源排放统计。

6) 点源调查统计内容。①排气筒底部中心坐标 (一般按国家坐标系) 及分布平面图; ②排气筒高度 (m) 及出口内径 (m); ③排气筒出口烟气温度 (K); ④烟气出口速度 (m/s); ⑤各主要污染物正常排放量 (t/d, t/h 或 kg/h); ⑥毒性较大物质的非正常排放量 (kg/h); ⑦排放工况, 如连续排放或间断排放, 间断排放应注明具体排放时间、时数和可能出现的频率。

7) 面源调查统计内容。将评价区在选定的坐标系内网格化, 可以评价区的左下角为原点; 分别以东和北为正 x 和正 y 轴, 网格的单元, 一般可取 1×1 (km²), 评价区较小时, 可取 500×500 (m²), 建设项目所占面积小于网格单元面积时, 可取其为网格单元面积。然后, 按网格统计面源的下述参数; ①主要污染物排放量 [t/(h · km²)]; ②面源排放高度 (m), 如网格内排放高度不等时, 可按排放量加权平均取平均排放高度; ③面源分类, 如果面源分布较密且排放量较大, 当其高度差较大时, 可酌情按不同平均高度将面源分为 2~3 类。

8) 对排放颗粒物的重点污染源, 除排放量外, 还应调查其颗粒物的密度及粒径分布。

9) 原料、固体废弃物等堆放场所产生的扬尘可作为“风面源”处理。应通过试验或类比调查, 确定其起动风速和扬尘量。

(5) 二、三级评价项目污染源调查内容

对二级评价项目, 污染源调查内容可参照 (4) 进行, 但可适当从简; 对于三级评价项目, 可只调查 (4) 中的 3)、5)、6)、7) 等条内容。

(6) 评价区内其它污染源调查

评价区内其它工业污染源调查的内容, 一般可直接取近期的“工业污染源调查资料”。对于重点污染源, 必要时, 应进行核实, 具体调查项目可参照一级项目污染源调查内容。

民用污染源调查, 主要污染物可限于二氧化硫、粉尘二项, 其排放量可按全年平均燃料使用量估算, 对于有明显采暖和非采暖期的地区, 应分别按采暖期和非采暖期统计。

5. 大气环境质量状况调查

(1) 现有例行监测资料分析

收集评价区内及其界外区各例行大气监测点的近三年监测资料, 统计分析各点各季的主要污染物的浓度值、超标量、变化趋势等。

(2) 大气质量现状监测

监测项目按污染源调查中的主要污染物确定; 监测方法按国家环保局发布的标准方法进行。监测布点, 在评价区内按环境功能区为主兼顾均布性的原则布点。一级评价项目, 监测点不应少于 10 个; 二级评价项目监测点数不应小于 6 个; 三级评价项目, 如果评价区内已有例行监测点可不再安排监测, 否则, 可布置 1~3 个点进行监测。

一级评价项目不得少于二期 (夏季、冬季), 二级评价项目可取一期不利季节, 必要时也应作二期; 三级评价项目必要时可做一期监测。

每期监测时间, 一级评价项目至少应取得有季节代表性的 7 天有效数据, 每天不少于 6 次 (北京时间 02、07、10、14、16、19 时, 其中 10、16 时两次可按季节不同作适当调整)。对二、三级评价项目, 全期至少监测 5 天, 每天至少 4 次 (北京时间 02、07、14、19 时, 少数监测点 02 时实施确有困难者可酌情取消)。

监测应与所规定的气象观测同步进行，对于不需气象观测的三级评价项目应收集其附近有代表性的气象台站各监测时间的地面风向、风速资料。

关于监测结果统计的分析要注意到：各点各期各主要污染物浓度范围，一次最高值，日均浓度波动范围，季日均浓度值，一次值及日均值超标率，不同功能区浓度变化特点及平均超标率，浓度日变化及季节变化规律，浓度与地面风向、风速的相关特点等。

三、污染气象及大气湍流扩散参数的调查分析

(一) 建设项目所在地附近气象台站现有常规气象资料的统计分析

根据气象台（站）距建设项目所在地的距离以及二者在地形、地貌和土地利用等地理环境条件方面的差异确定该气象台（站）的气象资料的使用价值。

对于一、二级评价项目，如果气象台（站）在评价区域内，且和该建设项目所在地的地理条件基本一致，则其大气稳定度和可能有的探空资料可直接使用，其它地面气象要素可作为该点的资料使用。

对于三级评价项目，可直接使用建设项目所在地距离最近的气气象台（站）的资料。

如果不符合一、二级项目中规定条件的建设项目所在地附近的气气象台（站）资料，必须与现场观测资料进行相关分析后方可考虑其使用价值。

相关分析方法可采用分量回归法，即将两地的同一时间风矢量投影在 X 轴（可取东—西向）和 Y （可取北—南向）轴上，然后分别计算其 X 、 Y 方向速度分量的相关。所用资料的样本数不得少于大气边界层平均场参数的观测中规定的观测周期所获取的数量。对于符合上述条件的资料，可根据求得的线性回归系统 a 、 b 值，对气象台站的长期资料进行订正。一级评价项目，相关系数 r 不宜小于 0.45，二级评价项目不得小于 0.35。

调查期间：对于一级评价项目，至少应为最近三年；二、三级评价项目至少应为最近一年。

下面讨论调查内容。

1. 地面气象资料调查内容

一级评价项目至少应包括以下各项：

- (1) 年、季（期）地面温度、露点温度及降雨量；
- (2) 年、季（期）风玫瑰图；
- (3) 月平均风速随月份的变化（曲线图）；
- (4) 季（期）小时平均风速的日变化（曲线图）；
- (5) 年、季（期）各风向、各风速段、各级大气稳定度的联合出现频率及年、季（期）的各级大气稳定度的出现频率；风速段可分为 5 档，即 $<1.5\text{m/s}$ ， $1.5\sim3\text{m/s}$ ， $3.1\sim5\text{m/s}$ ， $5.1\sim7\text{m/s}$ ， $>7\text{m/s}$ ；段数可适当增减；稳定度可按符合该建设项目实际的方法划分。

二、三级评价项目至少应进行 (2) 和 (5) 两项的调查。

2. 高空气象资料的调查内容

如果符合规定的气气象台（站）有高空探空资料，对于一、二级评价项目，可酌情调查下述该气象台（站）地面 1500m 高度以下的风和气温资料：

(1) 规定时间的风向、风速随高度的变化;

(2) 年、季(期)的规定时间的逆温层(包括从地面算起第一层和其它各层逆温)及出现频率,平均高度范围和强度;

(3) 规定时间各级稳定度的混合层高度;

(4) 日混合层最大高度及对应的大气稳定度。

3. 混合层高度的调查方法

把高空探空资料中各层的气温和高度,按纵横坐标在直角平面坐标纸上绘图(标准层可直接使用探空数据,特性层应利用气压、气温和绝对温度等参数换算出高度和气温的关系),再与以干绝热递减率 r_d 为斜率的直线比较。当探空曲线斜率 $r < r_d$ 时,大气为稳定状态; $r > r_d$ 和 $r = r_d$ 时,大气分别为不稳定和中性状态。混合层高度即为从地面算起至第一层稳定层底的高度。任一时间的地面温度和 r_d 绘制的直线与北京时间07时探空曲线的交点(或切点)可做为该时间的混合层高度。日最高地面温度和 r_d 绘制的直线与北京时间07时探空曲线的交点(或切点)即为日混合层最大高度。计算时可取 $r_d = 0.0098^\circ\text{C}/\text{m}$ 。

(二) 现有大气边界层平均场和大气湍流扩散试验资料或经验数据的收集和统计

现有大气边界层平均场和大气湍流扩散试验资料系指符合(三)和(四)的要求且经鉴定通过的资料,经验数据系指国家颁布的标准、规范等正式文件中推荐的经验数据。它们的使用价值应视进行观测和试验的区域和待评价项目的评价区域在地理条件方面的差异而定。其使用价值可按下述原则判断:

(1) 对于二、三级评价项目,地理条件基本一致时,可直接使用;

(2) 对于一级评价项目,地理条件基本一致且现有资料的试验中心站距待评价项目的主排气筒距离(L_0)不大于50km时可直接使用,当 L_0 不大于50km,但为复杂地形或 L_0 大于50km时,可做为该项目的参考资料,以便尽量减少(三)和(四)中所要求的工作量。

(三) 大气边界层平均场参数的观测

该项观测主要用于复杂地形地区的一、二级评价项目。复杂地形地区的三级评价项目可适当减少本观测规定的工作量,平原地区的评价项目一般可不必进行该项观测。其预测模式所需的平均场输入参数可依据(一)和(二)及有关规定给出。

1. 观测站点的选择

应设置一个临时气象中心站和若干个气象观测点,以便观测地面气象要素和低空风、温的时空变化规律,选用高斯模式预测时,其气象输入参数主要采用气象中心站的观测数据。

临时气象中心站应选择在主排放源附近不受建筑物或树木影响的空旷地区。

根据评价区域的大小和地理、地形条件,除气象中心站外,应在评价区域内对反映平均流场有代表性的地点增设1~5个观测点。复杂地形地区的三级项目取下限,一级取上限。对于地形十分复杂,评价区边长超过20km的一级项目,其观测点数目还可适当增多。

2. 观测时间

观测周期为一年。一、二级评价项目至少应有冬、夏两个季节代表月份,每月观测次数,除北京时间02、07、14、19时4次外,应在黎明前后、上午和傍晚增加观测次数2~8次,以便了解辐射逆温层的状况和混合层的生消规律。

3. 地面观测内容和要求

(1) 地面大气温度、湿度、气压；

(2) 总云量和低云量；

(3) 距地面 10m 高的风向和风速；

(4) 复杂地形条件下，应观测山谷风、海陆风、城市环流等可能出现的频率、时段和风速阈值，并尽可能观测出这些局地风所涉及的空间范围；

(5) 在山区，应着重注意背风涡和下洗现象，观测其出现的气象条件、频率、空间范围以及下洗程度等。

增设的各观测点主要观测 (3) 和 (4) 两项。

根据中心站和各观测点的上述同步资料，分析月或季的地面流场变化规律，如选用平流扩散方程、随机游动等数值模式预测，还应对流场进行客观分析。

4. 低空探测内容与要求

至少应设有一个低空探空点（一般应设在气象中心站）。根据地形的复杂程度，还应适当地增设探空点。

测出距地面 1.5km 高度以下的风速、风向随高度的变化关系，并按大气稳定度分类，给出其数学表达式。一般情况下，建议选用幂律，即

$$U_2 = U_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^P$$

式中 U_2 、 U_1 ——分别为距地面 Z_2 (m) 和 Z_1 (m) 高度处 10min 平均风速，m/s；

P ——风速高度指数，依赖于大气稳定度和地面粗糙度。应根据观测结果，利用统计学方法求出。根据具体观测数据，也可采用风速随高度变化的对数律或其它半经验公式。

求出各级大气稳定度的混合层高度并分析其各季的日变化规律，分析逆温的变化规律（逆温层出现的频率、层次、各层顶部和底部的高度及平均厚度，各层的强度以及生消时间等）。

5. 观测方法与要求

地面观测内容 3 中 (1) ~ (3) 各项及低空探测中所需测风经纬仪的观测方法，应按国家气象局制定的《地面气象观测规范》及《高空气象探测规范》有关章节的规定执行。有条件时，地面观测还可采用其它更有效的仪器观测，如大气稳定度仪，起动风速低于 1.5m/s 的风速计或风温仪等。也可采用平移气球或放烟照相法观测 3 中 (5) 的内容，也可用室内装置（风洞、水槽）进行模拟试验。

低空探测可采用低空探测仪、系留气艇、气象塔、测温声雷达、多普勒声雷达等手段。

(四) 大气湍流扩散参数的测量和模式验证

大气湍流扩散参数主要指扩散参数 (σ_x 、 σ_y 、 σ_z) 以及脉动速度标准差 (σ_u 、 σ_v 、 σ_w)、拉格朗日积分尺度 (T_L^u 、 T_L^v 、 T_L^w) 等湍流参数。扩散参数用于高斯模式；湍流参数主要用于可能采用的平流扩散方程、随机游动等数值模式。

1. 测量周期

一般可只做一期,有效天数约 20 天左右,以在不同大气稳定度条件下能获取足够的统计样本数为原则。应尽可能做全不稳定、中性和稳定三类条件。对于大气湍流扩散参数的测量,如只能做出其中的一或两类,应采用与其它经验资料类比的办法,补全各类稳定度条件下的数据。

2. 测量方法和适用范围

- (1) 示踪剂法 (如 SF_6);
- (2) 平移球法 (等容球或平衡球);
- (3) 放烟照相法 (平面或立体照相);
- (4) 固定点脉动风速仪或风温仪;
- (5) 其它遥感方法 (如激光测烟雷达等);
- (6) 环境风洞模拟试验。

(1) 所规定的方法既可用于测量扩散参数,也可用于模式验证。由于实验技术或原理上的限制,(1)、(2) 所规定的两种方法主要适用于水平扩散参数的测量。(3) 规定的方法可做 (1) 和 (2) 两种方法的补充,用以测量垂直扩散参数,有条件时,可选用较经济实用的(4)所规定的方法。

四、大气环境影响的预测与评价

大气环境影响预测应利用数学模式和必要的模拟试验,计算或估计评价项目的污染因子在评价区内对大气环境质量的影响。常用的数学模式有高斯模式、平流扩散方程、随机游动等数值模式,其中高斯模式用得最多,我们在此做重点介绍:

1. 连续点源的高斯模式的导出

根据质量守恒原理和梯度输送理论,污染物在大气中的运动规律可以写成如下形式:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \sum_{p=1}^N s_p \end{aligned}$$

式中 c ——污染物质的平均浓度;

x, y, z ——三个方向上的坐标;

u, v, w ——三个方向上的速度分量;

k_x, k_y, k_z ——三个方向上的扩散系数;

t ——时间;

s_p ——污染物源,汇的强度。

为导出在连续点源条件下预测大气环境质量的高斯模式,先提出如下的假定:

- (1) 假定大气流动是稳定的、有主导方向的;
- (2) 假定污染物在大气中只有物理运动、没有化学和生物变化;
- (3) 假定在所要预测的范围内没有其它同类污染源和汇。

这三条假定意味着有:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\ u = U = \text{常数}, v = w = 0 \\ s_p = 0 (p = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

于是污染物运动规律方程变为:

$$U \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

进一步分析可以看出,在有主导风的情况下,主导风对污染物的输送应远远大于湍流运动引起的污染物在主导风方向上的扩散,因此还可以合理地增加一条假定:

$$U \frac{\partial c}{\partial x} \gg \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right)$$

于是上式又进一步变为:

$$U \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

这时,再硬性规定 k_y 与 y 无关, k_z 与 z 无关,于是可以进一步写成:

$$U \frac{\partial c}{\partial x} = k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

为了给出方程的解,这里还需给出定解条件:

$$x = y = z = 0 \text{ 时}, c = \infty$$

$$x, y, z \rightarrow \infty \text{ 时}, c = 0$$

以及质量守恒条件:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U c d y d z = Q$$

式中 Q ——连续点源的源强。

在上述假定和限制条件下,上述方程的解为:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2 \pi x (k_y k_z)^{\frac{1}{2}}} \exp \left[-\frac{U}{4x} \left(\frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z} \right) \right]$$

如果设 $x = Ut$, 并令

$$\sigma_y^2 = 2k_y t$$

$$\sigma_z^2 = 2k_z t$$

则解上述公式,可得:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2 \pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

这就是著名的常称之为高斯公式的标准形式,也叫做正态浓度公式。从以上推导过程可以看出,得出这一公式需要有很强的假定,另外它也未能把许多影响较大的实际情况,如地面和地形的条件,除风速以外的其它气象条件,污染源的空间位置等考虑在内,因此该公式很难直接投入应用。尽管如此,我们可以把上述各种影响考虑进去,对公式加以修正。

2. 高斯公式的地面及源高的修正

考虑到地面对扩散的影响,可以认为地面像镜子那样,对污染物起着全反射的作用。按

着全反射的原理,可以用“镜源法”来处理这类问题。如图 5-1 所示,我们可以把 p 点的污染物浓度看成是两部分作用之和。一部分是不存在地面时 p 点所具有的污染物浓度;另一部分是由于地面反射作用所增加的污染物浓度。这相当于不存在地面时由位置在 (0, 0, H) 的实源和位置在 (0, 0, -H) 的像源在 p 点所造成的污染物浓度之和 (H 为有效源高)。

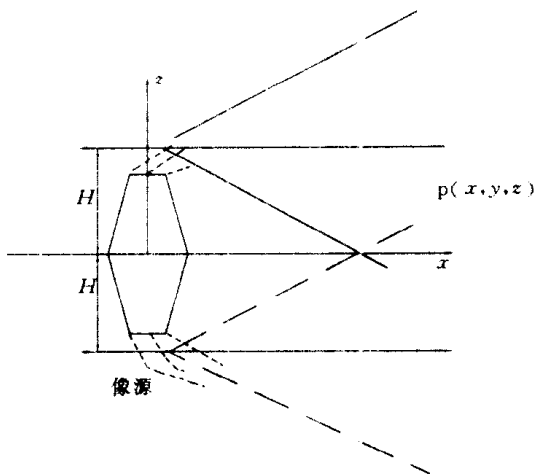


图 5-1 高架源“像源法”示意图

(1) 实源的作用

p 点在以实源为原点的坐标系中的铅直坐标 (距烟流中心线的铅直距离) 为 $(z-H)$ 。当不考虑地面影响时,它在 p 点所造成的污染物浓度如下:

$$c_1 = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ - \left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

(2) 像源的作用

p 点在以像源为原点的坐标系中的铅直坐标 (像源产生的烟流中心线的铅直距离) 为 $(z+H)$ 。它在 p 点产生的污染物浓度按下式计算:

$$c_2 = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left\{ - \left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

(3) p 点的实际污染物浓度

点的实际污染场浓度为实源和像源作用之和,即:

$$\begin{aligned} c &= c_1 + c_2 \\ &= \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left(- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \left\{ \exp \left[- \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \alpha \exp \left[- \frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \end{aligned}$$

式中 U ——排气筒高度处的风速, m/s;

σ_y ——垂直于主导风方向的横向扩散参数, m;

σ_z ——铅直扩散参数, m;

Q ——污染物单位时间排放量, mg/s;

H ——有效源高度,它是实际源高 h 和烟气抬升高度 Δh 之和,即 $H = h + \Delta h$, m;

α ——地面对污染物的反射系数, $\alpha=0$ 时,表示全部吸收, $\alpha=1$,表示全反射,一般取 $\alpha=1$ 。

3. 污染物在地面浓度的分布

这是实际大气环境影响评价关心的问题。它可由上式在 $z=0$ 时的情况下得到:

$$c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot F$$

$$F = \sum_{n=-k}^{+k} \left\{ \exp\left[-\frac{(2nm-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(2nm+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

式中 m ——混合层厚度, m ;

其它符合含义如前式。

对于一、二级评价项目, 上式中 $k=4$, 三级评价项目可取 $k=0$, 此时 $F=2\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$ 。

4. 污染物沿下风轴线的分布

此时令 $z=0$, $y=0$ 可得:

$$c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

5. 最大地面浓度及其位置

为了导出模型, 先将扩散参数 σ_y 、 σ_z 表示成下述经验形式:

$$\sigma_y = ax^b; \sigma_z = cx^d$$

式中 a 、 b 、 c 、 d ——因气象条件和地面特点的不同而不同的常数参数;

x ——下风向的距离。

将 σ_y 和 σ_z 表达式代入污染物沿下风向轴线的分布模型后, 运用高等数学中求极值的方法即可得出:

$$c_{\max} = \frac{Q}{\pi U H^{(b+d)/d}} \cdot \frac{c^{b/d}}{a} \left(\frac{b+d}{d}\right)^{\left(\frac{b+d}{2d}\right)} \times \exp\left(-\frac{b+d}{2d}\right)$$

$$x_{\max} = \left(\frac{H}{c}\right)^{1/d} \left(\frac{d}{b+d}\right)^{1/2d}$$

这里, $c_{\max}$ 是地面浓度的最大值, $x_{\max}$ 为最大值点的下风距离。由二式可以看出, 在源强、气象条件确定的条件下, 烟气的有效高度 H 对地面浓度的最大值及其出现的位置起着决定性的影响。

6. 地面连续点源扩散浓度

由高架连续点源扩散模型, 当有效源高 $H=0$, $z=0$ 时得到:

$$c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

对于地面上轴线任一点的浓度, 令 $y=0$, 可得到:

$$c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z}$$

7. 长期平均浓度

长期平均浓度的计算以风向按 16 个方位给出, 每一个方位相当于一个 22.5° 的扇形区

域,假定在这个区域各个角度都有相同的风向频率,即同一扇形的污染物浓度在 y 方向是相等的。另则因实际烟流较窄,故可假定当吹某一扇区风时,全部污染物都集中在这个扇区,那么可用下式:

$$C = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

先对所有的 y 积分,然后再除弧线长度 $\frac{2\pi x}{16}$, 即

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q}{\pi \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi \sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy \\ &= \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{Q}{U \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \end{aligned}$$

除弧线长度 $\frac{2\pi x}{16} = \frac{\pi x}{8}$ 得:

$$C = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{Q}{\left(\frac{\pi x}{8}\right) U \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

U 是千变万化的,逐一计算,计算量是不可接受的,简化的办法是将风速分成若干区,对一特定方向,可按稳定性和风速的频率逐一求和便可算出长期平均浓度。

例如一般将风速分成 7 个区,稳定度分为 6 种类型,令 f_{ij} 为 i 类稳定度、风速处于 j 区的出现频率,可导出如下计算式:

$$C_{\text{平均}} = \left[\frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^7 \frac{f_{ij} Q}{U_j \sigma_{zi} \left(\frac{\pi x}{8}\right)} \exp\left(-\frac{H_j^2}{2\sigma_{zi}^2}\right) \right]$$

f_{ij} 可从时间长度(年、月、季)的稳定度—风向—风速联合频率表中得到。各个稳定度只有 7 种风速出现,以上求和只需计算不多于 42 个数据。

8. 小风 ($1.5\text{m/s} > U_{10} \geq 0.5\text{m/s}$) 和静风时 ($U_{10} < 0.5\text{m/s}$) 的点源扩散模式

静风和小风是我国大部分地区经常出现的一种气象条件,污染物在这种大气条件下的运动规律是极其复杂的,因为在地面观测为静风或小风时,几十米以上的高空中并不一定是小风,而大气污染物的排放高度往往就在几十米到一、二百米的高空;再者,在静风和小风时,由于平均风速太小,主导风向不确定,因而推导高斯公式的前提假定之一,即

$$U \frac{\partial c}{\partial x} \gg \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right)$$

不能成立,也就是说不能直接应用经典的高斯公式来预测静风或小风时的大气环境质量。

因为存在上述困难,在该种气象条件下的污染物运动规律的研究未能取得突破性进展,解决实际问题目前只能采用经验办法处理。

以排气筒地面位置为原点,平均风向为 x 轴,地面任一点 (x, y) 的浓度用下式计算:

$$c(x, y) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} C_0 \eta} \cdot G$$

$$\eta^2 = \left(x^2 + y^2 + \frac{a_0^2}{b_0^2} \cdot H^2 \right)$$

$$G = \exp\left(-\frac{u^2}{2a_0^2}\right) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{2} \cdot s \cdot \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \cdot \phi(s) \right\}$$

$$\phi(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^s \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

$$s = \frac{Ux}{a_0\eta}$$

式中 a_0 、 c_0 ——分别是横向和垂向扩散参数的回归系数 ($\sigma_y = \sigma_x = a_0T$ 、 $\sigma_z = c_0T$)，其值由表 5-14 确定；

T ——扩散时间，s；

$\phi(s)$ ——可根据 s 由数学手册查得。

表 5-14 小风 ($1.5\text{m/s} > U_{10} \geq 0.5\text{m/s}$) 和静风 ($U_{10} < 0.5\text{m/s}$) 扩散参数的系数

(a_0 、 c_0) ($\sigma_x = \sigma_y = a_0T$ ， $\sigma_z = c_0T$)

稳定度 (P·S)	a_0		c_0	
	$U_{10} < 0.5\text{m/s}$	$1.5\text{m/s} > U_{10} \geq 0.5\text{m/s}$	$U_{10} < 0.5\text{m/s}$	$1.5\text{m/s} > U_{10} \geq 0.5\text{m/s}$
A	0.93	0.76	1.57	1.57
B	0.76	0.56	0.47	0.47
C	0.55	0.35	0.21	0.21
D	0.47	0.27	0.12	0.12
E	0.44	0.24	0.07	0.07
F	0.44	0.24	0.05	0.05

9. 颗粒物模式

对于由排放源排放的粒径小于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒物，其地面浓度可用气体模式计算。当粒径大于 $15\mu\text{m}$ 时，其地面浓度应用倾斜烟羽模式计算：

$$C = \frac{(H\alpha)Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{\left(v_g \frac{x}{U} - H\right)^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

$$v_g = \frac{d^2 \rho g}{18\mu}$$

式中 α ——尘粒子的地面反射系数，其值见表 5-15；

v_g ——尘粒子的沉降速度，m/s；

d ——尘粒子的直径，cm；

ρ ——尘粒子的密度，g/cm³；

g ——重力加速度，980cm/s²；

μ ——空气动力粘性系数，g/(cm·s)。

表 5-15

地面反射系数 α

粒度范围 (μm)	15~30	31~47	48~75	76~100
平均粒径 (μm)	22	38	60	85
反射系数 α	0.8	0.5	0.3	0

10. 熏烟模式

早晨逆温破坏混合层抬升的过程中, 会与先前在夜间排入稳定层的浓密烟云相截。被混合层顶截入混合层内的污染物在强的对流湍流作用下会迅速扩散至地面, 形成短时间的高浓度。这个过程将持续至混合层抬升至烟云主体以上时结束。对污染物的运动而言, 这个过程被称为熏烟扩散过程。

熏烟扩散时的计算公式为:

$$c_F(x, y, 0, H) = \frac{Q \int_{-\infty}^{\frac{L_i - H}{\sigma_z}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{p^2}{2}\right) dp}{\sqrt{2\pi} U \sigma_{yF} L_i} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_{yF}^2}\right)$$

$$p = \frac{L_i - H}{\sigma_z}$$

式中 L_i ——抬升中的混合层高度;

σ_{yF} ——熏烟条件下的侧向扩散参数, 它可近似地写成: $\sigma_{yF} = \sigma_y(\text{稳定}) + \frac{H}{8}$;

$L_i - H$ ——混合层顶和烟云轴线的高差。

在环境影响评价中如果评价对象包括排放量大的高架源, 通常需要对熏烟条件的地面浓度和最近距离进行估算。一般做最大熏烟浓度和最近距离计算:

$$c_F(x_F, 0, 0) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} U \sigma_{yF} L_i}$$

$$x_F = U t_m = U(t_2 - t_1)$$

$$L_i = H + 2.15\sigma_z$$

式中 t_m —— L_i 自 h_s 升至 $h_s + \Delta h + 2.15\sigma_{zF}$ 的时间差。

以上讨论表明, 熏烟型扩散计算的关键在于混合层高度及其抬升速度的确定。一般是利用干绝热法或曲线法求取清晨最低混合层和午后最高混合层高度, 然后按时间进行线性内插来确定。如果清晨最低混合层不存在, 则把日出后逆温开始破坏时刻的混合层高度与午后最大混合层高度进行内插。

11. 非点源污染物浓度的预测

(1) 线源污染的预测

线源可分为有限长线源(街道)和无限长线源(公路), 预测它们造成的污染分布均可

由点源公式沿线进行积分或求和来得到。

对于有限长线源，当平均风向与线源的方向垂直时，取 x 轴与平均风向平行，坐标原点位于线源中点。若记线源长度为 $2p$ ，则地面浓度的计算公式为：

$$c(x, y, 0) = \frac{2Q_i}{\sqrt{2\pi U \sigma_z}} \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \cdot \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{p^2}{2}\right) dp$$

式中 Q_i ——线源单位长度的源强。

$$p = \frac{y}{\sigma_y}, p_1 = -\frac{y_0}{\sigma_y}, p_2 = \frac{y_0}{\sigma_y}.$$

对于无限长线源，相应的地面浓度分布的计算公式则可写为：

$$c(x, y, 0) = \frac{2Q_i}{\sqrt{2\pi U \sigma_z}} \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

当风向与线源不垂直时，如果风向和线源交角为 φ 且 $\varphi > 45^\circ$ ，线源下风向的浓度模式为：

$$c(x, 0, 0, H) = \frac{\sqrt{2} Q_i}{\sqrt{\pi U \sigma_z \sin \varphi}} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

当 φ 小于 45° 时不能应用这个模式。

(2) 面源污染的预测

城市的家庭炉灶和低矮烟囱数量很大，单个排放量很小，如按点源处理计算量十分庞大。它们可做面源处理。《制定地方大气污染物排放标准的技术原则和方法》中规定，平原地区排气筒高度不高于 40m 或排放量小于 0.04t/h 的排放源按面源处理。

为了计算某一城市面源对某一个评价点的影响，可把这个面源划分为若干面单元（小方格），计算每个面单元对评价点的影响，然后将各个小方格在评价点造成的浓度叠加，即为整个面源对评价点的影响。方格边长可取 0.5~10km，国内多取 0.5km 和 1.0km 两种。每个小方格的源强为方格内所有小点源和线源源强之和。

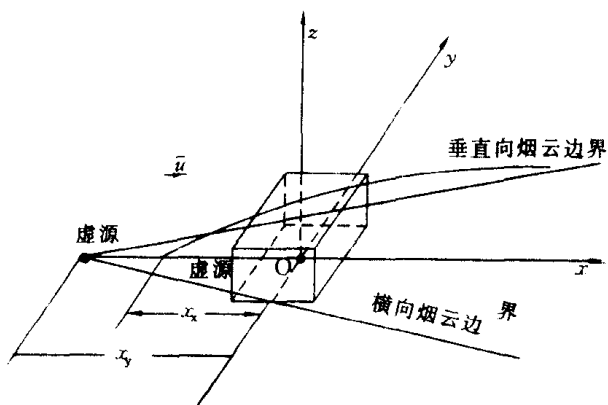


图 5-2 面源简化为点源示意图

较常用、简单的面源污染预测方法是采用与线源污染预测处理类似的方法即等效点源法。假设面源单元与上风向某一虚点源所造成的污染等效，当这个

虚点源的烟云扩散至面源单元时，烟云在面源单元中心处的宽度正好等于小面源宽度，在中心处的厚度正好等于小面源的高度，如图 5-2 所示，这相当于在点源公式中增加了一个初始的扩散参数，以模拟面单元内许多分散点源的扩散。其地面浓度公式为：

$$c(x, y, 0, H) = \frac{Q_A}{\pi U (\sigma_y + \sigma_{y0}) (\sigma_z + \sigma_{z0})} \cdot \exp \left[-\frac{y^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0}^2)^2} \right] \\ \times \exp \left[-\frac{H^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2} \right]$$

式中 Q_A ——面源单位时间的总排放量。

若扩散参数 $\sigma_y = ax^b, \sigma_z = cx^d$, 由 σ_{y0} 和 σ_{z0} 定出虚点源至面源中心的距离是:

$$x_y = \left(\frac{\sigma_{y0}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}, x_z = \left(\frac{\sigma_{z0}}{c} \right)^{\frac{1}{d}}$$

在同一计算中, 允许 $x_y \neq x_z$ 。确定了 x_y 和 x_z 以后, 可用一般点源公式计算评价点的浓度。这相当于将面源内分散的排放物集中在面源中心 O , 再向上风向退后一个距离 x_y 或 x_z 变成虚点源。虚点源中的 σ_y 和 σ_z 实际上是 $(x+x_y)$ 和 $(x+x_z)$ 上的值, 即

$$\sigma_y = \sigma_y(x+x_y), \sigma_z = \sigma_z(x+x_z)$$

x 是评价点到面源中心的距离。

等效点源法可应用于面源、线源, 也可用于建筑物附近的排放和工厂的无组织排放。

σ_{y0} 常用经验方法确定 $\sigma_{y0} = L/4.3$, L 为面源单元的边长。

用于处理面源的另一种模式为箱模式。它假设污染物浓度在混合层内处处相等。若整个城市具有相同的面源强度 Q (总源强除以面源的面积), 城市上空混合层高度为 L , 则距城市上风向边缘 x 处的浓度为:

$$C = \frac{Q_x}{uL}$$

实际上, 城市面源源强是不均匀的, 应当划分成更小的面源单元。但是, 若在横风向几公里范围内面源强度的变化不超过 10 倍, 横向散布的不均匀性可以忽略, 只需考虑沿 x 方向的源强变化。此时可将城市划分成若干块与风向垂直的条线面源。根据箱模式的假定, 城市中任意点的浓度为:

$$C = \Delta x \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{uL}$$

式中 Δx ——条形面源的宽度;

Q_i —— i 块地面源源强;

n ——处于计算点上风向的面源数。

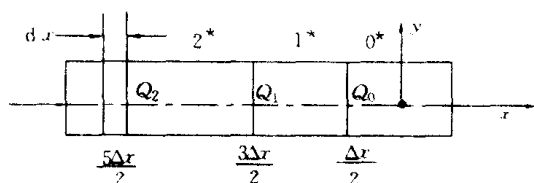
箱模式假设污染物一旦由源排出就立即在整个混合层内均匀分布, 这与实际情况不相符。由封闭型扩散的讨论可知, 只有离源充分远, 混合层内浓度的垂直分布才比较均匀。因而箱模式大大低估了实际的地面浓度。

还有一种可用模式叫做窄烟云模式。该模式由 Gifford-Hanna 导出, 又称 $G-H$ 模式, 是一个计算面源污染的简化模式。

许多城市的污染源资料表明, 一般面源强的变化都不大, 相邻两个面源单元源强很少

相差两倍以上；另一方面，一个连续点源形成的烟流相当狭窄，因此某地的浓度主要决定于上风向各面源单元的源强，上风向两侧各单元的影响较小。根据以上两个事实，作为一级近似，可以忽略横风向面源强度的变化，而把面源扩散简化为二维问题处理。这一点与箱式模式的处理方式相同。不同的是， $G-H$ 模式考虑了烟气在垂直方向上的逐步扩散过程，而不是假定立即在整个混合层内均匀混合。

为导出 $G-H$ 面源扩散公式，应先将面源源强资料按一定方式编目。将城市面源划分为



与风向垂直的若干方块，每个单元的边长为 Δx ，令计算点 A 所在的单元为 0 单元，其源强为 Q_0 ，相邻的上风向单元的编号为 1，源强为 Q_1 ，以此类推，至城市上风向边缘为 N 单元，源强为 Q_N ，如图 5-3 所示。

图 5-3 窄烟云模式示意图

现在考虑第 i 个单元中宽度为 dx 的面源在 A 点造成的浓度，显然，当 dx 取得很小时， dx 在 y 方向上的延伸相当于一根线， $Q_i dx$ 相当于线源的源强，因不计源强在 y 方向上的变化，地面浓度公式和无限长线源相同，即：

$$(dc_A)_i = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{Q_i dx}{u \sigma_z}$$

在 i 单元中认为 Q_i 为常数，故 i 单元对 A 点浓度的总贡献为：

$$(\Delta c_A)_i = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{Q_i}{u} \int_{(2i-1)\frac{\Delta x}{2}}^{(2i+1)\frac{\Delta x}{2}} \frac{dx}{bx^q}$$

式中，取 $\sigma_z = bx^q$ 。

对 A 点上风向所有单元 $i=1, 2, 3, \dots, N$ 计算以上积分，0 单元的积分限取 $0 \rightarrow \frac{\Delta x}{2}$ ，然后求各项之和，得 $G-H$ 面源扩散公式如下：

$$c_A = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{\pi b(1-q)} \left(\frac{\Delta x}{2} \right)^{1-q} \left\{ Q_0 + \sum_{i=1}^N Q_i [(2i+1)^{1-q} - (2i-1)^{1-q}] \right\}$$

史密斯给出的 b 、 q 值列于表 5-16。由表中数值，可发现 $(1-q)$ 的值很小， $b(1-q)$ 除了 E 类稳定度外接近常数，而城市地区出现 E 类很少。若取平均情况，层结为中性时， $b=0.15$ ， $q=0.75$ ，此时各单元对 A 点浓度贡献的相对权重为：

单元编号	0	1	2	3	4	5
相对权重	1	0.32	0.18	0.13	0.10	0.09

表 5-16 不同稳定度下的 b 、 q 值

稳定度	b	q	$(1-q)$	$b(1-q)$
A	0.40	0.91	0.09	0.036
B	0.33	0.86	0.14	0.046
C	0.22	0.80	0.20	0.044
D	0.15	0.75	0.25	0.037
E	0.06	0.71	0.29	0.017

可见, 1~5 号单元贡献的总和是 0.82, 不及 0 单元的贡献。因此计算点的浓度主要由它所在单元的源强所决定, 除非 Q_i 与 Q_0 差别很大。上式可进一步简化为:

$$C = A \frac{Q_0}{u}$$

$$A = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \left(\frac{2N+1}{2} \Delta x \right)^{1-q} \frac{1}{b(1-q)}$$

$$= \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{x^{1-q}}{b(1-q)}$$

式中 x ——计算点到城市面源上风向边缘的距离。

进一步可得到:

$$A = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{1-q} \cdot \frac{x}{bx^q}$$

$$= \frac{0.8}{1-q} \cdot \frac{x}{\sigma_z(x)}$$

可见, 无因次系数 A 主要决定于污染物从上风向边缘运行的距离 x 和它在这段距离上达到的厚度 $\sigma_z(x)$ 之比。Gifford 给出不稳定、中性和稳定时 A 的典型值为 50, 200 和 600, 长期平均值为 225。由于 $\sigma_z(x)$ 随 x 一起增大, 因而面源范围的影响相对较小。

$G-H$ 模式虽在许多简化假设条件下导出的, 如果考虑到目前污染源资料及对城市气象条件估计的不精确性, $G-H$ 模式尚能达到相对满意的程度, 用该模式推断几天以上的平均浓度, 效果就更好。

五、大气环境影响评价模型有关参数的确定

1. 烟气抬升高度的计算

(1) 当烟气热释放率 Q_h 大于或等于 2100kJ/s, 且烟气温度与环境温度的差值 ΔT 大于或等于 35K 时, Δh 采用下式计算:

$$\Delta h = n_0 Q_h^{n_1} h^{n_2} U^{-1}$$

$$Q_h = 84.5 Q_v \frac{\Delta T}{T_s}$$

$$\Delta T = T_s - T_a$$

式中 n_0 ——烟气热状况及地表状况系数, 见表 5-17;

n_1 ——烟气热释放率指数, 见表 5-17;

n_2 ——排气筒高度指数, 见表 5-17;

Q_h ——烟气热释放率, kJ/s;

h ——排气筒几何高度, m, 超过 240m 时, 取 $h=240$ m;

Q_v ——实际排烟率, m^3/s ;

ΔT ——烟气出口温度与环境温度差, K;

T_s ——烟气出口温度, K;

T_a ——环境大气温度, K, 如无实测值, 可取邻近气象台(站)季或年平均值;

U ——排气筒出口处平均风速, m/s, 如无实测值, 可按 2 的计算方法计算。

以上公式适于有风时, 中性和不稳定条件。

表 5-17

n_0, n_1, n_2 的选取

Q_h (kJ/s)	地表状况 (平原)	n_0	n_1	n_2
$Q_h \geq 21000$	农村或城市远郊区	1.427	1/3	2/3
	城市及近郊区	1.333	1/3	2/3
$2100 \leq Q_h < 21000$ 且 $\Delta T \geq 35K$	农村或城市远郊区	0.332	3/5	2/5
	城市及近郊区	0.232	3/5	2/5

(2) 当 $1700 \text{ kJ/s} < Q_h < 2100 \text{ kJ/s}$ 时:

$$\Delta h = \Delta h_1 + (\Delta h_2 - \Delta h_1) \frac{Q_h - 1700}{400}$$

$$\Delta h_1 = 2(1.5V_s D + 0.01Q_h)/U - 0.048(Q_h - 1700)/U$$

式中 V_s ——排气筒出口处烟气排出速度, m/s;

D ——排气筒出口直径, m;

Δh_2 ——按 (1) 中公式计算。

其它符号含义同 (1) 中的公式。

(3) 当 $Q_h \leq 1700 \text{ kJ/s}$ 或者 $\Delta T < 35K$ 时。

$$\Delta h = 2(1.5V_s D + 0.01Q_h)/U$$

各符号的含义同上。

(4) 有风时, 稳定条件, 按下式计算:

$$\Delta h = Q_h^{1/3} \left(\frac{dT_s}{dz} + 0.0098 \right)^{-1/3} U^{-1/3}$$

式中 $\frac{dT_s}{dz}$ ——排气筒几何高度以上的大气温度梯度, K/m;

Q_h, U ——含义同前。

(5) 静风和小风时, 有:

$$\Delta h = 5.50 Q_h^{1/4} \left(\frac{dT_s}{dz} + 0.0098 \right)^{-3/8}$$

式中符号同前, 但 $\frac{dT_s}{dz}$ 取值宜小于 0.01 K/m 。

2. 排气筒高度处平均风速的计算

该值可实测, 但大多可用计算方法解决。

$$U_2 = U_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^p$$

式中符号含文前面已做介绍，其中 U_1 一般可取邻近气象台（站）距地面 10m 高度处的年平均风速 U_{10} ， p 值按表 5-18 选取。

表 5-18 各稳定度等级下的 p 值

稳定度等级 地 区	A	B	C	D	E、F
城 市	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30
乡 村	0.07	0.07	0.10	0.15	0.25

3. 大气稳定度的分级

常用 P - G 法计算扩散参数，其前提或基础是对大气稳定度作好分类。分类方法有多种，主要有：一是根据风向脉动标准差的大小来分类；二是将大气温度垂直递减率与平均风速结合起来进行分类；三是用大气湍流特征量，如雷恰逊数 R_i 或莫宁—奥布霍夫长度 L 来进行分类；四是根据常规气象资料中的平均风速、辐射和云量对大气稳定度进行分类。以第四种最简便易行，通常称帕斯奎尔（F. Pasquill）分类法。帕斯奎尔划分稳定度级别的方法见表 5-19。

表 5-19 帕斯奎尔大气稳定度分级表

地面上 10m 处的 风速 (m/s)	辐射 (太阳高度角)			白天或黑夜 阴云密布	夜 晚	
	强 >60°	中 30°~60°	弱 <30°		低云量在 5 或 5 以上	低云量 在 4 以下
<2	A	A--B	B	D	—	—
2~3	A—B	B	C	D	E	F
3~5	B	B—C	C	D	D	E
5~6	C	C—D	D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D	D

考虑到应用，需对表 5-19 做几点说明：

(1) 稳定度级别中：A—极不稳定；B—不稳定；C—微不稳定；D—中性；E—微稳定；F—稳定。

(2) 夜间（夜晚）定义为日落前一小时至日出后一小时的时间。

(3) 不论何种天气状况，夜间前后一小时算作中性，即 D 级稳定度。

(4) 强太阳辐射对应于碧空下的太阳高度角大于 60° 的条件；弱太阳辐射相当于碧空下太阳高度角从 15° 到 35°。在中纬度地区，仲夏晴天的中午为强太阳辐射，寒冬晴天中午为弱太阳辐射。云量将减少太阳辐射，在确定太阳辐射时云量应与太阳高度一起考虑。例如：在碧空下应当是强的太阳辐射，在有碎中云（云量为 6/10~9/10）时要减弱到中等太阳辐射，在有碎低云时减弱太阳辐射。

(5) 本法对于开阔乡村地区能给出较可靠的稳定度，但对于城市地区是不大可靠的。这种差别主要是由于城市较大的地面粗糙度及热岛效应对城市稳定度的影响。最大的差别出现在静风晴夜；在这样的夜间，乡村地区大气状况是稳定的，但在城市，在高度相当于建

筑物的平均高度几倍之内是微不稳定或近中性的，它上面有一个稳定层。

4. 扩散参数 σ_y 和 σ_z 的确定

(1) 经验公式法

σ_y 和 σ_z 可以表示成 $\sigma_y = ax^b$ 和 $\sigma_z = cx^d$ ，A、B、C 级稳定度直接由表 5-20 查算，D、E、F 级稳定度则需向不稳定方向提半级后由表 5-20 查算。

表 5-20

扩散参数幂函数表达式数据

$$\sigma_y = ax^b$$

$$\sigma_z = cx^d$$

(取样时间 0.5h)

σ_y 或 σ_z	稳 定 度	b 或 d	a 或 c	下风距离 (m)
σ_y	A	0.901074 0.850934	0.425809 0.602052	0~1000 >1000
	B	0.914370 0.865014	0.281846 0.396353	0~1000 >1000
	B—C	0.919325 0.875086	0.229500 0.314238	0~1000 >1000
	C	0.924279 0.885157	0.177154 0.232123	1~1000 >1000
	C—D	0.926349 0.886940	0.143940 0.189396	1~1000 >1000
	D	0.929418 0.8887231	0.110726 0.146669	1~1000 >1000
	D—E	0.925118 0.892794	0.0985631 0.124308	1~1000 >1000
	E	0.920818 0.896864	0.0864001 0.101947	1~1000 >1000
	F	0.929418 0.888723	0.0553634 0.0733348	0~1000 >1000
σ_z	A	1.12154 1.51360 2.10881	0.0799904 0.00854771 0.000211545	0~300 300~500 >500
	B	0.964435 1.09356	0.127190 0.057025	0~500 >500
	B—C	0.941015 1.00770	0.114682 0.0757182	0~500 >500
	C	0.917595	0.106803	>0
	C—D	0.838628 0.756410 0.815575	0.126152 0.235667 0.136659	0~2000 2000~10000 >10000
	D	0.826212 0.632023 0.55536	0.104634 0.400167 0.810763	1~1000 1000~10000 >10000
	D—E	0.776864 0.572347 0.499149	0.111771 0.528992 1.03810	0~2000 2000~10000 >10000
	E	0.788370 0.565188 0.414743	0.0927529 0.433384 1.73241	0~1000 1000~10000 >10000
	F	0.784400 0.525969 0.322659	0.0620765 0.370015 2.40691	0~1000 1000~10000 >1000

(2) 扩散曲线法

图 5-4 和图 5-5 是帕斯奎尔根据大量试验资料总结出的 σ_y 和 σ_z 随距离变化的曲线。某地某时刻的稳定度级别确定后, 就可利用这两张图查出该稳定度下各个距离上的 σ_y 和 σ_z 值。但由于各种书籍中扩散曲线的复制误差, 很难确切的得到 σ_y 和 σ_z 值, 为了克服这一缺点, 英国伦敦气象局给出表 5-21。它列出了六个稳定级别下在一些距离上的 σ_y 和 σ_z 的具体数值。用内插法可求出在 20km 距离内没有给出距离的 σ_y 和 σ_z 值。

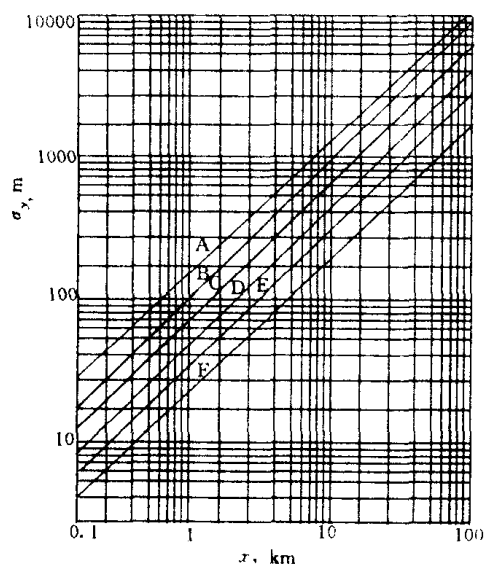


图 5-4 σ_y 随距离变化曲线

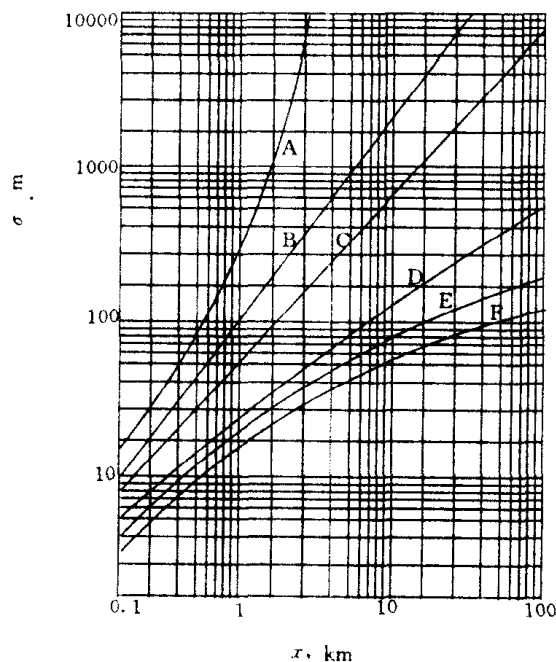


图 5-5 σ_z 随距离变化曲线

例题 5-1 某一石油精炼厂投产后, 将会自平均抬升高度 10m 处排放 $8 \times 10^4 \text{ mg/s}$ 的 SO_2 , 排气筒高度为 50m, 预测在距地面 10m 处风速为 4m/s, 大气稳定度为 D 级时, 该排气筒下风向 500m 处, 距排气筒的平均风向轴线水平垂直距离 50m 处的一个地面点所增加的 SO_2 浓度值。

解 计算排气筒距地面几何高度 50m 处的风速为

$$H = 50 + 10 = 60(\text{m})$$

$$U_{50} = U_{10} \left(\frac{50}{10} \right)^p = 4 \times \left(\frac{50}{10} \right)^{0.25} = 5.98(\text{m/s})$$

由下风方向距离 500m 及 D 级大气稳定度, 计算求得 $\sigma_y = 35.7\text{m}$ 、 $\sigma_z = 17.8\text{m}$, 则:

$$\begin{aligned} c &= \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \\ &= \frac{80000}{3.14 \times 5.98 \times 35.7 \times 17.8} \cdot \exp \left[-\frac{50^2}{2 \times 35.7^2} + \left(-\frac{60^2}{2 \times 17.8^2} \right) \right] \\ &= 8.569 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

例 5-2 用例 5-1 中数据, 求正下风向 500m 处计算点的贡献浓度。

表 5-21

P-G 曲线的 σ_y, σ_z 值

m

稳 定 度		距 离 (km)																差					
		标 准																					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	6.0					8.0	10
A	σ_y	27.0	49.8	71.6	92.1	112	132	170	207	243	278	313											
	σ_z	14.0	29.3	47.4	72.1	105	153	279	456	674	930	1230											
B	σ_y	19.1	35.8	51.6	67.0	81.4	95.8	123	151	178	203	228	253	278	395	508	723						
	σ_z	10.2	20.5	30.2	40.5	51.2	62.8	84.6	109	133	157	181	207	233	363	493	777						
C	σ_y	12.6	23.3	33.5	43.3	53.5	62.8	80.9	99.1	116	133	149	166	182	269	335	474	603	735				
	σ_z	7.44	14.0	20.5	26.5	32.6	39.6	50.7	61.4	73.0	83.7	95.3	107	116	167	219	316	409	498				
D	σ_y	8.37	15.3	21.9	28.8	35.3	40.9	53.5	65.6	76.7	87.9	98.6	109	121	173	221	315	405	486	569	729	884	
	σ_z	4.66	8.37	12.1	15.3	18.1	20.9	27.0	32.1	37.2	41.9	47.0	52.1	56.7	79.1	100	140	177	212	244	307	372	
E	σ_y	6.06	11.6	16.7	21.4	26.5	31.2	40.0	48.8	57.7	65.6	73.5	82.3	85.6	129	166	237	306	366	427	544	659	
	σ_z	3.72	6.05	8.84	10.7	13.0	14.9	18.6	21.4	24.7	27.0	29.3	31.6	33.5	41.9	48.8	60.9	70.7	79.1	87.4	100	111	
F	σ_y	4.19	7.91	10.7	14.4	17.7	20.5	26.5	32.6	38.1	43.3	48.8	54.5	60.5	86.5	102	156	207	242	285	365	437	
	σ_z	2.33	4.19	5.58	6.98	8.37	9.77	12.1	14.0	15.8	17.2	19.1	20.5	21.9	27.0	31.2	37.7	42.8	46.5	50.2	55.8	60.5	

解 利用 $c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$

将已知数据代入上式则：

$$c = \frac{80000}{3.14 \times 5.98 \times 35.7 \times 17.8} \exp\left(-\frac{60^2}{2 \times 17.8^2}\right) \\ = 0.023(\text{mg}/\text{m}^3)$$

例 5-3 某平原建一小型电厂，拟建 120m 高的排气筒，上出口内径为 6m，排烟气量为 54.15Nm³/s，排气筒出口处的烟气温度为 130℃，当地同名称气象台统计定时观测最近 5 年平均气温为 9.2℃，平均风速为 3.9m/s，假定气象台址与工厂地面海拔高度相同，计算烟气抬升高度。

解 计算烟气热释放率 Q_h 和烟气温度与环境大气温度差 ΔT ：

$$\Delta T = T_s - T_a = (130 + 273) - (9.2 + 273) \\ = 120.8(\text{K}) > 35\text{K}$$

将标准状态下的排烟率换算成实际排烟率：

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \\ \frac{54.5}{273} = \frac{V_2}{130 + 273}$$

得 $V_2 = 79.9\text{m}^3/\text{s}$ ，即 $Q_v = 79.94\text{m}^3/\text{s}$

$$Q_h = 4.18 \times 84.5 \times \frac{\Delta T}{T_s} \times Q_v \\ = 4.18 \times 84.5 \times \frac{120.8}{130 + 273} \times 79.94 \\ = 8471.76(\text{kJ}/\text{s}) > 2100\text{kJ}/\text{s}$$

$$U_{120} = U_{10} \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^p = 3.9 \times \left(\frac{120}{10}\right)^{0.25} \\ = 6.9(\text{m}/\text{s})$$

根据 Q_h 及 ΔT 值和地表状况，查表得： $n_0 = 0.690$ ， $n_1 = 3/5$ ， $n_2 = 2/5$ ，则

$$\Delta h = n_0 \times Q_h^{n_1} h^{n_2} U^{-1} \\ = 0.69 \times 2024.8^{3/5} \times 120^{2/5} \times 6.9^{-1} \\ = 65.4(\text{m})$$

例 5-4 拟建一座火电厂，排气筒高 100m，排气筒出口内径为 5m，排气筒出口处烟气排出速度为 13.5m/s，排气出口处的烟气温度为 145℃，厂址处同名称气象台统计定时观测最近 5 年平均气温 15℃。预测在静风与稳定天气条件下，排放源高度以上环境温度垂直变

化率为 $0.001^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ，求烟气的抬升高度。

解 根据静风与稳定天气条件计算 Δh 。

计算实际排烟率：

$$\begin{aligned}Q_v &= u_s \times \pi \times r^2 = 13.5 \times 3.14 \times 2.5^2 \\&= 285.07 (\text{m}^3/\text{s})\end{aligned}$$

计算烟气温度 T_s 与环境温度 T_a 的差值：

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_s - T_a = (145 + 273) - (15 + 273) \\&= 130 (\text{K})\end{aligned}$$

计算 Q_h ：

$$\begin{aligned}Q_h &= 84.5 \times \frac{\Delta T}{T_s} Q_v = 84.5 \times \frac{130}{145 + 273} \times 285.07 \\&= 29145.7 (\text{kJ/s}) \\ \Delta h &= 5.50 Q_h^{1/4} \left(\frac{dT_s}{dz} + 0.0098 \right)^{-3/8} \\&= 5.50 \times 6966^{1/4} \times (0.01 + 0.0098)^{-3/8} \\&= 69.88 (\text{m})\end{aligned}$$

例 5-5 某城区中以边长 1524m 的正方形区域进行 SO_2 排放编目，每个区域的排放量估计为 6000mg/s ，假定下面一组条件：

大气稳定度为 E 类，南风，风速为 2.5m/s ，区内源的平均有效高度是 20m ，预测该区在其北面相邻区域中心造成的浓度是多少？

解 取 $b_{y0} = L/4.3 = 1524/4.3 = 354\text{m}$

由式 $\sigma_y = ax^b$ 可以导出：

$$x = \sqrt[b]{\frac{\sigma_y}{a}}$$

查表，在 E 类大气稳定度时 a 和 b 有两组值：

$$1 \sim 1000\text{m}, \quad a = 0.0864001 \quad b = 0.920818$$

$$> 1000\text{m}, \quad a = 0.101947 \quad b = 0.896864$$

求出虚拟距离 x_y ：

$$x = \sqrt[b]{\frac{\sigma_y}{a}} = \sqrt[0.920818]{\frac{354}{0.0864001}} = 8377 (\text{m}) > 1 \sim 1000\text{m}, \text{舍掉。}$$

$$x = \sqrt[0.896864]{\frac{354}{0.101947}} = 8867 (\text{m}) > 1000\text{m}, \text{符合条件, 故虚拟距离 } x_y = 8867\text{m}.$$

对于 $x=1524\text{m}$ ，查表，在 E 类大气稳定度下，下风距离 $1000 \sim 10000\text{m}$ 栏目内查到：

$c=0.433384$ ， $d=0.565188$ ，则：

$$\sigma_z = cx^d = 0.433384 \times 1524^{0.565188} = 27 (\text{m})$$

对于 $x+x_y=1524+8867=10391\text{m}$ 处的 E 类大气稳定度时的 σ_y 值, 查表计算

$$\sigma_y = ax^b = 0.101947 \times 10391^{0.896864} = 408 \text{ m}$$

$$c = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$= \frac{6000}{3.14 \times 2.5 \times 408 \times 27} \cdot \exp\left(-\frac{20^2}{2 \times 27^2}\right)$$

$$= 0.053(\text{mg}/\text{m}^3)$$

六、评价大气环境影响

1. 确定环境目标值

评价参数的环境目标值一般选用 GB3095-1996 中的二级标准的一次采样允许值, 对该标准中未包括的项目, 可参照 TJ36-79 中的相应值选用。如有地方标准, 应选用地方标准中的相应值。对某些上述标准中都未包含的项目, 可参照国外有关标准选用, 但应做出说明, 报环保部门批准后执行。

质量标准中未包含允许的最大长期 (季、期或年) 平均浓度值的评价参数, 其环境目标值可按下述方法估算:

如果在评价区内或地理条件基本一致, 且距待评价项目的主排气筒距离不大于 50km 范围内布置了评价参数的监测网点, 并符合大气污染源调查和统计中规定的监测资料, 则首先计算各测点累积频率为 50% 和 93.3% 的一次取样或日平均浓度值。

将上述结果分别标记在对数正态概率坐标纸上并连成直线, 再沿这条直线的延长线查出各测点对应于环境质量标准值的累积频率, 见图 5-6 (a)。

将各测点对应于质量标准的累积频率和该测点的长期平均浓度, 在对数正态概率坐标纸上做散点图, 并对这些点进行线性回归, 见图 5-6 (b)。

将上述回归直线沿横轴向低浓度方向平移至最边缘的一个散点上, 再根据平移后的直线查出对应累积频率为 98% 的长期平均浓度, 这一浓度值即待求的评价参数的长期平均浓

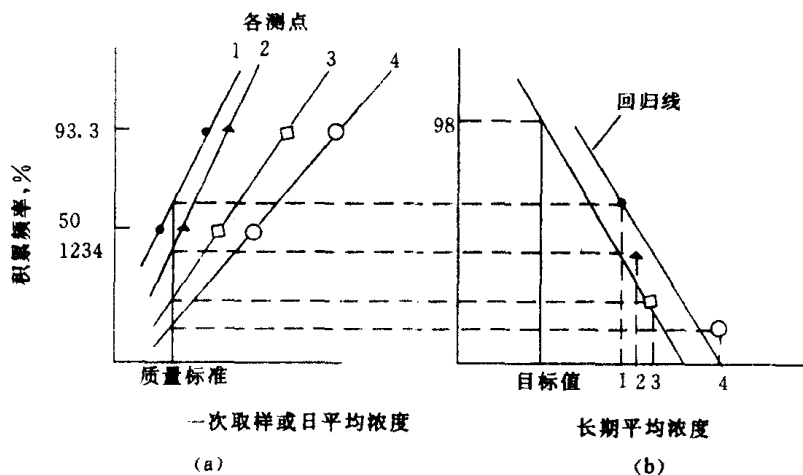


图 5-6 长期浓度目标值的确定方法

度目标值，见图 5-6 (b)。

如无法获取上述有关监测资料，一次取样、日、月、季（或期）、年平均值可按 1、0.33、0.20、0.14、0.12 的比例关系换算。

2. 计算评价指数和污染分担率

(1) 评价指数计算

评价指数定义如下：

$$I_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i ——某评价参数不同取样时间的浓度预测值， mg/m^3 ；

S_i ——评价参数的环境目标值。

对预测的各评价参数的浓度分布图（等浓度值曲线），指明其超标区或 I_i 最大值区（未超标时）的位置和面积、 I_i 的变化范围和平均值，以及超标区的功能特点。

一次取样浓度超标时，应估计其季（期）或年的超标小时数或频率值。季（期）、年按其平均浓度值是否超标计算。

(2) 污染分担率计算

$$k_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_i} \times 100\%$$

式中 c_{ij} —— i 类评价参数的第 j 类（或个）源在同一接收点上所产生的地面浓度， mg/m^3 ；

c_i ——定义同评价指数中 c_i 的含义。

给出各计算点（包括关心点）的 k_{ij} 值以及超标区、各功能区和全评价区的 k_{ij} 平均值。

3. 建设项目的厂址和总图布置的评价

根据建设项目各主要污染因子的全部排放源在评价区的超标区（或 I_i 值的最大区域）中或关心点上的污染分担率 k_{ij} ，同时结合评价区的环境特点、工业生产现状和发展规划，以及环境质量水平和可能的改造措施等因素，从大气环保角度，对厂址选择是否合理，提出评价和建设。

根据建设项目各类（如点、面源；各分厂或车间等）和各个（点源）污染源在评价区（主要指超标区和关心点）以及本项目的厂区、办公室、职工生活区的污染分担率，同时结合环境、经济等其它因素，从大气环保角度对总图布置提出评价和建设。

如果在评价区内有几种厂址选择的方案或总图布置方案，则应给出各种方案的预测结果（包括浓度分布图和污染分担率），再结合环境、经济等方面的各种因素，全面权衡利弊，从大气环保角度，提出最佳选择方案的建议，这一评价步骤，在必要时，可利用线性规划等数学方法进行。

4. 污染源评价

根据各污染物和各类（或各个）污染源在超标区或关心点上的 I_i 及 k_{ij} 值，确定主要污染物和主要污染源，以及各污染物和污染源对污染贡献大小的次序。

对主要污染物或主要污染源的原设计方案（源高、源强、工艺流程、综合利用措施和治理技术等），从大气环保角度提出评价和建议。必要时，可进行不同方案的预测和最佳方

案的选择。

5. 分析超标时的气象条件

根据预测结果,分析出现超标时的气象条件。例如:静风、大气不稳定状态,日出和日落前后的熏烟和辐射逆温的形成,海岸线熏烟,下沉逆温,因特定的地表或地形条件引起的局地环境(海陆风、山谷风、热岛环流等),背风涡以及山沟内河湾地区造成的气流阻塞现象等。绘出其中的主要影响因素以及这些因素的出现时间、强度、周期和频率。

对于扩建项目,如已有评价参数的监测数据,可结合同步观测的气象资料,分析其超标时的气象条件。

6. 评价大气环境质量影响

根据上述3、4、5各项评价或分析结果,结合调查中的各项资料,全面分析建设项目最终选择的设计方案(一种或几种)对评价区大气环境质量的影响,并给出这一影响的综合性估计和评价。

7. 确定分担率

如果条件具备,应在当地环保部门主持下,根据建设项目预计的经济效益和社会效益以及预测的污染分担率,评价区的大气环境质量现状及其改造和长远发展规划,当地的地理地形和气象特征等因素给出各评价参数的标准分担率(该建设项目某一污染物的允许最大地面浓度占该污染物质量标准的百分比)。对于一级评价项目,必要时应在对评价区及其界外区域进行更详细的调查和预测之后,按总量控制的原则,提出比较合理的标准分担率。

8. 环境保护对策

制定的环境保护对策应力求减轻建设项目对大气环境质量的不良影响,并使环境效益、社会效益、经济效益达到统一。

环境保护对策的内容,建议包括以下几个方面:

- (1) 改变原燃料结构;
- (2) 改进生产工艺;
- (3) 对重点污染源加强环保治理(应提出具体治理方案);
- (4) 加强能源、资源的综合治理;
- (5) 重点污染源的合理烟囱高度选择;
- (6) 无组织排放的控制途径;
- (7) 区域污染物排放的总量控制;
- (8) 当地土地的合理利用或调整;
- (9) 厂区及评价区的绿化,必要时可提出防护林带的设置方案;
- (10) 环境监测大纲的建议,包括监测项目、监测布点方案、监测制度的确定、监测资料的统计分析要点等;
- (11) 关于生产管理制度的建议。

9. 小结的编写

一、二级评价项目应编写小结,若大气环境影响评价单独成册应编写分册结论,编写结论的有关事项与小结基本相同,但应更详尽些。

三级评价项目大气环境影响部分在报告书篇幅较短时，可省略小结，直接在报告书的结论部分中叙述与大气环境影响评价有关的问题。

小结的内容包括大气环境质量现状概要、建设项目工程分析概要、建设项目对大气环境影响预测和评价的结果、环保措施的评述和建议等。

由于报告书的大气环境部分没有专门的章节评述环保措施，所以，对小结的这一部分应给予充分的注意和足够的篇幅。环保措施建设一般包括污染物削减措施建议和环保管理措施建议两部分。

削减措施建议应尽量做到具体、可行，以便对建设项目的环境工程设计起指导作用。削减措施的评述主要评述环境效益，也可以进行简单的技术经济分析。

环保管理措施建议包括环境监测（监测点、监测项目和监测次数）的建议，减少非正常排放等事故发生的措施建议，环境管理机构设置的建议等。

大气环境影响评价的最终结果，应得出建设项目在各生产阶段能否满足预定的大气环境质量要求的结论。

下面各种情况应做出可以满足大气环境质量要求的结论：

(1) 建设项目在实施过程中的不同生产阶段除很小范围外，大气环境质量均能达到预定要求；

(2) 在建设项目实施过程的某个阶段，非主要的个别大气污染物参数在较大范围内不能达到预定的标准要求，但采取一定的环保措施后可以满足要求。

下面的各种情况应做出不能满足大气环境质量要求的结论：

(1) 大气环境现状已经超标；

(2) 污染削减量大以至于削减措施在技术、经济上明显不合理。

有些情况不宜做出明确的结论，如建设项目大气环境的某些方面起了恶化作用的同时又改善了其它某些方面，对于这种情况应说明建设项目对大气环境的正影响、负影响及其程度和评价者的意见。

需要在评价过程中确定建设项目与大气环境有关部分的方案比较时，应在小结中确定推荐方案，并说明其理由。

七、大气扩散过程的室内模拟和现场测定

对于复杂地形、地物上的大气扩散计算，由于湍流较强，采用各种经验公式确定扩散参数，进行模型计算往往不准确。在有条件时，扩散参数应尽量现场实测或通过实验室模拟实验测定。本节对常用的方法作简要介绍。

(一) 烟云照相法和激光测烟法

这两种方法通常用于烟气抬升高度和近距离扩散参数的测定。

1. 方法及原理

如试验对象已有合适高度的排烟烟囱，可在不同排烟工况及气象条件下用烟云照相法或激光测烟雷达对烟云扫描。烟云照相法最好用立体摄影机，但一般照相机也可取得满意的结果。照相法要在相同条件下拍下多张照片，进行叠置描下平均烟云轮廓线。认为烟云可见轮廓的边缘沿视线的积分浓度是个固定值，这样便可通过烟云轮廓线的宽度来求扩散

参数。也可用烟云图像的灰度进行分析,认为灰度分布与浓度分布具有相似性,便可通过相片的灰度分析求扩散参数。激光测烟雷达是对烟云发射、扫描,通过激光对烟云粒子的反射回波,可得到发射点到烟云的距离及烟云浓度相对分布等信息,分析这些信息可求得扩散参数。对烟云中心轨迹的分析,结合排烟条件可研究烟气抬升高度。在当地实际的烟云可供试验测定时,也可通过人工释放烟幕进行扩散参数的扩散试验,但不能进行烟气抬升高度的研究。

2. 试验实施要点

(1) 要选择各种气象条件进行,要注意风向稳定性和不同的稳定度条件,在极不稳定条件下往往难以取得满意结果。

(2) 试验时必须同时进行排烟条件(如排烟温度、速度)和气象条件(风向、风速、稳定度等)同步测定。

(3) 相同条件试验要有多组数据,如烟云照相机,要有5组以上烟云轮廓数据,每组烟云轮廓也要有5张以上图像进行叠加来求取。

(4) 仪器安装点离烟囱不短于500m。力求其视线与烟云路径垂直,仰角力求减小。仪器与烟云的距离、角度等在数据处理时要认真订正。

(5) 烟云轮廓线的描绘要力求克服主观性,可由数人描绘,从中合理选择或取平均。

(二) 标记粒子法

常用的有平衡气球或等容气球法,所用的气球材质、充气平衡方式及在大气中运动特性有所不同,但基本目的、任务是一致的,都可叫作定高球。试验的目的是:①通过气球空间运行轨迹研究局地流场特征及其气象背景;②由气球空间运行轨迹,计算一系列拉格朗日统计量来估算大气边界层的湍流强度、扩散参数以及大气湍流谱的某些特性。

这是一种对于局地流场不均匀地区(如城市、沿海、丘陵及一些山区)直观描绘流场、定量估算扩散特征的简易可行的方法。

1. 方法及原理

平衡气球常用橡胶制作,充氢和一氧化碳混合气体使其做到平衡;等容气球常用塑料薄膜制作,一般只充 H_2 使其具有一定超压,并给予一定初举力让其在预定高度飞行。气球可单个等时相继施放,也可同时双球或成组施放。气球可在铁塔上施放,也可由系留气球携带到预定高度让其自动脱钩施放,还可从地面施放,如有不生产的高大烟囱,可利用它在底部施放,让气球在出口飞出,气球可用双经纬仪追踪,也可用气象雷达追踪,前者距离近,一般只能达到15km以内。

等容或平衡气球在空中运行轨迹与大气质点运动具有相似性质(只有一个时间相位差),所以可用气球在空中运动的轨迹来研究大气质点流动特征。根据湍流统计理论,用气球运动得到的脉动量研究湍流强度、扩散参数等特征量。气流运动的空间坐标,当用经纬仪跟踪时,通过两组方位角、仰角数据用矢量法计算。扩散参数可由单轨迹法和双轨迹法计算。

2. 试验实施要点

(1) 气球性质及其平衡试验成败的关键。对气球漏气性能和平衡效果要经预备性试验

做到心中有数。

(2) 用经纬仪跟踪时, 提高观测水平是保证试验精度的重要环节。一般采用双基线, 便于不同风向使用, 基线长为 500~10000m。每次同步观测方位角及仰角读数以 15s 为宜, 能做到 10s 更好。用雷达追踪时数据读取时间可以更短。在数据处理中, 对于个别由于各种因素造成的特异值, 要有分析地或按一定的检验方法给予舍弃, 避免引起对统计量的明显误差。

(3) 通过气球运行轨迹来计算扩散参数时, 对轨迹要进行判断和选择。不要把这些明显歪曲的, 即主要由于局地环流引起的输送结果估计为湍流脉动引起的扩散效应。

(4) 用滑动平均求取扩散参数时, 有效值不能超过采样时间的 30%, 否则将产生明显误差。用等容气球所取得的垂直扩散参数, 由于气球在平衡高度恢复力的影响往往比实际偏低, 只能做为一级近似使用。

(5) 对于存在次生边界层地区 (如城市、工业热岛、水陆界面等), 要注意扩散参数的不连续性特点, 必要时分段整理。

(6) 试验安排要反映不同气象条件。为取得充分可靠的结果, 要有足够的气球数作为统计基础, 一般一次试验不应短于 15 天, 有效球在 120 个以上。

(7) 用气球轨迹研究流场特征时, 要结合地形、运行方向、气象要素以及天气形势来综合分析。

(三) 示踪浓度扩散试验

以上两种试验是间接的模拟, 即通过研究大气湍流特征, 求扩散参数等。而示踪浓度试验则是比较直接的方法, 即是以某种示踪物质来模拟某些污染物的排放, 在下风向测定示踪物的时空浓度分布, 从而建立排放量和浓度贡献的定量关系, 也可由所确定的扩散参数为模型预测提供依据。这种方法特别适用于地形复杂地区和气象条件多变的情况。

1. 方法及原理

本试验方法首先是选取合适的示踪剂, 目前用于扩散实验的示踪剂有许多种, 有气体型的、有气溶胶型的, 也有放射性物质。示踪剂的选择原则是无反应干扰、物理化学性质稳定、对环境毒害小、又便于采样并能实现高精度的分析。目前普遍认为六氟化硫是较理想的示踪剂。

示踪试验方法可用于扩散研究的根据是认为污染物在大气中扩散主要取决于大气湍流、污染物的物理化学特性的影响是可以忽略的。因此可以用示踪物来模拟污染物的扩散过程。

2. 试验实施要点

(1) 要考虑根据不同气象特点来进行, 如不同风向、不同稳定度, 以及由于复杂地形引起多种局地环流的特点等, 但每种条件希望能在 2~3h 内是相对稳定的; 总试验次数以不少于 10 次为宜。

(2) 采用连续均匀施放示踪剂, 一次施放时间能在 1.5h 以上, 采样时间按不同距离可以不同时采样, 总之估计要在示踪物到达后和离开前的中间时段中进行, 总采样时段不少于 1h, 其间可以分别采几个样品。

(3) 地面采样点应以施放点为中心做弧形布置, 同一次实验弧线一般不少于 5 条, 在下风向扇形布点。

(4) 每次试验事先估计风向方位, 以便合理布置采样点是成败的关键。试验时要同期进行气象观测, 除风速、风向外, 最好能进行航空温度探空和等容气球实验, 以便于对试验结果进行合理分析。

3. 试验结果的利用

通过施放源强和下风向的浓度分布关系, 可以取得以下结果:

(1) 推断扩散主轴及不同扩散类型的水平, 垂直扩散影响范围。

(2) 不同下风范围内的扩散稀释率及最大落地浓度出现位置和浓度值。

(3) 不同距离的浓度分布形式, 并通过这些分布形式的计算分析, 求取水平和垂直扩散参数。

(4) 取得以上结果为模型计算提供参数及模型检验依据, 为风洞试验提供实验依据。

(四) 环境风洞模拟试验

复杂地形、建筑群等对扩散的影响, 可进行实验室风洞试验模拟。风洞模拟的特点在于试验条件可控。可作重复性、规律性研究。

风洞是用人工制造的气流来模拟实际气流的试验装置, 用于大气扩散研究的风洞称为环境风洞, 它是一种低速风洞, 能模拟大气边界层的流动。风洞模拟的可靠性是基于流体力学的相似性原理。

1. 风洞试验的主要内容

风洞试验的内容大致包括:

(1) 各类地形、建筑物周围的大气边界层的流动特征。

(2) 烟囱排烟的热力和动力抬升高度及烟羽扩散参数。

(3) 各种烟源排烟对周围地区浓度分布的影响预测。

2. 风洞试验实施要点

(1) 必须使风洞中流场与实际大气流动相似, 它包括: 几何相似; 流场平均量 (包括风速垂直分布、水平分布) 相似; 流动温度场 (包括水平和垂直气温分布) 相似; 流场湍流特征 (包括湍流度及其分布、湍流流谱) 相似; 排烟条件 (排烟速度、温度、烟气密度等) 相似。按照这些相似要求, 对于不同性质的试验内容提出各种相似原则。

(2) 进行风洞试验时必须具备一定的现场观测结果, 以作为风洞模拟实验的依据。主要有风的垂直分布规律数据及湍流分布的数据等。

(3) 试验模型缩比, 根据不同试验对象应进行最佳缩比分析后再确定。一般而言, 对于建筑尾流影响试验, 模型缩尺在 $1/200 \sim 1/300$ 之间, 对于烟气抬升试验, 模型缩尺在 $1/400 \sim 1/500$ 之间。对于局地流场和扩散浓度预测试验, 模型缩尺在一般在 $1/1000 \sim 1/5000$ 之间。

(4) 为使试验结果具有可靠性和可比性, 在进行扩散浓度预测试验时, 一般做法是首先在平板上, 在所确定的高度施放示踪物, 求其浓度分布, 算出 σ_y 、 σ_z 值, 反复调整到与 $P-G$ 曲线图的 σ_y 、 σ_z 值相一致。然后, 再用地形模型测定浓度分布, 通过无地形和有地形

模型的结果相比较，研究地形带来的影响。

(5) 试验时可对不同气象条件，特别是容易发生高浓度的气象条件进行试验，或将各种气象条件和排放条件进行组合试验，以进行规律性研究。

3. 风洞试验结果的利用

当要将风洞试验结果用于模型计算时，一种方法是对于地形模型所试验得的扩散参数 σ_y 、 σ_z 值，直接应用于模型计算。另一种方法是作为模型计算浓度的地形补偿使用，即在风洞中求得单板试验及地形模型试验的多点浓度比：

$$\alpha(x,y) = \frac{ec(\text{地形模型})}{c(\text{平板模型})}$$

则地形补偿后的浓度值为：

$$e(\text{补偿后}) = \alpha(x,y) \cdot e(\text{按平地计算值})$$

还有一种方法是直接按地形模型试验结果，作浓度分布图，以提供预测评价的依据。

应注意的是，由于风洞中排放源的横向均匀性和纵向稳定性，限制了风水平摆动效应，所以风洞实验结果只代表短时间预测， σ_y 、 σ_z 代表几分钟采样时间的值。实际应用时往往要作时间稀释修正。此外风洞试验预测下风向十多公里的浓度时，由于不能反映风向切变对扩散的影响，即地转力的影响，预测结果往往较实际偏高，故只能作为一种安全预测来应用。

复 习 题

1. 我国北方某年对 SO₂ 和烟尘的监测数据见表 5-22，试用 Green 大气污染综合指数评价各季大气质量状况，并讨论其变化趋势及原因。

表 5-22 SO₂ 和烟尘监测数据

污 染 物	季 度			
	1	2	3	4
SO ₂ (μg/m ³)	60	45	50	70
烟尘 (μg/m ³)	240	180	220	240

2. 已知某城市大气污染物及实测数据见表 5-23，请用美国污染物标准指数进行评价。

表 5-23 某城市大气污染物及实测数据 μg/m³

颗 粒 物 (24h)	SO ₂ (24h)	CO (8h)	O ₃ (1h)	NO ₂ (1h)
600	800	30000	160	1000

3. 已知区域 A 和 B 大气污染监测状况见表 5-24 [O₃ 为 1 小时平均浓度，其余为日平均浓度(mg/m³)]。请用美国橡树岭大气质量指数进行评价并比较结果(标准采用 GB3095—

1996 二级标准)。

表 5-24

大气污染监测状况

	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃	颗粒物
区域 A	0.1	0.2	0.13	0.10	0.15
区域 B	0.1	0.1	0.08	0.15	0.20

4. 已知区域 A 监测数据见表 5-24, 请用南京大气质量指数进行评价, 有三组权值见表 5-25。试比较不同权值下, 区域 A 的大气质量结果。

表 5-25

某区域污染物监测数据

	第一组	第二组	第三组
CO	0.3	0.2	0.08
SO ₂	0.15	0.2	0.4
NO _x	0.15	0.2	0.4
O ₃	0.3	0.2	0.08
颗粒物	0.1	0.2	0.04

5. 某市连续四年监测数据见表 5-26。请用上海大气质量指数法评价该市历年的大气质量及变化趋势 (标准用 GB3905—1996 二级标准)。

表 5-26

某市连续四年污染物监测数据

mg/m³

年 份	全 年 平 均 值					
	SO ₂	NO _x	TSP	飘尘	铅	氟化物 (以 F 计)
1991	0.10	0.15	0.75	0.35	0.0013	0.01
1992	0.15	0.04	0.85	0.40	0.0015	0.005
1993	0.13	0.06	0.50	0.28	0.0010	0.013
1994	0.07	0.04	0.55	0.20	0.0010	0.007

6. 常用于评价大气环境质量的生物指标法有哪些? 比较它们各自的特点、应用的适宜条件及优缺点。

7. 大气污染对植物的影响有哪些? 外观可见的影响是什么?

9. 某拟建电厂每秒钟排放 1000g SO₂, 排气筒有效高度为 200m, 烟囱口处的平均风速为 5m/s, D 类稳定度时, 试画出下风向轴线浓度与距离 x 的曲线 ($x: 0 \sim 20\text{km}$), 并计算 $C_{\max}$ 和 $x_{\max}$ 。

10. 天黑后在后院烧废物, 火已熄灭, 因此无烟云抬升, 此时源上方平均风速为 2m/s, 悬浮粒子源强为 1g/m³, 问离源下风向 100m 处的悬浮粒子的浓度。

11. 位于平原地区的某电厂, 拟建 120m 高的排气筒, 上出口内径为 5m, 排烟量为

$15\text{m}^3/\text{s}$, 排气筒出口处的烟气温度为 120°C , 当地某气象台统计定时观测最近 5 年平均气温为 10°C , 平均风速为 $4\text{m}/\text{s}$, 假定气象台址与电厂的地面海拔高度相同, 计算排气筒烟气的抬升高度。

12. 拟建一煤气厂, 排气筒高度为 150m , 出口内径为 6m , 出口烟气排出速度为 $15\text{m}/\text{s}$, 排气出口处的烟气温度为 140°C , 厂址处同气象台统计定时观测最近 5 年平均气温为 14°C , 预测在静风与稳定条件下, 排放源高度以上环境温度垂直变化率为 $0.001^\circ\text{C}/\text{m}$, 求烟气的抬升高度。

13. 某拟建化工厂投产后将排放 $50\text{g}/\text{s}$ 的 SO_2 , 排气筒高为 45m , 预计烟气排放抬升高度为 5.5m 。预测在距地面 10m 处风速为 $5\text{m}/\text{s}$, 大气稳定度为 D 级时, 该排气筒下风向 500m 处, 距排气筒风向轴线水平垂直距离 50m 处的公园里所增加的 SO_2 浓度值。如该地大气 SO_2 的基线浓度是 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$, 公园里空气中 SO_2 浓度应保持在二级标准, 则该厂排放的 SO_2 量应控制在什么范围内。

14. 在某城区中以边长 1600m 的正方形区域进行 SO_2 排放监测。每一区域的排放量估计为 $8000\text{mg}/\text{s}$, 若有以下气象条件: 大气稳定度为 E 类, 北风风速为 $3\text{m}/\text{s}$, 区内源平均有效高度为 18m , 预测该区在其南面相邻区域中心的 SO_2 浓度是多少?

15. 拟建一高速公路为南北走向, 预计在运输高峰期, 汽车流量为 7000 辆/h, 汽车平均速度为 $60\text{km}/\text{h}$, 在平均车速时, 每辆车的总碳氢化合物的排放率为 $20\text{mg}/\text{s}$ 。预测在 D 类稳定度, 风向 270° (正西风), 风速为 $4\text{m}/\text{s}$, 对公路下风向 500m 处的总碳氢化合物的贡献值。

第六章 水环境质量评价

第一节 水环境质量现状评价

水环境是河流、湖泊、海洋、地下水等各种水体的总称。水环境是一个统一的整体。河流和湖泊等地面水体与地下水是相互补充、相互影响的，海洋是内陆水的受体。一个水体是由水、底质和水生物三部分组成的，它们之间是相互联系、相互影响的。在进行水环境评价时，一定要注意水体之间和水体内各组成部分之间的相互关系。

造成水体污染的任何污染物进入水体后都有其本身的运动规律和存在形式。它们在不同地区和不同水域中都有很大差别，进行水质评价时，就需了解和掌握主要污染物在运动过程中可能产生的变化趋势。为此，我们要研究水环境变化的时间和空间规律。在时间因素上，要掌握不同时期、不同季节污染物动态变化规律；在空间因素上，需要掌握水体的不同位置（例如：河流的上游、下游河段）、不同深度处水的质量参数的变化规律，只有了解这些基本规律才能使水体质量评价具有典型和代表性的特点。

一、地面水质量评价

地面水质量评价的方法包括水环境指数法、生物学评价方法和概率统计方法等，首先介绍水环境指数评价方法。

（一）一般型水环境指数

1. 内梅罗 (N. L. Nemerow) 污染指数

美国叙拉古大学的内梅罗在《河流污染科学分析》一书中提出了该污染指数。

内梅罗选取以下各项作为计算水质指标的参数，即：温度、颜色、透明度、pH、大肠杆菌数、总溶解固体、悬浮固体、总氮、碱度、氯、铁和锰、硫酸盐、溶解氧。

他将水的用途划分为三类，即：

- (1) 人类接触使用的：包括饮用、游泳、制造饮料等。
- (2) 间接接触使用：包括养鱼、工业食品制做、农业用等。
- (3) 不接触使用：包括工业冷却水、公共娱乐及航运等。

根据水的不同用途，拟定了相应的水质标准（见表 6-1～表 6-3），作为计算水质指标的依据，进而计算出各种用途的水的水质指标值。

根据划分的水的用途，内梅罗先建立了分指数，即：

$$PI_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{平均}}^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{最大}}^2}{2}}$$

式中 PI_j —— j 类水用途指数；

C_i —— i 污染物的实测浓度；

l_{ij} —— i 污染物对应 j 类水用途的标准。

表 6-1 人类直接接触用水的水质允许标准 (N. L. 内梅罗)

用途	温度 (°F)	颜色 (单位)	透明度	pH	大肠杆菌数 (100mL)	总固体 (ppm)	悬浮固体 (ppm)	总氮 (ppm)	碱度 (ppm)	硬度 (ppm)	氯 (ppm)	铁和锰 (ppm)	硫酸盐 (ppm)	溶解氧 (ppm)
饮水	—	5	5	—	5	500	—	45	—	—	250	0.35	250	—
游泳	85	—	—	6.5~8.3	—200	—	—	—	+	+	+	+	—	—
制造饮料	—	10	—	—	—	—	—	—	85	—	250	0.35	—	—1
平均	85	13	5	6.6~8.3	—103	500	—	45	/	/	/	/	250	40

注 (—) 有争论, (+) 没有特殊限制, (/) 因为存在 (+) 而没有确定。

表 6-2 人类间接接触用水的水质允许标准 (N. L. 内梅罗)

用途	温度 (°F)	颜色 (单位)	透明度	pH	大肠杆菌数 (100mL)	总固体 (ppm)	悬浮固体 (ppm)	总氮 (ppm)	碱度 (ppm)	硬度 (ppm)	氯 (ppm)	铁和锰 (ppm)	硫酸盐 (ppm)	溶解氧 (ppm)
渔业	55	—	30	6.0~9.0	—2000	—	—	—	—	+	—	—	—	—
农业	—	+	—	6.0~8.5	—	500	—	45	—	+	+	10	—	—
果树蔬菜	+	5	5	6.5~6.8	—	500	10	10	250	250	250	0.4	250	—
工业平均	/	/	18	6.2~8.6	—2000	500	100	28	250	1	/	0.7	250	30#

注 (—) 尚有争论, (+) 没有特殊限制, (/) 因为存在 (+) 而没有确定, (#) 假定农业用途是指农场和灌溉用。

表 6-3 不接触用水的水质允许标准 (尼姆诺)

用途	温度 (°F)	颜色 (单位)	透明度	pH	大肠杆菌数 (100mL)	总固体 (ppm)	悬浮固体 (ppm)	总氮 (ppm)	碱度 (ppm)	硬度 (ppm)	氯 (ppm)	铁和锰 (ppm)	硫酸盐 (ppm)	溶解氧 (ppm)
钢铁冷却水	100	+	+	5~9	+	—	10	+	—	—	—	—	—	—
水泥	—	—	+	6.9	+	600	500	+	400	—	250	25.5	250	—
石油	—	—	—	6.0~9.5	+	1000	10	+	—	350	300	1.0	+	—
纸浆	95	10	—	6.10	+	—	10	+	—	100	200	11	+	—
纺织	—	5	—	1.4~103	+	100	5	+	—	25	—	0.2	—	—
化学	—	5	—	6.5~81	+	338	5	—	145	210	28	0.2	85	—
航运	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
美观的	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均	/	/	/	6.1~9.1	/	510	9.0	/	274	17.1	195	5.6	/	20#

注 (—) 尚有争论, (+) 没有特殊限制, 因为存在 (+) 而没有确定, (#) 假定航运和美观的, 用水尚无有效的标准。

在计算各 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值时,认为这种 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值指的是相对污染情况,它反映 j 类用途的水受到污染的情况,而这种污染可表现在处理设施的必要花费上。但不同的 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值,给水质带来的污染和所需要的处理费用是不同的,往往并不和它们在 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值中的比例相一致。为了使指数能够反映水体的污染程度,在计算 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值的方法中应加以修正:

当 $\frac{C_i}{L_{ij}} \leq 1.0$ 时, $\frac{C_i}{L_{ij}}$ 为实测值

当 $\frac{C_i}{L_{ij}} > 1.0$ 时, $\frac{C_i}{L_{ij}} = 1.0 + P \cdot \log \frac{C_i}{L_{ij}}$

式中 P ——常数,一般取 5.0。

内梅罗认为上述算出的只是某一种水用途 j 的,而在分析污染控制问题的区域利益方面,则必须考虑到目前该区中水的一切用途,算出总的水污染指数 PI 。他建议用一个区域中所计算出的各种用途的 PI_j 来计算 PI ,即需将一个区域各种水用途的相对重要性确定出来,得出一些简单的常数值 (W_j),而使 $\sum (W_j) = 1$,然后把各个 W_j 值作为各 PI_j 值的数值,最后求出 PI 。即:

$$PI = \sum_{j=1}^n (W_j PI_j)$$

该指数两个明显的特点是兼顾考虑最高的 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 值 $\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)$ 与平均值和不同类的水用途对整个评价区域水体的影响。

2. 北京西郊水质质量系数

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i ——各种污染物实测浓度, mg/l ;

S_i ——各种污染物的地面水卫生标准, mg/l 。

根据北京西郊河流具体情况,用 P 值将地面水分为七个等级,见表 6-4。

表 6-4 北京西郊水质质量系数分级

级 别	P 值	级 别	P 值
清 洁	<0.2	轻重污染	$5.0 \sim 10.0$
微污染	$0.2 \sim 0.5$	严重污染	$10.0 \sim 100$
轻污染	$0.5 \sim 1.0$	极严重污染	>100
中度污染	$1.0 \sim 5.0$		

3. 南京水域质量综合指标

在南京城区环境质量综合评价中提出了水域质量综合指标

$$I_{*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i P_i, P_i = \frac{C_i}{S_i}, \sum W_i = 1$$

式中 P_i ——各污染物分指数；

C_i —— i 污染物的实测浓度；

W_i ——污染物的权值；

n ——污染物种类。

共选了砷、酚、氰、铬、汞作评价参数，按 I_{*} 值定出水域的水质分级标准，见表 6-5。

表 6-5 南京水域质量综合指标分级

I_{*} 值	级 别	分 类 依 据
<0.2	清 洁	多数项目未检出，个别项目检出，也在标准内
$0.2 \sim 0.4$	尚清洁	检出值均在标准内，个别值接近标准
$0.4 \sim 0.7$	轻污染	有一项检出值超过标准
$0.7 \sim 1.0$	中污染	有 1~2 项检出值超过标准
$1.0 \sim 2.0$	重污染	全部或相当部分监测项目检出值超过标准
>2.0	严重污染	相当部分项目检出值超过标准 1 到数倍

4. 地表水体污染指数

1978 年，中国科学院地理研究所，在对我国地表水质污染现状评价的研究中，提出一种评价地表水质污染的指数，其目的是对我国东部的河流进行污染程度评价。

选用酚、氰、汞、砷、铬五种污染毒物作为评价指标，此外又加用了 COD 和 DO 两种表示水质受到有机污染的水质参数作为计算指标，其次，为了比较河流的水质污染情况，规定了上述各指标的背景值，如表 6-6 所示。

表 6-6 指 标 的 背 景 值 mg/l

项 目	酚	氰	汞	砷	COD	DO
背景值	<0.001	<0.001	0.0002	<0.005	4	4

指数为：

$$I^{\circ} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \cdot \frac{C_i K_i}{T_i} + \frac{\sum_{i=1}^2 X_i}{2}$$

式中 C_i ——五种污染毒物的实测浓度；

T_i ——五种污染毒物的地表水最高允许浓度；

K_i ——河段中五种污染毒物的污染率（即污染点占实测点的百分数）；

n ——污染毒物的项目数，取 5；

X_i ——COD、DO 的数量级指数。

当 $\text{COD} < 4\text{mg/l}$ 时， $x=2$ （水质良好），

COD=4~8mg/l 时, $x=2$ (水质尚好);
 COD=8~20mg/l 时, $x=3$ (水质不良);
 COD>20mg/l 时, $x=4$ (水质很差);
 当 DO<2mg/l 时, $x=4$ (缺氧水);
 DO=2~5mg/l 时, $x=3$ (贫氧水);
 DO=5~6mg/l 时, $x=2$ (适氧水);
 DO>6mg/l 时, $x=1$ (富氧水)。

当酚、氰、汞、砷、铬的浓度, 有在背景值范围内者, 则该项即不纳入上式计算。用上式对我国东部 50 多条河流进行了计算, 并做出了污染等级如下:

$I^{\circ}=1$ 时: 水质处于洁净状态, 水中富氧, COD 低于 4mg/l, 五种污染毒物的浓度都在地表水背景范围内。

$I^{\circ}=1\sim 2$ 时: 地表水受到污染, 五种污染毒物可能有个别项目超过地面水浓度标准, 但总的看来污染不严重。COD 和 DO 的影响可能较大。

$I^{\circ}=2\sim 3$ 时: 地表水受到较重污染, 五种污染毒物的浓度可能有数项超过地表水标准, 但最高不超过 15 倍。COD 和 DO 的影响比重仍很大。

$I^{\circ}>3$ 时: 五种污染毒物可能有一项超过地表水标准 15 倍, 或多项毒物超过数倍, COD 和 DO 对指数的影响降低。

在上式中加入 K_i 的目的是: ①削减偶然的或特殊的数据影响, 使监测数据趋于稳定; ②有利于使指数反映河流河段污染的总趋势和河段污染物的分布状况。

为了反映我国地表水全国污染的总水平, 又设计了全国地表水污染指数, 其计算式如下:

$$I = \sum_{i=1}^n A_i I_i^{\circ}$$

式中 A_i —— i 河段的面积占 n 个河段面积的百分数;

I_i° —— i 河段的污染指数。

(二) 分级型水环境指数

1. 罗斯 (S. L. Ross) 水质指数

Ross 在总结以前的水质指数的基础上, 对英国克鲁多河干支流进行了水质评价的研究, 提出了一种较简明的水质指数。

在较多监测项目中如 pH 值、悬浮固体、氨氮、BOD、碱度、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、总硬度、DO、氟、磷酸盐等中选用悬浮固体、BOD、DO、氨氮和磷酸盐为评价参数。在工作过程中又发现磷酸盐影响较小而舍去。最后为四个参数, 并分别给予权值 (见表 6-7)。

表 6-7 各评价参数权值

参 数	BOD	氨 氮	悬浮固体	DO
权重系数	3	3	2	2

其中 DO 可用浓度和饱和百分数两种表示, 各取权值为 1, 所有权值相加得 10。

在计算水质指数时, 不直接用各参数的测定值或相对污染值来统计, 而是先把它分成等级, 然后按等级进行计算 (见表 6-8), 其计算式为:

$$WQI = \frac{\sum \text{分级值}}{\sum \text{权重值}}$$

规定 WQI 值用整数表示, 这样就将水质指数分成从 0~10 的 11 个等级, 数值越大, 则水质越好, 各级指数可进行如下分级:

WQI=10	天然纯净水
8	轻度污染水
6	污染水
3	严重污染水
0	水质类似腐败的原污水

表 6 8 水质指数各参数的评分尺度

悬浮固体		BOD		氨 氮		DO		DO	
浓度 (mg/l)	分级	浓度 (mg/l)	分级	浓度 (mg/l)	分级	饱和度 (%)	分级	浓度 (mg/l)	分级
0~10	20	0~2	30	0~0.2	30	90~100	10	>9	10
10~20	18	2~4	27	0.2~0.5	24	80~90		8~9	8
20~40	14	4~6	24	0.5~1.0	18	105~120	8	6~8	6
40~80	10	6~10	18	1.0~2.0	12	60~80		4~6	4
80~150	6	10~15	12	2.0~5.0	6	>120	6	1~4	2
150~300	2	15~25	6	5.0~10.0	3	40~60	4	0~1	0
>300	0	25~50	3	>10.0	0	10~40	2		
		<50	0			0~10	0		

2. W 值水质评价方法

W 值水质评价方法的评价顺序是: 赋予各项监测值以评分数, 将评分数转换成数学模式, 再对水质进行污染分级, 写出污染表达式。最后, 计算各河流 (或河段、水域) 的综合污染系数。

(1) 监测项目与评分标准

为了全面评价地表水体, 原则上讲, 所有项目都应监测。一般情况下, BOD₅、DO、COD_{Mn}、挥发性酚、氰化物、Cu、As、Hg、Cd、Cr⁶⁺、氨氮、阳离子合成洗涤剂 (ABS)、石油等 13 项是必须监测的。

对地面水质的单一项目或污染物的评分用“地表水质单一项目或毒物的分级与评分标准表” (见表 6-9)。表中把单一项目或污染物的含量分为 I、II、III、IV、V 级, 评分时一般分别给予 10、8、6、4、2 分。10 分最理想, 2 分最差。表中 I 级除 DO、BOD₅、COD_{Mn}、Cu 外, 其它为饮用水标准; DO、BOD₅、COD_{Mn}是根据大量实际监测资料确定的; Cu 为水产用水标准。II 级除 ABS 外, 等于或小于水产用水标准。III 级为地面水标准; IV 级为农田

灌溉用水标准；大于农田灌溉用水标准的数值为V级。

(2) 数学模式

为了概括地表示水质监测的总项数和各级别的项数，采用数学模式，其写法为：

$$SN_{10}^n N_8^n N_6^n N_4^n N_2^n$$

式中 S ——监测总项数；

N_{10}^n 、 N_8^n 、 N_6^n 、 N_4^n 、 N_2^n ——分别为监测值得10分、8分、6分、4分、2分的项数。

表 6-9 地表水质单一项目或毒物的分级评分标准

实测值与评分 项目	I		II		III		IV		V	
分级	mg/l	评分	mg/l	评分	mg/l	评分	mg/l	评分	mg/l	评分
DO	≥ 5	10	≥ 5	10	≥ 4	8	≥ 3	4	< 3	2
BOD ₅	≤ 2	10	≤ 3	8	≤ 4	6	≤ 10	4	> 10	2
COD _{Mn}	≤ 5	10	≤ 8	8	≤ 10	6	≤ 25	4	> 25	2
酚	≤ 0.002	10	≤ 0.01	8	≤ 0.01	8	≤ 1	4	> 1	2
CN	≤ 0.01	10	≤ 0.02	8	≤ 0.05	6	≤ 0.5	4	> 0.5	2
Cu	≤ 0.01	10	≤ 0.01	10	≤ 0.1	8	≤ 1.0	4	> 1.0	2
As	≤ 0.02	10	≤ 0.03	8	≤ 0.04	6	≤ 0.1	4	> 0.1	2
Hg	≤ 0.001	10	≤ 0.001	10	≤ 0.001	10	≤ 0.005	4	> 0.005	2
Cd	≤ 0.01	10	≤ 0.01	10	≤ 0.01	10	≤ 0.1	4	> 0.1	2
Cr ⁺⁺⁺	≤ 0.05	10	≤ 0.05	10	≤ 0.05	10	≤ 0.1	4	> 0.1	2
石油	0	10	≤ 0.05	8	≤ 0.3	6	≤ 10	4	> 10	2
NH ₄ ⁺ -N	≤ 0.2	10	≤ 0.5	8	≤ 1.0	6	≤ 30	4	> 30	2
ABS	≤ 0.3	10	≤ 0.4	8	≤ 0.5	6	≤ 5	4	> 5	2

其中得4分和2分的项数为超过地表水标准的项数。例如，某监测点的数学模式为： $8N_{10}^4 N_8^1 N_6^0 N_4^2 N_2^1$ ，表示监测总项数为8项，其中得10分的4项，8分的1项，6分的0项，4分的2项，2分的1项，有3项超地表水标准。

(3) 污染分级

地面水质的综合评价分五级，即W1级——第一级（优秀级），也叫饮用级；W2级——第二级（良好级），也叫水产级；W3级——第三级（标准级），也叫地表级；W4级——第四级（污染级），也叫污灌级；W5级——第五级（重污染级），也叫弃水级。

水质的分级标准以污染最重的两项来确定。在诸项监测指标中，用两个最小评分值之和除之。如所得商数为奇数，则进为相邻的偶数，用该偶数所在的级别评价水质（见表6-10）。

表 6 10

地表水质的综合分级表

值	W1 级 第一级 (优秀级) 饮用级	W2 级 第二级 (良好级) 水产级	W3 级 第三级 (标准级) 地表级	W4 级 第四级 (污染级) 污灌级	W5 级 第五级 (重污染级) 弃水级
分 级 标 准	凡两项最低评分值之和为 18 分和 20 分的均属 W1 级。如：(1) 只有一项最低评分值为 8 分，其余项目均为 10 分；(2) 所有项目均为 10 分	凡两项最低评分值之和为 14 分和 16 分的均属 W2 级。如：(1) 只有一项最低评分值为 4 分，其余项目均为 10 分；(2) 只有一项最低评分值为 6 分另一项为 8 分；(3) 只有一项最低评分值为 6 分，其余项目均为 10 分；(4) 有两个最低评分值为 8 分的项目	凡两项最低评分值为 10 分和 12 分的均属 W3 级。如：(1) 只有一项评分值为 2 分，而无 4 分和 6 分的项目，有一项为 8 分；(2) 只有一项为 2 分，而无 4、6、8 分的项目，其余项目均为 10 分；(3) 只有一项最低评分值为 4 分，另一项为 6 分；(4) 只有一项最低评分值为 4 分，而无 6 分的项目，另一项为 8 分；(5) 有两个最低评分值为 6 分的项目	凡两项最低评分值之和为 6 分和 8 分的均属 W4 级。如：(1) 只有一个 2 分的项目，另一项为 4 分；(2) 只有一项为 2 分，而无 4 分的项目，另一项为 6 分；(3) 有两个最低评分值为 4 分的项目	至少有两项的评分值为 2 分

(4) 污染表达式

为了一目了然地表示监测项数、污染级别和超标项数，采用“污染表达式”，其写法是：

$$SWJ - C$$

式中 S ——监测总项数；

WJ ——污染级别；

C ——超标项数。

如 13W2—1 这一污染表达式，表示监测项数为 13 项，水质属 W2 级，有一项超过地面水标准。

地表水质的监测值可以是一次的，也可以是多次的平均值，如月平均值、年平均值。 W_j 表示一次测定值， $\overline{W_j}$ 表示年内多次测定值的平均值。不同符号的 WJ 表示它们的可信程度。

(5) 河流（河段或水域）污染程度的对比

为了对比不同河流的污染程度，采用综合污染指数 P

$$P = \sum bWJ$$

式中 b ——监测点所控制的河段长度（或水域面积占河流长度 l 或整个水域面积）的比例；

WJ ——各监测点的污染级别。

P 值范围从 1 到 5，数值越大，污染越严重。

为了表示 P 值的可信程度，可将河流的总长度 L (km) 或水域总面积 A (km²) 和监测点数 n 写在 P 的前边，即

$$\frac{n}{L(\text{或 } A)} \cdot P$$

如 $\frac{3}{150}P_{2.2}$ 和 $\frac{8}{150}P_{2.2}$ ，虽然二者的 P 值均为 2.2，但前者在全长 150km（或面积 150km²）内监测了 3 个点，后者在全长 150km（或面积 150km²）内监测了 8 个点。

W 值分级法也适用于污水、地下水和土壤的评价，只是需要制定出各自的评价标准。

3. 分级评分法

这是国家环保局标准处曾推荐的一种水质评价方法。

(1) 评价标准以 GB 3838—83《地面水环境质量标准》以及《污染水质分级》为参考依据，见表 6-11。

表 6-11

地面水质评价分级

项 目	评 价 分 级					
	地面水环境质量标准			污染水质分级		
	第一级 (I)	第二级 (II)	第三级 (III)	轻污染 (IV)	重污染 (V)	严重污染 (VI)
	界 限 值					
臭 (级)	无异臭	臭强度一级	臭强度二级	臭强度三级	臭强度四级	臭强度五级
色度 (铂钴法, 度)	≤10	≤15	≤25	>25	>40	>50
溶解氧 (DO)	饱和率 ≥90%	≥6	≥4	<4	<3	<1
生化需氧量 (BOD ₅)	≤1	≤3	≤5	>5	>15	>30
化学需氧量 (COD _{Mn})	≤2	≤4	≤6	>6	>20	>50
挥发酚类	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01	>0.1	>0.5
氰化物 (CN)	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1	>0.5	>2
铜 (Cu)	≤0.005	≤0.01	≤0.03	>0.03	>0.2	>2
砷 (As)	≤0.01	≤0.04	≤0.08	>0.08	>0.3	>1
总汞 (Hg)	≤0.0001	≤0.0005	≤0.001	>0.001	>0.01	>0.05
镉 (Cd)	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01	>0.05	>0.1
六价铬 (Cr ⁺⁶)	≤0.01	≤0.02	≤0.05	>0.05	<0.2	>1.0
铅 (Pb)	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1	<0.3	>1.0
石油类	≤0.05	≤0.3	≤0.5	>0.5	>5.0	>20
大肠菌群 (个数/l)	≤500	≤10000	≤50000	>50000	>300000	>500000
氨氮 (上海暂定标准)	≤0.3	≤0.5	≤1.0	<2.0	<4.0	>4.0

注 表中未注明单位者为 mg/l。

(2) 评价代表值在评价时采用一次值，或采用多次平均值，而且必须与评价的具体目的相适应，它适用于对一个河段的一点或多点的监测结果、一条河流不同河段的监测结果，以及同一监测点的不同时间监测结果的评价。

(3) 评价记分原则分值越高，表示水质越好。根据标准分级的原则和各级的定义，已确定同级中的每一参数是等权的，而各级间的分值差是不等的。各级参数分值如表 6-12 所

示。表中总分值是以 16 项评价参数为计算依据的。

表 6 12

各级参数的分值及评价总分值

级 别	参 数 的 分 值	评 价 总 分 值
第一级 (I)	10	145~150
第二级 (II)	9	135~144
第三级 (III)	8	120~134
轻污染 (IV)	6	110~119
中污染 (V)	3	90~109
重污染 (VI)	1	15~89

(4) 评价步骤, 根据各项参数的实测结果, 查表 6-12, 得出每一参数值相应级别的分值, 各项参数分值相加为总分值。如在计算中, 某一参数缺乏实测值, 可根据近期实测的资料或对实测情况的分析, 确定级别, 计算分值 (经实测的参数分值和总分值均加括号以示区别)。

(5) 评价结果的表示, 应反映水质的实际状况。除了以总分值表示水质总的状况外, 对污染的水质还要把污染的特征表示出来。一个水样的多数项目是良好的, 而只有个别项目污染严重, 如采用参数的总分值来评价, 不能反映该水质的实际情况, 还可能掩盖单项的严重污染。为此, 评价结果按下面两种情况分别表示:

1) 所有参数都属第一级至第三级的范围时, 按总分值确定该水质级别。表示为:

$$\frac{\sum a_i}{p}$$

式中 a_i ——各参数相应级别的分值;

p ——总分值 ($\sum a_i$) 所对应的级别 (I、II、III 级)。

2) 参数中有属于污染水质的级别范围, 则以其中水质最差的参数级别作为定级依据, 并注明该参数值的化学符号 (或中文名称)。表示为:

$$\frac{\sum a_i}{P_{\max}(N_i)}$$

式中 $P_{\max}$ ——污染水质的参数中最差一级参数相应的级别 (IV、V、VI 级);

N_i ——最差一级的各项参数, 以该项化学符号 (或中文名称) 表示。

当评价参数不足 16 项时, 各级参数的分值保持不变, 而评价总分值可按比例减小后取整。

例如评价参数为 10 项时, 评价总分值可列表如下:

表 6 13

评 价 总 分 值

级 别	评价总分值	级 别	评价总分值
I	91~94	IV	69~74
II	84~90	V	56~68
III	75~83	VI	9~55

二、地面水体底质的评价

用污染指数法评价底质污染状况时,其难点在于缺少底质的评价标准,对湖泊来说,通常是在进行湖区土壤中有害物质自然含量调查基础上,按下面公式评价:

$$I_i = \frac{C_i}{L_i}$$

式中 C_i ——底质中的污染物为实测值;

L_i ——湖区土壤中 i 污染物的自然含量。

计算出各参数的污染指数后,按下式

$$I = \sqrt{\frac{I_{\text{最大}}^2 + I_{\text{平均}}^2}{2}}$$

将计算得的 I 值按表 6-14 对底质污染状况分级:

表 6-14 底质污染状况分级表

底质污染指数值	污染程度分级
<1.0	清 洁
$1.0 \sim 2.0$	轻污染
2.0 以上	污 染

其它水体底质的评价可参考上述评价方法。

三、地下水质量评价方法

自然界中影响地下水质量的有害物质很多。无机化合物有几十种,有机化合物有上百种,能溶解于水中的有七十多种。在不同

地区,由于工业布局不同,污染源的差异很大,污染物的种类也不相同。因此,影响地下水质量的因子的选择,要根据评价区的具体情况而定,大致可考虑的评价参数可分成以下几类:

第一类是构成地下水化学类型和反映地下水性质的常规水化学组成的一般理化指标,有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、pH、矿化度、总硬度、溶解氧、耗氧量等。

第二类是常见的重金属和非金属物质,有 Hg、Cr、Cd、Pb、As、F、CN 等。

第三类是有害物质有:酚、有机氯、有机磷以及其它工业排放的有机毒物。

第四类是细菌、寄生虫卵、病毒等。

各地区在评价地下水质量时,除第一类反映地下水质量的一般理化指标必须监测之外,要根据各地区的污染特点来选择评价因子。

地下水的评价标准,一般常以饮用水水质标准为依据。但是,地下水从未受污染发展到不能饮用,要经历很长时间,一旦某些元素超过饮用水标准后再治理就十分困难。因此,评价宜从严掌握,即从该地区或该城市地下水中各种物质的最大背景浓度作为地下水污染的起始值。以污染起始值作为评价标准。

地下水质量评价常采用统计法和综合指数法。

1. 统计法

以监测点的检出值与背景值或生活饮用卫生指标比较作依据。对监测区污染物质平均含量变化、监测样、监测井的超标率及其分布规律进行污染程度的评价。此法适用于环境水文地质条件简单、污染物质单一的地区采用。

2. 综合指数法

(1) 内梅罗 (N. L. Nemerow) 污染指数法

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{最大}}^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{平均}}^2}{2}}$$

其中各符号含义和计算方法在地面水评价中已有讨论, 下面讨论用该指数进行地下水评价时的分级。

根据 P_{ij} 值, 参照《地下水质量标准》(GB/T 14848—93), 划分地下水质量标准, 再将细菌学指标评价类别注在定名之后, 如“优良 (Ⅰ类)”、“较好 (Ⅱ级)” (见表 6-15)。

表 6-15 地下水评价分级

级别	优良	良好	较好	较差	极差
P_{ij}	<0.80	$0.80 \sim 2.50$	$2.50 \sim 4.25$	$4.25 \sim 7.20$	7.20

(2) 地下水污染指数

这是水文地质研究所提出来的, 它将指数值与人群健康效应联系起来, 评价公式为:

$$W_z = \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{x_0} \lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$$

式中 W_z ——某水井中地下水污染指数;

C_i ——样品中某污染物的实际浓度, mg/l;

x_0 ——该种污染物的污染起始浓度, mg/l;

C_{bi} ——该种污染物的饮用水标准, mg/l;

$\sum C_b$ ——调查中所有污染物饮用水标准的总和;

m ——监测的项目数。

评价公式中 $\frac{C_i}{x_0}$ 表明某水井中某种污染物的异常情况。 $\lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$ 表明该种物质在所有监测项目中对人体健康效应影响系数, 对某种污染物来说它是一个常数 (见表 6-16)。

表 6-16 各种污染物的健康效应影响系数表

项 目	$\lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$	项 目	$\lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$	项 目	$\lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$
SO_4^{2-}	0.408	酚	5.505	铬	4.107
Cl^-	0.505	氰	3.107	镉	4.806
NO_3^-	1.153	砷	4.505	铜	2.806
硬度	0.651	汞	5.306	铅	3.806
				锌	2.806

上式算出的污染指数, 按表 6-17 分级。

表 6-17

地下水水质分级

等级划分	污染程度	污染指数	1978 年分布情况	
			枯水期	丰水期
1	未污染	< 9	市区外围	市区外围
2	轻污染	$9 \sim 20$	124km ²	138km ²
3	中等污染	$20 \sim 30$		
4	轻重污染	$30 \sim 40$	40km ²	25km ²
5	严重污染	> 40	12 处	18 处

四、水环境质量生物学评价

水环境质量生物学评价以生态学和地球化学知识为基础，这部分的工作应主要由生物工作者来完成。因此，目前在水质监测和评价工作中应用尚不普遍，仅就一般性方法做简介。

1. 一般描述对比法

该类方法主要根据调查水体的水生生物的区域组成。种类、数量、生态状况、资源特性等的描述，并和该区域内同类型水体或同一水体的历史状况进行比较，据此作出水体的水质评价。这是一种定性的方法，没有标准，可比性差，但要求评价人员有较丰富的污染生态学方面的知识和经验。

2. 指示生物法

主要根据对水体中有机污染或某种特定污染物质敏感的或有较高耐量的生物种类的存在或缺失，来指示水体中有机物或某种特定污染物的多寡与污染程度，此即指示生物法，也是最经典的生物学水质评价法。

选作指示种的生物最好是那些生命较长，比较固定生活于某处的生物。因它们在较长时期内能反映所在环境的综合影响。一般静水中主要用底栖动物或浮游生物，在流水中主要用底栖生物或着生生物。大型无脊椎动物是应用较多的指示生物。为了较准确评价水质，最好将指示生物鉴定到种，因为同一大类中不同种的生物对污染的敏感或耐受程度是不同的。

有人根据被有机污染的河流自上游至下游随着污染程度的减轻，出现一系列特征性的水生动物和水生植物的现象，提出了污水生物体系。这样，根据河流各区段出现的动植物区系，即可鉴别该区属哪一带及有机污染程度，见表 6-18。

3. 生物指数法

由污染引起的水质变化对生物群落的生态学效应，主要有六个方面：

- (1) 某些对污染有指示价值的生物种类出现或消失，导致群落结构的种类组成变化；
- (2) 群落中生物种类数，在污染变重的条件下减少，在水质较好时增加，但过于清洁的条件下，因食物缺乏，种类数也会减少；
- (3) 组成群落的个别种群变化；
- (4) 群落中种类组成比例的变化；

(5) 自养—异养程度上的变化；

(6) 生产力的变化。

表 6-18 库克维兹 (Kolkwitz) 和马尔松 (Marsson) 污水体系各带的化学和生物特征

	多 污 染	α -中污带	β -中污带	寡 污 带
化学的过程	因腐败现象引起的还原和分解作用明显开始	水及底泥中出现氧化	到处进行着氧化作用	因氧化使矿化作用达到完成阶段
溶氧	全无	有一些	较多	很多
BOD	很高	高	较低	低
硫化氢的形成	有强烈的硫化氢味	硫化氢臭味没有了	无	无
底泥	往往有黑色硫化铁存在，故常呈黑色	在底泥中硫化铁已氧化成氢氧化铁，故不呈黑色		底泥大部分已氧化
水中细菌	大量存在，每毫升水中达 100 万个以上	数量很多，每毫升水中达 10 万以上	数量减少，每毫升水中细菌在 10 万个以下	数量少，每毫升水中细菌数量 100 个以下
栖息生物的生态学特征	所有动物无例外地皆为细菌摄食者；均能耐 pH 的强烈变化；耐低溶氧的嫌气性生物；对硫化氢、胺等毒性有强烈的抗性	以摄食细菌的动物占优势，其它有肉食性动物，一般对溶氧及 pH 变化有高度适应性；大致能容忍胺，对 H ₂ S 仅有弱的耐性	对溶氧及 pH 变动的耐性差，对腐败毒物无长时间耐性	对溶氧及 pH 的变动的耐性很差，特别缺少对腐败性毒物如 H ₂ S 等的耐性
植物	无硅藻、绿藻、接合藻以及高等植物出现	藻类大量发生，有蓝藻、绿藻、接合藻及硅藻出现	硅藻、绿藻、接合藻的种类出现；此带为鼓藻类主要分布区	水中藻类少，但着生藻类多
动物	微型动物为主，原生动物占优势	微型动物占大多数	有多种多样	多种多样
原生动物	有变形虫、纤毛虫，但无太阳虫、双鞭毛虫及吸管虫	逐渐出现太阳虫、吸管虫，但无双鞭毛虫出现	太阳虫和吸管虫中耐污性弱的种类出现，双鞭毛虫也出现	仅有少数鞭毛虫和纤毛虫
后生动物	仅有少数轮虫、蠕形动物、昆虫幼虫、出现水螅。淡水海绵、鲜苔动物、小型甲壳类、贝类、鱼类不能在此生存	贝类、甲壳类、昆虫出现，但无淡水海绵及鲜苔动物，鱼类中的鲤、鲫、鲶等可在此栖息	淡水海绵、鲜苔动物、水螅、贝类、小型甲壳类、两栖动物、鱼类均有多种出现	除各种动物外，昆虫幼虫种类极多

把水质变化引起的对生物群落的生态学效用数学方法表达出来，可得到群落结构的定量数值，这就是生物指数。根据反映的群落结构的内容不同，生物指数可有多种形式，应

用时，最好有几种不同生物指数进行综合评价。

(1) 贝克 (Beck) 指数

按底栖大型无脊椎动物对有机污染的耐性分成两类：Ⅰ类是不耐有机污染的种类；Ⅱ类是能忍受中等程度的污染但非完全缺氧条件的种类。将一个调查点内Ⅰ类和Ⅱ类动物种类数 n_1 和 n_2 ，按 $I = 2n_1 + n_2$ 公式计算生物指数。此法要求调查采集的各测站的环境因素力求一致，如水深、流速、底质、水草有无等。这种生物指数值，在净水中为 10 以上，中等污染时为 1~10，重污染时为 0。

(2) 硅藻类生物指数

即用河流中硅藻的种类数计算生物指数，其计算公式为：

$$I = \frac{2A + B - 2C}{A + B - C} \times 100$$

式中 A——不耐污染的种类；

B——对有机污染无所谓的种类数；

C——污染区内独有的种类数。

(3) 颤引类与全部底栖动物相比的生物指数

用颤引类与全部底栖动物个体数量的比例作为生物指数：

$$\text{生物指数} = \frac{\text{颤引类个体数}}{\text{底栖动物个体数}} \times 100$$

(4) 凯恩 (Keng) 和巴依 (Baee) 提出用水昆虫的湿重与寡毛类的湿重的比值作为生物指数来评价水质

该方法无需将生物鉴定到种，仅将底栖动物中昆虫和寡毛类检出，分别称重，按下式计算：

$$\text{生物指数} = \frac{\text{昆虫湿重}}{\text{寡毛类湿重}}$$

此指数值越小，表示污染越严重。反之，此值越大，表示水质越清洁。其变动范围可以从严重污染区内生物指数为 0，直到恢复区生物指数值的 612。

4. 种的多样性指数

一群落中的种的多样性，是群落生态水平的独特的生物学特征。环境条件变化之后，会造成群落结构的显而易见的变化。例如，环境污染之后，会导致被污染水体生物群落内总的生物种类下降，而耐污种类的个体数却增加了。因此，种的多样性指数可以用来评价水质。种的多样性指数很多，较重要的几种如下：

(1) 格立松 (Gleason) 多样性指数

$$d = \frac{S}{\ln N}$$

式中 S——种类数；

N——个体数。

d 值越大，表示水质越干净。

(2) 卡因塞特 (Carinsetal) 连续比较指数

$$SCI = \frac{r}{N}$$

式中 r ——组数；

N ——个体数。

(3) 威哈库道斯 (Wilhmqudorris) 重要性指数

$$R = \frac{H_{\max} - \bar{H}}{H_{\max} - H_{\min}}$$

$$\bar{H} = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N}$$

$$H_{\max} = \lg N! - S \lg \left(\frac{N}{S} \right) !$$

$$H_{\min} = \lg N! - \lg (N - S + 1) !$$

式中 $\bar{H}$ ——群落多样性；

$H_{\max}$ ——最大多样性；

$H_{\min}$ ——最小多样性；

n_i ——第 i 种的个体数。

该指数的含义是： R 值越大，表示多样性愈小，污染愈重。

(4) 门金尼克 (Menkinick) 多样性指数

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

式中符号含义同上， α 值越大表示水质越好。

5. 生产力

生产力是生物种群或群落在一个生态系统内物质转移及能量流的一个指标。它以有机物的生产过程和分解过程的强度为依据来评价水体被污染程度，是生物学评价水质的另一类方法，常用的有：

(1) P/R 值

根据群落的初级生产量 (P) 和呼吸量 (R) 的比率划分污染等级。 P/R 值在水质正常时一般为 1 左右，如偏离过大，则表明污染。

(2) 自养指数

$$AI = \frac{\text{去灰份量}(\text{mg}/\text{m}^2)}{\text{叶绿素}(\text{mg}/\text{m}^2)}$$

AI 值在 50~100 范围，表示水体未受污染，大于 100 则表示污染。

6. 残留量指数

残留量指数也叫富集系数，其表达式为：

$$I = \frac{C}{C_0}$$

式中 C_0 ——生物个体或种群的某种化合物或元素的实测残留量；

C_0 ——环境中某种化合物或元素的浓度（本底值）。

当指数小于1时表明未污染，大于1时表明污染，并可按不同指数值划分污染程度。

7. 酶活性法

(1) 鱼脑乙酰胆碱酯活性受抑制达正常的30%以上时，表明有机磷农药污染。

(2) 鱼血清谷草转氨酶相对活性达正常值的150%以上时，表明肝毒类物质（如农药、氯化汞、三硝基甲苯等）污染。

第二节 水环境影响评价

水环境影响评价的目的是定量地预测未来的开发行动或建设项目向受纳水体排放的污染物的量，确定建设前水环境基线的状况，分析建设项目投产后水环境质量的变化；解释污染物质在水体中的输送和降解规律；提出建设项目和区域环境污染源的控制和防治对策。

水环境影响评价的工作程序见图6-1。下面就几个主要问题进行讨论。

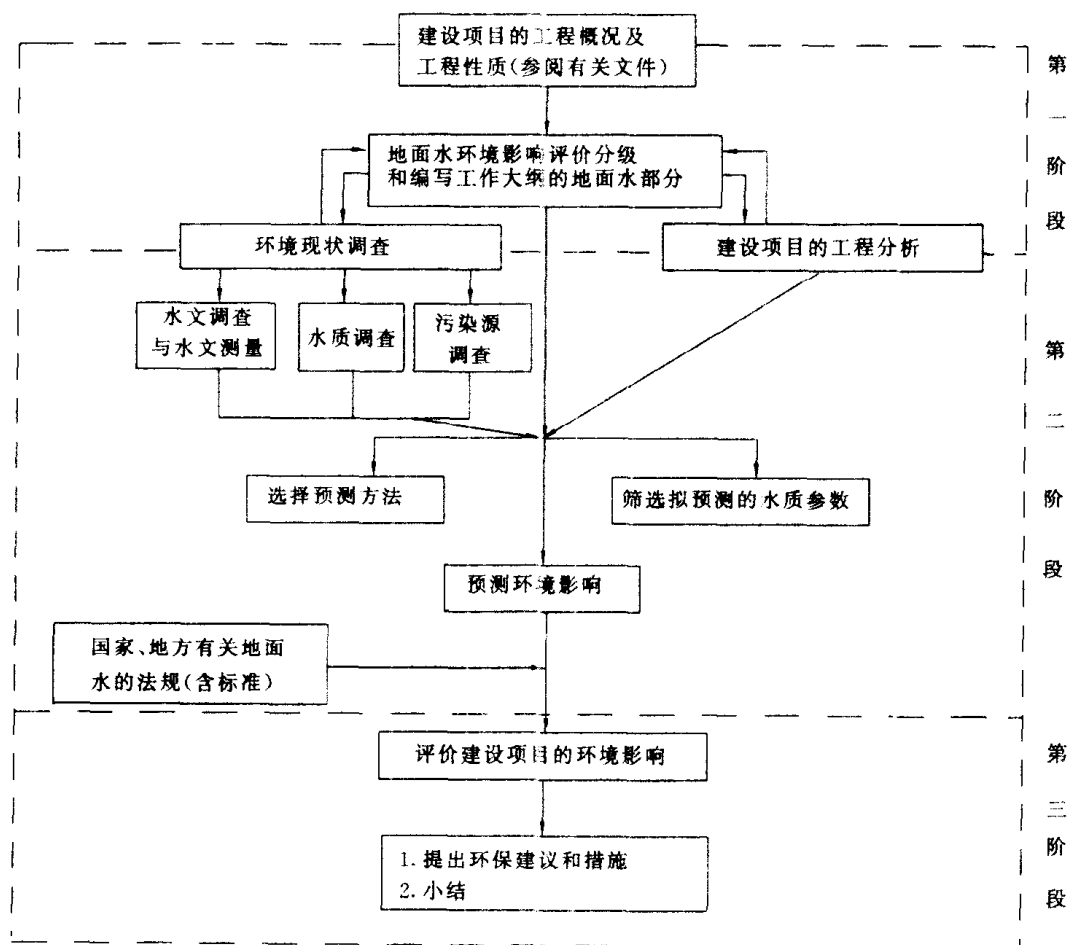


图 6-1 地面水环境影响评价的工作程序

一、评价等级、范围和参数的确定

1. 评价等级

水环境质量评价等级的划分是根据下列条件进行的：建设项目的污水排放量、污水水质的复杂程度，各种接纳污水的水域的规模以及它对水质的要求。地面水分级判据见表 6-19，海湾环境影响评价分级判据见表 6-20。

表 6-19、6-20 中具体内容如下：

表 6 19 地面水环境影响评价分级判据

建设项目污水排放量 (m ³ /d)	建设项目污水水质的复杂程度	一 级		二 级		三 级	
		地面水域规模 (大小规模)	地面水水质要求 (水质类别)	地面水域规模 (大小规模)	地面水水质要求 (水质类别)	地面水域规模 (大小规模)	地面水水质要求 (水质类别)
≥20000	复 杂	大	I ~ III	大	IV、V		
		中、小	I ~ IV	中、小	V		
	中 等	大	I ~ III	大	IV、V		
		中、小	I ~ IV	中、小	V		
	简 单	大	I、II	大	III ~ V		
		中、小	I ~ III	中、小	IV、V		
10000 ~10000	复 杂	大	I ~ III	大	IV、V		
		中、小	I ~ IV	中、小	V		
	中 等	大	I、II	大	III、IV	大	V
		中、小	I、II	中、小	III ~ V		
	简 单			大	I ~ III	大	IV、V
		中、小	I	中、小	II ~ IV	中、小	V
10000 ~5000	复 杂	大、中	I、II	大、中	III、IV	大、中	V
		小	I、II	小	III、IV	小	V
	中 等			大、中	I ~ III	大、中	IV、V
		小	I	小	II ~ IV	小	V
	简 单			大、中	I、II	大、中	III ~ V
				小	I ~ III	小	IV、V
<5000 ~1000	复 杂			大、中	I ~ III	大、中	IV、V
		小	I	小	II ~ IV	小	V
	中 等			大、中	I、II	大、中	III ~ V
				小	I ~ III	小	IV、V
	简 单					大、中	I ~ IV
				小	I	小	II ~ V
<1000 ~200	复 杂					大、中	I ~ IV
						小	I ~ V
	中 等					大、中	I ~ IV
						小	I ~ V
	简 单					中、小	I ~ IV

表 6-20

海湾环境影响评价分级判据

污水排放量 (m^3/d)	污水水质的 复杂程度	一 级	二 级	三 级
≥ 20000	复 杂	各类海湾		
	中 等	各类海湾		
	简 单	小型封闭海湾	其它各类海湾	
< 20000 ≥ 5000	复 杂	小型封闭海湾	其它各类海湾	
	中 等		小型封闭海湾	其它各类海湾
	简 单		小型封闭海湾	其它各类海湾
< 5000 ≥ 1000	复 杂		小型封闭海湾	其它各类海湾
	中等或简单			各类海湾
< 1000 ≥ 500	复 杂			各类海湾

(1) 污水是指含持久性污染物 (含在环境中难降解、毒性大、易长期积累的有毒物质), 非持久性污染物、酸和碱、热污染的水体, 污水排放量的确定以上述污水为依据, 不包括间接冷却水、循环水等。

(2) 污水水质的复杂程度按污水中拟预测的污染物类型以及某类污染物中水质参数的多少分为三类:

复杂: 污水中含 (1) 中所述的三类或以上的污染物, 或只含两类污染物, 但需预测其浓度的水质参数数目 ≥ 10 ;

中等: 污水中含 (1) 中所述的两类污染物, 且需预测其浓度的水质参数数目 < 10 , 或只含一类污染物, 但需预测其浓度的水质参数数目 ≥ 7 ;

简单: 污水中含 (1) 中所述的一类污染物, 需预测其浓度的水质参数数目 < 7 。

(3) 地面水域的规模是指地面水体的大小规模, 河流与河口按建设项目排污口附近河段的多年平均流量或平水期平均流量划分, 湖泊和水库按枯水期湖泊或水库的平均水深以及水面面积划分。

河流与河口:

大河: 流量大于或等于 $150\text{m}^3/\text{s}$;

中河: 流量为 $15 \sim 150\text{m}^3/\text{s}$;

小河: 流量小于 $15\text{m}^3/\text{s}$ 。

湖泊和水库:

当平均水深 $\geq 10\text{m}$ 时,

大湖 (库): 水面面积大于或等于 25km^2 ;

中湖 (库): 水面面积为 $2.5 \sim 25\text{km}^2$;

小湖 (库): 水面面积小于 2.5km^2 。

当平均水深 $< 10\text{m}$ 时,

大湖 (库): 水面面积大于或等于 50km^2 ;

中湖（库）：水面面积为 5~50km²；

小湖（库）：水面面积小于 5km²。

(4) 水质类别以 GB 3838 为依据，目前以 1988 年新修定的标准为依据。该标准将地面水环境分为五类。

2. 评价参数

开发行动向水环境排放的污染物种类众多，不可能一一进行评价，需进行识别。一般依据为：

(1) 开发行动或建设项目的污染源调查和评价所确定的主要污染物，特别应注意那些近期排放量不大，但有潜在影响的污染物。

(2) 本地区环境质量报告书中确定的主要污染物。一般常用的污染因子有：BOD₅、COD、NH₃-N、SS、ArOH、CN、As、Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、总 Cr、石油类以及热污染等评价参数。

(3) 地面水环境质量标准（1988 年制定）中规定的项目。

二、水环境质量现状调查与评价

该部分内容包括了环境现状的调查范围的确定、环境现状的调查时间的确定、水文调查与水文测量、现有水污染源调查、水质调查、水利用状况（水域功能）的调查、水环境质量现状评价。归结起来，要重点解决如下三方面的问题。

1. 资料收集

要收集地面水水文、水质、底质、水生物资料，地下水水文和水质资料。资料源自环境监测站、卫生防疫站和水文站及水文地质队等。

2. 实地监测

当收集到的资料不能满足评价要求时，须进行现场监测、调查、水文测量和资料整理。这些应按照中华人民共和国水电部颁布的《水文测验规范》和《水文测验手册（野外工作篇）》的精神进行。水质取样和化验（包括底泥）的原则与方法，主要参见《环境监测分析方法》和中华人民共和国水电部颁布的《水质监测规范》、《水质分析》以及《水和废水标准检验法（美国）15 版》。

3. 水环境质量现状评价

根据建设项目的种类、性质及其水文和地理条件，首先确定评价范围。一般潮汐河流的评价范围可大些；水闸控制的河流评价范围可小些。

将水质的历史资料和现场监测数据整理分析，采用下列方法进行现状评价：

(1) 单项水质参数评价

单项评价采用标准指数法，即

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{sj}}$$

式中 C_{ij} —— i 污染物在 j 点的浓度，mg/l；

C_{sj} ——水质参数 i 的地面水质标准，mg/l。

DO 的标准指数为 $S_{DO,j} = \frac{|DO_t - DO_j|}{DO_t - DO_s} \quad DO_j \geq DO_s$

$$S_{DO_j} = 10 - 9 \frac{DC_j}{DO_s} \quad DO_j < DO_s$$

$$DO_t = 468 / (31.6 + t)$$

式中 DO_t ——饱和溶解氧的浓度, mg/l;

DO_s ——溶解氧的地面水质标准, mg/l;

t ——水温, C。

$$\text{pH 的标准指数为} \quad S_{\text{pH},j} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{sd}}} \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH},j} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0} \quad \text{pH}_j > 7.0$$

式中 pH_j ——河流上游或湖(库)、海的 pH 值;

pH_{sd} ——地面水水质标准中规定的 pH 值下限;

pH_{su} ——地面水水质标准中规定的 pH 值上限。

水质参数的标准指数 > 1 , 表明该水质参数超过了规定的水质标准, 已不能满足使用要求。

(2) 多项水质参数综合评价方法

1) 幂指数法

$$S_j = \prod_{i=1}^m I_{i,j}^{W_i} \quad 0 < I_{i,j} \leq 1, \quad \sum_{i=1}^m W_i = 1$$

式中 $I_{i,j}$ —— i 污染物在 j 点的水质指数;

W_i —— i 污染物的权重系数。

首先根据实际情况和各类功能水质标准绘制 $I_i - C_i$ 曲线, 然后由 $C_{i,j}$ 在曲线上找到相应的 $I_{i,j}$ 值。

2) 加权平均法

$$S_j = \sum_{i=1}^m W_i S_i \quad \sum_{i=1}^m W_i = 1$$

3) 向量模法

$$S_j = \left[\sum_{i=1}^m S_{ij}^2 \right]^{1/2}$$

4) 算术平均法

$$S_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{ij}$$

三、水环境影响的预测和评价

(一) 中观影响的计算

目的是根据各比较方案对水体现在的污染物负荷的相对增加量来预计它们的影响。计算方法是根据工程分析和污染源评价得到的等标污染负荷与所研究地区现在的污染物负荷进行比较。评价各比较方案造成该地区现有污染负荷增加百分比。这可从总体上了解拟议项目排污的影响。

(二) 微观影响预测

通过水质模型计算, 可取得水体的某一水域中有关断面或点上各评价参数的浓度。

(三) 水环境影响评价

将各评价参数的浓度，加上水体的基线浓度就得到预测浓度。将预测浓度与环境目标比较，可以判断拟议项目的排污量对水域水质、水生生物和周围人群的影响，这种影响是不能容纳，如果不行，则项目需考虑替代方案或者是受到否定。

最近，国家要求污染物排放实行总量控制，确定水环境允许容量可参考以下几点：

1. 水域的水质环境目标

2. 水质模型中设计水量的确定

(1) 一般河流：近十年最枯月平均流量，或 90% 保证率枯月平均流量，对其中生活饮用水源区，用 95% 保证率最枯月均流量。

(2) 一般湖泊：近十年最低月平均水位，或 90% 保证率月平均低水位相应的蓄水量。

(3) 流向不定的水网地区和潮汐河流，应按流速为零时低水位相应水域的水量。潮汐河流还应考虑不同水情期，所相应涨、落潮量、净泄量及回荡因素。

(4) 污染物的排放量：按正常日平均废水排放量和浓度之乘积计算，按最大日平均排放量进行校核。

(5) 非点源对地面水质的影响要适当考虑。

3. 利用水质模型计算出各河流的纳污允许量

4. 预测的浓度叠加到现状浓度，反映水质变化

四、水环境影响评价中常用的水质模型

(一) 污染物排入水环境后的物理、化学和生物过程

1. 污染物在水体中的稀释分散

废水排入水环境后，一般要经过物理、化学和生物演化，其溶解状、胶体状的污染物逐渐与水体混合达到稀释，混合过程一般可分为三个阶段：①竖向混合阶段，是从排出口或释放点到污染物与水体在水深方向上充分混合；②横向混合阶段，是从竖向充分混合到横向开始混合；③横断面上充分混合以后阶段。这三个阶段相互交叉。

污染物在水体中的稀释分散主要体现在污染物的传输过程，即平流传输和扩散传输。平流传输过程中，河流横断面上各点流速处处相等，扩散传输运动存在着质点和水流之间的混合作用——扩散作用和弥散作用。扩散是流体中分子或质点的随机运动产生的分散现象，它又分为分子扩散和湍流扩散两种作用。分子扩散是分子的无规则运动所产生的分散现象，而湍流扩散则是湍流流场中各变量的瞬时值与平均值之间的随机脉动而产生的分散现象。

分子扩散服从 Fick 第一定律，通过分子扩散引起的质量通量为：

$$m_m = - D_m \frac{\partial C}{\partial n}$$

式中 m_m ——分子扩散的物质质量通量；

D_m ——分子扩散系数；

$\frac{\partial C}{\partial n}$ ——污染物浓度沿曲面法线方向的梯度。

湍流脉动所引起的质量通量为：

$$m_t = - D_t \frac{\partial C}{\partial n}$$

式中 m_t ——湍流脉动扩散的物质质量通量；

D_t ——湍流扩散系数。

分子扩散系数（约为 $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ ）要比湍流扩散系数（约 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ ）小得多，因此，一般河流中的分子扩散作用可忽略不计。

弥散（dispersion）作用是由于横断面上各点的实际流速不等引起的。弥散作用产生的质量通量为：

$$m_d = - D_d \frac{\partial C}{\partial n}$$

式中 m_d ——弥散作用传输的物质质量通量；

D_d ——弥散系数。

在有弥散现象的河流中， D_d 约为 $10 \sim 10^2 \text{m}^2/\text{s}$ ，比湍流扩散系数 D_t 大得多。

2. 污染物在水体中的迁移、转化和降解

（1）沉淀作用

废水中的悬浮物在重力作用下发生自然沉淀，胶体颗粒与水体中电性相反的粒子作用后发生凝聚，并形成絮体下沉，一些重金属离子形成难溶的氢氧化物或盐类而沉淀。沉淀作用使污染物从水中沉至河（湖、海）底形成底质。

（2）气液交换作用

废水中的低沸点化合物通过气液界面交换，从水体逸入大气中，而大气中的氧和一些污染物通过交换溶解到水体中。

（3）吸附作用

通过吸附作用污染物从溶解状的自由分子被悬浮物颗粒吸附而固定，或者被底质（底泥与沉积物）所吸附而从水中转入水底。

（4）化学变化

在水中溶解氧与阳光作用下污染物发生氧化反应而降解。氧化性污染物（如 Cr^{6+} ）与水体中还原态化合物反应而被还原。

（5）生物作用

有机污染物在好氧或厌氧微生物作用下发生降解，在自养菌作用下发生含氮化合物的硝化和反硝化作用，而藻类的光合作用使水体充氧。

（二）水质模型基本方程

为导出基本方程，以 $P(x, y, z)$ 表示考察水体中的任一点，从此点出发作一想象的微元，其边长分别为 Δx 、 Δy 、 Δz （见图 6-2）。以 $v(x, y, z)$ 表示 P 点的流速，以 C 表示污染物的浓度，则函数 $C(x, y, z, t)$ 为水在 $P(x, y, z)$ 处 t 时刻时污染物的浓度。

下面用质量守恒原理和连续性原理来建立水中污染物的传输方程。

先考虑平流传输：

以微元 Δx 、 Δy 、 Δz 为考察对象，设在无穷小时段 Δt 内，在 x 方向、 y 方向和 z 方向

因流入和流出的收支差而产生的微元内污染物质质量的改变量分别为 Δm_x 、 Δm_y 、 Δm_z 。

则在 x 方向，在 Δt 时间内，流入微元的物质质量为：

$$v(x, y, z)C(x, y, z)\Delta y\Delta z\Delta t$$

在 x 方向，在 Δt 时间内，流出微元的物质质量为

$$v(x + \Delta x, y, z) \cdot C(x + \Delta x, y, z)\Delta y\Delta z\Delta t$$

因此：

$$\Delta m_x = [v(x, y, z)C(x, y, z) - v(x + \Delta x, y, z)$$

$$C(x + \Delta x, y, z)]\Delta y\Delta z\Delta t$$

同理，在 y 方向和 z 方向有：

$$\begin{aligned} \Delta m_y = & [v(x, y, z) \cdot C(x, y, z) - v(x, y + \Delta y, z) \\ & \times C(x, y + \Delta y, z)]\Delta x\Delta z\Delta t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m_z = & [v(x, y, z) \cdot C(x, y, z) - v(x, y, z + \Delta z) \\ & \times C(x, y, z + \Delta z)]\Delta x\Delta y\Delta t \end{aligned}$$

再考虑扩散传输，对于 $\Delta x\Delta y\Delta z$ 微元在 Δt 时间内，设在 x 、 y 和 z 方向上因扩散作用而产生的微元内污染物质质量的改变量分别为 $\Delta m'_x$ 、 $\Delta m'_y$ 、 $\Delta m'_z$ 。

在 x 方向上，在 Δt 时间内，因扩散和弥散作用进入微元的物质质量和流出的物质质量的差别引起的微元内物质质量的改变应为：

$$\begin{aligned} \Delta m'_x = & \left[-D(x, y, z) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial x} + D(x + \Delta x, y, z) \right. \\ & \left. \times \frac{\partial C(x + \Delta x, y, z)}{\partial x} \right] \Delta y\Delta z\Delta t \end{aligned}$$

同理，在 y 和 z 方向的物质改变量分别为：

$$\begin{aligned} \Delta m'_y = & \left[-D(x, y, z) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial y} + D(x, y + \Delta y, z) \right. \\ & \left. \times \frac{\partial C(x, y + \Delta y, z)}{\partial y} \right] \Delta x\Delta z\Delta t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m'_z = & \left[-D(x, y, z) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial z} + D(x, y, z + \Delta z) \right. \\ & \left. \times \frac{\partial C(x, y, z + \Delta z)}{\partial z} \right] \Delta x\Delta y\Delta t \end{aligned}$$

若仅考虑平流作用和扩散作用，如这两种作用的结果是使微元内污染物的浓度变化了 Δc ，则相应的污染物的质量变化量为 Δx ， Δy ， Δz 。根据质量守恒定律，可以得到：

$$\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta c = \Delta m_x + \Delta m_y + \Delta m_z + \Delta m'_x + \Delta m'_y + \Delta m'_z$$

将相应公式代入上式，两边同时除以 $\Delta x\Delta y\Delta z\Delta t$ ，并令 $\Delta x \rightarrow 0$ ， $\Delta y \rightarrow 0$ ， $\Delta z \rightarrow 0$ ， $\Delta t \rightarrow 0$ ，得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(v_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(v_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(v_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) \end{aligned}$$

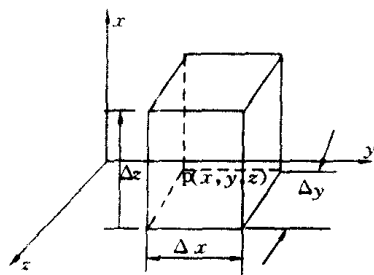


图 6-2 水体中的微元

考虑到水中污染物还要经历迁移、转化、降解等过程,沿途有分散的入流、出流等,可合并成一个附加项,则:

$$\begin{aligned}\frac{\partial C}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x}(v_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(v_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(v_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S(x, y, z, t, C)\end{aligned}$$

这就是地面水体水质变化的基本方程,式中 v_x 、 v_y 、 v_z 分别为 x 、 y 、 z 方向的流速分量; D_x 、 D_y 、 D_z 分别为 x 、 y 、 z 方向的扩散系数。

该方程是三维空间水质数学模型的基本方程,它在理论上是完整的,由于很多参数难以确定,要彻底解开这个方程十分困难,同时也没有必要,在实际应用上往往根据具体情况,进行各种简化。

(三) 常用的河流水质模型

1. 完全混合模型

废水排入一条河流时,如符合下述条件:

- (1) 河流是稳态的,指均匀河段;
- (2) 定常排污,指河床截面积、流速、流量及污染物的输入量不随时间变化;
- (3) 污染物在整个河段内均匀混合,即河段内各点污染物浓度相等;
- (4) 废水的污染物为保守性物质,即不分解也不沉淀。

此时,在排放口下游距离 x 的断面的浓度为:

$$C = \frac{C_0 q_0 + C_1 q_1}{q_0 + q_1}$$

式中 C_0 ——河流上游某污染物的浓度, mg/l;

q_0 ——河流上游的流量, m^3/s ;

C_1 ——排放口处污染物的浓度, mg/l;

q_1 ——排放口处的污水量, m^3/s 。

此模型适用于较浅、较窄的河流,渭河电厂曾用该模型预测了排入渭河中的废水中的总溶解固体的浓度。

2. 河流 pH 模型

当含酸或碱废水排入河流时,符合下述条件:

(1) 天然水体为含碳酸盐的大型缓冲体系,水中碳酸化合物控制着水体的 pH 值,并具有缓冲作用。

(2) 只考虑碳酸一级离解平衡,那么有:

$$\text{排放酸性物质: } \text{pH} = \text{pH}_h + L_9 \left[\frac{C_{bh} (q_p + q_h) - C_{ap} q_p}{C_{bh} (q_i + q_h) + q_p C_{ap} K_{a_1} \cdot 10^{\text{pH}_h}} \right]$$

$$\text{排放碱性物质: } \text{pH} = \text{pH}_h + L_9 \left[\frac{C_{bh} (q_p + q_h) + C_{bp} q_p}{C_{bh} (q_i + q_h) - q_p C_{bp} K_{a_1} \cdot 10^{\text{pH}_h}} \right]$$

式中 C_{bh} ——河流或湖(库)中的碱度, mgN/l;

C_{ap} ——排放废水中的酸度, mgN/l;

C_{bp} ——排放废水中的碱度, mgN/l;

q_p ——废水排放量, m^3/s ;

q_h ——河流流量或湖水流出量, m^3/s ;

pH_h ——河流上游或湖(库)、海现状的 pH 值;

K_{a_1} ——碳酸一级离解平衡常数。

3. 河流容量模型

$$v = 86.4(C_h - C_i)q + KC_i \left(\frac{Lq}{U} \right)$$

式中 v ——河流某污染物在河水中的含量, 也是最高允许排污量, kg/d;

C_h ——某污染物环境目标浓度, 即河段下游最高允许浓度, mg/l;

C_i ——河流上游某污染物的浓度, mg/l;

q ——河水流量, m^3/s ;

L ——河流长度, m;

U ——河水平均流速, m/s;

K ——衰减系数, $K = \frac{1}{D} (\lg C_A - \lg C_B)$, 其中 D 为 A 点到 B 点的距离, C_A 和 C_B 为 A 和 B 点的某污染物的浓度。

4. 一维水质模型

一维河流水质模型是目前应用最广泛的模型。它是由三维模型简化而来的, 通式为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(v_x C) - \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + S$$

(1) 一维稳态水质模型

所谓稳态, 是指在均匀河段上定常排污条件下, 河段横截面、流速、流量、污染物的输入量和弥散系数都不随时间变化, 如污染物按一级化学反应, 河段不考虑源和汇, 那么:

$$\frac{\partial}{\partial x}(v_x C) = v_x \frac{dC}{dx}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) = D \frac{d^2 C}{dx^2}$$

$S = K_1 C$, 其中 K_1 为污染物降解的速率常数 ($1/d$ 或 $1/h$), 令 $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$, 则有:

$$\frac{v}{D} \frac{dC}{dx} - \frac{d^2 C}{dx^2} - \frac{K_1}{D} C = 0$$

该常微分方程, 在边界条件:

$$x = 0 \text{ 时, } C = C_0$$

$$x = \infty \text{ 时, } C = 0$$

其解为:

$$C_x = C_0 \exp \left[\frac{v}{2D} (1 - m)x \right]$$

$$m = \sqrt{1 + \frac{4K_1 D}{v^2}}$$

(2) 忽略弥散的一维稳态水质模型

在前述的条件下, 如果河流较小, 流速不大, 弥散系数很小, 近似地认为 $D=0$, 这时水质模型的微分方程变为

$$v \frac{dC}{dx} = -K_1 C$$

在初始条件 $x=0$, $C=C_0$ 的情况下, 其解为:

$$C_x = C_0 \exp(-K_1 x/v)$$

式中 $\frac{x}{v} = t$, 故上式变为:

$$C_x = C_0 \exp(-K_1 t)$$

只要知道初始断面河水中污染物的初始浓度和 K_1 值, 即可利用上式求下游某一点的浓度, 此模型常用于预测易降解有机物在河流中的浓度变化。

5. BOD-DO 模型

(1) 斯特里特-费尔普斯 (Streeter-Phelps) 模型

河水中溶解氧 (DO) 的消耗是由于水中有机物的分解、底泥中有机物的分解和水生生物的代谢作用等。河水中溶解氧的来源有: 大气复氧、水体中水生植物光合作用复氧等。根据上述理论, 1925 年由斯特里特-费尔普斯在一维、稳态、均匀、无扩散的假定下从以下两方面的假设推导出了 BOD-DO 模型:

1) 在水质基本方程中的源汇项 S , 只考虑好气微生物参加的 BOD 衰减反应, 并且认为这种反应是一级反应, 符合一级反应动力学, 即 $S = -K_1 L$ 。其中 K_1 为 BOD 一级反应衰减速率, L 为 BOD 浓度。

2) 对河水中的 DO 而言, 认为耗氧的原因只是 BOD 分解耗氧所引起的, BOD 的分解速率等于 DO 的减少速率。同时河水中的溶解氧恢复的速率与水中的氧亏成正比, 这种复氧作用只是大气复氧, 此时有:

$$\begin{cases} v \frac{dL}{dx} = -K_1 L \\ v \frac{dC}{dx} = -K_1 L + K_2 (C_s - C) \end{cases}$$

它们是相互耦合的, 在边界条件:

$$x=0, L=L_0; x=0, C=C_0$$

时, 其解析解为:

$$\begin{aligned} L &= L_0 e^{-K_1 x/v} \\ C &= C_s - (C_s - C_0) e^{-K_2 x/v} + \frac{K_1 L_0}{K_1 - K_2} \\ &\quad \times (e^{-K_1 x/v} - e^{-K_2 x/v}) \end{aligned}$$

式中 L_0 , C_0 ——分别为河段起端 ($x=0$ 时) 河水中的 BOD 和 DO 浓度, mg/l;

L , C ——分别为在距离起端处河水中的 BOD 和 DO 的浓度, mg/l;

C_s ——河水中的饱和溶解氧浓度, mg/l;

K_1, K_2 ——分别为 BOD 耗氧和大气复氧系数, $1/d$ 或 $1/h$;

v ——河段平均流速, km/d 或 km/h。

由斯特里特-费尔普斯模型可推求在排污点河水 BOD 和 DO 起始浓度分别为 L_0 和 C_0 时, 沿河下游各点河水中的溶解氧浓度值以及最低溶解氧浓度和位置 (临界浓度和临界距离)。

河水出现最低溶解氧浓度处, 必有 $\frac{dC}{dx}=0$, 由此可求得临界 DO 浓度 C_c 和临界距离

x_c :

$$x_c = \frac{v}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left[1 - \left(\frac{K_2}{K_1} - 1 \right) \left(\frac{C_s - C_0}{L_0} \right) \right] \right\}$$

$$C_c = C_s - \left(C_s - C_0 + \frac{L_0}{1-f} \right) \left\{ f \left[1 - (f-1) \left(\frac{C_s - C_0}{L_0} \right) \right] \right\}^{\frac{f}{1-f}}$$

$$+ \frac{L_0}{1-f} \left\{ f \left[1 - (f-1) \left(\frac{C_s - C_0}{L_0} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{1-f}}$$

式中 f ——自净系数, 为复氧系数与耗氧系数之比 $\left(f = \frac{K_2}{K_1} \right)$, 反映水体自净作用快慢。

(2) 托马斯 (Thomas) 修正型

河水中所含的悬浮微粒、有机物在河水流速较低时可沉降到河底, 而原来沉降的底泥在河水流速较高时又可重新转变为悬浮态。前一个过程称沉淀, 后一个过程称为再悬浮。沉淀过程使得河水中的部分需氧有机物脱离了河水的耗氧, 使得河水中的 BOD 减低, 再悬浮使得底泥中的需氧有机物进入河水, 加入河水的耗氧过程, 致使河水的 BOD 值增高。这个过程可改变河水的 BOD 浓度, 从而影响河水中的溶解氧平衡。

为了考虑需氧有机物在河流中的沉淀一再悬浮过程对河水溶解氧平衡的影响, 托马斯在斯特里特-费尔普斯模型的 BOD 方程中引入了一个沉淀一再悬浮系数 K_3 。

托马斯修正型的微分形式为:

$$\begin{cases} v \frac{dL}{dx} = -(K_1 + K_3)L \\ v \frac{dC}{dx} = -K_1L + K_2(C_s - C) \end{cases}$$

K_3 主要反映了河流携带悬浮物 (耗氧) 的能力及有机物的颗粒特性和吸附特性对河水中 BOD 值的影响。 K_3 为正时, 表示河水中悬浮物沉淀; K_3 为负时, 表示与沉淀效应相反的再悬浮作用。 K_3 的量纲为 $1/d$ 或 $1/h$ 。

在 $x=0, L=L_0$ 时, $C=C_0$ 的边界条件下, 其解为:

$$L = L_0 e^{-(K_1 + K_3)x/v}$$

$$C = C_s - (C_s - C_0) e^{-K_2 x/v} + \frac{K_1 L_0}{K_1 + K_3 - K_2}$$

$$\times (e^{-(K_1 + K_3)x/v} - e^{-K_2 x/v})$$

(3) 杜宾斯-坎普 (Dobins—Camp) 修正型

杜宾斯和坎普在托马斯修正型的基础上, 考虑了沿河坡面径流、底泥耗氧与藻类光合/呼吸作用的影响, 在托马斯修正型中增加了两个常数项, 即:

$$\begin{cases} v \frac{dL}{dx} = -(K_1 + K_3)L + R \\ v \frac{dC}{dx} = -K_1L + K_2(C_s - C) + P \end{cases}$$

式中 R ——沿河地表径流和底泥耗氧引起溶解氧的变化率, $\text{mg/l} \cdot \text{d}$;

P ——水生生物光合作用与呼吸作用和底泥有机物分解耗氧所引起的 DO 的变化, $\text{mg/l} \cdot \text{d}$ 。

在 $x=0$, $L=L_0$ 时, $C=C_0$ 的边界条件下, 其解为

$$\begin{aligned} L &= L_0 F_1 + \frac{R}{K_1 + K_3} (1 - F_1) \\ C &= C_s - (C_s - C_0) F_2 + \frac{K_1}{K_1 + K_3 - K_2} \times \left(L_0 - \frac{R}{K_1 + K_3} \right) (F_1 - F_2) \\ &\quad - \left[\frac{P}{K_2} + \frac{K_1 R}{K_2 (K_1 + K_3)} \right] (1 - F_2) \end{aligned}$$

式中 $F_1 = e^{-(K_1 + K_3)x/v}$, $F_2 = e^{-K_2x/v}$ 。

(4) 奥康纳 (O'Connor) 修正型

当污水普遍进行二级处理后, 排入水体的处理厂的出水成了主要污染源, 这些出水中的碳化 BOD 大部分已被氧化, 氮化 BOD 成了不可忽略的耗氧物质, 于是奥康纳在托马斯模型中加入氮化 BOD 分解耗氧项:

$$\begin{cases} v \frac{dL_C}{dx} = -(K_1 + K_3)L_C \\ v \frac{dL_N}{dx} = -K_N L_N \\ v \frac{dC}{dx} = -K_1 L_C - K_N L_N + K_2 (C_s - C) \end{cases}$$

在 $x=0$, $L_C=L_{C(0)}$, $L_N=L_{N(0)}$, $C=C_0$ 的边界条件下, 其解为:

$$\begin{aligned} L_C &= L_{C(0)} e^{-(K_1 + K_3)x/v} \\ L_N &= L_{N(0)} e^{-K_N x/v} \\ C &= C_s (C_s - C_0) e^{-K_2 x/v} + \frac{K_1 L_{C(0)}}{K_1 + K_3 - K_2} \\ &\quad \times [e^{-(K_1 + K_3)x/v} - e^{-K_2 x/v}] \\ &\quad + \frac{K_N L_{N(0)}}{K_N - K_2} [e^{-K_N x/v} - e^{-K_2 x/v}] \end{aligned}$$

式中 L_C 、 $L_{C(0)}$ —— $x=x$ 和 $x=0$ 处河水的碳化 BOD 的浓度, mg/l ;

L_N 、 $L_{N(0)}$ —— $x=x$ 和 $x=0$ 处河水的氮化 BOD 的浓度, mg/l ;

K_N ——氮化反应耗氧速度常数, $1/d$ 或 $1/h$ 。

6. 二维水质模型

当污水排入河流中时,常常需要知道污染物的影响范围和影响区内的浓度分布情况,对一般河流来说,入河物质在垂向的扩散是瞬时完成的。其次,河流在一般情况下流动基本上是恒定的。在恒定排污情况下,可以建立河流水平二维稳态水质模型。

在稳态情况下,水平二维浓度场的基本方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(v_x HC) - \frac{\partial}{\partial y}(v_y HC) + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x H \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y H \frac{\partial C}{\partial y}\right) - KCH = 0$$

式中 C ——污染物浓度;

x ——沿河道主流方向的坐标;

y ——垂直于 x 轴的横坐标;

v_x 、 v_y ——河流纵向和横向的速度分量;

H ——水深;

D_x 、 D_y ——纵向和横向的弥散,扩散系数;

K ——化学、生物衰减系数。

边界条件较简单时可直接求解上式。如在等宽等深的直河道中,断面平均流速 v 沿程不变,横向平均流速 $v_y = 0$,横向湍流扩散系数 D_y 的平均值 $\bar{D}_y$ 为常数。当纵向扩散项远小于平流项时,上式可简化为:

$$-v_x \frac{\partial C}{\partial x} + \bar{D}_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - kC = 0$$

在无对岸边影响的岸边排放条件下,当线源强度为 m 时,上式的解为:

$$C(x, y) = \frac{m}{(4\pi \bar{D}_y x/v)^{1/2}} \cdot \exp\left(-\frac{v_x y^2}{4x \bar{D}_y} - K \frac{x}{v}\right)$$

在等强度的岸边线源排放情况下,由于 $y < 0$ 的区域内(河岸上)无浓度场存在,为保持浓度场中物质总量不变,同一点上的浓度应为无限边界中排放对应浓度的 2 倍;即:

$$C(x, y) = \frac{m}{(\pi \bar{D}_y x/v)^{1/2}} \cdot \exp\left(-\frac{v_x y^2}{4x \bar{D}_y} - K \frac{x}{v}\right)$$

(四) 湖泊—水库水质模型

1. 完全混合型水质模型

对于面积小、封闭性强、四周污染多的小湖或大湖湖湾,污染物质排入该水域后,在湖流和风浪的作用下,有可能出现湖水均匀混合现象,这时湖泊内各处水质浓度均一,可用均匀混合型水质模型,这一类水质模型是建立在湖泊水质的质量平衡方程的基础上的。根据物质平衡原理,即某时段某一水质元素含量的变化等于该时段流入总量减去流出总量,再减去元素降解或沉淀等所损失的量,可列出如下方程:

对易降解的污染物质:

$$\begin{cases} \Delta MM_t - M_0 = P\Delta t - P'\Delta t - K \bar{M}\Delta t \\ \frac{\Delta M}{\Delta t} = P - P' - K \bar{M} \end{cases}$$

对难降解的物质:

$$\begin{cases} M_e - M_i = P\Delta t - P'\Delta t \\ \frac{\Delta M}{\Delta t} = P - P' \end{cases}$$

式中 M_e ——时段末湖泊内污染物的总量, kg;

M_i ——时段初湖泊内污染物的总量, kg;

$\bar{M}$ ——时段内湖泊污染物平均量, kg;

Δt ——所取时段的长度, 天;

P 、 P' ——分别为时段内平均每天从各种途径流入和流出湖泊的污染物总量, kg;

K ——降解率, 1/d。

基于上述方程给出的湖泊水质模型较多, 如:

(1) 沃兰伟德 (Vollenweider) 模型

$$\Delta C = \frac{1}{V}(\bar{W}_0\Delta T - q_v C\Delta T - KCV\Delta T)$$

式中 C ——水质参数或营养物质的浓度, mg/m³;

V ——湖泊的定常容积, m³;

ΔT ——时段长, s;

q_v ——出入湖水量, m³/s;

K ——降解和沉淀率, 1/s;

$\bar{W}_0$ ——水质参数或营养物质的平均流入量, mg/s。

用 ΔT 除上式, 并令 $\Delta T \rightarrow 0$, 则可得如下微分方程:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\bar{W}_0}{V} - \frac{q_v}{V}C - KC$$

积分上式可得:

$$C(t) = \frac{\phi}{q_v + KV} \left\{ \frac{\bar{W}_0}{\phi} - \exp\left[-t\left(\frac{q_v}{V} + K\right)\right] \right\}$$

$$\phi = \bar{W}_0 - (q_v + KV)C_0$$

式中 C_0 ——初始浓度。

当 $\alpha = \left(\frac{q_v}{V} + K\right)$, 上式可整理成下式:

$$C(t) = \frac{\bar{W}_0}{\alpha V}(1 - e^{-\alpha t}) + C_0 e^{-\alpha t}$$

如假定湖泊初始浓度为 0, 即 $C_0 = 0$, 则上式变为:

$$C(t) = \frac{\bar{W}_0}{\alpha V}[1 - e^{-\alpha t}]$$

当式中 t 趋于无穷大时, 则可确定平衡浓度 C_p :

$$C_p = \frac{\bar{W}_0}{\alpha V}$$

达到 $C(t)/C_p = \beta$ (此为给定的比数) 所需要的时间为:

$$t_{\beta} = \frac{V}{q_v + K V} \ln(1 - \beta)$$

若已知初始营养物浓度为 C_0 (在 $t=0$ 时), 设没有营养物的输入 ($W_0=0$), 容积 V 为常数, 流量为 q , 净降解和沉淀系数为 K 。则根据

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\bar{W}_0}{V} - \frac{q}{V}C - KC$$

可得浓度随时间的变化式:

$$\frac{dC}{dt} = -C \left(\frac{q}{V} + K \right)$$

积分, 则得任意时间 t 的浓度为:

$$C(t) = C_0 e^{-t(q/V + K)} = C_0 e^{-at}$$

在此情况下, 可求出营养浓度达到与初始浓度之比为 $1-\beta$ 时

$$C(t)/C_0 = 1 - \beta$$

的时间 t_{β} , 其结果就是式

$$t_{\beta} = \frac{V}{Q + K V} \ln(1 - \beta)$$

(2) 湖泊溶解氧模型

湖泊氧平衡可用下式表示:

$$\frac{dC}{dt} = C \frac{q}{V} (C_1 - C) + K_2 (C_s - C) - R$$

$$R = rA + B$$

式中 C —— t 时水体溶解氧浓度, mg/l ;

C_1 ——流入水中溶解氧浓度, mg/l ;

C_s ——溶解氧饱和浓度, mg/l ;

V ——水体容积, m^3 ;

q ——单位时间内补给水量, m^3/h ;

K_2 ——湖水的大气复氧系数, $1/\text{d}$;

R ——水体生物及非生物因素耗氧总量;

A ——养鱼密度, kg/m^3 ;

r ——养鱼的耗氧率, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$;

B ——其它因素耗氧量。

此式可用于预测湖泊合理入流量及放养密度。

2. 非完全混合型水质模型

对于水域宽阔的大湖, 当其中主要污染来自某些入湖河道或沿湖厂矿时, 污染往往出现在入湖口附近的水域。这时需要考虑废水在湖水中的稀释扩散现象, 作为不均匀混合型来处理。废水在湖水中的稀释扩散现象甚为复杂, 常是二维扩散问题, 故在研究湖泊水质模型时, 采用圆柱形坐标较为简便, 可使二维扩散问题简化为一维扩散问题。

(1) A·B·卡拉乌舍夫扩散模型

此模型是为研究难降解的污染物质在湖水中的稀释扩散规律而建立的，其坐标采用圆型坐标。取湖滨排污口附近的一块水体，如图 6-3 所示，其中 q 为入湖污水量 (m^3/d)； r 为湖泊内某计算点离排出口距离 (m)； C 为所求计算点的污染物质浓度 (mg/l)； H 为污水扩散区湖水平均深度 (m)； ϕ 为污水在湖水中的扩散角度，由排放口附近地形决定。若污水在开阔的岸边垂直排放时， $\phi=180^\circ$ ；当在湖心排放时， $\phi=360^\circ$ 。根据湖水中平流和扩散过程，利用质量平衡原理可推导如下扩散方程：

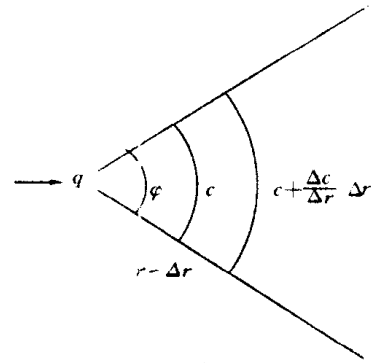


图 6-3 湖滨排污口扩散示意

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left(E - \frac{q}{\phi H} \right) \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + E \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}$$

当排放是稳定的，且代入边界条件 $r=r_0$, $C=C_0$ 。其中 C_0 为已知的离排污口距离为 r_0 处的湖水浓度 (mg/l)，则上式的解为：

$$C = C_0 - \frac{1}{\alpha - 1} (r^{1-\alpha} - r_0^{1-\alpha})$$

$$\alpha = 1 - \frac{q}{EH\phi}$$

式中 E ——湖水的湍流扩散系数。

在湖泊中，考虑到湖泊中风浪的影响，可用下式计算 E 值：

$$E = \frac{\rho H^{\frac{2}{3}} d^{\frac{1}{3}}}{f_0 g} \sqrt{\left(\frac{uh}{\pi H} \right)^2 + \bar{v}^2}$$

式中 ρ ——水的密度；

H ——湖水水深（计算范围内平均水深）；

d ——湖底沉积物的直径；

g ——重力加速度；

f_0 ——经验系数；

u ——流速；

$\bar{v}$ ——风出流等形成的湖水平均流速；

h ——波高。

(2) 易降解物简化的水质模型

1) 当湖水流速较小，风浪不大的情况下，可将式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left(E - \frac{q}{\phi H} \right) \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + E \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}$$

中的扩散项删去。这时如考虑稳态条件，并增加污染物质的自净项，即可得污水在湖水中平流作用和化学、生化降解共同作用下的浓度递减方程：

$$q \frac{dC}{dr} = -KCH\phi r$$

代入边界条件 $r=0, C=C_0$ 。其中 C_0 为排出口浓度，则其解为：

$$C = C_0 e^{-\frac{K_1 \phi H \cdot r^2}{2q}}$$

式中 K ——湖水自净速率常数。

上式用于 BOD 预测时，可写成：

$$\text{BOD}_{(r)} = \text{BOD}_{(0)} \exp\left(-\frac{K_1 \phi H}{2q} r^2\right)$$

式中 $\text{BOD}_{(r)}$ ——离排污口距离 r 的 BOD 值，mg/l；

K_1 ——耗氧速率常数，1/d。

2) 湖水溶解氧方程

$$q \frac{dD}{dr} = (K_1 \text{BOD} - K_2 D) \phi H r$$

式中 D ——离排污口距离为 r 处的氧亏量 ($C_s - C$)；

K_2 ——湖水的复氧速率常数，1/d。

上式的解为：

$$D = \frac{K_1 \text{BOD}_{(0)}}{K_2 - K_1} [\exp(nr^2) - \exp(-mr^2)] + D_0 \exp(-mr^2)$$

$$m = \frac{K_2 \phi H}{2q}$$

$$n = \frac{K_1 \phi H}{2q}$$

式中 D_0 ——排污口的氧亏量。

五、河流水质模型的参数估算

水质模型中的参数，如弥散系数 D 、耗氧速率常数 K_1 、大气复氧系数 K_2 、沉淀再悬浮系数 K_3 等，是用来表征河流水体所发生的物理、化学和生物过程的动力学常数。对这些参数的确定，称参数的估算（估值）或参数识别。在建立水质模型过程中，参数的估算是一个关键环节，它们直接关系到模型的准确性和可靠性。对此，人们已做了较广泛的研究，较成熟的参数估算方法很多，有实验室方法、野外测定法，单独计算一个参数的方法和同时计算多参数的方法。

（一）单一参数的估算法

1. 纵向弥散系数 D_x 的估算

纵向弥散系数 D_x 是反映天然河流纵向混合输移特性的重要参数，它与河流的水力条件密切相关。纵向弥散系数在河流水质预测尤其是事故性排放或泄漏对下游水质的影响以及对河口区水质的影响预测等方面起着十分重要的作用。

确定纵向弥散系数的方法可归纳为两种：经验公式法和实测法。

（1）经验公式法

1) 埃尔德 (Elder) 通过水深 1.5m 的明渠试验，验证了河流纵向弥散系数公式

$$D_x = \alpha_x \cdot \bar{H} \cdot u^*$$

式中 $\bar{H}$ ——河流平均水深，m；

u^* ——摩阻流速, $u^* = \sqrt{g \cdot \bar{H} \cdot S}$, m/s;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

S ——水力坡度;

α_x ——经验系数, 埃尔德 (Elder) 理论计算得 $\alpha_x = 5.9$, 试验得 $\alpha_x = 6.3$ 。在天然河流中, 河宽 15~60m 时, $\alpha_x = 14 \sim 650$ 。

2) 菲希尔 (Fischer) 公式

$$D_x = 0.011 \bar{v}^2 b^2 / (H \cdot u^*)$$

式中 $\bar{v}$ ——平均流速, m/s;

b ——河宽, m。

(2) 示踪实验法

纵向弥散系数也可由示踪实验求得。本方法是将示踪剂瞬时投入河流某断面, 在投放点下游断面采样测定不同时间 t 下示踪剂的浓度 ($\bar{C}$), 将此 $C-t$ 变化数据代入下式估计 D_x :

$$\bar{C}(x, t) = \frac{W}{A \sqrt{4\pi D_x t}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{v}_x t)^2}{4D_x t} \right]$$

式中 $\bar{C}$ ——下游断面示踪剂的平均浓度, mg/l;

W ——示踪剂质量, g;

A ——断面面积, m^2 ;

$\bar{v}_x$ ——平均流速, m/s;

t ——时间, s;

x ——下游断面距投放点的距离, m。

因污染物在天然河流中的扩散可分为平流段和扩散段。所以应用上式时, 下游采样断面距投放点的距离 L 须满足

$$L \geq 1.8 \frac{B^2 \bar{v}_x}{H u^*}$$

式中 B ——河宽, m;

H ——水深, m;

$\bar{v}_x$ ——平均流速, m/s;

u^* ——摩阻流速。

2. 耗氧系数 K_1 的估算

(1) 用 BOD 的室内实验数据估算 K_1

实验室测定 K_1 的理想方法是用自动 BOD 测定仪, 描绘出要研究河段水样的 BOD 历程曲线。在没有自动测定仪时, 可将同一种水样分 10 瓶, 或更多瓶放入 20℃ 培养箱培养, 分别测定 1 到 10 天或更长时间的 BOD 值。对取得的实验数据, 可用两点法或图解法估算 K_1 值, 同时可求出河段起始点的 BOD 值。

1) 罗蒙 (Rhame) 的两点法。当 $t_2 = 2t_1$ 时, $y = C_0 [1 - \exp(-K_1 t)]$ 方程可表达为:

$$\begin{cases} y_1 = C_0[1 - \exp(-K_1 t_1)] \\ y_2 = C_0[1 - \exp(-2K_1 t_1)] \end{cases}$$

则

$$K_1 = \frac{1}{t_1} \ln \frac{y_1}{y_2 - y_1}$$

$$C_0 = \frac{y_1^2}{2y_1 - y_2}$$

此法非常简单,只要知道 t_1 和 $2t_1$ 时的 BOD 值,就可以用上两式估算出 K_1 值,该法误差较大,可做为粗略计算。

2) 托马斯 (Thomas) 图解法: 在 $y(t) = C_0 [1 - \exp(-K_1 t)]$ 方程中

$$1 - \exp(-K_1 t) = K_1 t \left[1 - \frac{K_1 t}{2} + \frac{(K_1 t)^2}{6} - \frac{(K_1 t)^3}{24} + \dots \right]$$

$$\therefore K_1 t \left(1 + \frac{K_1 t}{6} \right)^{-3} = K_1 t \left[1 - \frac{K_1 t}{2} + \frac{(K_1 t)^2}{6} - \frac{(K_1 t)^3}{24} + \dots \right]$$

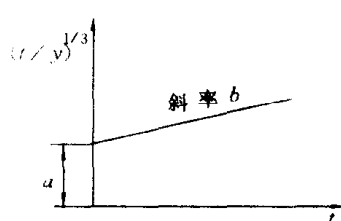
两式很接近,故可将 $y(t)$ 写成:

$$y(t) = C_0 K_1 t \left(1 + \frac{K_1 t}{6} \right)^{-3}$$

或

$$[t/y(t)]^{1/3} = (C_0 K_1)^{-1/3} + (K_1^{2/3}/6C_0^{1/3})t$$

将上式这一直线方程,按不同时间对 $(t/y)^{1/3}$ 作图 (见图 6-4)。



图中:

$$a = (K_1 C_0)^{-1/3}$$

$$b = K_1^{2/3}/6C_0^{1/3}$$

所以:

$$K_1 = 6 \frac{b}{a}$$

$$C_0 = 1/K_1 a^3$$

图 6-4 Thomas 图解法求 K_1

(2) 用野外实验数据估算 K_1

1) 内梅罗 (Nemerow) 法。根据 BOD—DO 模型 (S-P 模型) 的氧亏方程

$$\frac{dD}{dt} = K_1 C_0 - K_2 D_c$$

来推求 K_1 值。

在临界氧亏, $\frac{dD}{dt} = 0$, 故可推出:

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} C_0 \exp(-K_1 t_c)$$

$$\therefore \ln D_c = \ln K_1 + \ln \frac{C_0}{K_2} - K_1 t_c \quad t_c > 0$$

上式中, D_c 和 t_c 可从有关公式和氧垂曲线求得, C_0 为 $t=0$ 时的 BOD₅ 值, K_2 值要用其它方法求出, 在这里是已知的。于是上式就只含有一个未知量 K_1 , 它是一个一元一次方程, 这样, K_1 值就可以通过以下的牛顿迭代试算公式求解。

$$K_{1(n+1)} = K_{1(n)} - K_{1(n)} \frac{[\ln K_{1(n)} + \ln(C_0/K_2 D_C) - t_C K_{1(n)}]}{1 - t_C K_{1(n)}}$$

2) 始末两点法。只要实测到河段上、下游断面的各自平均 BOD₅ 浓度, 以及该河段平均流速 u , 河段长度 x , 就可按下式求算 K_1 :

$$K_1 = \frac{u}{x} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

式中 C_1 ——河段上游断面 BOD₅ 的平均浓度;

C_2 ——河段下游断面 BOD₅ 的平均浓度。

此方法计算简单, 但误差较大。

3. 大气复氧系数 K_2 的估算

流动的水体从大气中吸收氧气的过程称为复氧过程, 也称再曝气过程。这种空气中的氧溶解到水体中的现象, 是一种气—液之间的对流扩散过程, 也是气体的传输过程。天然河流中引起水中溶解气体浓度的变化率可表达为:

$$\frac{dO}{dt} = K_2(C_s - O) = K_2 D$$

式中 K_2 ——复氧系数, 1/d;

O_s ——饱和溶解氧浓度, mg/l;

O ——溶解氧浓度, mg/l;

D ——溶解氧的饱和差, mg/l。

确定 K_2 的方法, 大致可分室内或现场实测法和用经验、半经验公式估算法两类。

(1) 实测法

1) 霍恩伯格 (Hornberger) 法。Hornberger 通过测定河水夜间溶解氧的浓度变化求算 K_2 , 他在该方法中做了如下三点基本假设: ①所测定的河段状态是稳定的; ②水生植物在白天和夜间呼吸速度是不变的; ③水生植物在夜间不进行光合作用。

根据上述假设, 他用下式描述夜间 DO 浓度的变化速度:

$$\frac{dC}{dt} = K_2(C_s - C) - R$$

式中 R ——藻类呼吸系数, 假定为常数 R_0 。

令 $\delta = t_{i+1} - t_i$, 从 t_i 到 t_{i+1} 积分上式得:

$$C_{i+1} - C_i = \left[(\bar{C}_{si} - C_i) - \frac{R_0}{K_2} \right] (1 - e^{-K_2 \delta})$$

式中 C_{i+1} ——时间 t_{i+1} 时的 DO 浓度;

C_i ——时间 t_i 时的 DO 浓度;

$\bar{C}_{si}$ ——饱和 DO 浓度的平均值。

令

$$d_i = C_{i+1} - C_i$$

$$a_i = \bar{C}_{si} - C_i$$

$$\xi_i = 1 - e^{-K_2 \delta}$$

$$\hat{\xi}_2 = R_0 / K_2$$

则上式变为：

$$d_i = a_i \hat{\xi}_1 - \hat{\xi}_2 \hat{\xi}_1$$

根据最小二乘法原理，可求出：

$$\hat{\xi}_2 = \frac{-(\sum a_i^2 \sum d_i - \sum a_i \sum a_i d_i)}{N \sum a_i d_i - \sum a_i \sum d_i}$$

$$\hat{\xi}_1 = \frac{\sum d_i}{\sum a_i - N \hat{\xi}_2}$$

式中 N ——测量时间间隔数。

从 $\hat{\xi}_1 = 1 - e^{-K_2 \delta}$ 可求出：

$$K_2 = -\frac{1}{\delta} \ln(1 - \hat{\xi}_1)$$

从 $\hat{\xi}_2 = R_0 / K_2$ 可求出：

$$R_0 = K_2 \hat{\xi}_2$$

2) 示踪剂法。①放射性同位素示踪法。此方法使用萤光染料，氙水和氙—85 (kr^{85}) 作示踪剂，在河流上游投放，示踪剂在水中分散，并随水流带向下游。氙—85 和氙水以溶解状态存在于水中，一边扩散，一边沿程消失在大气中。根据萤光染料（常用 Rhodamine B）的指示，在河流沿程取样测定氙—85 的浓度，可精确地得到氙—85 的 K_2 值，再由氙与氧的相对转移量换算出同一条件下 DO 的 K_2 值；②低分子烃类示踪法。该方法是用低分子烃类气体（乙烯、丙烷）作示踪剂。其优点是：无放射性污染、价格低廉、对自然环境危害小。投入量易控制。但此方法可能存在烃类气体，在河流中会被分散、稀释、吸附及生物降解的问题。

(2) 公式估算法

实测法对于特定河流是比较精确的，但必须在实验室和现场进行大量工作，要耗费大量人力和物力进行测定，有时这种测定是不可能的，因此往往要借助于文献中的经验公式估算 K_2 值，应用较普遍的公式有：

1) 机理公式。奥康纳和杜宾斯对低速河流和各向同性条件下，根据液膜理论建立的公式为：

$$K_2 = \frac{(D_m \bar{u})^{0.5}}{H^{1.5}}$$

式中 D_m ——分子扩散系数， m^2/d ；

$\bar{u}$ ——平均流速， m/d ；

H ——平均水深， m 。

D_m 随温度变化

$$D_m = D_m(20) \cdot 1.037^{(t-20)}$$

式中 $D_m(20)$ —— 20°C 时的分子扩散系数。

$$D_m(20) = 2.037 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s} = 1.762 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{d}$$

$$K_2(t) = K_2(20) \cdot 1.025^{(t-20)}$$

$$K_2(20) = 1.32 \cdot \frac{\bar{u}^{0.5}}{H^{1.5}}$$

对于高速和非各向同性河流使用下式:

$$K_2 = \frac{4.80 D_m^{0.5} S^{0.05}}{H^{1.25}} \times 2.31$$

式中 S ——河床斜率, 其它符号含义同上。

2) 常用的经验公式。

$$K_2 = C \frac{u^m}{H^n}$$

式中 u ——平均流速, m/d;

H ——平均水深, m;

C 、 m 、 n ——经验常数, 文献中常见的 C 、 m 、 n 值见表 6-21。

表 6-21 文献中常见的 C 、 m 、 n 值

C	m	n	C	m	n
12.93	0.50	1.5	7.03	1.00	1.50
11.57	0.969	1.673	10.93	0.85	0.85
25.10	0.73	1.75	6.87	0.73	1.05
21.67	0.67	1.85	5.63	1.00	1.50
7.60	1.00	1.50	20.17	0.607	1.689

4. 国内外确定的 K_1 和 K_2 值

(1) 前苏联对多种废水和天然水进行了测定, 规定了在不同温度下的 K_1 值。对于污水, K_1 取值如表 6-22 所示, 对于清洁水: $K_1 = 0.051/d$ 。

表 6-22 前苏联测定的不同温度下 K_1 值

温度 (°C)	0	5	10	15	20	25	30
K_1 (1/d)	0.04	0.05	0.063	0.08	0.10	0.126	0.158

(2) 日本通过实测, 统计得出河流的 K_1 值如表 6-23 所示。

表 6-23 日本测定的 K_1 值

河流状况	未污染河流	污染浅河流	污染深河流
K_1 (1/d)	0.04~0.10	0.06~0.24	0.12~0.24

表 6-24 所示为日本的天然水体 K_2 的标准值。

表 6-24 日本天然水体 K_2 标准值

水 体 类 别	深 水	浅 水
水池塘和堰上回水	0.05	0.10
淤塞的河流和大湖	0.10	0.16
流动缓慢的大河	0.16	0.20
普通的大河	0.20	0.33
湍急的河流	0.33	0.50

(3) 美国规定在 20℃ 时取 K_1 值为 0.231/d，然后利用：

$$K_1 = K_{20} \theta^{(t-20)} = 0.23 \times (1.047)^{(t-20)}$$

推算实际水温下的 K_1 值。

(4) 中国通过实测，获得一些河流的 K_1 、 K_2 值，见表 6-25。

表 6-25 中国某些河流的 K_1 、 K_2 值

河 流 名 称	K_1 (1/d)	K_2 (1/d)
第一松花江 (黑龙江)	0.015~0.13	0.0006~0.07
第二松花江 (吉林)	0.14~0.26	0.008~0.18
图门江 (吉林)	0.20~3.45	1~4.20
丹东大沙河 (辽宁)	0.5~1.4	7~9.6
黄河 (兰州段)	0.41~0.87	0.82~1.9
渭河 (咸阳)	1.0	1.7
清安河 (江苏)	0.88~2.52	—
漓江 (象山)	0.1~0.13	0.3~0.52

(二) 多维参数同时估算方法

1. 方法概述

应用多维参数的最优化估算法，可以同时确定模型中的各个参数。这种方法的优点是：从模型的整体出发求得参数值，使水质模型的可靠性提高。但需要注意的是这种非线性的多维参数最优搜索过程中，由于多变量函数的非凸特性，会因所取初始值的不同，求得的最优值将有所不同，此时所求得的解实际是局部最优解，而非整体最优解。为了避免这种问题，除了要对可行范围内的各种初始值的“优值”多做些比较外，有时往往采用降维的方法降低待估参数的维数，再进行最优搜索。

对多变量函数往往采用直接最优化方法搜索其最优值。也就是从给定的初始值（或起点）出发，每次增减一定的量，逐步改善目标函数 $J(\vec{K}_1)$ ，直到其满足目标值收敛的误差要求。目前直接最优化方法大多采用一阶梯度法（又称“最速下降法”），即在原点（或起点）的目标函数值 $J(\vec{K}_1)$ 下降速率最快的方向 $-aJ(\vec{K})/aK$ （一阶负梯度的方向），按一定的步长进行搜索。每次改进目标函数值，并得到新的起点，如此反复迭代计算，直到满足要求。

水质模型参数的同时估值法的工作步骤如下：

(1) 收集一定排污条件下河流各断面 BOD₅ 和 DO 的实测离散分布序列集合， $\{b_{ij}^m\}$ 和 $\{C_{ij}^m\}$ 。 m 表示实测值， i 表示第 i 次测量 ($i=1, \dots, n$)， j 表示第 j 断面 ($j=1, \dots, r$)。

(2) 用选定的河流水质模型，在同样排污条件下，计算 BOD₅ 和 DO 的计算序列集合 $\{b_{ij}\}$ 和 $\{C_{ij}\}$ 。

(3) 由实测序列值和模型计算序列值之差的某一范数（常用 = 范数）构成一目标函数。

$$\text{对 BOD} \quad J_b = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (b_{ij} - b_{ij}^m)^2 = J_b(K_h)$$

$$\text{对 DO} \quad J_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (C_{ij} - C_{ij}^m)^2 = J_c(K_h)$$

对第 i 次的总目标函数

$$J^i = \sum_{j=1}^n [\lambda J_b^i + (1 - \lambda) J_c^i]^2 = J^i(k_h^i)$$

式中 λ ——加权因素 ($0 \leq \lambda \leq 1$)，表示 BOD 和 DO 实测值的相对可靠性或重要性，当 $\lambda=0$ 时，BOD 值不可靠；当 $\lambda=1$ 时，DO 值不可靠；当 $\lambda=0.5$ 时，BOD 和 DO 值同等可靠；

K_h ——待估算参数 ($h=1, \dots, l$)。

(4) 在有约束条件下，用一阶梯度法，搜索目标函数值最小时的待估算参数（或决策变量）序列 $\{K_h^*\}$ ，即

$$J^i \xrightarrow[\substack{\{K_h\} = \{K_h^*\} \\ (\text{约束 } a_h \leq K_h \leq d_h)}]{\quad} (J^i)_{\min}$$

由于上述非线性目标函数最优值的梯度搜索法，不能保证获得全局的最优解，往往引起较大的误差。有人开发了一种新的计算机扫描计算—图解—梯度搜索法克服了上述不足。

2. 梯度搜索法求解河流水质模型的最优参数值

(1) 斯特里特—费尔普斯 BOD—DO 模型参数的估算

S-P 模型为：

$$\begin{cases} L = L_0 e^{-K_1 x/v} \\ C = C_s - (C_s - C_0) e^{-K_2 x/v} + \frac{K_1 L_0}{K_1 - K_2} (e^{-K_1 x/v} - e^{-K_2 x/v}) \end{cases}$$

式中 L ——BOD 的浓度；

C ——DO 的浓度；

其它符号同前。

目标函数用：

$$J(K_1, K_2) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^j [C(K_1, K_2, C_s, C_0, L_0, t_{ij}) - C_{ij}^m]^2$$

式中 t_{ij} ——第 i 次监测的第 j 断面河水流经时间。

采用一阶梯度搜索最优解

$$J = \sum_{j=1}^j [C - C_j^m]^2 \xrightarrow{\{K_1, K_2\} = \{K_1^*, K_2^*\}} J_{\min}$$

最优搜索计算程序见图 6-5。

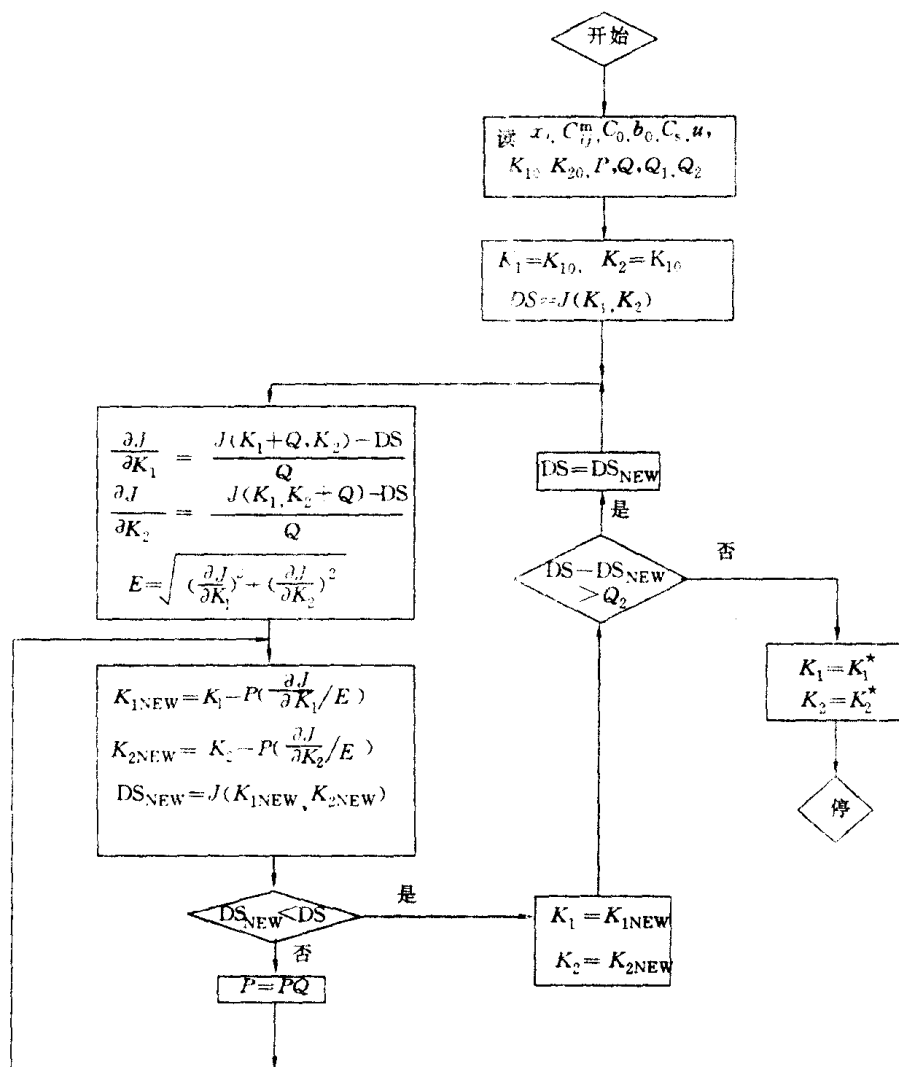


图 6-5 S-P 模型参数的最优搜索计算框图—改进梯度法

DS—目标函数； x_i —由河段始断下流的距离； C_{ij}^m —第 i 次监测第 j 断面实测河流 DO 浓度； P —搜索步长； Q —参数增量； Q_1 —一步长修正系数； Q_2 —目标收敛的误差要求； C_0 —河流始端 DO 浓度； C_s —河水饱和 DO 浓度； L_0 —河流始断 BOD 浓度

例：已知某河段起始断面 $L_0 = 20\text{mg/l}$, $C_0 = 10\text{mg/l}$ 及各断面实测数据（见表 6-26），求 K_1 和 K_2 值

表 6-26

各断面实测数据

断面号	1	2	3	4
断面距离 (km)	8	28	36	56
平均流速 (km/h)	4	4	4	4
t_i (h)	2	7	9	14
C_i^m (mg/l)	8.5	7.0	6.1	7.2
C_s (mg/l)	10	10	10	10

解

$$\begin{aligned}
 DS = J(K_1, K_2) = & \left[10 + \frac{20K_1}{K_1 - K_2} (e^{-2K_1} - e^{-2K_2}) - 8.5 \right]^2 \\
 & + \left[10 + \frac{20K_1}{K_1 - K_2} (e^{-7K_1} - e^{-7K_2}) - 7.0 \right]^2 \\
 & + \left[10 + \frac{20K_1}{K_1 - K_2} (e^{-9K_1} - e^{-9K_2}) - 6.1 \right]^2 \\
 & + \left[10 + \frac{20K_1}{K_1 - K_2} (e^{-14K_1} - e^{-14K_2}) - 7.2 \right]^2
 \end{aligned}$$

当 $p=0.5$, $Q=0.001$, $Q_1=0.25$, $Q_2=0.0001$, $K_{10}=0.5$, $K_{20}=0.9$ 时, 用程序计算得:

$$K_1 = 0.0537h^{-1}$$

$$K_2 = 0.1981h^{-1}$$

$$J_{\min} = 0.469$$

循环次数 $M=33$ 。

(2) 托马斯 (Thomas) 模型参数的同时估算

托马斯模型为:

$$\begin{aligned}
 L &= L_0 \exp \left[- \frac{(K_1 + K_2)x}{v} \right] \\
 C &= C_s - (C_s - C_0) \exp \left[- \frac{K_2 x}{v} \right] + \frac{K_1 L_0}{K_1 + K_2 - K_3} \\
 &\quad \times \left[\exp \left(- \frac{K_1 + K_3}{v} x \right) - \exp \left(- \frac{K_2 x}{v} \right) \right]
 \end{aligned}$$

式中 L 、 L_0 —— $x=x$ 和 $x=0$ 处河水的 BOD_5 浓度, mg/l;

C 、 C_0 —— $x=x$ 和 $x=0$ 处河水的 DO 浓度, mg/l;

C_s —— t 时河水的饱和 DO 浓度, mg/l;

x ——由始端 $x=0$ 起河水的流动距离, km;

v ——河水平均流速, km/h;

K_1 ——BOD 衰减系数, 1/d 或 1/h;

K_2 ——复氧系数, 1/d 或 1/h;

K_3 ——BOD 沉浮系数, 1/d 或 1/h。

如果以 DO 的模型计算值与实测值之差的平方和作为目标函数, 即:

$$DS = J(K_1, K_2, K_3) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (C_{ij} - C_{ij}^m)^2$$

式中 DS——目标函数;

C_{ij} ——由模型计算的第 i 次监测第 j 个断面的河水 DO 浓度, mg/l;

C_{ij}^m ——实测得到的第 i 次监测第 j 断面的河水 DO 浓度, mg/l。

用一阶梯度法搜索目标函数值最小时的参数值

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (C_{ij} - C_{ij}^m)^2 \xrightarrow{\langle K_1, K_2, K_3 \rangle = \langle K_1^*, K_2^*, K_3^* \rangle} \min$$

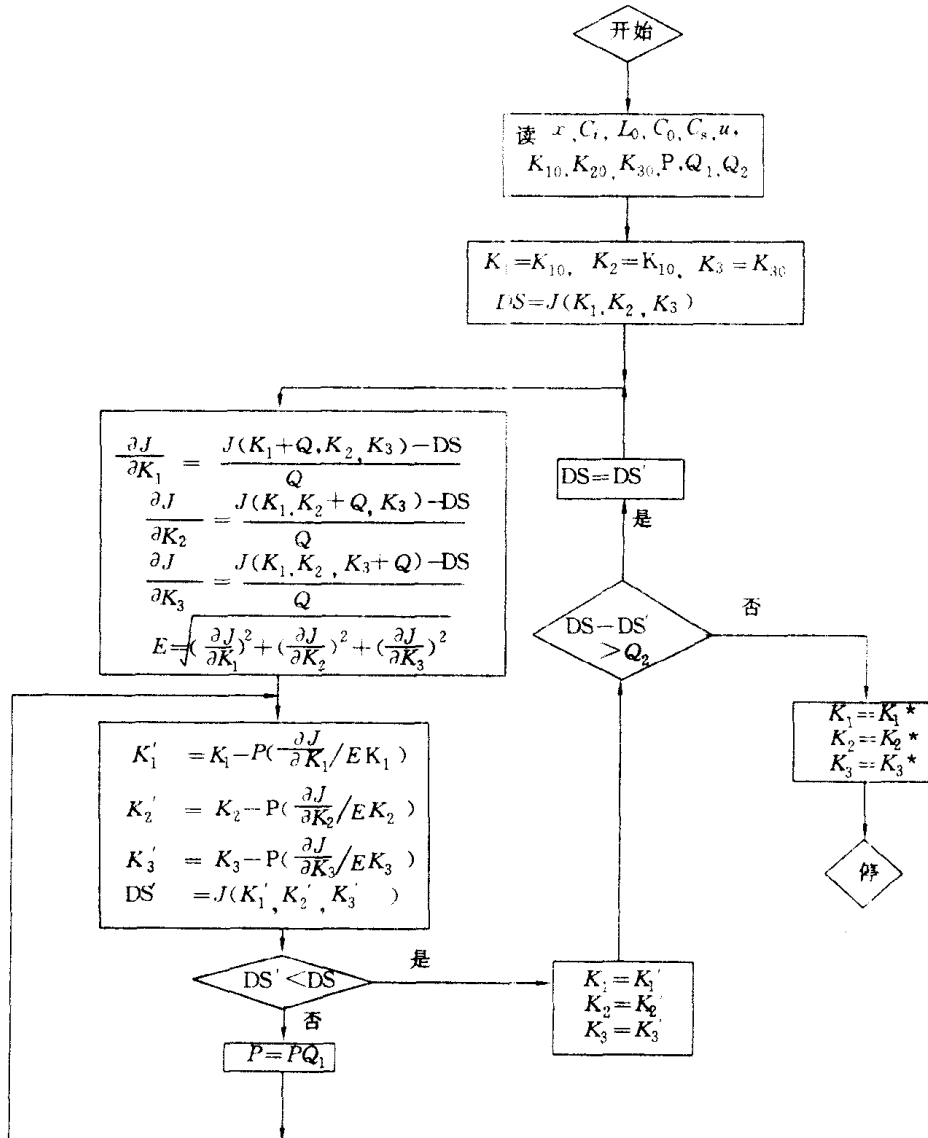


图 6-6 托马斯模型参数的最优搜索计算框图

DS——目标函数; x_i ——河水流动距离; C_i ——第 i 断面实测 DO 浓度;

C_s ——河水饱和 DO 浓度; C_0 、 L_0 ——始端河水 DO 和 BOD 浓度;

P ——搜索步长; Q ——参数增量; Q_1 ——步长修正系数; Q_2 ——目标收敛误差要求

$$\text{及} \quad J_i = \sum_{j=1}^r (C_{ij} - C_{ij}^m)^2 \xrightarrow{\{K_1, K_2, K_3\} = \{K_1^*, K_2^*, K_3^*\}} \min$$

式中 i ——第 i 次 ($i=1, \dots, n$);

j ——第 j 断面 ($j=1, \dots, r$);

J ——总的目标值。

托马斯模型 K_1 、 K_2 、 K_3 估值的最优搜索框图如图 6-6 所示。

例 某河各断面测得的 DO 和起始断面的 BOD₅ 浓度见表 6-27。

表 6-27 各断面 DO 和 BOD 浓度

断 面 号	0	1	2	3	4	5
流动距离 x_i (km)	0	4	8	16	32	40
DOC ^m (mg/l)	8.43	6	4.5	3.3	3.9	4.7
BOD ₅ (mg/l)	12					

求参数 K_1 、 K_2 、 K_3 。

解 利用图 6-6 框图所编程序进行最优解的搜索。

当搜索步长 $P=0.5$, 参数增量 $Q=0.001$, 步长修正系数 $Q1=0.5$, 目标收敛误差要求 $Q2=0.00001$ 的条件下, 采用不同的初始值 K_{10} 、 K_{20} 和 K_{30} , 所得结果并不都相同 (见表 6-28)。其差别的原因在于目标函数并非是单峰的凸函数, 而是多峰的函数, 因此在不同的初始值区间可能得到某一峰值的极小点 (是局部最优解) 而不是整个范围内的最小点 (整体最优解)。

为此, 可采用多种区间 (多组的初始值) 进行最优搜索的比较选择法来确定。选择的依据主要是目标函数值 $J_{\min}$ 。同时也要考虑参数值区间的合理范围。试验结果的典型情况汇总于表 6-28。

表 6-28 不同初始值 (K_{10} , K_{20} , K_{30}) 所搜索到的 K_1^* , K_2^* , K_3^*

数据与结果		试 验 组 数				
		1	2	3	4	5
输入数据与初始值	Q	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	P	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	$Q1$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	$Q2$	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
	$Q3$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	K_{10}	2	0.5	0.2	0.06	0.005
	K_{20}	2	0.5	0.2	0.06	0.005
	K_{30}	0.1	0.1	0.05	0.02	0.005
输出结果	K_1^*	0.25778	0.25896	0.25716	0.256065	0.25779
	K_2^*	0.11677	0.11536	0.12470	0.125982	0.11774
	K_3^*	0.050397	0.053206	0.035661	0.033265	0.048217
	J	0.001614	0.0018501	0.0013184	0.0017803	0.0015141
	P	0.007812	2.33×10^{-10}	9.31×10^{-10}	6.104×10^{-5}	2.33×10^{-10}
	M	32	55	47	45	97

表 6-28 说明 K_{10} 和 K_{20} 在整个区间变化时 ($2-0.005$) 搜索结果基本符合。而 K_{30} 的变化影响显著。当 K_{30} 在 $0.1 \sim 0.005$ 范围内变化时, 搜索结果, 目标函数值皆很小 $J=0.00132 \sim 0.00178$, 参数值 K_1^* 、 K_2^* 、 K_3^* 比较一致。当 $0.1 < K_3 < 0$ 时, 搜索结果的目标值将大大增加 $J > 0.009$, 参数值 K_1^* 、 K_2^* 、 K_3^* 的波动也很大。从 1-5 组可行初始值区间的结果相比而言, 以第 3 组最佳, 故选用以下结果:

$$\begin{aligned} K_1^* &= 0.257 \text{h}^{-1} & J &= 0.001318 \\ K_2^* &= 0.125 \text{h}^{-1} & P &= 9.3 \times 10^{-10} \\ K_3^* &= 0.036 \text{h}^{-1} & M &= 47 \text{ (循环次数)} \end{aligned}$$

六、有关模型的应用计算实例

1. 计划在河边建一工厂, 该厂将以 $2.83 \text{m}^3/\text{s}$ 的流量排放废水, 废水中总溶解固体浓度为 1300mg/l , 该河流平均流速 v 为 0.457m/s , 平均河宽 W 为 13.72m , 平均水深 h 为 0.61m , 总溶解固体浓度 C_0 为 310mg/l , 问该工厂的废水排入河后, 总溶解固体的浓度是否超标 (设标准为 500mg/l)?

解

$$\begin{aligned} C_0 &= 310 \text{mg/l} \\ q &= V \times Wh = 0.457 \times 13.72 \times 0.61 = 3.83 (\text{m}^3/\text{s}) \\ C_1 &= 1300 \text{mg/l}, q_1 = 2.83 (\text{m}^3/\text{s}) \\ C_2 &= \frac{C_0 q + C_1 q_1}{q + q_1} = \frac{310 \times 3.82 + 1300 \times 2.83}{3.82 + 2.83} = 731 (\text{mg/l}) \end{aligned}$$

结论是河水中总溶解固体浓度超标。

2. 一均匀河段稳定排放含酚废水, 排污口废水中含酚浓度 C_0 为 20mg/l , 河水的平均流速 $V=40 \text{km/d}$, 弥散系数 $D=1 \text{km}^2/\text{d}$ ($11.57 \text{m}^2/\text{s}$), 酚的衰减速率系数 K 为 21/d , 求 $x=50 \text{km}$ 处的河水含酚浓度。

$$\begin{aligned} C &= C_0 \exp \left[\frac{v}{2D} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4KD}{v^2}} \right) x \right] \\ &= 20 \exp \left[\frac{40}{2 \times 1} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4 \times 2 \times 1}{40^2}} \right) 50 \right] \\ &= 20 e^{-2.4968} \\ &= 1.647 (\text{mg/l}) \end{aligned}$$

3. 一个工厂的废水排入一条较清洁的河流, 河流的 BOD_5 为 2.0mg/l , DO 的浓度为 5.0mg/l , 水温 t_1 为 22°C , 流量 q 为 $7.1 \text{m}^3/\text{s}$, 工业废水的 BOD_5 为 800mg/l , 水温 t_2 为 31°C , 流量 q_1 为 $3.5 \text{m}^3/\text{s}$, 排出前废水经曝气使 DO 浓度达 6mg/l , 废水和河水混合后河道中平均水深达 0.91m , 河宽为 15.2m , 河流的 DO 标准为 5.0mg/l , 各常数经测定为: $K_1 (20^\circ\text{C}) = 0.23 \text{1/d}$, $K_2 (20^\circ\text{C}) = 3.0 \text{1/d}$, $\theta_1 = 1.05$, $\theta_2 = 1.02$, 计算工厂排出废水的最高 BOD_5 允许到多少?

解

$$v = \frac{q + q_1}{H \times W} = \frac{7.1 + 3.5}{0.91 \times 15.2} = 0.76(\text{m/s})$$

$$t = \frac{t_1 q + t_2 q_1}{q + q_1} = \frac{(22^\circ\text{C})(7.1) + (31^\circ\text{C})(3.5)}{10.6} = 25.0(^\circ\text{C})$$

$$C_0 = \frac{C_1 q + C_2 q_1}{q + q_1} = \frac{(8 \times 7.1) + (6.0 \times 3.5)}{10.6} = 7.33(\text{mg/l})$$

查表可得饱和溶解氧浓度 $C_s = 8.38\text{mg/l}$ ，因此

$$D_0 = C_s - C_0 = 8.38 - 7.33 = 1.05(\text{mg/l})$$

$$K_1 = K_{20}\theta^{t-20} = 0.23(1.05)^{25-20} = 0.29(1/\text{d})$$

$$K_2 = K_{20}\theta^{t-20} = 3.0(1.02)^{25-20} = 3.3(1/\text{d})$$

最大允许氧亏量为：

$$D_m = C_s - S_0 = 8.38 - 5.0 = 3.38(\text{mg/l})$$

用试算法求 L_a ，得到相应于 DO 浓度为 5.0mg/l 的临界氧亏值（见表 6-29）。

表 6-29

试算法求容许 BOD₅ 浓度值表

计 算 次 数	L_a (mg/l)	临界流动时间 t_c (d)	DO 亏值 (mg/l)
1	100	0.770	7.03
2	50	0.727	3.56
3	40	0.703	2.87
4	45	0.716	3.12
5	48	0.723	3.42
6	47	0.721	3.35
7	47.4	0.721	3.38
			可取

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left[1 - \frac{D_0(K_2 - K_1)}{K_1 L_a} \right] \right\}$$

$$t_c = \frac{1}{3.3 - 0.29} \ln \left\{ \frac{3.3}{0.29} \left[1 - \frac{1.05(3.3 - 0.29)}{0.29 L_a} \right] \right\}$$

$$D_0 = \frac{K_1 L_a}{K_2} (e^{-K_1 t_c}) = \left(\frac{0.29 L_a}{3.3} \right) (e^{-0.29 t_c})$$

$$= 0.0879 L_a e^{-0.29 t_c}$$

根据表 6-29 计算的结果，最高的 BOD₅ 浓度应为 47.4mg/l （和 $D_0 = 3.38\text{mg/l}$ ）对应然后求总的 BOD₅：

$$\text{BOD}_5 = L_a (1 - e^{-5K_1}) = 47.4 (1 - e^{-0.23 \times 5}) = 32.4(\text{mg/l})$$

容许排入废水的最大 BOD₅ 是：

$$\text{BOD}_5 = \frac{(32.4 \times 10.6) - (2.0 \times 7.1)}{125} = 93.2(\text{mg/l})$$

题中废水的 BOD_5 为 800mg/l ，因此，必须将 88% 的 BOD_5 消减后才能排入河道。

七、地下水水质预测模型

地下水水质预测是一个非常复杂的问题，它不仅涉及到水文地质学、水文地球化学等问题，而且涉及到地下水流体力学、数理统计学和电子计算技术等方面的问题。近年来，我国一些省市地区开展了一些环境水文地质调查和评价工作，但多限于面上调查，缺乏定量的预测性的评价研究，而监测地下水水质动态与预报地下水污染的发展趋势，正是地下水污染调查研究的主要任务之一。目前对地下水中某些有害物质含量变化的预测可以采用下列两种方法。

（一）统计法

在具有多年连续水质观测的水源地，通过某种元素或离子的浓度进行统计，绘制曲线寻找其规律性，建立曲线的回归方程式，求得该种物质的浓度随时间变化的增量系数，进而进行简单的短期预报。

例如从沈阳市 12 个水源井历年的矿化度、总硬度、氯离子 (Cl^-) 和硫酸根监测数据，绘制成的历年浓度变化曲线中，发现许多条曲线符合下列直线方程：

$$C_T = C_0 + at$$

式中 C_T ——某离子在 T 年内的浓度， $\mu\text{g/ml}$ ；

C_0 ——某离子在起始时的浓度， $\mu\text{g/ml}$ ；

a ——单位时间增量内的浓度增量系数。它可从各井中历年离子变化曲线求得；

t ——时间增量，年。

按上述回归方程，可对沈阳市 12 个水井的污染趋势进行预测。

（二）水质模拟法

水质模拟法是应用模拟方法研究地下水中某种可溶物质（元素或其它组分）弥散、运移时，其浓度在空间、时间上的变化规律，预测污染地下的瞬时动态和扩散范围，为制定合理的、有效的防治措施提供科学依据。

目前地下水污染的研究，无论从理论上还是技术方法上，均有较大的进展，它基本上是水文地球化学的理论与研究方法和地下水动力学相互渗透的结果，即地下水水质和水质模拟问题的统一是现代水文地质学发展的趋势。现将地下水污染预测的基本理论和方法介绍如下。

1. 水质模拟试验的基本理论

地下水污染与水质模拟的基本理论是弥散理论。这种理论是对可溶混流体在孔隙介质中的相互移动性能进行定性描述和定量计算。在大多数情况下，污染物质与地下水是可溶混的，或者至少具有示踪剂的性质。在孔隙介质中，液流的弥散作用是含不同组分的液相在流动过程中发生浓度变化。这种变化是由纯力学作用（因流体对流体引起的纯机械混合作用）和物理化学作用（质点的热动能引起的分子扩散作用）引起的，物理化学作用是由于化学势梯度所引起的，而化学势则与浓度有关。分子扩散作用则是经常存在的，甚至在静止的液体中也能发生。

2. 水动力弥散方程的建立

(1) 弥散方程

假设：污染物质与地下水是可混溶的；混合物的密度与扩散是各向均匀的；流体在均质各向同性的多孔介质中运移；单位时间内的速度采用平均速度表示；流体以微小的流速来考虑。那它在选定的时间内，弥散流体某点上的浓度由下列方程式表示：

$$-\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div}(D \cdot \text{grad}C) - u \text{grad}C$$

或写成：

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = - \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial x}(M_x) + \frac{\partial}{\partial y}(M_y) + \frac{\partial}{\partial z}(M_z) \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) + \frac{\partial}{\partial y}(u_y C) + \frac{\partial}{\partial z}(u_z C) \right] \right\} \end{aligned}$$

式中 C ——浓度；

div ——矢量标子散度；

t ——时间；

D ——物理弥散系数；

grad ——元向量场的梯度；

u ——实际速度， $u = \frac{v}{n}$ ；

v ——渗透流速；

n ——空隙度；

M ——由弥散作用产生的污染物质通量；

u_x, u_y, u_z ——地下水的平均流速分量。

此方程的意义是单位时间内地下水溶质含量的变化取决于物理化学弥散及对流引起的质变化。若污染物质视为二维扩散；考虑到模拟区有污染源并且设污染源的强度为 W_c ，考虑到水和介质发生化学作用引起溶解和沉淀，则上述方程可改为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x}(u_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y C) + \frac{1}{n} \frac{\partial q}{\partial t} - W_c$$

式中 q ——单位体积内溶质转到固相或从固相溶解下来的溶质质量；

D ——扩散系数（当水流速度等于零时弥散系数等于扩散系数）。

方程右边第一、二项是由扩散效应引起的溶质的运动，第三、四项表示液体对流引起的运动，第五项为化学反应引起的溶质消失或增加，最后一项为污染源引起的溶质的变化。

(2) 实际应用中的弥散方程

1) 弥散方程

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div}(D \text{grad}C) - u \text{grad}C$$

2) 连续方程

$$\text{div}(pu) = - \frac{\partial p}{\partial t}$$

3) 达西方程

$$u = - \frac{K}{\eta} (\text{grad } p + \rho \text{grad } z)$$

4) 混合物的状态方程

$$p = f(E), u = \eta(e), D = d(C)$$

式中 p ——压力；

u ——实际流速；

D ——渗透系数；

ρ ——水的密度；

η ——水动力粘带系数；

E ——是经典的直角坐标内沿垂直轴 Q_z 的坐标其中梯度向量平行 Q_z 。

从数学上讲，弥散方程是微分方程的非线性系统，水动力方程和弥散方程是相互依存的，由于含水层中温度变化不大，因而在状态函数中可不予考虑。

(3) 实际工作中应用弥散方程的两个基本前提

1) 假定混合物的密度和粘度是常数，混合物速度与浓度无关，此时水动力方程与弥散方程无关，首先解水动力方程（达西方程和连续方程），一般以压力边界和起始状态的水头或压力，按单位时间内弥散系数、边界条件、起始状态为基础计算出空间和整个时间的浓度分配。

2) 在一般情况下，水力方程和弥散方程有关，弥散方程的系数是混合物速度的函数，速度又是以粘度的密度来表示浓度的函数。按数学上要求，可用图解方法求得近似方程，在时间 t 内，浓度变化已知，相应的粘滞度和密度是计算得出来的。在时间增量 t 内，粘度和密度假定为常数，相应的速度不同，在 $t+dt$ 时间内浓度是计算得出来的。

(4) 应用弥散方程解决问题的步骤：

1) 对资料分析研究，如土壤渗透性、地貌形态参数、化学元素浓度、估计流量和可能出现的图示类型。

2) 建立方程，选择数学表示法，可以用数学模型（分析解或数值解）以弥散方程的二维形式展开，通常有两种方法，水力传导方法和水力弥散模拟，前者用水力学方法解，后者则包括对流和弥散两个阶段。

3) 利用模拟模型进行数字计算机研究。首先通过野外获得的有关参数，如压力传导率、孔隙度、水头、化学元素浓度。第一步模拟水头分布对 K 值分布的调整、直至水头型式和野外实际相似。第二步利用水流型式对弥散系数的调整来模拟元素的分布，直至模拟成输运形式和野外观测相似为止。

4) 野外参数实际测定。

测定地下水实际流速的方法应采用：

1) 人造示踪剂；

2) 环境同位素；

3) 达西定律计算。

测定弥散系数，常用最简单的方法是测定零速度的 K 值，或利用公式来推断 D 值。

在野外测定弥散系数是按距离的长度考虑的。当弥散距离为 2~4m 时,采用单井脉冲技术;当距离为 4~20m 时,采用观测井技术;当距离达 20~100m 时,用单井并使用电法测量;当距离大于 100m 时,有两种情况:一种是浓度小,流动距离长,属纯机械弥散,另一种是浓度大,距离长,这两种情况都应采用环境指示剂来测得弥散系数。

八、电厂储灰场灰水渗透对地下水的影 响

目前,我国大部分电厂采用水力输灰,即把灰浆通过管道输运到固定场地(灰场)存放,灰水渗入地下。由于排放的灰水量巨大,灰水中含有砷、氟、碱性物质、重金属等污染物质;也由于国家环保局和电力部限制了在“八五”末停止向江河排灰,因此,储灰场灰水的长期淋溶,渗透对地下水的影响引起人们的广泛关注。如何预测、评价电力工业生产中灰场灰水的渗透对地下水的污染已成为燃煤电厂建设项目环境影响评价的重要内容。

(一) 储灰场水文地质调查

为了较准确的评价灰场灰水渗透对地下水的影响,首先要弄清灰场所在区域的地面水流域汇水面积、地质构造,尤其是灰场周围和底部的岩性、裂隙、断裂情况、地下水埋藏深度(分上部潜水层和深层承压水层)及地下水的流向等。

上述情况的获取大部分可通过资料调研,必要时实地勘测。

(二) 灰水污染途径分析及水量平衡估算

1. 灰水流失途径分析

灰场正常运行时,排入灰场的灰浆经过一段时间静置后,灰沉淀,水澄清,澄清的灰水部分通过库底渗入地下、部分自水面蒸发散失到空气中,如果有剩余水量则通过灰场排水竖井经穿坝涵管流至坝外消化池,再排往原有排水沟或打回电厂复用。

雨季洪水流入灰场,经短期停留,沉淀泥沙后通过竖井排往坝外排水沟。灰场排水系统应设计成有较强的泄洪能力,即使 50 年一遇的洪水,也应保证在 16 小时内泄完,使灰场迅速恢复正常运行,因此在该类评价中一般不考虑雨季洪水时灰场积水量的影响。

灰场外排的灰水,如不返回电厂复用,则会对排水沟周围土地或接纳水体产生一定影响,评价时也应予以考虑。

2. 灰场积灰和库底土层渗透性能的测定

为了确定灰场的渗透性能,首先要在实验室内测定与拟建电厂燃煤相同的电厂的粉煤灰和拟建电厂的灰场库底土层的渗透系数,并在现场实测其渗透系数。

实验室测定采用恒压渗透法和降压渗透法,粉煤灰或库底土的装柱高度一般为 10cm,柱径为 4cm,恒压渗透实验用下式计算渗透系数:

$$K = \frac{Q I_h}{A H}$$

式中 Q ——实验系统的稳定流量;

I_h ——装柱高度,10cm;

H ——作用在柱上的恒压差;

A ——柱的横截面积,12.56cm²。

降压渗透测定用下式计算渗透系数:

$$K = \frac{aI}{At} \ln \frac{H_0}{H}$$

式中 a ——测量水位降管的截面积, 实验中 $A=a$;

H_0 ——初始水位;

H ——实验结束时的水位。

现场实验应在灰场中央的库底土层出露地段进行。分别选 1m^2 的圆形地为试验场地, 去除表层 500cm 厚的土层后, 挖一直径 113cm 、深 20cm 的圆坑, 并把一内径为 35.7cm (截面积 1000cm^2)、高 350cm 的圆筒放在圆坑中央, 使其嵌入土中 15cm , 将实验土层分为实验区 (筒内) 和保护区 (筒外)。筒内外各抽有一刻度标尺, 用于观察实验区和保护区的水位变化, 以便计算水层厚度。测定时先将水灌入保护区, 再将一定量的水倒入筒内, 使筒内水层初始厚度为 5cm , 同时立即开始计时。此后, 每隔一定时间观察并记录筒内水位, 并加水使其恢复至原有高度 (5cm)。此过程一直持续到在相同时间间隔内, 水位下降高度基本相同为止, 然后根据下式计算土层的渗透系数:

$$K = \frac{QL}{TAH}$$

式中 A ——过水横截面积, 为 1000cm^2 ;

T ——时间间隔, s ;

Q ——在 T 时间内通过 A 的渗入水量, cm^3 ;

L ——试验土层厚, 为 15cm ;

H ——水头高度, cm 。

比较实验室实验和现场实验结果, 确定土层和粉煤灰的渗透系数。一般地说, 砂土的实验室测定结果与现场测定结果相吻合, 而粘土的渗透系数, 其现场实验结果比实验室实验结果小得多, 这主要是粘土在实验室测定时很难保持其原有状态。粉煤灰的渗透系数一般取自实验室实验。

3. 灰水渗流量的估算

由于一般电厂的灰厂的交替使用及灰场灰浆排出口位置的不断变换, 灰水在某一段时间内只会积存于灰场内某一局部区域, 并通过此区域库底土层下渗。从一个长的时间段来看, 多年的年均积水天数和单位面积灰水渗漏量也应大致相同。

(1) 积水区域渗流量

灰场内常年积水区域灰水通过库底的垂直流量 q ($\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}^2$) 可用达西公式计算:

$$q = KJW$$

式中 K ——渗透系数, m/d ;

J ——水力坡度, 假定渗透距离与渗透水头相等, 即取值为 1 ;

W ——垂直方向上的单位面积, m^2 。

(2) 灰场平均渗流量

一般按灰场的实际使用面积, 不考虑蒸发散失量和外排量的影响, 假定每年排入灰场的灰水全部通过库底渗入地下, 则可算出平均年渗流量 (m^3/m^2)。

(三) 灰水 pH 值对地下水的影响

燃煤电厂灰水刚排出管道时, pH 可高达 10~12, 其中 OH^- 碱度占 70% 以上, CO_3^{2-} 碱度占 30% 以下, 是灰水的主要污染因子。

1. 灰场灰水 pH 值的自净

灰场灰水 pH 值的自净是指在灰场静置过程中, 空气中的 CO_2 气体会不断溶解于灰水, 与其中的 OH^- 发生中和反应, 使灰水 pH 值下降。

为确定电厂灰水在空气中静置时的 pH 降低速率, 需在实验室进行模拟实验: 按 1:5 灰水比将 pH 值为 8.0 的去离子水和与拟用煤种相同电厂的粉煤灰装入 1 升塑料瓶中, 共配制 5 份, 在康氏振荡器上振荡 1h, 闭口静置 24h 时后转入直径不同的烧杯中, 使单位体积的灰水与空气接触的表面不同。每隔一定时间测定其 pH 值。

灰水在灰场中 pH 值会自然下降, 已为某些电厂的实验和实测数据所证实。但在降低速率及其可达到的最低 pH 上却说法不一。如兰州西固电厂证实了灰水在空气中经 98h 静置。其 pH 值可由 11.9 降至 8.26; 山西大同二电厂的灰水经 96h 静置只能使灰水 pH 值由 11.22 降至 9.71。究其原因, 可由上述实验说明: 灰水的 pH 值的自净速率或在一定时间内可达到的最低 pH 值, 与单位体积灰水和空气接触的传质面积 (s/v) 有直接关系。实验表明, 当 s/v 值为 1.55 时, 灰水 pH 值每天约降低 0.4pH 单位, 静置 4 天后, pH 值由 12.57 降为 11.39, 10 天后 pH 值可降至 8.5 以下; s/v 值小于 1 时, 灰水 pH 值每天只降低 0.1~0.2 个单位, 即使 10 天后, 灰水 pH 值仍在 10.5 以上。显然, 为了使灰场灰水 pH 值在静置过程中降到较低值, 灰场积水区不宜过深, 以便增大 s/v 值, 提高 pH 值的自净速率。

2. 库底土层中和容量测定

在灰水通过库底渗入地下的过程中, 由于土壤中 HCO_3^- 和灰水中 OH^- 的中和作用及其它效应, 可使灰水中的 OH^- 进一步减少, 反应式如下:



结果, 灰水 pH 继续降低, 同时灰水中的硬度也会减少。

为了证实灰场库底层能否有效地降低灰水 pH 值, 探讨不同土层对灰水 pH 值的中和容量, 需在实验室内用过柱方法进行试验, 一般取土柱的柱径为 5cm, 高径比大于 2, 灰水过土柱后, 寻求 pH 值随时间和累积流过水量的变化关系。确定中和容量。

通过上述两方面的实验研究及其它数据, 可估算出灰水进入地下含水层的 pH 值。

(四) 灰水中污染物在灰场库底土层中迁移速度和迁移时间的估算

灰水中溶解的砷、酚、氟、重金属, 随灰水通过灰场库底土层垂直渗透时, 由于与地层中土壤发生相互作用, 产生吸附、沉淀、氧化还原、机械过滤等, 使部分污染物被土壤截留或净化。其总体效果是使污染物迁移速度远小于灰水的渗流速度, 污染物从灰场库底穿越包气带土层进入地下水所需的时间远大于灰水穿透包气带土层所需的时间, 这就不同程度地控制了灰水对地下水的污染。

为了研究土层对污染物的吸附能力和确定污染物在地层中的迁移速度, 预测电厂灰水对地下水的影响, 应首先在实验室测定土壤对灰水中主要污染物的静态吸附系数和有关动态吸附模拟试验。

1. 土壤对灰水中污染物的静态吸附

根据以上对灰水 pH 值的分析,以调到 pH 值为 8~10 的灰水为实验灰水。取灰场地表以下 0.5~1m 处的土,经烘干和筛分,取 20 目以下土为实验用土。按固液比 1:10,称取 2g 土样,加入一定浓度和一定 pH 值的模拟灰水 20ml,在 120r/min 的康氏振荡器上振荡 10~14h,然后静置 24h,在 4000r/min 的离心机上加以分离,取上清液,测定污染物含量,其吸附分配系数按下式计算:

$$K_d = \frac{C_0 - C}{q} \cdot \frac{V}{m}$$

式中 C_0 ——浸泡前溶液中污染物浓度, mg/l;

C ——浸泡后溶液中污染物浓度, mg/l;

V ——浸泡溶液体积, ml;

m ——土样重量, g;

K_d ——分配系数, ml/g。

2. 动态吸附模拟试验

为了描述污染物在包气带土层和地下水中的迁移情况,需在实验室进行动态模拟实验,绘制灰水流量 q 随流出时间 T 的曲线;计算动态情况下土层对有关污染物的滞留因子。

(1) 动态实验的 q - T 流出曲线

考虑灰场灰水 pH 值一般在 9~10,因此动态吸附模拟实验的灰水 pH 值应调整在此范围内,在土柱上分别作出各污染物达饱和时的灰水量和流出时间。

(2) 动态吸附分配系数和滞留因子的计算

滞留因子按下式计算:

$$R_d = \frac{t_{\overline{p}}}{t_w} = \frac{V_w}{V_{\overline{p}}}, t_w = \frac{L}{V_w}$$

动态吸附分配系数按下式计算:

$$K_d = (R_d - 1) \frac{n_e}{\rho}$$

式中 V_w ——沿柱方向实际水流速度;

$V_{\overline{p}}$ ——沿水流方向污染物平均流速;

t_w ——水流通过土柱所需的时间;

$t_{\overline{p}}$ ——污染物穿过土柱所需时间;

L ——土柱长度;

n_e ——土柱装填有效孔隙率;

ρ ——装填密度。

污染物穿过土柱时间以流出液中污染物达到饱和时为准。

3. 灰场库底土壤对污染物滞留因子估算

灰水中污染物向库底土层垂直渗透时,土层通过对污染物的吸附、截留,延缓污染物进入地下水的時間,降低污染物迁移速度。土壤对污染物的滞留因子(又叫延迟因子)由

下式计算：

$$R_d = 1 + \frac{\rho}{n_e} K_d$$

式中 ρ ——土层介质容量， g/m^3 ；

n_e ——土层有效孔隙率；

K_d ——吸附分配系数。

该滞留因子与动态吸附滞留因子的区别在于 ρ 和 n_e 取自于灰场地质勘测和工程设计空隙度 n 值，吸附分配系数取自静态吸附实验。可以预见，该滞留因子更接近真实情况，由它可初步判断灰库底层土壤对污染物的吸附（滞留）的强弱，即 R_d 值越大，土层对该污染物吸附越强，污染物向土层下渗速度越慢。

4. 灰水中污染物在地层中迁移速度和迁移时间的估算

对于灰场长年积水区，灰水渗流量大，其中污染物的迁移速度也较快，一般来说，粘土层的渗透系数小于粉煤灰的渗透系数，砂土的渗透系数又大于粉煤灰的渗透系数，这样，灰水穿过灰层后，将在粘土区形成饱和流，在砂土区形成非饱和流。

(1) 污染物通过粘土层的迁移速度和迁移时间的估算

由灰场现场渗透实验测得的渗透系数和粘土的工程设计空隙度值，按达西公式：

$$v_k = \frac{K}{n_e} J$$

计算出 v_k 值，设土层厚度为 L ，则污染物的迁移速度（m/d）和迁移时间（年）可由下两式计算：

$$v_{\overline{k}} = \frac{V_k}{R_d}$$

$$t_{\overline{k}} = \frac{L}{v_{\overline{k}}}$$

(2) 污染物通过库底砂土的迁移速度和迁移时间的估算

灰水穿过砂土层后，灰水处于非饱和流动，其流动速度可以用威尔逊等人给出的非饱和区水流速度的简化公式计算：

$$v_k = \frac{g}{\theta}$$

式中 g ——通过土层表面的渗透率；

θ ——土层含水率。

通过土层表面的渗透率由粉煤灰层控制，可取粉煤灰的渗透系数值，砂土的含水率由灰场的初步勘测提供。由上式算得 v_k 值后，各污染物在砂土层中的迁移速度和迁移时间可由下两式计算：

$$v_{\overline{k}} = \frac{v_k}{R_d}$$

$$t_{\text{污}} = \frac{J_{\text{污}}}{\alpha_{\text{污}}}$$

由上述一系列计算，可以预测出灰水中污染物下渗速度和穿透土层时的时间，为灰场的选址、设计、施工提供依据，防止灰水渗透对地下水的污染。

九、水温影响的预测

火力发电站、化工厂以河水或海水作为冷却水，通过热交换器，水温升高。火电发电通过冷凝器的冷却水温度上升 $7 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。这种温水排入水体会破坏水体原来的热平衡，使排放口附近水域温度升高，影响水生生物的生长、繁殖，污染物质在水中的化学和生物反应速率，引起水质分层。

模拟水温的一个重要方法是做热平衡计算，即将所有输入水体的热量减去耗散的热量。

$$\Delta H = H_s - H_{sr} + H_a - H_{ar} - H_b - H_c - H_e + H_p$$

式中 ΔH ——水的热容量的净改变值；

H_s ——太阳微波辐射输入的热量；

H_{sr} ——被反射掉的太阳辐射热；

H_a ——大气长波辐射输入的热量；

H_{ar} ——被反射掉的大气辐射热；

H_b ——反辐射；

H_c ——通过传导损失或获取的热量；

H_e ——蒸发损失的热量；

H_p ——由排入的废水带进的热量。

水温改变速率公式是：

$$\frac{dt_w}{dt} = \frac{\Delta H}{\rho C D}$$

式中 t_w ——水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

t ——时间，s；

ΔH ——面积热流量的变化， W/m^2 ；

ρ ——水的密度（约 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ）；

C ——水的比热容 [约 $4186\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$]；

D ——水深，m。

爱丁格尔 (Edinger) 等利用平衡温度的概念提出一个简化的模式，所谓平衡温度是净的表面热交换速率为零时的水温。平衡温度可以表示为：

$$t_e = t_d + \frac{H_s}{K}$$

式中 t_e ——平衡温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_d ——露点温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

H_s ——太阳的总短波辐射率， W/m^2 ；

K ——表面热交换系数, $W/(m^2 \cdot C)$ 。

这个平衡温度表达式显示在夜间, 平衡温度等于露点温度。大部分气象站都测露点温度。因为露点温度一天中比较恒定, 平衡温度在一天内的变化主要是太阳辐射改变的结果。

如果邻近的气象站有太阳辐射的观察资料, 可直接拿来用。但大多数气象站没有这方面资料。在缺少太阳辐射资料的情况下, 评价人员得求助于直接日射强度计 (pyrheliometer) 测定或利用经验公式来估算辐射强度。

估算太阳短波辐射的公式很多, 例如莫斯比 (Mosby) 推导出的一个公式是

$$H_s = K(1.0 - 0.071C)h \times 4.18$$

式中 H_s ——太阳短波辐射, $J/(cm^2 \cdot min)$;

C ——平均云层厚度, $1/10$ 大气层厚度;

K ——常数, 是纬度的函数;

h ——太阳平均高度角, $(^\circ)$ 。

安德森 (Anderson) 对莫斯比公式的计算结果与实测值进行对比发现偏小 15%。

肯尼迪 (Kennedy) 提出一个利用与研究的区域有同样高程和纬度的直接日射强度测站的太阳辐射数据的内插算法。

图 6-7 是爱丁格尔 (Edinger) 提出的估计表面热交换系数的计算图。

图中 K 为风速的函数, 而平均温度按下式计算:

$$t_m = \frac{t_a + t_w}{2}$$

这样, 水温可表示为:

$$\frac{dt_w}{dt} = \frac{K(t_e - t_w)}{\rho \cdot CD}$$

对接纳恒定热量输入 (H_p 单位为 W) 并混合良好的小型水体, 水温的计算公式为:

$$t_s = t_n + \frac{H_p}{AK}$$

式中 t_s ——排入热水后的水温, C ;

t_n ——热水排入前的自然水温, C ;

H_p ——工厂热排出率, W ;

A ——水体的表面积, m^2 。

比较复杂的热扩散模型可参阅文献。

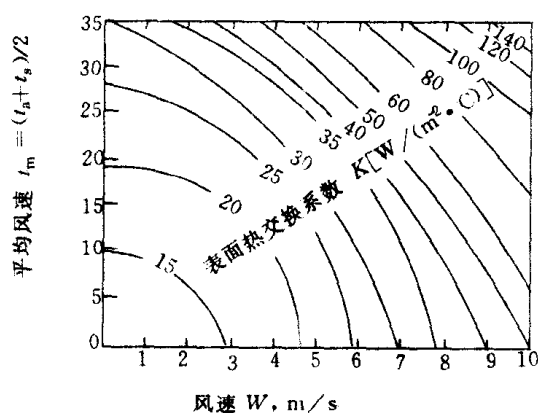


图 6-7 估计表面热交换系数的计算图

复 习 题

1. W 值分级法中, 评分标准的五级各对应什么标准?

2. 已知某水体丰水期污染物监测数据如表 6-30 所示, (1) 用 S. L. Ross 水质指数评价。(2) 评价标准用地面水环境标准, 用北京西郊水质指数 P 进行评价。

表 6-30 某水体丰水期污染物监测数据

悬浮固体 (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	DO (mg/l)	DO (饱和度%)
50	12	0.4	4	50

3. 某监测点监测数据如表 6-31 所示, 用 W 值分级法评价该水体。

表 6-31 某监测点监测数据

BOD ₅ (mg/l)	COD _{Mn} (mg/l)	DO (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr ⁶⁺ (mg/l)	Cu (mg/l)	As (mg/l)	石油 (mg/l)	酚 (mg/l)
13	9	8	0.005	0.06	0.6	0.05	0.04	0.01

4. 某建设项目投产后, 以 $2.5\text{m}^3/\text{s}$ 的流量排放废水, 废水中保守性物质浓度为 1000mg/l , 接纳废水的河流流量为 $100\text{m}^3/\text{s}$, 该河上游保守性物质的浓度为 300mg/l , 问废水排入河流后, 其污染物浓度如何?

5. 某工厂投产后, 拟向河水中排放易降解的有机污染物, 其污水的 BOD₅ 浓度为 100mg/l , 污水流量为 $2.4\text{m}^3/\text{s}$, 河水流量为 $25\text{m}^3/\text{s}$, 流速为 3.5m/s , 预测河流下游 2km 处河段面 BOD₅ 的浓度 (已知该河段耗氧系数 $K_1=0.3\text{ l/d}$)。

6. 一个拟建食品厂的工业废水将排入一条河流, 污水和河水在排放口下游 1km 处完全混合, 这时 BOD₅ $=7.5\text{mg/l}$, 河水的 DO 浓度为 5.5mg/l , 水温为 32°C , 河流的平均流速为 1.2m/s , 在完全混合断面下游 20km 为鱼塘引水水源, 已知 $K_1=0.35\text{ l/d}$, $K_2=0.50\text{ l/d}$, 问该食品厂的污水排放对渔业有何影响 (从 DO 浓度上判断)?

7. 某河段长 3km , 河水平均流速为 1km/d , 河段起始点 BOD₅ 平均浓度为 35mg/l , 河段末端点的 BOD₅ 平均浓度为 19.5mg/l , 求该河段自净系数 K_1 值。

8. 某排污断面 BOD₅ 为 50mg/l , DO 为 6.9mg/l , 接纳污水的河段平均流速为 2km/d , 已知 $K_1=0.19\text{ l/d}$, $K_2=2.1\text{ l/d}$ 。

(1) 求距离为 1、2、3、4、5km 时的 BOD₅ 和 DO 的浓度并画出曲线;

(2) 求 DO 的临界浓度 C_c 和相应距离 x_c 。

9. 在一水库附近拟建一个工厂, 投产后向水库排放废水量为 $1500\text{m}^3/\text{d}$, 水库设计库容 $3 \times 10^6\text{m}^3$, 入库地表径流量为 $8 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$, 水库水质规定 BOD₅ 不超过 3mg/l , 监测得到水库现状 BOD₅ $=1.2\text{mg/l}$, 耗氧系数 $K_1=0.02\text{ l/d}$ 。

计算该拟建工厂容许排放的 BOD_5 量。如果该厂的废水 $BOD_5=60\text{mg/l}$ ，是否超过容许排放量？

10. 一组土壤吸附灰水动态模拟实验数据如表 6-32 所示。

表 6.32 某组土壤吸附灰水动态模拟实验数据

土 壤 种 类	装填密度 ρ (g/cm^3)	有效孔隙率 n_e (%)	t_w (min)	$t_{\overline{w}}$ (氟) (h)
砂 土	1.7	36	28	8
粘 土	1.7	30	50	28

计算氟的动态吸附系数和滞留因子。

第七章 土壤环境质量评价

第一节 土壤环境质量现状评价

土壤是人类环境的重要组成部分，它有如下特点：①土壤环境是一个开放系统，土壤和水、大气、生物等环境要素之间以及土壤内部系统之间都不断进行着物质与能量的变换，这是土壤环境发展、并随外界条件发生改变而演变的主要原因。土壤具有吸水和储备各种物质的能力，但土壤的纳污和自净能力是有一定限度的，当进入土壤的污染物超过其临界值时，土壤不仅会向环境输出污染物，使其它环境要素受到污染，而且土壤的组成、结构及功能均会发生变化，最终可导致土壤资源的枯竭与破坏；②土壤具有生产植物产品的功能，这些植物产品是人类生活所必须的，但它的数量和质量主要由土壤环境质量来决定。而土壤环境通过食物链来影响人们的生活与身体健康。

正因为上述特点，本节将重点讨论土壤污染评价方法。

一、土壤污染对农作物的危害

由于环境污染而导致农业歉收只是问题的一个侧面，重要的是污染物进入食物链后会影响人类的健康、损坏土地以及破坏生态环境等等，其后果难以衡量。因此，了解各种污染物对农作物危害途径及危害程度是对该体系进行评价的基础。

工业废气主要体现在对植物的危害上，这在第五章已有叙述，下面着重介绍水、渣、放射性物质和农药等对农作物的危害：

（一）工业废水对农作物的危害

用工业废水灌溉农田时，有十四种影响因素。

1. 石油类

污染物可分烷烃及稠环芳烃，后者大约一半为致癌物，其中以苯并(a)芘毒性最强，一般地表水中稠环芳烃的含量为 $0.01\sim 0.1\mu\text{g/l}$ ，饮用水中允许浓度为 $0.2\mu\text{g/l}$ 。我国灌溉水规定石油类不得超过 $10\mu\text{g/l}$ ，油类靠渗透作用进入植物体内，弥散在细胞间隙中，不参加代谢过程，但它可降低植物的蒸腾作用，增强呼吸作用，减少光合强度，在微生物的作用下，土壤对石油类污染物的自净能力很强。

我国对食物中苯并(a)芘的含量，只规定了豆油中不应超过 $5\times 10^{-9}\sim 1\times 10^{-8}\text{g/g}$ ，其它尚无标准。

2. 镉

地壳中镉具有 $1.8\times 10^{-7}\text{g/g}$ 的含量，常与锌伴生，是污染环境的最危险的物质之一，来源于有色金属矿山、冶炼厂、电镀、电池、颜料等工业的废水。镉在环境中稳定，可积累而不易消除。农作物受较低浓度镉污染时没有明显症状，因而会在不知不觉中进入食物链，肉、禽、奶、蔬菜、水果等都会积累镉。我国农灌水规定镉含量不得超过 0.005mg/l ，水稻

污染界限为 $0.4\mu\text{g}/\text{kg}$ ，镉含量如达到 $1\text{mg}/\text{kg}$ ，则不能食用。

3. 汞

汞的毒性很强，有机汞的毒性超过无机汞，有机汞在脂肪中溶解度可达到水中的 100 倍，而且易于进入生物组织，有很高的蓄积作用。我国农灌水规定含汞量不应超过 $0.001\text{mg}/\text{l}$ ，粮食中汞的食品卫生标准为 $0.02\text{mg}/\text{l}$ 。

4. 铅

铅来自采矿、冶炼、油漆等工业的废水中，含铅汽油废气污染空气后，铅也会进入水体，植物会从土壤中吸铅并蓄积在体内，我国农灌水规定含铅不应超过 $0.1\text{mg}/\text{l}$ ，按联合国粮农组织和世界卫生组织规定的最高允许摄入量计算，粮食含铅不应超过 $0.5\text{mg}/\text{kg}$ 。

5. 砷

砷的化合物有三价和五价两种稳定形态，三价砷的毒性比五价砷强。水体中的砷主要来自采矿、冶炼、农药、氮肥、制革等工业的废水，含砷杀虫药也是污染源之一。

水溶性砷和代换性砷较易为植物吸收利用，微量砷可以加速作物体内酶的活性，超量砷则影响作物生长发育，造成减产。我国农灌水标准规定砷含量不应超过 $0.05\mu\text{g}/\text{l}$ ，粮食卫生标准是 $0.7\text{mg}/\text{kg}$ 。而某些白菜的砷含量高达 $60\sim 70\text{mg}/\text{l}$ 。

6. 三氯乙醛

它是多种农药的中间产物，因此其来源主要是农药生产厂排放的废水。我国农灌水规定其含量不应超过 $0.5\text{mg}/\text{l}$ ，作物对三氯乙醛的忍耐能力的顺序为：双子叶植物大于单子叶植物，水稻大于小麦。当灌溉水含三氯乙醛浓度达 $1\text{mg}/\text{l}$ 时，对小麦发芽和生长便有影响，可减产 $5\%\sim 12\%$ ； $5\text{mg}/\text{l}$ 以上时，危害明显； $15\text{mg}/\text{l}$ 时，返青小麦便受害致死。

三氯乙醛进入土壤后，受到微生物的作用，很快便氧化为三氯乙酸，有人对 $0\sim 18\text{cm}$ 表土测定，施入后仅 18h，三氯乙醛的转化率便达到 $75\%\sim 78\%$ ，三氯乙酸对作物的危害作用与三氯乙醛相似，在土壤中可保留 $70\sim 100$ 天。

7. 铬

铬来自电镀、印染、制革等工业废水，具有致癌性。我国灌溉水规定六价铬含量不应超过 $0.1\text{mg}/\text{l}$ ，参考性粮食最高允许含铬量为 $1\text{mg}/\text{kg}$ ，但不少地区的灌溉水和作物含铬量都超过标准。

8. 硼

农作物对硼的适应浓度范围相当窄，灌溉水的范围大约为 $2.0\sim 5\text{mg}/\text{l}$ 。硼酸和硼砂工厂附近农田可因硼污染而导致减产甚至绝收。

9. 锌

饮用水中锌含量达 $10\sim 20\text{mg}/\text{l}$ 时便有致癌作用，锌来自采矿、电镀、人造纤维等工业废水。我国灌溉水规定锌含量不应超过 $3\text{mg}/\text{l}$ ，粮食的含锌量不应超过 $20\text{mg}/\text{kg}$ 。

10. 氟化物

天然水中氟的含量一般在 $4.0\text{mg}/\text{l}$ 以下，来源于电解铝和炼钢、磷肥、氟塑料生产、陶瓷厂等，燃煤电厂的灰水中也含有较多的氟。我国灌溉水规定含氟量不得超过 $3\text{mg}/\text{l}$ ，在碱性土壤中氟为离子态时，易被植物吸收。玉米、大麻等对氟较敏感，氟在植物基杆中的残

留量高于种子中的含量，农业污染一般是由含氟废水和废气同时造成的。

11. pH 值

大多数农作物适宜于微酸性至微碱性范围中生长，当灌溉水的 pH 值小于 5.5 时，土壤中的硝化细菌便不活动了，而有些有毒的重金属和铝的溶解度会增大，土壤亦变板结，如长期灌溉 pH 大于 8 的水，则氮肥易变为氨而损失，土壤中的钠离子变得活跃，影响作物生长，pH 值更高时，作物便受到伤害。我国农灌水规定 pH 值为 5.5~8.5。

12. 次生盐渍化

这是干旱地区农田采用大水漫灌，引起地下水位上升至临界深度以上，或用含有高盐分污水灌溉造成的。我国农灌水质规定，非盐碱土农田的灌溉水含量盐不超过 1500mg/l，氯化物不超过 300mg/l。

13. 氰化物

来自炼焦、电镀、合成氨、冶炼等工业的废水，一般在天然水体中不含氰化物，我国灌溉水规定氰化物含量不能超过 0.5mg/l，土壤对氰化物具有强烈的分解能力。根据北京西郊的研究，农田自净氰化物的自净率高达 98.98%，而且土壤中无逐年积累现象。我国粮食食品卫生标准规定氰化物为不超过 5mg/kg，饮用水标准不超过 0.05mg/l。氰化物对农业环境的污染主要是对农村饮用水的污染。

14. 酚类化合物

我国废水中广泛存在该物质，主要来源于煤气、焦化、石油化工、木材加工、有机合成、农药、油漆等多种工业。我国灌溉水规定挥发酚不超过 1mg/l，如用含酚量高的污水灌溉，能使蔬菜和其它作物品质降低，黄瓜有异味、油菜、番茄含糖量下降，酸度增加，玉米、水稻、小麦和一些蔬菜的残留酚升高，水稻产量降低。

含酚灌溉水会使土壤含酚量短期增高，但据北京西郊测定，农田自净率为 98.77%，没有逐年累积现象。

总的来说，用工业废水灌溉农田，污灌后粮食品质下降，粗蛋白和粗脂肪减少，含糖量降低，重金属含量增加，蔬菜异味较大而且煮不烂。但污水不但是缺水地区重要的水资源，而且含有丰富的养分，因此应积极稳妥地加以利用。

(二) 废渣

污染物主要为重金属，污染土地及河水，燃煤电厂粉煤灰在灰库长期存放时，还可能污染地下水，并且占据土地。

(三) 放射性物质

工业生产的迅速发展使得我国的放射源日益增多，对人畜健康具有潜在的威胁。放射性矿物开采和冶炼排放的污水、废渣，含有天然放射性物质铀、镭、钍等，可污染水源和农田，放射性同位素在工农业和医药上的广泛应用，排放的污水和废弃物也可造成污染，核燃料的生产和核爆炸所产生的大量放射性降尘，亦造成污染，我国有些工业区和城市区检测到放射性污染在有些地区已超过国家标准。

⁹⁰锶属于放射性高毒组，半衰期长达 28 年，某工业区附近农田可测到 ⁹⁰锶的放射性，原粮中富集的 ⁹⁰锶达 19.5~77.6kg。

(四) 农药污染

人类从 40 年代开始,已生产了 500 种以上的农药,我国施用农药水平仅次于日本和欧洲,而与美国相近。如不使用农药,则农产品产量的一半将被病虫、草害夺去。但是,连续大量使用剧毒和残留性化学农药,则易造成污染,主要表现在农作物及农田环境中农药的残留,并进入食物链而危害人畜健康,其次,随着害虫的抗药性增强,农药施用量也相应增加,使农药的残留毒性也加剧,另外,害虫的天敌遭到摧残,有些主要害虫更加猖狂。

在我国,污染性农药主要有有机氯杀虫剂,含砷、汞的制剂,某些特异性除草剂以及剧毒性的有机磷农药等,它们当中有些理化性质稳定、使用广泛、残留期长,已成为我国农业环境中主要的农药污染物。

国家卫生标准中,加工粮的丙体六六六含量为 0.3mg/kg,DDT (含四种异构体) 为 0.2mg/kg。不少地区生产的粮食,都有超标情况,目前这两种农药虽已限制使用,但在土壤中仍有很大的残留量,因此作物仍在吸收这些农药。例如烟草、茶叶等。烟叶中的 DDT 污染要比丙体六六六严重得多。其它如蔬菜、水果、牧草、畜产品、中草药等均有超标出现。

不同作物的污染程度也有所不同,一般是油料作物>淀粉类作物,花生>大豆,粮食作物中小麦>稻米>玉米、高粱,稻米中晚稻>早稻,米糠>糙米>精白米。

各种农药在土壤中存留的时间,取决于淋溶、蒸发和降解。表 7-1 给出各种农药当施入量的 75% 消失时所需要的时间。

据 1979 年~1980 年 15 个省市 449 个土壤点的检测结果,绝大多数土样的丙体六六六和 DDT 检出率达到 100%,只有少数几个检出率在 87%~95%之间,各类土壤中丙体六六六污染水平依次为果园土>棉田土>牧草土>菜园土>水稻土>小麦土>茶园土>烟草土;DDT 的污染水平与果园土>棉田土>茶园土>小麦土>烟草土>水稻土>牧草土,使其间的差异小于丙体六六六。

表 7-1 各种农药的消失时间

名称	西文	Barban	parathion	2, 4D	Disulfoton	
	中文	燕麦灵	1605	二, 四滴	2 拌磷	
时间 (月)		0.5	0.5	1	1~5	

名称	西文	MCPA	Diazinon	Trifluralin	Diuron	Simazine
	中文	二甲四氯	二 嗪 农	氟 乐 灵	敌 草 隆	西 玛 津
时间 (月)		3	4	6	8	1 年

名称	西文	Picloram	r-HCH	Dieldrin	DDT
	中文	毒 莠 定	丙体六六六	狄 氏 剂	
时间 (年)		1.5	3	3	3

有机汞中以烷基汞最毒,其次为无机汞,苯汞和甲氧乙基汞。汞制剂在土壤中残留的半衰期长达 10~30 年,是一种高残留性、对人类具有剧毒的农药,因此许多国家曾发生过汞制剂农药毒害的事故。1977 年我国明令限制汞制剂的使用,但因残留期长,几年后仍检

测到汞的存在。

有机磷的残留期较短，但在某些作物中存留时间也有较长的，如胡萝卜中的残留情况是：乐果 100 天，敌百虫 105 天，1605 在 200 天以上。

（五）化肥污染

化肥的长期施用，会对土壤和其它环境要素造成如下威胁：

（1）土壤物理性质恶化，肥力下降，过量施用氮肥可使土壤、农作物和饲料中的硝酸盐积累，引起癌变，我国使用氮肥的标准为 250~360mg/kg。

（2）大部分营养元素进入水体（径流作用）造成水体富营养化，影响鱼类生存和水体自净，并污染饮用水。

（3）氮肥分解释放的氨和氧化氮污染大气。

（4）磷肥中常含有较多的镉、砷、放射性物质等，过量施用则使农产品遭受污染。

二、土壤污染现状评价

土壤环境质量现状评价包括土壤环境质量现状调查、评价、参数选择、评价标准确定、应用评价模式求取土壤质量指数、土壤质量分级等环节，通过评价，掌握土壤环境质量的现状及空间分布。下面讨论土壤环境质量评价的主要问题。

（一）土壤环境质量现状调查

内容包括布点、采样、确定监测项目等。

土壤环境质量现状调查布点要考虑评价区内土壤的类型及分布，土地利用及地形地貌条件。要使各种土壤类型、土地利用及地形地貌条件均有一定数量的采样点，还要设置对照点。最后，要使土样采集点的布设在空间分布均匀并有一定密度，从而保证土壤环境质量调查的代表性和精度。

土壤样品的采集一般采用对角线、梅花形、棋盘形、蛇形等采样方法。多点采样，均匀混合。最后得到代表采样地点的土壤样品。采样数量一般在 1kg 左右。进行土壤环境质量调查一般只采集 15cm 左右耕层土壤和耕层以下 15~30cm 土样，但为了了解土壤污染的纵向变化，要选择部分点从表层到基岩分层取样。采样方法是由下层向上逐层采集，各层内分别用小土铲切取一片片土壤，然后集中起来混合均匀。

土壤监测项目的确定，主要考虑土壤污染物和成土因素，一般把主要污染物、由成土因素决定的异常元素都列为应监测项目。

（二）评价参数的选择

选择并确定土壤环境质量评价的评价参数一是根据土壤污染物的类型，二是根据评价目的和要求。一般选择的评价参数如下：

重金属及其它有毒物质：汞、镉、铅、锌、铬、镍、砷、硒、氟、氰。

有机毒物：酚、石油、3,4-苯并(a)芘、DDT、丙体六六六、三氯乙醛、多氯联苯等。

酸度、全氮、全磷等。

此外，对土壤污染物质积累、迁移和转化影响较大的土壤理化性质指标也应被选取作为附加参数，附加参数主要包括有机质、质地、石灰反应、氧化还原电位等。根据需

可能,也可选取代换量、易溶盐类、重金属不同价态、粘土矿物等。

(三) 评价标准的确定

土壤污染给人类带来的危害不像大气和水体那样直接,土壤污染物须通过食物链,主要是通过作物才能进入人体,且土壤和人体之间的物质平衡关系比较复杂。故确定土壤污染物的卫生标准难度较大。另外,土壤有其固有的地域成因,均一性差,这也是难以确定统一的土壤污染物卫生标准的原因之一。鉴于此,现在国内外还未提出土壤污染物的卫生标准,一般选用如下标准。

1. 以区域土壤背景值为评价标准

区域土壤背景值是指一定区域内,远离工矿、城镇和道路,未曾受到或相对未受到三废污染的土壤中有毒物质的平均含量。由于背景值不仅包括区域内污染物的平均含量,同时还包括污染物含量的范围,故多以平均值±标准差表示,

$$X = \bar{X} \pm S$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

式中 X ——区域土壤中某污染物的背景值;

$\bar{X}_i$ ——区域土壤中某污染物的平均值;

X_2 ——土壤样品中该污染物的实测含量;

S ——标准差;

n ——统计样品数。

2. 以土壤本底值为评价标准

土壤本底值是指未受人为污染的土壤中污染物质的平均含量。在当前环境污染日趋严重的情况下,其本底值的含义就是背景值。

3. 以区域性土壤自然含量为评价标准

区域土壤自然含量是指在清水灌区内选用与污水灌区的自然条件、耕作栽培措施大致相同、土壤类型相近的土壤中污染物的平均含量。以区域土壤中某污染物的平均值加减2倍标准差表示。

$$X = \bar{X} \pm 2S$$

式中符号含义及计算同土壤背景值。

4. 以土壤对照点含量为评价标准

土壤对照点含量是指与污染区的自然条件、土壤类型和利用方式大致相同的、相对未受污染或少受污染的土壤中污染物质的含量。往往以一个对照点或几个对照点的平均值作为对照点含量。

5. 以土壤和作物中污染物质积累的相关数量作为评价标准

作物中污染物的含量和遭受不同程度污染的土壤中相应污染物的含量有一定的相关性,根据这种相关性作为标准评价土壤的等级。

一般来说,区域土壤背景值和区域性土壤自然含量均代表了自然和社会环境发展到一定的历史进程,在一定的科学技术活动水平影响下,土壤中有毒物质的平均含量。它允许

土壤受到一定程度的人为干扰,代表了土壤中某一物质现代含量的一般水平。同时,区域土壤背景值和区域性土壤自然含量代表范围较小,具有显著的区域特点,它适宜于污染环境的土壤质量评价。而土壤本底值,对于自然保护区、风景疗养区的土壤质量评价更为适宜。土壤对照点含量,在评价区域范围不大,或评价要求不高,时间短、任务急的情况下,用作土壤评价标准也能获得较好的效果。至于以土壤和作物中污染物积累的相关数量作为评价标准,往往需要一定时期的试验和资料积累,它更多地用作土壤质量分级的依据。

(四) 评价方法

目前要准确地定量评价土壤的质量,存在较多困难,主要问题是世界各国还没有土壤中有毒物质最高允许浓度或卫生标准。作为定性或半定量的评价土壤环境质量;现在主要从以下三个方面进行。

1. 与背景值对比

以土壤中同一元素的一般含量或平均含量作为背景值,视其超过背景值多少作为评价土壤污染程度的依据。

地壳中各元素的平均含量,地球化学家们所得的结果都比较一致,但是,经过诸多差别的岩石风化和成土过程的影响,各种类型的土壤所含的某一元素的多少,也就是背景值的大小,就可能有很大的差别。因此,污染土壤最好与一个地区同一类型或相近类型土壤中元素的平均含量进行对比,才能较确切地说明问题。另外,各元素在土壤中的含量,随土壤不同而有一个较宽的范围。例如 C_r 为 $5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-3} \text{g/g}$, Ni 和 Pb 都可相差到 100 倍左右,这说明了作为背景值的未污染土壤的选择的重要性。另一个难题是土壤中某元素含量超过背景值的多少,才算受到污染,目前缺乏土壤污染指标,亦颇难确定。尽管如此,国内外许多学者在这方面作了大量研究,此处给出部分土壤污染指标的建议范围和污染等级,可作为评价工作的参考(见表 7-2)。

2. 单因子指数法

通过单因子评价,可以确定出主要的污染物质及污染程度,同时也是多因子综合评价的基础。一般以污染指数来表示,借以消除量纲或化为统一量纲。便于各污染物之间的比较分析。

污染指数法主要有两种:

1) 以污染物实测值和评价标准相除来计算污染指数:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i —— i 污染物的实测值;

S_i —— i 污染物的评价标准。

2) 根据土壤和作物中污染物积累的相关系数来计算污染指数。

利用此法,必须先行确定土壤中有毒物含量和作物体中该物质累积量的相关数值。具体做法是:

首先确定污染等级划分的起始值:①土壤污染显著积累起始值:指土壤中污染物恰好超过评价标准的数值,以 X_0 表示。②土壤轻度污染起始值:指土壤污染超过一定限度,使

作物体内污染物质含量相应增加，以致作物开始受污染危害时土壤中该物质的含量，称轻度污染起始值，以 X_c 表示。③土壤重度污染起始值：指土壤污染物含量大量积累，作物受到严重污染，以致作物体内的某污染物含量达到食品卫生标准时的土壤中该物质含量，即为重度污染起始值，以 X_p 表示。

表 7-2 污染土壤指标的建议范围和数值
(mg/kg 风干土, pH 值除外)

参 数	未污染土壤 的典型值	轻度污染	污 染	重度污染	不寻常的 重度污染
pH (酸性)	6~7	5~6	4~5	2~4	>4
pH (碱性)	7~8	8~9	9~10	10~12	>12
Sb	0~30	30~50	50~100	100~500	>500
As	0~30	30~50	50~100	100~500	>500
Cd	0~1	1~3	3~10	10~50	>50
Cr	0~100	100~200	200~500	500~2500	>2500
Cu (有效性)	0~100	100~200	200~500	500~2500	>2500
Pb	0~500	500~1000	1000~2000	2000~1.0%	>1.0%
Pb (有效性)	0~200	200~500	500~1000	1000~5000	>5000
Hg	0~1	1~3	3~10	10~50	>50
Ni	0~20	20~50	50~200	200~1000	>1000
Zn (有效性)	0~250	250~500	500~1000	1000~5000	>5000
Zn 当 量	0~250	250~500	500~2000	2000~1.0%	>1.0%
B (有效性)	0~2	2~5	5~50	50~250	>250
Se	0~1	1~3	3~10	10~50	>50
Ba	0~500	500~1000	1000~2000	2000~1.0%	>1.0%
Be	0~5	5~10	10~20	20~50	>50
Mn	0~500	500~1000	1000~2000	2000~1.0%	>1.0%
V	0~100	100~200	200~500	500~2500	>2500
Mg	0~500	500~1000	1000~2000	2000~1.0%	>1.0%
SO ₄ ²⁻	0~2000	2000~5000	5000~1.0%	1.0%~5.0%	>5.0%
S (游离)	0~100	100~500	500~1000	1000~5000	>5000
S ²⁻	0~10	10~20	20~100	100~500	>500
CN (游离)	0~1	1~5	5~50	50~100	>100
CN (全量)	0~5	5~25	25~250	250~500	>500
Fe (CN) ₃ ³⁺	0~100	100~500	500~1000	1000~5000	>5000
CNS ⁻	0~10	10~50	50~100	100~500	>500
煤焦油	0~500	500~1000	1000~2000	2000~1.0%	>1.0%
酚	0~1	2~5	5~50	50~250	>250
甲苯萃出物	0~5000	5000~1.0%	1.0%~5.0%	5.0%~25.0%	>25.0%
环己烯萃出物	0~2000	2000~5000	5000~2.0%	2.0%~10.0%	>10.0%

其次,确定污染等级和污染指数范围:有了上述 X_c 、 X_p 数值,可以据此确定污染等级和污染指数范围。污染等级分为以下几类:

非污染:土壤中某污染物实测值 $C_i \leq X_c$, 污染指数 $P_i = C_i/X_c$, $P_i \leq 1$ 。

轻度污染:土壤中某污染物实测值满足 $X_c < C_i < X_p$, 此时污染指数 $P_i = 1 + \frac{C_i - X_c}{X_p - X_c}$, $1 < P_i < 2$ 。

中度污染:土壤中某污染物实测值 $C_i > X_p$, 但小于或等于 X_p , 即 $X_c < C_i \leq X_p$, 此时该污染物的污染指数 $P_i = 2 + \frac{C_i - X_p}{X_p - X_c}$, $2 \leq P_i < 3$ 。

重度污染:土壤中某污染物 $C_i > X_p$, 此时污染指数 $P_i = 3 + \frac{C_i - X_p}{X_p - X_c}$, $P_i \geq 3$ 。

3. 综合污染指数法

单因子污染指数,只能分别反映各个污染物的污染程度,不能全面、综合地反映土壤的污染状况。故进行土壤评价时,需将单因子污染指数按一定方法综合,较全面反映土壤的环境质量,由于污染指数 P_i 消除了量纲,为综合指数的获取提供了方便。常见的方法主要有:

(1) 叠加法确定综合指数,将各污染物指数直接叠加,求得综合指数:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}$$

式中 P_i —— i 污染物指数;

n ——评价参数个数。

此方法是将各污染物污染指数平等对待,较大的污染指数常被较小的指数拉平,以致综合指数等级可能比实际情况小,另外,它视各个 P_i 对综合污染状况的贡献是同样的,但实际情况是具有同等数值 P_i 的污染后果不同。如对于镉 $p_1=2$ (超标 1 倍) 要比对于铜 $p_2=2$ 的危害后果大得多。

此算法适合于各个分污染指数相差不大,对综合指数贡献大致相同的简单情况。如北京西郊的土壤综合评价即采用上式,其优点是计算简便。

(2) 根据内梅罗污染指数计算土壤污染综合指数。

在地面水评价方法中介绍过此指数,它兼顾了单因子污染指数平均值和最高值,可以突出污染较重的污染物的作用。计算式为:

$$P = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{平均}}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{最大}}^2}{2}}$$

此方法强调了最大污染指数,与其它方法相比,其综合指数常常偏高。

(3) 权重法确定综合指数

此方法以土壤中各污染物的污染指数和权重大小求算综合指数。它可全面反映各污染物的不同作用。计算式为:

$$P = \sum_{i=1}^n W_i P_i$$

式中 W_i —— i 污染物的权重。

由于土壤中不同污染物对土壤质量的影响程度不同, 为了更准确反映污染物在土壤中的相对关系及综合作用。应确定或计算不同污染物的权值, 以求更真实地反映土壤环境质量状况。权值可以根据主观概率、专家调查等方法求得。如上海市宝山吴淞地区土壤质量综合评价, 为了表示各污染物对土壤环境质量作用的不同, 就采用了上述公式进行评价。其中权重 W_i 用因子分析法, 求得结果见表 7-3。

表 7-3 土壤 P_i 因子的权重

污染物	Hg	Cd	As	Zn	Cr	Mn	F
权 重	0.26	0.082	0.12	0.12	0.074	0.22	0.124

(四) 质量分级

用指数法对土壤环境质量进行评价的结果是一些定量的综合质量指数, 为了给这些数字赋予环境质量状况的实际含义, 必须进行土壤环境质量的分级, 一般采用如下分级方法:

1. 根据综合质量指数 P 值划分质量等级

一般 $P \leq 1$, 为未污染; $P > 1$ 为已污染; P 值越大, 土壤污染越重。可根据 P 值变幅, 结合作物受害程度和污染物累积状况, 再划分轻度污染、中度污染和重度污染等级。

2. 根据土壤和作物中污染物累积的相关数量划分质量等级

这种分级只能表示土壤中各个污染物的不同污染程度, 还不能表示土壤总的质量状况。

3. 根据系统分级法划分质量等级

首先对土壤中各污染物的浓度进行分级, 这种分级是根据土壤污染物含量和作物生长的相关关系以及作物中污染物的累积与超标情况来划分的。然后将土壤污染物浓度转换为污染指数, 将各污染指数加权综合为土壤质量指数, 据此也就得到了土壤环境质量的级别。

第二节 土壤环境影响评价

土壤环境影响评价的目的是预测和评价不同建设项目对土壤环境质量的影响, 为项目的合理布局和环境对策、环保措施的设计与实施提供依据。

一、土壤环境影响评价内容与程序

1. 土壤环境影响评价工作的内容

土壤环境影响评价工作的内容包括:

- (1) 拟建工程主要土壤污染源、污染途径及污染因子分析;
- (2) 土壤环境质量现状的调查与评价;
- (3) 土壤环境影响预测;
- (4) 土壤环境影响评价;
- (5) 土壤污染防治对策与建议。

2. 土壤环境影响评价工作的程序

(1) 拟建工程分析

分析拟建工程的原料、燃料、工艺流程和三废排放。通过拟建工程分析，查清可能引起土壤污染的污染源、污染途径及主要污染因子，为土壤环境影响评价提供源参数和预测因子（评价参数）。

(2) 土壤现状调查

针对土壤环境影响评价工作而进行的现状调查包括以下几方面的内容：

1) 评价区土壤类型及其分布，作出土壤类型分布图。

2) 各类型土壤的成土条件，包括成土母质、所处的地貌类型，地下水埋藏特性、生物气候条件、耕作历史等。各类型土壤的剖面构型、土壤的矿物与化学组成、土壤的物理、化学和生物特性等。

3) 评价区土地利用现状及规划设想。进行土地利用状况的调查是为了确定重点评价与保护的地区，并据此选择确定相宜的评价标准。

4) 评价区土壤污染源、污染途径及主要污染物的调查了解。

5) 土壤污染现状及对作物的影响调查。土壤污染现状既包括各类污染物质在土壤中的累积，也包括由土地不合理使用而造成的土壤物理性质的退化，如土壤侵蚀、贫瘠化、盐碱化、沙漠化等等。

土壤污染现状的调查包括土壤的一般项目、针对地区特点和评价对象而确定的特征项目。土壤一般项目如土壤 pH 值、重金属、某些稀有元素等，所谓特征项目是指某些背景值异常元素，拟建工程排放的特殊污染物等。作物的调查项目同土壤项目。

土壤污染现状调查要进行普遍的表层（0~10cm）调查，对个别的点则应进行剖面调查，从表层到基岩根据土壤剖面分层采样。

为了分析确定土壤污染物对作物的影响，一般同时采集土样和作物样，分析污染物在土壤和作物中的含量，并对作物的生态、形态进行观察，通过污染物在作物各器官中的分配以及作物的形态、生态变异，以确定土壤污染的生态效应。

(3) 确定土壤环境影响评价的评价参数

除了化肥、农药施用外，对于一般工业过程，土壤污染主要由固态物质的撒落、飞扬、淋溶，液态物质的漫溢、渗漏以及水、气等要素的污染引起。为了确定土壤环境影响评价的评价参数，首先必须弄清引起土壤污染的途径，通过污染途径找到污染源，由污染源的污染物构成来选择确定土壤环境影响评价的参数。筛选参数有两个原则：毒性原则和数量原则。一般说来，凡证明对植物、作物、果树、蔬菜有毒害作用或通过作物影响人群健康的污染物都应选作评价参数。另有一些污染物，它们本身对作物或人群并没有什么直接毒害作用，但在土壤中的数量要有一定的限制，过多、过少都会影响土壤的性能，这一类污染物也应视地区土壤的特性而作为评价参数。

(4) 污染物在土壤中迁移转化和累积过程的研究

土壤环境影响评价的参数确定之后，就要研究选作参数的这些污染物在评价区土壤中迁移转化的规律和累积过程，以便寻求定量关系，建立模式，用于预测。这可以通过现场试验或实验室模拟进行研究。可以在评价区采集保持原结构的土柱进行试验，研究各种污

染物、同一种污染物的不同作用量和作用时间，单一污染物、多种污染物的联合作用等，进而还可以研究污染物在土壤中的存在状态（相态、价态）。最后，对获得的各种信息用统计学的方法寻求定量关系，建立数学模式。这样做要求有较好的实验室条件，而且周期长。在没有条件或时间不允许的情况下，也可查阅国内外现有资料，利用已有成果，但这种应用有一定局限性，而且引起的误差也大。

（5）研究污染物对作物的危害或毒性

土壤中的污染物在不同的物理化学条件下赋存状态就不同，赋存状态不同，其活性也就是被植物利用的可能性就不一样。研究一定物理化学条件下污染物的可给性，就可以搞清楚污染物在特定条件下对植物有无伤害作用及该伤害作用的大小，使防治工作有的放矢。

污染物在土壤中的赋存状态有如下几种：游离态、无机结合态、有机结合态、化合态、晶格态。同一种污染物，由于赋存状态不一样，活性就不一样，同一种赋存状态，在不同的物理化学条件下，其活性也不一样。

（6）研究污染物在土壤中的累积状况

通过拟建工程的三废排放分析可以搞清污染物的排放状况，通过污染物在土壤中迁移转化和累积规律的研究建立有关数学模型，这样，可以进行该污染物的累积计算。

（7）土壤环境影响评价

由污染物的累积计算就可以预测某个阶段土壤的环境质量状况，进而可作出评价。评价内容包括：工程建设对土壤环境的影响，土壤环境质量的发展变化趋势，土壤对未来土地利用的适宜性，土壤环境质量变化对作物的影响，对整个生态系统的影响等。

（8）提出防治土壤污染的措施

防治措施主要包括以下几个方面：

- 1) 对拟建工程采取各种措施减少污染物的排放量。
- 2) 控制水、气的污染。
- 3) 阻止或减弱其它污染土壤的过程。
- 4) 采取人工措施改变土壤的物理化学特性，以控制污染物的活性，减少对植物的可给性，如加灰改变土壤酸碱性；多施用有机肥增加土壤有机胶体，以便对污染物起结合或整合固定作用；在土壤中掺沙子增加土壤透气性，提高土壤氧化还原电位等。
- 5) 改种抗污染作物。
- 6) 改变土地利用方式等。

二、土壤环境影响评价数学模型

（一）侵蚀和沉积模式

土壤侵蚀一般是指在风和水的作用下，土壤被剥蚀、迁移或沉积的过程。在自然状态下，纯粹由自然因素引起的地表侵蚀过程，速度非常缓慢，表现很不显著，并常和自然土壤形成过程处于相对稳定的平衡状态。在人类活动作用下，如大面积的剥离、清理地面，搬运土、石、碴堆积物，尤其破坏了地表的植被，都会加速和扩大自然因素作用引起的土壤破坏和土体物质的流动、流失。这是当今人们最为关注的土壤侵蚀。

目前,国内外对土壤侵蚀的研究工作已有很多报道。关于土壤侵蚀模式的研究是其中重要的内容,并已提出很多估算土壤侵蚀量的公式、模型。下面讨论两个预测模型。

(1) 矿山开发中水土流失的预测公式

$$\Sigma A = \Sigma C W_m J R P F$$

式中 A ——一次暴雨的输沙量模数, t/km^2 ;

ΣA ——全年暴雨输沙量模数, t/km^2 ;

W_m ——一次暴雨的径流模数, m^3/km^2 ;

J ——流域的平均坡度,以小数计;

R ——土壤可侵蚀性因子,以土壤细砂粒加粉砂粒 ($0.1 \sim 0.002mm$) 的组成比例表示,以小数计;

F ——流域面积, km^2 ;

P ——与流域植被覆盖度有关的侵蚀被覆系数,随植被的覆盖度的增加而减小,以小数计。

设 W_m 、 J 、 R 、 F 、及 C 和 K 值不变, R 值随矿山开发而变动,故有:

$$\frac{\Sigma A_1}{\Sigma A_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

用此式可预测水土流失量的变化。

(2) 通用土壤损失方程

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中 E ——平均土壤损失量, $t/(ha \cdot y)$, ($1ha = 1 \times 10^4 m^2$);

R ——区域平均降雨量的侵蚀潜力系数;

K ——土壤可侵蚀性系数, $t/(ha \cdot y)$;

L ——坡度系数为 S 的斜坡长度;

S ——坡度系数;

C ——作物管理系数;

P ——实际侵蚀控制系数。

R 有很多计算方法,在美国,有人测绘了等侵蚀线图,从图上可查出 R 值。

土壤可侵蚀性系数 K ,其定义是对一块长为 $22.13m$,坡度为 9% ,经过多年连续种植过的休耕地上每单位降雨系数的侵蚀率。不同的土壤有不同的 K 值,表 7-4 给出一般土壤 K 的平均值。

坡度系数为 S 的斜坡长度 L 可按下式求算:

$$L = \left(\frac{\lambda}{72.6} \right)^m$$

式中 λ ——斜坡长度, m ;

m ——常数,一般取 0.5 ,但当坡度大于 10% ,采用 0.6 ,坡度小于 0.5% 时, m 减为 0.3 。

表 7-4

土壤可侵蚀性系数 (K)

土 壤 类 型	有 机 物 含 量		
	<0.5%	2%	4%
砂	0.05	0.03	0.02
细砂	0.16	0.14	0.10
特细砂土	0.42	0.36	0.28
壤性砂土	0.12	0.10	0.08
壤性细砂土	0.24	0.20	0.16
壤性特细的砂土	0.44	0.38	0.30
砂壤土	0.27	0.24	0.19
细砂壤土	0.35	0.30	0.24
很细砂壤土	0.47	0.41	0.33
壤土	0.38	0.34	0.29
粉砂壤土	0.48	0.42	0.33
粉砂	0.60	0.52	0.42
砂性粘壤土	0.27	0.25	0.21
粘壤土	0.28	0.25	0.21
粉砂粘壤土	0.37	0.32	0.26
砂性粘土	0.14	0.13	0.12
粉砂粘土	0.25	0.23	0.19
粘土		0.13~0.29	

注 据美国农业部 Agricultural Research Service 出版的“Control of Water Pollution from Cropland”。

坡度系数 S 按下式计算：

$$S = \frac{0.43 + 0.30S_i + 0.043S_i^2}{6.613}$$

式中 S_i ——坡度，%。

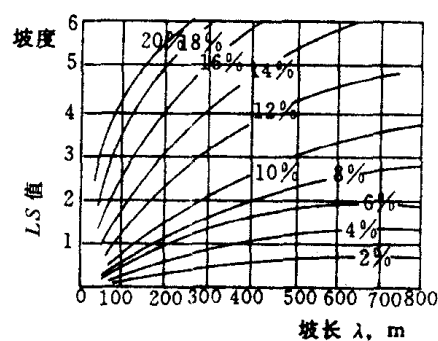
将坡度系数与坡长度放在一起，设 $m=0.5$ 时，则可合并计算：

$$LS = (0.00761 + 0.005375S_i + 0.000761S_i^2) \sqrt{\lambda}$$

该式的 LS 值可查图 7-1 曲线得到。

作物管理系数 C 反映一块土地种植不同的庄稼可控制侵蚀的程度。表 7-5 列出了各种农作物和种植类型的 C 值。表 7-6 给出不同地面植被的 C 值。

实际侵蚀控制系数 P 反映了不同的管理系数，例如：构筑梯田对侵蚀的影响。表 7-7 列

图 7-1 坡长与 LS 关系曲线

出不同管理技术对 P 值的影响。

表 7-5

典型的种植系数 (C)

作 物	种 植 方 式	C
裸土		1.0
草和豆科植物	全年平均	0.004~0.01
苜蓿属植物	全年平均	0.015~0.025
胡枝子	全年平均	0.01~0.02
谷物连作	休耕期清除残根	0.60~0.85
	种子田, 残根已清除	0.70~0.90
	残留生长作物已清除	0.60~0.85
	残根或残梗已清除	0.25~0.40
	种子田保留残根	0.45~0.75
	保留生长作物残留物	0.25~0.40
棉花连作	未翻耕的休耕地	0.30~0.45
	苗田	0.50~0.80
	生长作物	0.45~0.55
	残根、残梗	0.20~0.50
青草覆盖	—	0.01
土地被火烧裸	—	1.00
种子和施肥	18~20 个月的建设周期	0.60
种子、施肥、和干草覆盖	18~20 个月的建设周期	0.30

表 7-6

地面不同植被的 C 值表

植 被	地 面 覆 盖 率 (%)					
	0	20	40	60	80	100
草 地	0.45	0.24	0.15	0.09	0.043	0.011
灌 木	0.40	0.22	0.14	0.085	0.040	0.011
乔灌混交	0.39	0.20	0.11	0.06	0.027	0.007
茂密森林	0.10	0.08	0.06	0.02	0.004	0.001

例 7-1 估算一块在砂壤土上开垦出来的草地的年平均侵蚀率, 已知: 土壤含有机物 2%, 坡度为 10%, 斜坡长为 150m, 降雨系数 R 为 300, 作物沿高线成行播种。

解 查表 7-4, $K=0.24$;

查图 7-1, $LS=1.65$;

查表 7-6, 苜蓿项 $C=0.02$;

查表 7-7, $P=0.60$ 。

则 $E = RKLSCP = 300 \times 0.24 \times 1.65 \times 0.02 \times 0.60 = 1.40 \text{t/ (ha} \cdot \text{y)}$

表 7-7 实际侵蚀控制系数 (P)

实际情况	土地坡度 (%)	P	实际情况	土地坡度 (%)	P
无措施	—	1.00	带状间作	7.1~12.0	0.45
等高耕作	1.1~2.0	0.60		12.1~18.0	0.60
	2.1~7.0	0.50		18.1~24.0	0.70
	7.1~12.0	0.60	隔坡梯田	1.1~2.0	0.45
	12.1~18.0	0.80		2.1~7.0	0.40
	18.1~24.0	0.90		7.1~12.0	0.45
带状间作	1.1~2.0	0.45		12.1~18.0	0.60
	2.1~7.0	0.40		18.1~24.0	0.70
		0.45	直行耕作	—	1.00

例 7-2 如果上例的地区是一块裸土, 则预测的侵蚀率发生变化, 其中: $R=300$, $K=0.24$, $LS=1.65$, $C=100$, $P=100$ 。

$E=119 \text{t/ (ha} \cdot \text{y)}$ 。

在环境影响评价中, 通用土壤损失方程还可以用于估算侵蚀率的差异。对一个地区、一种给定的土壤, R 和 K 为恒定, LS 通常也为常数, 因此, 一个项目的年侵蚀率可用下式估算:

$$E_1 = E_0 \frac{C_1 P_1}{C_0 P_0}$$

式中 E_0 ——项目建设前的侵蚀率, $\text{t/ (ha} \cdot \text{y)}$;

E_1 ——项目建设后的侵蚀率, $\text{t/ (ha} \cdot \text{y)}$;

C_0 、 C_1 ——项目建设前、后的作物系数;

P_0 、 P_1 ——项目建设前、后的实际侵蚀控制系数。

(二) 土壤污染预测模型

由前面的讨论知道, 土壤污染主要来自工业废水排放、灌溉, 工业废渣的堆放和农药的喷洒等, 其中工业废水的排放、灌溉和农药的施用是土壤污染最主要的污染源。因此, 下面将重点讨论这两方面的预测模型。

(1) 农药残留污染模式

各种农药进入土壤后, 通过各种作用而降解, 其残留量可由下式计算:

$$R = C^{-Kt}$$

式中 R ——农药残留量;

C ——农药施用量;

K ——常数;

t ——时间。

从上述可知, 若连续施用农药, 土壤中农药累积量不断增加, 但不会无限增加, 达到

一定值后即趋于平衡。如一次施用农药后，土壤中农药的浓度为 C_0 ，一年后残留量为 C ， C/C_0 为农药残留率 (f)，那么，在每年一次连续施用农药的情况下，几年后土壤残留总量 R_n 为：

$$R_n = (1 + f + f^2 + \dots + f^{n-1})C_0$$

$n \rightarrow \infty$ 时，则：

$$R_\infty = \left(\frac{1}{1-f} \right) C_0$$

用上式可算出土壤中农药在达到平衡时的残留量。

(2) 土壤污染物累积模式

当利用拟建项目排放含各种污染物的废水灌溉时，污染物在土壤中被土壤吸附，或被微生物分解，在植物吸收的同时，还可能发生一系列化学变化，此外，地表径流及渗透也将使之迁移。土壤经灌溉几年后，根据土壤中污染物的迁移转化及累积规律，土壤中污染物的累积残留量表示为：

$$W = k(B + R)$$

式中 W ——污染物在土壤中的年累积量，mg/kg；

B ——区域土壤背景值，mg/kg；

R ——土壤污染物年输入量，mg/kg；

k ——土壤污染物年残留率，%。

若计算 n 年内土壤污染物的累积量，则有

$$\begin{aligned} W_n &= k_n \{ k_{n-1} [\dots k_2 (k_1 (B + R_1) + R_2) + \dots \\ &\quad + R_{n-1}] + R_n \} \\ &= B \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n + R_1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \\ &\quad + R_2 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n + R_n \cdot k_n \end{aligned}$$

当 $k_1 = k_2 = \dots = k_n = k$

$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ 时，则有：

$$\begin{aligned} W_n &= Bk^n + Rk^n + Rk^{n-1} + Rk^{n-2} + \dots + Rk \\ &= Bk^n + Rk \frac{1 - k^n}{1 - k} \end{aligned}$$

由上式可见， k 值对计算结果影响很大，在不同地区，由于土壤特性各异， k 值也不完全相同。因此，不同地区应根据盆栽和小区模拟试验，力求准确地求出残留率。

在土壤污染物输入量难以获得，又缺乏本区的盆栽试验的情况下，预测土壤中一定年限内污染物的累积量及土壤可污灌的年限（即土壤污染物累积量低于区域环境标准的年限），可采用下式计算：

$$\begin{aligned} W &= N_w \cdot x + W_0 \\ n &= \frac{C_k - W_0}{x} \\ x &= \frac{W_0 - B}{N_0} \end{aligned}$$

式中 W ——预计年限内土壤中污染物的累积量, mg/kg;

n ——土壤可污灌(安全)年限;

x ——土壤中污染物平均年增量, mg/kg;

B ——土壤环境背景值, mg/kg;

C_k ——土壤环境标准, mg/kg;

W_0 ——土壤污染物当年累积量, mg/kg;

N_0 ——已污灌的年限;

N_w ——预计污灌的年限。

土壤中污染物平均年增量 X , 可按下式算得:

$$x = \frac{QC_i}{M}$$

式中 Q ——污灌水量, l/(ha·y);

M ——每亩地耕作层土壤重, kg/ha;

C_i ——灌溉水中 i 污染物的浓度, mg/l。

由上述公式可知, 只要求出 W_0 , 即可预测土壤环境质量。

C_k 值可借用其它地区重度污染起始值(植物明显受害或植物体内某污染物含量超过食品卫生标准时土壤中相应污染物的含量)。

B 值可收集本区现有资料或本区自然条件、土壤类型、农业利用基本相似的其它地区的资料。

(三) 土壤环境容量

土壤环境容量一般是对重金属而言的。土壤中重金属的含量没有超过一定数量之前, 对作物不会产生污染与危害, 也就是说, 土壤可以承受一定数量的重金属污染, 但必须有一定限值。人们通常将土壤所允许容纳重金属污染物质的最大数量, 称为土壤环境容量, 计算式如下:

$$Q = (C_k - B) \times 150$$

式中 Q ——土壤环境容量, g/ha;

C_k ——土壤环境标准, 1×10^{-6} g/g;

B ——区域土壤背景值, 1×10^{-6} g/g;

150——换算系数。

有关土壤背景值的研究表明, 区域土壤背景值 B 与区内环境条件、土壤性状有着明显的地球化学联系。不同区域的 B 值各不相同。某一具体区域均有该区特定的土壤背景值。 B 值可以通过土壤污染调查获得。 B 值确定之后, 土壤环境容量 Q 值的大小就与土壤环境标准 C_k 密切相关。标准宽松, 容量偏大; 标准严紧, 则容量偏小。因此, 制定区域性土壤环境质量标准就成为计算土壤环境容量的基础工作。目前, 一般以土壤被重金属显著污染时的数值作为土壤环境标准。

在计算土壤环境容量时, 可以 $(C_k - B)$ 值反映土壤污染的程度, 另外, 依据 Q 值的大小可从总量控制上提出环境治理的途径, 选择切实可行的防治措施。

复 习 题

1. 简述土壤的两个特点。
2. 土壤污染物是通过哪些途径积累的？
3. 土壤环境质量现状评价的几个主要环节是什么？
4. 为什么土壤环境质量现状评价没有统一评价标准？
5. 土壤环境影响评价的目的是什么？

第八章 环境噪声评价

噪声污染与大气污染、水体污染、固体废物污染一起构成当今世界三个主要污染源。由于近代工业的大规模的发展,噪声污染已呈越来越严重的发展趋势。目前,噪声污染已引起社会各界的广泛关注。正因为如此,环境噪声评价已成为环境质量评价的重要组成部分。

第一节 环境噪声现状评价

一、噪声基本概念

(一) 声压、声强和声功率

1. 声压

没有声波时,空气处于静止状态,此时大气的压强为一个大气压。当声波存在时,局部空气被压缩或发生膨胀,形成疏密相间的空气层向外扩展,被压缩的地方压强增加,产生膨胀的地方压强减小,这样就在大气压上叠加了一个压力变化。这个叠加上去的压力是由声波引起的,所以称声压,常用 p 表示。声压与大气压相比是极微弱的。声压的大小与物体的振动状况有关,物体振动的幅度越大,则压力的变化也越大,因而声压也越大,我们听起来就越响,因此声压的大小表示了声波的强弱。

声压随时间起伏变化,但由于人耳的鼓膜的惯性作用,辨别不出声压的这种变化,对人耳起作用的不是某一瞬间的声压,也不是声压的幅值 p_A ,而是一个稳定的有效声压 p_e 在起作用。在正弦波的情况下,有效声压 p_e 与声压幅值 p_A 之间的关系为 $p_e = p_A / \sqrt{2}$ 。

2. 声强

声波的传播伴随着声音能量的传播。单位时间内,通过垂直声波传播方向单位面积的声能称为声强,常用 I 表示。声强是一个矢量,只有规定了方向后才有意义。通常采用的单位是 W/m^2 。

声强可衡量声音的强弱,这和声压一样,只不过一个用能量的方法,一个用压力的方法。声强越大,声音越响,反之则越小。

3. 声功率

声源在单位时间内辐射出来的总声能量称为声功率,常用 W 表示。声功率是表示声源特性的重要物理量,它仅仅能反映声源本身的特性,而与声波传播的距离及声源所处的环境无关。

声强与声源辐射的声功率有关,声功率越大,在声源周围的声强也越大。如果声源在没有边界的自由场中向四面八方均匀辐射声波,那么在离声源为 r 处的球面上,各点的声强是相同的,因而声功率与声强 I 有如下关系:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

从上述式可知，若声源辐射的声功率不变，则声场中各点的声强是不相同的，它与距离的平方成反比。如果声源放在地平面上，声波只向半空间辐射，这时声源的声功率 W 与声强 I 之间的关系为：

$$I = \frac{W}{2\pi r^2}$$

声功率是衡量声源辐射能大小的重要参数，用它可以鉴定或比较各种声源。由于直接测量声强和声功率的仪器较复杂且昂贵，因此常用声压的测量值进行计算而得到。当声波从平面波或球面波传播时，声强 I 与声压 p 、声速 C 、空气密度 ρ 之间的关系为：

$$I = \frac{p^2}{\rho C}$$

利用上述三个公式，根据声压的测量值便可计算出声强和声功率。

(二) 级和声音的叠加

1. 声压级

对于 1000Hz 的纯音，人耳刚刚能感觉到声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，这个声压被称为听阈声压，人耳难以忍受的声压为 20Pa，这个声压被称为“痛阈”声压。两者的比值为 $1 : 10^6$ ，即痛阈声压是听阈声压的一百万倍。很显然，用声压来表示声音的轻响程度很不方便，同时，人耳对声音的感受不是与声压的绝对值成线性关系，而是与它的对数值近似成正比。因此，将两个声压之比用对数的标度来表示声压的大小，即可把声压相差一百万倍的巨大数字变得十分简单，而且也接近人耳的听觉特性。这种用对数标度表示的声压叫声压级，并以分贝作单位。某一声音的声压级的定义是：该声音的声压 p 与参考声压 p_0 的比值取以 10 为底的对数再乘以 20，即：

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (\text{dB})$$

式中 p_0 ——参考声压（取 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ）。

将听阈声压 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 代入上式，可计算出相应的声压级为 0dB，同样，将痛阈声压 20Pa 代入上式，则可算出其声压级为 120dB，由此可以发现，听阈声压到痛阈声压从原来 100 万倍的变化范围转换为 0~120dB 的小变化范围。这样，给声压的表示带来了很大方便。

只要我们测量出某一个声源在某一地点的声压，利用上式就可方便地计算出相对应的声压级来。

2. 声强级

与声压一样，声强也可以用级来表示，其定义为一个声音的声强级是这个声音的声强 I 与基准声强 I_0 之比取以 10 为底的对数再乘以 10，即：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB})$$

式中 I_0 ——基准声强，取 $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$ ，相当于声音频率为 1000Hz 时人耳能听到的最

弱声音的强度。

对于自由传播的平面波和球面波，利用 $I = p^2 / \rho C$ ，并注意到 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ 和 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ，应有如下结果：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{p^2 / \rho C}{p_0^2 / \rho_0 C_0} = L_p + 10 \lg \frac{400}{\rho C}$$

ρC 值随介质的压力和温度变化而变化。在 20°C 和标准大气压下， $\rho C = 415$ 瑞利，这时

$$10 \lg \frac{400}{\rho C} = -0.1 \text{ dB}$$

即有 $L_I = L_p - 0.1$ 。因此，在通常情况下，一个声音的声强级实际上比它的声压级小 0.1 dB 。由于两者相差较小，常粗略认为两者相等。

3. 声功率级

一个声源的声功率用级来表示时称为声功率级，常用 L_w 表示，其表达式为：

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

式中 W_0 ——参考声功率，取 $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ 。

由上式可知，当声源的声功率是原来的 10 倍时，声功率级：

$$L_w = 10 \lg \frac{10W}{W_0} = 10 \lg \frac{W}{W_0} + 10 \lg 10 = 10 \lg \frac{W}{W_0} + 10 \quad (\text{dB})$$

即声功率级增加 10 dB 。

国际和国内一些机械设备以及环境噪声的评价常采用声压级，但声压级的测量受测量距离的影响很大，测量的标准很难统一起来。因此，近年来国际标准化组织 (ISO) 推荐采用声功率级作为噪声源的评价标准，并制定了一套相应的测量方法。

为了便于使用和计算，表 8-1 给出了一些设备和有关声源的声功率和声功率级。图 8-1 示出了声压和声压级、声强和声强级、声功率和声功率级的换算列线图。

表 8-1 一些声源的声功率和声功率级

声 源	声 功 率 (W)	声 功 率 级 (dB)	声 源	声 功 率 (W)	声 功 率 级 (dB)
阿波罗登月运载火箭	4×10^7	195	空压机	10^{-2}	100
导弹、火箭	10^5	170	通风机	10^{-3}	90
波音 707 飞机	10^4	160	大声喊	10^{-4}	80
大型锅炉排气放空	10^3	150	一般谈话	10^{-5}	70
螺旋桨飞机	10^2	140	微电机	10^{-6}	60
大型球磨机	10	130	安静的空调机	10^{-7}	50
空气锤、有齿锯	1	120	小电钟	10^{-8}	40
织布机	10^{-1}	110	耳语	10^{-9}	30

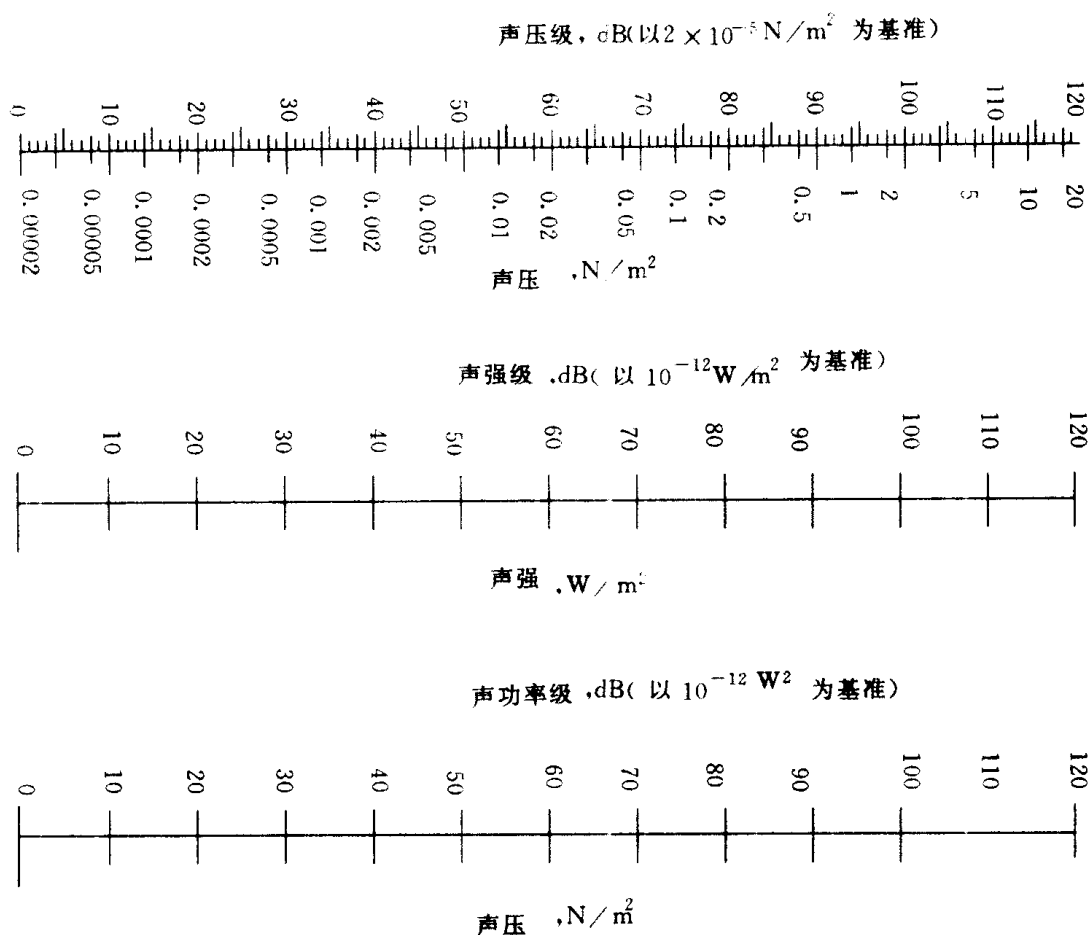


图 8-1 级的换算列线图

(三) 声压级计算

1. 声压级相同的声音的叠加

如果声压级相同的 N 个声音叠加在一起, 那么总的声压级可表示为

$$L_p = L_{p1} + 10\lg N \quad (\text{dB})$$

$N=4$ 时, 即声压级相同的 4 个声音叠加, 总声压级

$$L_p = L_{p1} + 10\lg 4 = L_{p1} + 6 \quad (\text{dB})$$

即声压级相同的 4 个声音叠加, 总声压级比单个声音的声压级增大 6 分贝。相同声压级的声音叠加, 其分贝数的增值可参见表 8-2。

表 8-2 相同声压级叠加时的分贝增值

声源个数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
分贝增值	0	3	4.8	6	7	7.8	8.5	9	9.5	10	10.8	11.5	12	12.6	13

2. 声压不同的声音的叠加

声压不同的声音叠加情况稍为复杂一些, 首先考虑两个不相同声压级的声音的叠加, 并

假设第一个声音的声压级大于第二个声音的声压级, 即 $L_{p1} > L_{p2}$, 则总的声压级 L_p 可表示为:

$$\begin{aligned} L_p &= 10 \lg \frac{p_1^2 + p_2^2}{p_0^2} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right) \\ &= 10 \lg \left[10^{\frac{L_{p1}}{10}} \left(1 + 10^{\frac{L_{p1} - L_{p2}}{10}} \right) \right] \\ &= L_{p1} + 10 \lg \left(1 + 10^{\frac{L_{p1} - L_{p2}}{10}} \right) \end{aligned}$$

若令:

$$\Delta = 10 \lg \left(1 + 10^{\frac{L_{p1} - L_{p2}}{10}} \right)$$

则总的声压级 L_p 就可以表示为:

$$L_p = L_{p1} + \Delta$$

由上两式可知, 总的声压级等于较高的声压级 L_{p1} 加上一个修正项 Δ 。修正项 Δ 与两声压级的差值 $\Delta L_p = L_{p1} - L_{p2}$ 的关系见表 8-3 和图 8-2。

表 8 3 两个不同声压级声音叠加的修正值 dB

$L_{p1} - L_{p2}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Δ	3.0	2.5	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8
$L_{p1} - L_{p2}$	8	9	10	11	12	13	14	15
Δ	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1

如果声压级多于两个, 通常有两种办法计算总的压级:

(1) 查表法

就是在两个声压级求和的基础上, 连续进行两两相加, 最后求出总声压级。

(2) 计算法

如果噪声源的个数很多, 进行声压级叠加, 除了采用两两相加的查表法外, 还可以直接利用公式来计算。当有 N 个噪声源时, 它们的声压级分别为 $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pN}$ 。那么, 总声压级 L_p 可用下式计算:

$$L_p = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}} \right)$$

3. 多个声压级的平均

若评价区有多个噪声源, 分别测量它们的声压级, 那么求这些声压级的平均值以及对于评价区的不同部位来说, 不同的时间, 声压级不相同, 该部位的噪声如何评价? 这可归结为求声压级的平均值的问题。

假若有个 N 个声压级, 分别为 $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pN}$, 那么 N 个声压级的平均值可以用

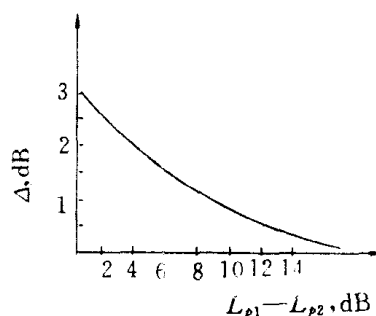


图 8-2 不同声压级叠加的修正值曲线

下式计算：

$$L_p = 10 \lg \frac{1}{N} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}} \right)$$

$$= 10 \lg \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}} \right) - 10 \lg N$$

可见，计算 N 个声压级的平均方法是：首先求出 N 个声压级的总声压级，然后减去 $10 \lg N$ 。

二、环境噪声现状评价

(一) 噪声源分析

城市环境噪声的主要来源有：交通运输噪声、工业噪声、建筑施工噪声和社会人群活动噪声。近年对几个大城市噪声污染状态分析见表 8-4。

表 8-4 北京等四大城市环境噪声源分类统计表 %

城 市	噪 声 源				
	交通噪声	工业噪声	施工噪声	社会噪声	其 它
	百 分 率 (%)				
北京	32	3	23	37	
上海	35	17	22	26	
天津	44	17	6	33	
武汉	37	22	6	25	10

对于火电厂的噪声源，我们可做如下分析，电厂内的噪声，主要由主厂房、辅助厂房、运输机械、水流声等组成。主要概括为：

(1) 空气动力学噪声

各种风机、空压机、喷燃器、管道内流体、排汽、节流、漏气所产生的噪声。

(2) 机械性噪声

是由机械设备运转、摩擦、撞击、振动所产生的，如球磨机、车床、空气锤等的噪声。

(3) 电磁性噪声

发电机、电动机、变压器、励磁机等电气设备在磁场交变运动过程中产生的噪声。

(4) 其它噪声

水塔淋水声、交通噪声、水流声、人流活动等。

电厂中，前三类噪声能量最大，影响范围也广，而且大多集中在主厂房内。因此主厂房本身成为一个辐射噪声的噪声源。其它辅助厂房相对能量较小，影响范围不大。主厂房内的特点是设备多，机器高速运转，管道纵横复杂。因此各类噪声由声源发出后，在厂房内交错回响，互相影响甚至激起共振声。然后，通过主厂房的墙壁、门窗、孔洞向外传播成为巨大的立体声。全国燃煤电厂的调查结果表明，主厂房内噪声水平都较高，大多在 90dB (A) 左右；大机组甚至高达 95dB (A)。而且一般电厂厂房内机组较多，即使有一、两台机组停机检修，总的厂房噪声还是降低不多，对周围的影响仍然无多大的改变。国产 300MW 机组的噪声水平见表 8-5。

表 8-5

30 万千瓦机组噪声测试结果

测 试 点	声级 dB (A)	测 试 点	声级 dB (A)
机头	98	油泵电动机	101
汽轮机高压缸	102.5	排粉机	93.5
发电机与励磁机连轴	103	空气压缩机	107
励磁机	96	灰渣泵	95
循环水泵	98	空气锤	98
值班室	73	中速磨煤机	92.5
送风机	100	引风机	97
喷燃器	87		

(二) 噪声允许标准和评价标准

1. 噪声允许标准

卫生部和国家劳动总局颁发的“工业企业噪声卫生标准（试行）”中第五条规定：工业企业生产车间和作业场所的工作地点的噪声标准为 85dB (A)。如果现有工业企业暂时达不到标准时，可适当放宽但不得超过 90dB (A)。第六条规定：对每天接触噪声不到 8h 的工种，根据企业种类和条件，噪声标准可按表 8-6 相应放宽，最高不得超过 115dB (A)。火电厂对噪声的要求见表 8-7 和 8-8。

表 8-6

新建、扩建、改建企业参照表

每个工作日接触 噪声时间 (h)	标 准	dB (A)	每个工作日接触 噪声时间 (h)	标 准	dB (A)
8	新建 85	现有 90	2	91	96
4	88	93	1	94	99

表 8-7

发电厂不同工作场所室内允许噪声级

工 作 场 所	一般允许连续噪声级 [dB (A)]	最高允许连续噪声级 [dB (A)]
主控室、集中控制室、 计算机室、通讯室	55	65
化验室、办公室	50	70
各生产建筑物的值班室	65	75
各类生产车间	85 (新企业)	
	90 (老企业)	

表 8-8

发电厂对主要设备的噪声级要求

dB

设 备 名 称	允许噪声级[dB(A)]	设 备 名 称	允许噪声级[dB(A)]
引风机(进风口前 3m 处)	85	发电机及励磁机(距声源 1m 处)	90
送风机(吸风口前 3m 处)	90	汽轮机(包括注油器、距声源 1m 处)	90
钢球磨煤机	95~105	排粉机(距机壳 1.5m 处)	85
其他中、高速磨煤机	86~95	气动给水泵	101

2. 环境噪声评价标准

环境噪声评价工作主要以 GB3095—82《城市区域环境噪声标准》为评价标准(见表 8-9),不少地区根据当地实际情况,制定了地方性环境标准,环境噪声评价工作也可根据地方性环境标准进行。

表 8-9

城市区域环境噪声标准

dB (A)

适 用 区 域	白 昼	夜 间	适 用 区 域	白 昼	夜 间
特殊住宅区	45	35	商业中心区、二类混合区	60	55
居民文教区	50	40	工业集中区	65	55
一类混合区	55	45	交通干线两侧	70	55

表中特殊住宅区是指特别需要安静的住宅区。居民、文教区指纯居民区和文教、机关区。一类混合区指商业与居民混合区。二类混合区指工业、商业、少量交通与居民混合区。商业中心区指商业集中的繁华地区。工业集中区指一个城市或区域内规划明确确定的工业区。交通干线两侧指车流量为每小时 100 辆以上的道路两侧。

(三) 评价工作的主要内容

1. 噪声源对周围环境影响的调查

(1) 测量方法

1) 测量条件:天气正常,风力小于四级,工厂正常生产,施工噪声等其它噪声应排除,偶然汽车噪声也应排除(除交通道路外)。

2) 测量时间划分:测量时,应根据工厂实际生产情况,划分为白天和夜间两个阶段,白天为 16h,夜间为 8h,每一阶段测量时应选择恰当的时候。白天 16h 内,如用积分声级计测量,建议测三次,每次半小时。夜间 8h 内,如用积分声级计测量,建议测两次,每次半小时。

用普遍声级计读数,建议连续测 200 个数据,并按能量平均法。每年在冬、夏两季分别测定一次。对于稳定噪声源,每次至少应测定一昼夜,随机噪声源应测定五昼夜。

3) 仿声器位置:为避免围墙、厂房墙面反射和屏蔽作用,仿声器应固定于工厂围墙上距 1m 处,测点间距一般为 10~20m,如相邻两点间差值大于 5dB,应补充测点,直到满足

小于 5dB 为止。

如评价整个工厂对环境的影响,测点应沿工作边界环形布点,以平均 L_{eq} 值为准,如评价工厂对某一居民住宅区的影响,测点应在实际影响的界线上布点,没有必要对工厂全部边界进行测量。

最好对工厂在休日(停工情况)的环境作本底对比测量。

(2) 居民主观反映调查

调查对象:受影响的机关、学校、医院、文化设施等,老年人、年轻人、儿童、学生、病人等。

调查内容:上述对象对不同时段的噪声的感觉影响,另外对睡眠、听力以及其它人体健康的影响。

2. 工厂企业噪声源调查

对于工厂内部的噪声源,按其分布情况,分别测定噪声强度,找出主要污染源。电厂的噪声评价可参照表 8-7~表 8-8 实施测定。

(四) 评价方法

对于工厂噪声的现状评价,根据工厂噪声污染源调查,工厂噪声对周围环境影响的调查,即可作出噪声环境质量现状评价的结论。如对周围环境有较大影响,必须提出要求工厂采取必要的措施,包括主要污染源的控制和其它隔声措施等,以达到环境噪声标准。

对于城市环境噪声的现状评价,其测量点的选择应为:把城市划分为 $250\text{m} \times 250\text{m}$ 的小网格,测量点选在网格的中心。如果中心位置不适宜测量(如房顶、河沟和街道中心等),可以移到附近适合测量的地方。网格的尺度也可按 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的面积来划分。但总网格数不能少于 100 个,否则将影响精确度。

对城市污染做综合评价时,可以预先确定等效 A 声级的一个基准值 L_b 。把通过测量得到的平均等效 A 声级 L_{eq} 除以基准值 L_b 就能求得评价噪声质量的污染分指数 p_N ,

$$p_N = \frac{L_{eq}}{L_b}$$

对于区域环境质量评价,取 $L_b = 75\text{dB (A)}$ 是合适的。根据算得的 p_N 值,可对噪声环境质量进行分级(见表 8-10)。

表 8-10 噪声质量分级表

类 型	分级名称	p_N 范围	$\bar{L}_{eq}$ [dB (A)]
一	很好	小于 0.6	小于 45
二	好	0.60~0.67	45~50
三	一般	0.67~0.75	50~56
四	坏	0.75~1.0	56~75
五	恶化	大于 1.0	大于 75

由于用仪器测量得到环境噪声的 A 声级值,存在很大的随机起伏,在每个测点上总是测量一大批数据,这样就必须注意数据处理方法。例如每隔 5s 或 10s 读取一个瞬时 A 声级

(慢响应), 连续读取 100 个数据 (约 8min 或 16min), 于是需要对这一大批数据进行分析处理才能获得我们所需的评价指标: L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 和 L_{eq} 。因此需讨论一下数据的处理方法。积分式声级计能自动给出 L_{eq} 值, 可省去人工计算处理。

求 L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} 是较容易的, 在上述均匀时间间隔读取数据的情况下, 例如 100 个数据中, 按照数值由大到小地排列起来, 那么第 10 个数值即为 L_{10} , 第 50 个数值为 L_{50} , 第 90 个数值为 L_{90} 。这些声级在噪声的统计分析中特别是交通噪声的统计分析中很有用。

根据等效声级为声级的能量平衡值的定义, 当 T 时间内连续取样时, 有公式:

$$L_{eq} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T 10L/10 dT \right\}$$

对于上述 n 个均匀时间间隔的瞬时取样情况 (已设 $n=100$):

$$\begin{aligned} L_{eq} &= 10 \lg \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10L_i/10 \right\} \\ &= 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n 10L_i/10 \right\} - 10 \lg n \\ &= L_m - 10 \lg n \end{aligned}$$

式中 L_i ——瞬时声级读数, $i=1, 2, \dots, n$;

L_m —— n 个数据的总声压级。

当 $n=100$ 时,

$$L_{eq} = L_m - 20$$

将城市划分成小网格, 每个小网格可以求得等效 A 声级 L_{eq} , 再求它们的平均值即为该城市的平均等效 A 声级 L_{eq} 。

但每个城市在白天测得值和夜间测得的值是很不相同的。通常, 白天选在 7:00~18:00 内测量, 夜间在 22:00~05:00 内测量。如果用 L_d 表示白天测得的等效声级, 用 L_n 表示夜间的等效声级, 则该点的昼夜等效声级为:

$$L_{dn} = 10 \lg \left\{ \frac{[15 \times 10L_d/10] + [9 \times 10(L_n + 10)/10]}{24} \right\}$$

第二节 环境噪声影响评价

一、环境噪声影响评价工作程序

评价工作程序如图 8-3 所示 (以工厂环境噪声评价为例)。

二、基础资料的收集

基础资料以满足工程环境噪声影响评价为度, 其中包括:

(1) 首先应了解新 (扩、改) 建工程的建设规模、生产工艺流程、工程的结构特征、主要生产设备 (噪声源)、有关环境的自然状况和环保主管部门对工程环境的要求。

(2) 工程建、构筑物及工艺设备 (噪声源) 布置图、工厂总平面布置图和工厂所在的城市区域图, 用以确定拟建工程各主要噪声源和厂界受声点及附近噪声敏感点的位置。

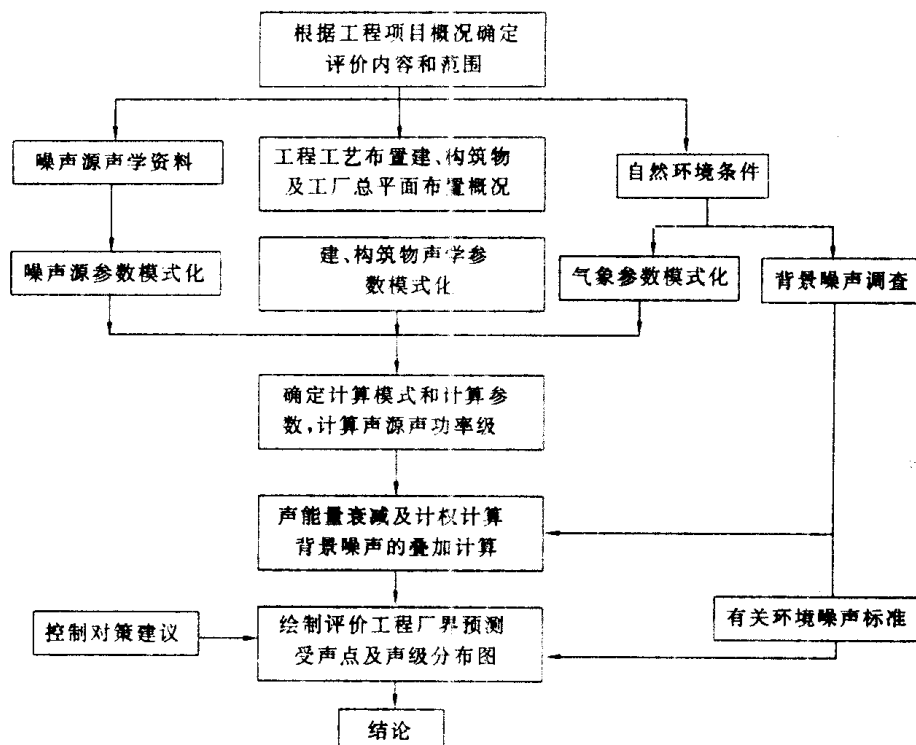


图 8-3 环境噪声影响评价工作程序

(3) 为了确定拟建工程的噪声对环境的影响,须掌握该工程拟设置的各类主要设备有关声学性能参数。描述每个噪声源的声学性能参数有三个,即声功率级、频谱和指向特性。在工程建设的可行性研究设计阶段,限于该阶段设计的深度,在一般情况下,设计单位也很难提供有关设备的型号和规格。因此,上述噪声源资料的获得,主要依靠评价单位有丰富经验的工程师对评价工艺的了解,收集同类工程的类比资料,筛选出相类似的声学性能参数,必要时需进行类似设备的实测。

(4) 收集气象资料,气象资料主要收集拟建工程地区有关的气温、湿度、风频和主导风方向等参数。

三、背景噪声调查

1. 布点

对新建工厂来说,监测点布置在拟建工厂的设定厂界线和厂界周围噪声敏感点上。对于改建和扩建工程来说,其背景噪声就等于现有工厂的现状环境噪声,对厂界有围墙者,监测点可设在墙内或墙外 2m 处,对靠近厂界的噪声敏感点,亦应适当布点。测点之间的距离,中小型企业取 50~100m,大型企业为 100~200m,或视具体情况适当增减测点距离。

2. 测量仪器和取样方法

测量使用声级计或噪声分析仪均可,测量时将传声器固定在三角架上并指向声源,取人耳高度为测量高度,对环境噪声的每个测点连续测取 100 个 A 声级瞬时值(间隔时间 5s),对交通噪声以同样的方式测取 200 个数据,并同时记录车辆流量和测量时间。

3. 测量条件和时间

与环境噪声现状评价有关内容相同。

四、噪声强度预测的方法

为了适应设计阶段的工作深度,预测方法是以下述设想为依据的,在厂区内的各建、构筑物内、外的噪声源,在声波的传播过程中,将通过所在厂房建筑物(墙、门和窗)的屏蔽衰减,再经过距离衰减和空气吸收衰减达到厂界和噪声敏感的各受声点上。由于声波在传播过程中,声能量的衰减与其频率密切相关。因此,各受声点所接受到的来自各声源的贡献值,是按六个频带(中心频率分别为120Hz、250Hz、500Hz、1kHz、2kHz和4kHz)分频的声能,再经过能量叠加和计数后,得到各受声点上的A计数声压级。

五、环境噪声预测模型

噪声从噪声源发出后向外传播,在传播过程中,经过距离衰减、空气吸收、构筑物围护结构(门、窗、墙)的屏蔽及树木的吸收后,到达受声点。根据有关资料介绍,在满足一定工程精度的前提下,为了保证一定的安全系数,只考虑了距离的衰减,有声源的厂房围护结构及空气吸收等衰减因子,不考虑无声源的建、构筑物的屏蔽效应及树木的吸声,有下面计算公式:

$$L_p = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4\pi R^2} - k \frac{R}{100} - r - 10 \lg X$$

式中 L_p ——受声点处的声压级, dB;

Q ——指向性因素,点源发出无指向球面波时, Q 取1,点源发出无指向半球面波时,

Q 取2;

L_w ——声功率级;

r ——隔声量, dB;

R ——点源至受声点的距离;

k ——空气中传播的衰减系, dB/100m;

X ——车间厂房内各门窗、壁面的平均吸收系数。

上式中,每一种设备的声功率级的确定有一定困难,有相当一部分设备的声学参数无法收集。而且一般工厂厂房中的噪声源不是孤立的,其坐标也难于确定。同时隔声量和平均吸收系数 $\bar{X}$ 的确定都会有一定的误差。如果将每一个有声源建、构筑物作为一个声源,并根据上式求得一噪声源在传播途径上任意两点的声压级:

$$L_{p1} = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4\pi R_1^2} - K_1 \frac{R_1}{100} - r_1 - 10 \lg X_1$$

$$L_{p2} = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4\pi R_2^2} - K_2 \frac{R_2}{100} - r_2 - 10 \lg X_2$$

当 $r_1 = r_2$, $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$, $k_1 = k_2$ 时, 上两式:

$$L_{p2} - L_{p1} = -20 \lg \frac{R_2}{R_1} - K \frac{R_2 - R_1}{100}$$

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \lg \frac{R_2}{R_1} - K \frac{R_2 - R_1}{100}$$

由上式可知,在同一环境下只要测得 L_{p1} 、 R_1 , 就可计算任意一点的声压级 L_{p2} , 也就

是说在有声源建筑物外侧测量 L_{p1} ，使测点和计算点处于相同环境。根据等声级点 L_{p1} ，求得此声压级上的等效半径。

上式计算中，有一个需要解决的问题是 K 值的确定，我们知道，声在传播过程中，由于空气吸收而引起的衰减量是频率、温度和相对湿度的函数，其数据可从表 8-11 中获得。

表 8-11

大气中声波衰减量

dB/100m

温 度 C	1/3 倍频程的 中心频率 (Hz)	相 对 湿 度					
		40	50	60	70	80	90
15	125	0.037	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027
	250	0.081	0.073	0.070	0.066	0.063	0.060
	500	0.193	0.178	0.167	0.157	0.150	0.143
	1000	0.472	0.435	0.406	0.382	0.365	0.351
	2000	1.206	1.070	1.004	0.953	0.910	0.873
	4000	3.884	3.106	2.653	2.418	2.265	2.181
20	125	0.036	0.033	0.301	0.029	0.028	0.026
	250	0.079	0.073	0.068	0.064	0.061	0.059
	500	0.190	0.175	0.164	0.155	0.148	0.141
	1000	0.462	0.422	0.397	0.376	0.358	0.343
	2000	1.126	1.042	0.979	0.924	0.876	0.843
	4000	3.116	2.653	2.435	2.314	2.217	2.136
25	125	0.035	0.032	0.030	0.027	0.025	0.024
	250	0.079	0.072	0.068	0.064	0.061	0.057
	500	0.184	0.170	0.159	0.150	0.143	0.137
	1000	0.448	0.413	0.388	0.367	0.350	0.336
	2000	1.117	1.032	0.960	0.911	0.872	0.838
	4000	2.791	2.555	2.407	2.288	2.186	2.095
30	125	0.034	0.031	0.028	0.026	0.024	0.022
	250	0.079	0.073	0.068	0.063	0.059	0.056
	500	0.181	0.166	0.156	0.147	0.140	0.133
	1000	0.444	0.409	0.383	0.364	0.346	0.331
	2000	1.088	1.001	0.942	0.893	0.851	0.819
	4000	2.720	2.532	2.380	2.249	2.149	2.071

算得 L_{p2} 后，需求算各噪声源在同一受声点上噪声值的叠加值，可用前述的叠加方法进行，对于多个声压级，可用下式计算：

$$L_p = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}} \right)$$

根据上式编制计算程序上机计算。

六、评价结论与建议

根据工程建设方案、环境现状及预测结果进行综合分析，并根据工厂所处的城市区域划分，选择相适应的环境标准，就工厂的工业噪声对厂界及附近敏感点（一般为居民区）的环境影响进行评价，并提出相应的合理化建议（包括：厂址选择、总平面布置图、工艺流程及设备选型、噪声控制措施等）反馈于工程。

七、噪声的控制

噪声污染有一个显著特点，污染区域范围是局限性的，声源发生噪声，噪声能量向周围传播，随着距离的增加和受建筑物的阻挡，很快衰减，受影响的只是声源附近。此外，噪声污染是暂时性的，噪声源停止发声，危害即刻消除。因此，对于噪声的控制，行政管理措施和合理规划与技术措施都是非常重要的。如果预测的噪声超过环境标准，必须采取必要的措施，使之达到噪声标准。

1. 控制技术

控制技术有三个基本原理：即减少振动源、封闭噪声源和利用吸声材料使噪声衰减。根据这些原理，已研制出很多控制方法，不少方法已用于实践。

2. 城市（区域）环境规划

在规划时，必须注意以下几点：

- (1) 合理规划土地使用和区域划分。应考虑不同功能区的划分，保证安静区域。
- (2) 建筑布局。可利用地形或建筑物做隔声屏障，降低噪声。
- (3) 交通干线。人、车分道，交通口立体化，减少鸣喇叭。

3. 加强环境管理

控制高音喇叭，建立安静小区等。

复 习 题

1. 简述噪声污染的特点。
2. 什么是声压？
3. 环境噪声评价中，声压级有几种表示方法？
4. 为何一般用声压级各不同时也用声强级表示噪声的强弱？
5. 噪声环境影响评价应得出什么结论？

第九章 区域环境质量综合评价

第一节 区域环境质量评价概述

一、区域环境与区域环境质量

1. 区域环境

各地区自然环境条件各有差异，自然环境质量截然不同，表现出明显的地带性特征与地区性特征。地表太阳辐射分布的不均匀性，是地表明显的地带环境系统形成的主导因素。在同一地带环境系统内，物质在一些区域环境系统内，通过各种自然过程朝着相同的方向发展，形成地带综合体。不同地带环境系统的组成和结构不同，它们的物质能量交换强度及循环规律不同，它们的抗污染性及稳定性也不一样。如在热带雨林地带，环境系统组成结构复杂，它是一个多回路的反馈系统，存在着复杂的物理、化学和生物学的自适应过程，它对外界的污染冲击有较强的缓冲能力，环境容量大，环境稳定性强。而寒带及荒漠地带环境系统组成结构简单，缓冲能力小，环境容量小，环境系统的稳定性小。

地带环境系统由许多个区域环境系统组合而成。区域环境系统具有局部地区结构特点，它具有特定的地貌形态和物质组成、一定的水系水文、土壤植被和工农业生产活动的特点。区域环境系统的结构形式不同，它们的环境容量、抗污性及稳定性皆不同。一般，正地形上的环境系统序列，大气环境容量较大，大气环境稳定性强，抗污能力强；负地形上环境系统序列，环境容量较小，环境的稳定性弱，抗污能力小。

所谓区域环境，就是一个完整的自然区域综合体。我国北方的蓟津渤、南方的太湖地区都是比较典型的区域环境。自然地域组成要素如大气、水体、土壤、生物及其综合体是形成区域环境的物质基础，人及生产活动是区域环境的主体，人与自然综合体是不可分割的整体。

区域环境的范围可大可小，视其结构与功能而定。其界线划定的依据是自然地域组成要素的多样性及其结构的综合性。

2. 区域环境质量

区域环境质量是区域环境的重要属性。区域环境质量一方面表现为其组成要素如大气、水体、土壤、植物、动物以及人群健康在人为活动影响下所遭受的变化及其水平，即区域环境质量的单项效应。另一方面表现为区域环境质量的总体效应。所谓总体效应是指区域环境的组成要素，通过相互制约、相互依存的关系对外来影响作出的反应，即环境质量的性质、类型与水平等特征。总体效应也叫集体效应。单环境要素质量评价对揭示个别环境要素的质量特征以及控制其污染是很有用的。但是，仅有单环境要素评价往往不能够提供从区域全局或整体考虑的环境质量信息，以及为解决区域环境污染问题的有关依据。这就要求在单环境要素环境质量评价的同时，开展区域环境质量综合评价。

二、区域环境质量综合评价

区域环境质量的综合评价是按照一定的目的, 对一个区域的环境质量进行总体的定性和定量的评定。这种评价工作通常是在各种单要素评价的基础上综合归纳的, 称环境质量综合评价。按时间划分, 它属于环境质量现状评价。

1. 区域环境质量综合评价的目的和范围

环境质量综合评价的目的是多种多样的, 如有的是为了研究环境质量在时间上的变化趋势, 有的是为了综合反映出某些环境单元的污染程度, 有的是为了了解所评价区域总的环境质量水平。由于评价的目的不同, 以及所评价区域环境条件的差异, 因此环境质量综合评价在方法上也是多种多样的。

环境质量综合评价的范围可大可小。大到国家范围如一个行政区域或一个自然流域, 小到可以是一个城市、一个功能区(如工矿区、风景游览区)。其中城市环境质量综合评价是环境质量综合评价的主要对象。就城市外部而言, 它有相对的独立特征, 构成具有各种特点的城市环境系统, 如工业城市、港口城市、文化城市等; 就内部而言, 各区域环境功能差异显著, 物质交换、能量流动的速度和形式也不相同。工业区因废水、废气、固体废物排放量大, 形成大气、水体污染区, 影响居民的身体健康。交通干线和人烟稠密的商业区噪声干扰严重, 影响居民的工作和休息, 可造成人们心理和生理上的不适。就是清静的居住区内, 环境的舒适程度也同人为环境条件有关, 人口的密度、绿地的面积由其是设施(如上、下水管道等)的普及率、交通和家庭生活的方便程度和文化教育设施状况等, 都会影响环境质量。所以要充分掌握城市环境的质量, 从战略观点上改善和提高城市环境质量, 必须进行环境质量综合评价, 并对评价结果进行应用研究。

2. 区域环境质量综合评价的评价参数选择

环境质量综合评价应依据评价目的, 选取一定量的能表征各种环境要素质量的评价参数。根据国内外实际工作资料, 环境质量评价参数可概括为三类:

(1) 评价环境污染的参数

大气污染参数如二氧化硫、颗粒物、二氧化氮、一氧化碳、臭氧等; 水污染参数如有毒物质、重金属、氧平衡状况等。

(2) 生活环境质量的评价参数

包括人口密度、绿化程度、噪声强度、恶臭强度等。

(3) 自然环境和自然资源演变和保护状况的评价参数

森林面积的增减状况、土壤侵蚀和水土保持状况、土地破坏状况、资源开采量和储备量、野生动物增减情况等。

这三类评价参数中, 有的易于定量, 有的则需通过归纳和概括, 选定合适的数值。

3. 区域环境质量综合评价的方法

任一环境单元(如流域、城市)都是由多种自然环境要素和人为环境条件构成的。每一环境单元都存在若干种环境问题, 如大气污染问题、水体污染问题, 噪声污染问题, 人口拥挤问题等。进行环境质量综合评价有两种方法。一种是两步法, 即先进行单要素评价, 然后归纳单要素评价结果, 获得环境质量综合评价结论。我国目前大都采用这种方法。另

一种是一步法, 根据评价目的, 直接选用最能反映环境质量的某些环境要素和某些有代表性的参数, 直接求出环境质量综合评价值。

在城市环境质量综合评价中, 常采用单元面积法, 即用直线将城市划分成若干个面积相等的方格, 评定各单元面积内各环境要素的环境质量 (指数值或等级值), 编制分布图, 然后综合成各单元面积的环境综合质量 (指数值或等级值), 最后制成环境质量综合评价图。

4. 区域环境质量综合评价的权值

区域环境质量综合评价是以环境单元中某些环境要素评价为基础的, 环境要素评价又是以某些污染物的单项评价为基础的。在一个环境单元中, 各种环境要素对环境质量的影响或所引起的环境效应是不同的。如在城市环境中, 一个不作为饮用水源的受污染河段, 对居民的影响主要是感观和臭味, 从人体健康来说, 它的质量远没有大气质量重要。在进行环境质量综合评价时, 这两个要素不能同等看待, 常用权系数表示它们的重要性。在进行各种环境要素评价时, 也用权系数分别表示各种污染物所产生的环境效应。因此, 在环境质量综合评价中, 各级权值的确定是一项重要的内容。有关权值的确定, 可参考有关书籍。

第二节 区域环境质量综合评价实例研究

一、区域自然环境质量综合评价实例

1. 美国 NWF 的环境质量指数

美国国家野生生物联合会 (NWF) 于 1969 年第一次公布了该指数, 评价了六种自然资源: 空气、水、土壤、森林、野生生物、矿藏。1970 年又加了生活空间一项。他们对各类环境从最好到最坏给予了人为的评定, 然后按从 0 到 100 的计数评分, 见表 9-1。0 等于死亡或灾难, 100 表示环境平衡是理想状况。

表 9-1 NWF 的各环境要素评分

分 类	1971 年评分	分 类	1971 年评分
土 壤	78	矿 藏	48
森 林	76	水	40
生活空间	58	空 气	34
野生生物	53		

他们对这七种要素, 进一步制定了一个以百分比表示的相对重要性的数值。如空气、水、生活空间、种植食物的土壤等, 都是生活不可缺少的, 因此对它们要给予较高的权值 (见表 9-2)。

将各环境要素的评分与其相对重要性的值, 即表 9-1 和表 9-2 的值相乘, 可得出环境质量的分数, 见表 9-3。

表 9-2

NWF 的各环境要素权值

分 类	相对重要性 (%)	分 类	相对重要性 (%)
土 壤	30	矿 藏	7.5
空 气	20	野生生物	5
水	20	森 林	5
生活空间	12.5		

表 9-3

NWF 的环境质量分数

分 类	1971 年评分	相对重要性 (%)	环境质量分数
土 壤	78	30	23.4
空 气	34	20	6.8
水	40	20	8.0
生活空间	58	12.5	7.25
矿 藏	48	7.5	3.6
野生生物	33	5	2.65
森 林	76	5	3.80

比较各环境要素 1970 年和 1991 年的评分, 可以分析美国的环境质量的变化趋势。从表 9-1 看, 土壤处于最好状况, 但低于理想条件, 1970 年它的评分为 80, 1971 年因连续的水土流失, 评分降到 78。空气处于最坏的状况, 1970 年它的评分为 35, 1971 年由于继续污染后降至 34。森林的评分从 75 升至 76, 略有回升, 表明生长超过了采伐。生活空间从 60 降到 58, 表明较多的人挤进了污染较重的较小空间——城市。野生生物质量从 50 降到 48 表明开采速度大于探矿速度。水质质量稳定地保持在较低水平 40 分, 是因为虽然制定了较为严格的立法, 但对污水处理厂的投资仅仅达到防止进一步污染的水平。整个环境质量的分数是下降的, 从 1970 年的 57 降到 1971 年的 55.5, 说明美国环境呈恶化趋势。

2. 加拿大的总环境指数

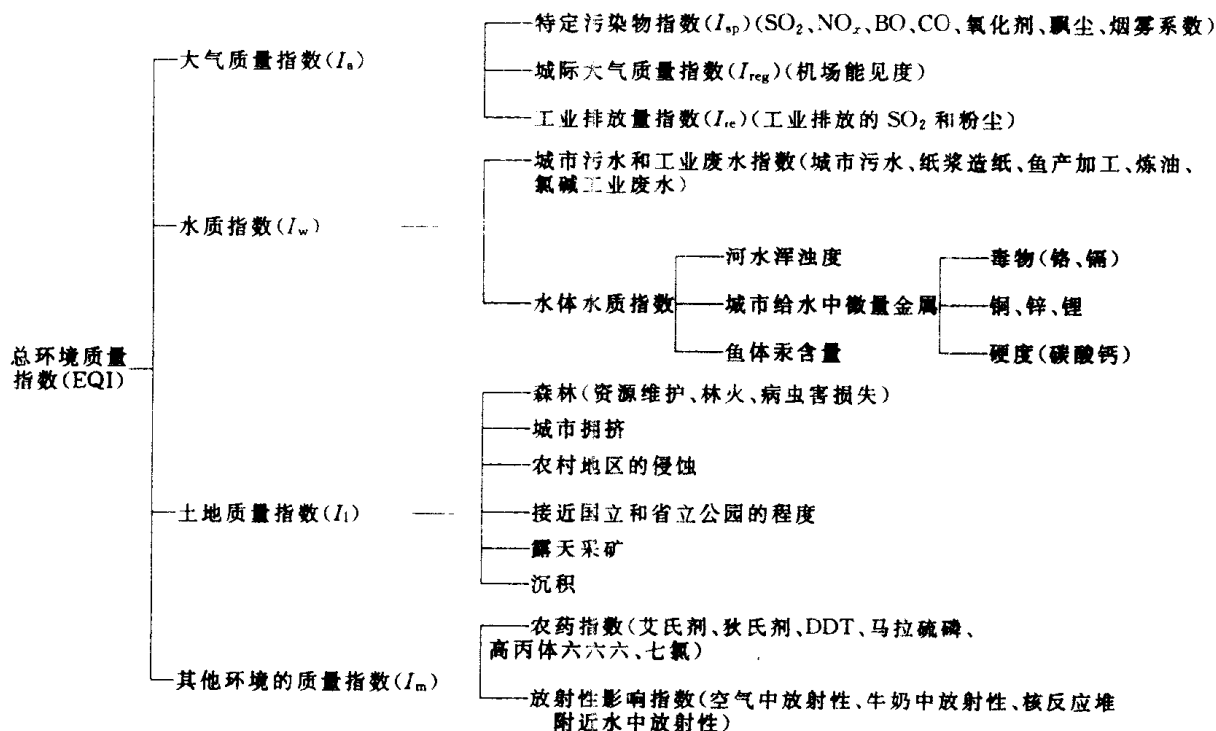
加拿大环境部在 1974 年提出大气、水体、土地和其它方面的四个环境质量指数, 并将它们综合成为含义广泛的“总环境质量指数”。大气等四个指数, 又各由若干分指数所组成, 因此构成了一个环境评价的指数体系 (见表 9-4)。

加拿大的总环境质量指数有以下特点:

(1) 各分指数和参数选择较广泛。以水质指数为例, 其分指数包括全国城市污水和四种主要工业废水的负荷、城市给水中的微量金属、鱼体含汞量。表示它能结合自己的实际情况, 因地制宜地从错综复杂的环境中, 选择对人群健康和生活影响较突出的要素和污染

物作为参数。如它们将鱼体含汞量做为分指数，就是与国际上普遍认识到汞污染的后果有关。他们提出的水质指数，不仅重视水体的重金属污染，而且注意到水体污染后，通过食物链引起的食品污染。

表 9-4 加拿大总环境质量指数组成表(括弧内表示参数)



(2) 在分指数的确定中，还考虑到环境中的有利因素，如在土地质量指数里，就考虑了公园绿地的程度。

(3) 计算各分指数时，除尽量采用政府制定的环境质量标准作为评价依据外，有些分指数，如大气方面的工业排放量指数；水质方面的城市污水和工业废水指数，则全部采用全国平均数据，或某基准年的全国性数据作为评价依据。

(4) 将几个分指数综合成一个总指数时，是按环境专家们的判断对各分指数进行加权，且大部分采用各分指数加权均方根的计算办法。

(5) 各地的大气质量指数按各城市人口数加权，可得全国平均的指数值，其它三个质量指数也按同样方法求出全国平均数。加拿大全国的总环境质量指数，是由全国平均的大气等的四个质量指数加权综合而成，计算式为：

$$EQI = \left[\frac{3I_a^2 + 3I_w^2 + 3I_l^2 + 3I_m^2}{10} \right]^{\frac{1}{2}}$$

他们认为，大气、水体、土地是环境的重要组成要素且同等重要，因此均加权为 3，至于 I_m ，其含义不如前三个指数广泛，故加权为 1。根据加拿大某年有关数据，计算全国平均的 $I_a=0.99$ 、 $I_w=0.73$ 、 $I_l=0.54$ 、 $I_m=0.088$ ，将它们代入上式可得出加拿大全国的 $EQI=0.74$ ，根据逐年的资料，计算全国各年的 EQI ，可掌握全国环境质量的趋势。

二、区域社会和自然环境质量综合评价实例

该类评价以日本大阪府的环境污染综合评价为例。从有关资料看，大阪府的环境污染综合评价工作，做得较深入、细致，其方法学有很多可取之处，因此做较详细介绍。

1. 综合评价的方法和意义

他们认为过去评价城市生活环境时，多从形成大气污染、水质污染、噪声、恶臭等现象的主要原因出发，单项的论述各污染因子如硫氧化物、BOD、噪声……等时间变化、空间分布和超过环境标准的程度等等。但在实际生活环境中，造成对生活的危害或环境质量的恶化，常是因为多种因子互相关连而引起的。因此要准确掌握环境的被污染情况，在了解单一污染因子状况与影响的同时，还要查明多种因子间的关系及其影响程度。由于每个污染因子对环境的影响不同，所以只有在同一基础上相对比才能对环境进行综合评价。因此要建立评价标准，用评价标准去除各污染因子的监测浓度，得到了标准化的各污染因子的污染程度，然后再以居民的感受作为决定生活环境优劣的依据。并试图将现实环境质量与居民的希望要求间的差距数量化，来进行评价。关于居民对生活环境的意见，他们通过通信调查得到。

在 i 地区的环境综合评价值可表示为污染因子的函数。即：

$$F_i = f(n_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中 n_{ij} —— i 地区 j 污染因子数值。

将 n_{ij} 标准化，即：

$$S_{ij} = \frac{n_{ij}}{C_j}$$

式中 S_{ij} —— i 地区的污染因子经标准化后的数值；

C_j ——污染因子 j 的评价标准。

此外，将居民对环境的感受进行多变量解析，而求得各污染因子的“权” α_j ，这样将一定地区的综合评价值表示如下：

$$F_i = f(\alpha_j S_{ij}) = \alpha_1 S_{i1} + \alpha_2 S_{i2} + \dots + \alpha_n S_{in}$$

评价的程序见图 9-1。

2. 确定环境评价参数

一般来说，大气污染是城市环境污染中的主要污染因素，它具有较大的“权重”。大气中含有硫氧化物、烟尘、降尘、CO、碳氧化合物、氮氧化物等污染因子。其中硫氧化物对人体及动植物的影响是显著的，并对金属有腐蚀作用。烟尘会减少视程，其粒子有毒性，且污染范围非常广。烟尘和硫氧化物共存时，常造成很大危害，且它们的浓度变化也很一致。因此在大气方面将硫氧化物、烟尘及两者的相乘作用作为评价参数。

汽车尾气中主要有 CO、铅化合物、氮氧化物、碳氢化物等大气污染因子。由于汽车排气污染的范围很广，所以应把交通量强度作为大气的污染因子。交通量强度是指在单位地区单位时间内通过的车辆（交通量）乘以车辆在该地区内的停留时间。如将此数值再乘以排放系数，即可求得该地区汽车排气产生的污染物排放量。

城市中河道的污染，水体散发出的恶臭味常引起人们的不快和厌恶。因此把污染的水体列为评价参数，以 BOD 表示。

噪声的污染问题，在该市的市民的50%表示反感，所以噪声污染对市民生活影响占很大比重，因此也被作为评价参数。

这样，在大阪府的环境综合评价中，选择SO₂、粉尘、SO₂与烟尘的乘积、交通量强度、水质污染(BOD)、噪声为评价参数。

3. 评价参数的现状分析

(1) 硫氧化物的污染

近年来，大阪府煤的用量变化不大，但柴油的用量激增，尤以大阪府内的工业地带用油量最大，燃料种类的改变，使大气污染亦发生很大的变化，如过去以降尘为主，现在以硫氧化物为主，其次，他们分析出主要污染源和污染区是火力发电厂、炼油厂。主要污染源分布在临海一带。我国电力生产以燃煤为主，烟尘、SO₂、NO_x的污染问题日趋严重，由于采用了高效电除尘器，烟尘问题基本上得到了控制，但SO₂污染问题显得更为突出，酸雨区有蔓延趋势，因此在进行环境质量综合评价时，这些问题值得注意。

(2) 汽车排气污染

日本在狭小的城市区域内，集中大量的汽车，所以汽车排气形成的大气污染严重。1970年度大阪府汽车总数为130万辆，并仍在增加。汽车排气量与行车状态有关，交通停滞、汽车拥挤均使排气量增大，据近年汽油销售量的增加(约1.9倍)较汽车数量的增多(约2.3倍)小得多，则反映出交通情况的恶化。从汽油的实际销售量与燃料消费量的关系出发，求出工厂和汽车排放的污染物数量及其对大气污染的分担率，得出表9-5。

表 9-5 大阪府大气污染物的年排放量和分担率

污染物	汽 车 排放量 (分担率)	工 厂 排放量 (分担率)	共计 (t) 排放量 (分担率)
HCHO	695 (55.7%)	553 (44.3%)	1248 (100%)
CO	398.933 (99.8%)	828 (0.8%)	399.761 (100%)
HC	34.701 (97.2%)	1.014 (2.8%)	35.715 (100%)
NO _x	19.611 (36.8%)	33.639 (63.2%)	53.249 (100%)

再从交通量与CO的关系，求出汽车排气的污染。据吹田市政府北侧测定的结果，得出

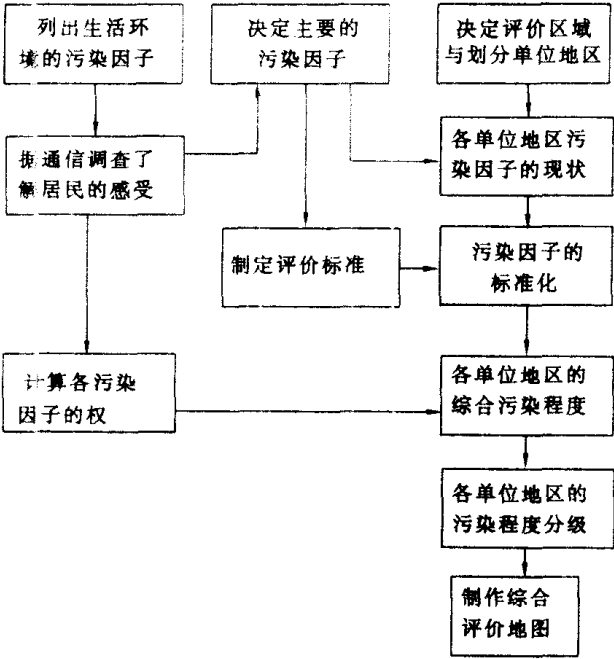


图 9-1 研究顺序图

下列关系式：

$$Y = \frac{K}{3000}X + 1.0 \quad (r = 0.92)$$

式中 Y ——CO 的浓度，1 小时平均值；

X ——交通量，辆/h；

K ——系数，取 3~5；

r ——相关系数。

由于汽车排气有扩散作用，所以不能只考虑污染影响道路附近地区，而应当认为其对全城市的大气都有影响。这样就将交通量强度作为汽车排气污染的指标，来评价环境污染。据大阪府交通量的调查，单位评价地区的交通量与车速为 40km/h 的通过时间之乘积，即得交通量强度。即：

交通量强度 = 交通量 × 通过时间

排气量 (g/h) = 排放系数 × 交通量强度

排放系数单位： $\frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{辆}}$ ；

交通量单位：辆/h；

交通量强度单位：辆。

通过上式计算，他们做出大阪府单位地区的交通量强度分布图，分为五个等级。

(3) 烟尘、水质和噪声污染

烟尘污染：烟尘的主要排放源是工厂的烟囱。他们根据实测资料做出大阪府的烟尘年平均等值线图，找出的污染严重区是临海地带、市中心区。其次，烟尘污染季节变化较大，尤其是在重污染区域。

水质污染：流过大阪平原的河道有淀川水系、大和川水系等共 145 条。每条河流均由工业废水和城市污水污染，并且污染还在发展中。他们做出各河段的 BOD 值图将污染分成三个等级。

噪声污染：大阪府内共设 535 个测点，测定结果是市内各区噪声均超过 55dB (A)，超过 60dB (A) 的地区也不少，与其它污染参数相比，噪声的地区差别很小。

将大阪府各单位地区的上述环境污染因子的数据，统计成表（见表 9-6）。

4. 评价标准的制定

大阪府环境污染综合评价的标准，是根据以下各项要求考虑制定的：

(1) 考虑污染物造成的目前影响及其对将来的影响，为保障市民生活福利所需要的标准；

(2) 考虑日本现在已制定的环境标准；

(3) 从污染因子浓度与人群健康之间的关系出发，考虑其产生同等影响的浓度。

根据评价标准，大阪府在评价研究中，暂定各参数的标准，如表 9-7 所示。他们为了探讨这些标准的浓度数值，曾与世界卫生组织建议的空气质量分类进行比较。世界卫生组织的空气质量分类是：

一级：污染物低于或等于某浓度时，根据现有知识尚未查明有直接和间接的影响。

二级：污染物等于或高于某浓度时，对感觉器官有刺激，对草木有损害，视野减小，以及产生其它由浓度与暴露时间引起的综合性不良影响。

表 9-6 一些评价单位地区评价因子的数据

地区号码	二氧化硫 (ppm) $\times 10^{-2}$	交通量强度	噪 声 [dB (A)]	BOD (ppm)	烟 尘 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ×烟尘 (ppm× $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	9.16	90.30	60	25	153	14.0
12	6.92	114.00	60	15	150	10.4
13	9.18	3.78	60	20	160	14.7
24	6.92	126.90	60	3	155	10.7
32	4.88	90.90	47	12	160	7.8
46	4.62	347.90	62	13	160	7.4
60	3.94	26.50	54	40	160	6.3
75	5.48	7.30	55	10	180	5.6
104	4.14	15.00	53	4	50	2.1
122	3.60	29.00	59		50	1.8
138	4.10	121.00	57		80	3.3
170	7.18	118.80	51	15	140	10.1
175	6.00	335.10	56		130	7.8
180	4.22	41.60	56	7	130	5.5
191	4.56	70.20	52	10	100	4.6
209	5.64	141.90	61	100	150	8.5
216	3.20	39.10	45	5	80	2.6
219	6.14	23.40	71	15	140	8.6
237	3.20	7.40	45		80	2.7
252	3.82	32.00	55	16	100	3.8
259	2.80	50.90	50		50	1.4
277	3.24	23.40	53	10	60	1.9
282	3.48	8.90	45		50	1.6

表 9-7 大阪府的评价标准

评价参数	浓 度	评价参数	浓 度
SO ₂	0.05ppm (年平均)	BOD	10ppm
粉尘	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (年平均)	噪 声	50dB (A)
SO ₂ ×粉尘	10ppm× $\mu\text{g}/\text{m}^3$	交通量强度	95

三级：污染物等于或高于某浓度值时，可对重要生理机能产生妨碍，引起慢性疾病等。

四级：污染物等于或高于某值时，由浓度与暴露时间引起居民中敏感者患急性疾病。甚

至造成死亡的综合影响。

5. 调查居民对生活环境的感受及数学解析

该评价用通信方式调查了大阪府居民对生活环境的实际感受,然后用多变量解析法探讨各环境污染因子间的相对关系,即探讨各评价参数的权值。为了取得不同地区大量的典型材料,他们根据地区特点及污染程度的差异,将全府分成4类地区,即①工商业集中、污染最严重的大阪市区;②火力发电厂及石油化工联合企业等大型污染的界南地区;③飞机噪声影响强烈的北摄地区;④人口大量移向郊北的大阪府东部地区等。调查的项目主要有:噪声、恶臭、河道的清洁程度、河道的恶臭、交通量、洗的东西有没有脏、近处有没有工厂、门窗小五金及水管的腐蚀情况、有没有人吐痰和咳嗽、植物的花和果实是否易脱落、是否容易感冒、环境好不好、家中有没有灰尘、交通是否方便等共14项。每户项目分成五级评定。根据市民回信的材料,将上述14个项目视为调查变量,然后采用因子分析法,寻求各变量间的内在联系,即进行主成分分析和因子分析,以最终推求共同因子的数目和意义。为了便于对因子进行解释,多次进行基准轴的直交及斜交旋转。用微机对14个变量进行推算,计算出的上述14个变量的样本相关行列见表9-8。

从表9-8看出,与河道有关的两个变量和其它任何变量的相关性较低。这是因为各计算方块地区内,有的有河道,有的没有河道,对于与河道有关的变量的感受不同所致。

在进行因子分析时,推求的因子行列见表9-9。其中第一因子轴的说服力高。各变量均为正值,认为可以表示生活环境的综合评价。并据此求14个变量的 β -权值,见表9-10。再使14个变量组群化和给予意义,这样:

根据变量1及5的权求得噪声的权为9.2;

根据变量3及4的权求得BOD的权为5.8;

根据变量9及10的权求得 SO_2 的权为10.4;

根据6及13的权求得烟尘的权为9.1;

根据变量5的权求得交通量强度的权为10.4;

同时求得 SO_2 乘粉尘的权的平均值为9.8。

6. 综合评价及制图

对每个评价单位地区(2km^2 的方格),根据评价标准求得标准化了的各污染因子数值,然后结合各污染因子的权,算出综合评价值,见表9-11,为了便于比较各地区的环境污染情况,他们将综合评价值分成五级。综合评价值34、42、51、64的累积频率分别为20%、40%、60%、80%,呈正态分布。

根据表9-12,还可推求出各评价单位地区中,各种污染因子对综合评价值的分担率。总的看来,大阪府各地 SO_2 和烟尘的分担率最大,但也有个别地区BOD或交通量强度很大。当全部污染因子都与其评价标准相等,即 $S_{ij}=1$ 时,则综合评价值为54.7,相当于四级,因此四级的生活环境可以考虑为是坏的。

他们按各评价单位地区的环境级别,做出综合评价值的累积分布图,从此图上可以看出环境污染大致相等的地带,从而对全大阪府生活环境的概况及存在问题地区的分布有所了解,并可用于环境管理和规划。

表 9 8

样 本 相 关 行 列

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.0000	0.6144	0.2787	0.4296	0.7548	0.8172	0.6477	0.7605	0.6765	0.7699	0.7419	0.8457	0.8204	0.3724
2		1.0000	0.6312	0.7354	0.4701	0.6467	0.7590	0.7771	0.5630	0.6554	0.6979	0.7344	0.6293	0.0666
3			1.0000	0.9329	0.2127	0.2844	0.4525	0.4247	0.3827	0.2957	0.3291	0.3483	0.3074	0.1234
4				1.0000	0.3533	0.4435	0.5508	0.5680	0.5111	0.4569	0.4869	0.4963	0.4652	0.0733
5					1.0000	0.7837	0.5008	0.7309	0.7455	0.8049	0.7598	0.7476	0.7356	0.4657
6						1.0000	0.7342	0.8897	0.7485	0.9141	0.8398	0.9210	0.8436	0.4812
7							1.0000	0.8137	0.5655	0.6716	0.6921	0.7806	0.6868	0.0927
8								1.0000	0.7398	0.8885	0.8614	0.8993	0.7854	0.3778
9									1.0000	0.8056	0.7712	0.7533	0.7289	0.3851
10										1.0000	0.8752	0.9107	0.8606	0.5023
11											1.0000	0.8942	0.7902	0.3255
12												1.0000	0.8784	0.4114
13													1.0000	0.4145
14														1.0000

表 9-9

因子行列表

变 量	因 子 行 列			轴旋转后的因子行列		
	1	2	3	1	2	3
1	0.8507	0.1492	0.0329	0.5935	0.1858	0.5518
2	0.7820	-0.3805	0.1840	0.1950	0.5361	0.6819
3	0.4783	-0.8002	-0.2491	0.0120	0.9489	0.1761
4	0.6285	-0.7156	-0.1987	0.1254	0.9137	0.3087
5	0.3045	0.2801	-0.2331	0.7914	0.1546	0.3500
6	0.9305	0.1982	0.0429	0.6767	0.1508	0.6436
7	0.7944	-0.1979	0.3782	0.1928	0.3117	0.8195
8	0.9387	-0.0017	0.1110	0.5420	0.3013	0.7241
9	0.8244	0.0690	-0.2433	0.7015	0.3390	0.3826
10	0.9341	0.2021	-0.0626	0.7432	0.1968	0.5810
11	0.9052	0.0871	0.0602	0.5978	0.2326	0.6648
12	0.9552	0.1084	0.1209	0.6004	0.2156	0.7194
13	0.8893	0.1456	0.0101	0.6333	0.2087	0.5740
14	0.3884	0.5016	-0.2389	0.6655	0.1729	0.0379
特性值	9.2091	1.8141	0.5019			

表 9-10

 β 权的数值

变 量	1	2	3	4	5	6	7
β -权	0.0797	0.1087	0.0582	0.0574	0.1036	0.0829	0.0712
变 量	8	9	10	11	12	13	14
β -权	0.0661	0.0919	0.1149	0.0775	0.1489	0.0988	0.0404

表 9-11

综合评价值分级

级 别	综合评价值	评 语	级 别	综合评价值	评 语
1	<34	略好	4	51~64	坏
2	34~42	一般	5	>64	最坏
3	42~51	稍坏			

表 9-12

一些评价单位地区的污染因子数值：综合评价价值及环境级别

地区号码	SO ₂	交通量强度	噪 声	BOD	烟 尘	相乘效果	综合评价价值	环境级别
4	19.03	9.88	11.04	14.50	13.92	13.72	82.10	5
12	14.35	12.48	11.04	8.70	13.65	9.80	70.02	5
32	10.19	9.98	8.65	6.96	14.56	7.34	58.18	4
38	14.66	21.11	11.22	6.96	19.11	14.70	87.77	5
46	9.57	38.06	11.41	7.54	14.56	6.86	88.00	5
54	14.04	18.20	11.04	2.90	15.47	10.78	72.43	5
60	8.22	2.91	9.94	23.20	14.56	5.68	67.70	5
75	11.44	0.83	10.12	5.80	16.38	2.94	47.51	3
104	8.63	1.66	9.81	2.32	4.55	1.96	28.97	1
110	7.80	12.17	10.67	1.74	4.55	1.96	38.89	2
122	7.49	3.22	10.86		4.55	1.96	28.08	1
138	8.53	13.31	10.49		7.28	2.94	42.55	3
149	7.80	0.52	9.20	2.90	7.28	2.94	30.64	1
170	14.98	13.00	9.29	8.70	12.74	9.80	68.51	5
171	11.75	26.83	11.04	2.32	10.94	6.86	67.40	5
175	12.48	36.71	10.21		11.83	7.84	79.07	5
180	8.74	4.57	10.30		11.83	4.90	44.41	3
191	9.46	7.70	9.48	5.80	9.10	4.90	46.44	3
216	6.66	4.26	8.26	2.90	7.28	2.94	32.32	1
219	12.79	2.60	13.06	8.70	12.74	8.82	58.72	4
237	6.66	0.83	8.28		7.28	2.94	25.99	1
252	7.90	3.54	10.12	9.28	9.10	3.92	43.86	3
259	5.82	5.62	9.20		4.55	0.98	26.17	1
282	6.86	0.94	8.28		4.55	1.57	22.20	1

三、区域环境污染现状评价实例

辽阳石油化纤公司（简称辽化）是现代化大型石油化纤联合企业，区域环境污染现状评价以辽化地区环境质量综合评价为例。每天排放的各种废水约 14 万 m³，各种废气约 115 万 m³。经过监测调查获取大批数据，为进行环境质量综合评价提供了有用依据。

1. 大气质量状况

(1) 大气环境监测结果

1987 年每季度连续 5 天对辽化地区 4 个功能区进行了监测，结果见表 9-13。

(2) 四项污染物污染负荷比

自然降尘：47.48%；总悬浮微粒：27.10%；二氧化硫：15.87%；氮氧化物：9.55%。

(3) 大气环境质量现状评价

表 9 13

辽化 1987 年各功能区大气监测结果

项 目	类 别	分 区				
		辽化地区	其 中			
			工 业 区 (化工二厂)	居 民 区 (二区幼儿园)	交 通 区 (宏伟区道口)	对 照 区 (制氧工段)
		浓 度				
总 悬 浮 微 粒	国标*(0.3mg/m ³)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	年均值(mg/m ³)	0.1455	0.2073	0.1282	0.0719	0.1351
	浓度范围(mg/m ³)	0.0086~0.900	0.0101~0.900	0.0101~0.452	0.0294~0.115	0.0086~0.450
	全年采样次数	135	40	30	30	35
	全年合格率(%)	85	90	93.3	96.6	82.9
自 然 降 尘	国标**(13.9t/km ² /月)	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
	年均值(t/km ² /月)	11.88	10.52	11.18	13.94	
	浓度范围(t/km ² /月)	6.96~1986	7.22~13.80	7.29~19.86	3.23~26.32	
	全年采样次数	36	12	12	12	
	全年合格率(%)	80	83	75	67	
二 氧 化 硫	国标(0.15mg/m ³)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	年均值(mg/m ³)	0.0256	0.0387	0.0263	0.0021	0.0227
	浓度范围(mg/m ³)	0.0~0.287	0.0~0.125	0.0~0.287	0.00027~0.004	0.0~0.0227
	全年采样次数	225	60	60	60	45
	全年合格率(%)	94.2	95	95	93.3	93.3
氮 氧 化 物	国标(0.1mg/m ³)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	年均值(mg/m ³)	0.0284	0.0310	0.0283	0.0297	0.0241
	浓度范围(mg/m ³)	0.0~0.150	0.0~0.150	0.0~0.074	0.0~0.044	0.0~0.092
	全年采样次数	215	60	60	60	35
	全年合格率(%)	99.1	96.7	100	100	100

* 国标系指 (GB3095-82)《中华人民共和国国家大气环境质量标准》中规定的二级标准。

** 自然降尘在清洁区基础上允许增加 8t/km²/月,辽化本底值清洁区为 5.9t/km²/月,增加 8t/km²/月,则标准为 13.9t/km²/月。

应用大气监测评价方法，得到该地区的大气质量评价结果为：各功能区（工业、居民区等）均为良好级（国家二级）。

2. 废水排出口水质状况

辽化废水分三股排出：

- (1) 工业废水，通过废水提升总泵站排出。
- (2) 近似清洁废水，从管桥出口排出。
- (3) 杂废水，通过明沟从孤榆树出口排放。

三种废水的监测结果见表 9-14。

表 9-14 1987 年三种废水监测结果

项 目	类 别	采 样 点		
		总 泵 站	稀释泵站	孤榆树出口
		浓 度		
COD _{Cr}	国标 (100mg/l)	100	省标 **50	省标 50
	年均值 (mg/l)	94.69	9.55	32.20
	浓度范围 (mg/l)	48.17~268.20	0.27~33.08	5.87~65.18
	全年采样数	253	257	6
	全年合格率 (%)	75.5	98.4	83.3
石油类	国标 (10mg/l)	10	省标 3	省标 3
	年均值 (mg/l)	3.61	0.76	2.42
	浓度范围 (mg/l)	0.8~9.02	0.11~4.78	0.0~4.1
	全年采样数	248	249	5
	全年合格率 (%)	91.1	97.2	60
酚	国标 (0.5mg/l)	0.5	省标 0.5	省标 0.5
	年均值 (mg/l)	0.0107	0.003	0.0038
	浓度范围 (mg/l)	0.0033~0.24	0.0~0.030	0.0~0.006
	全年采样数	229	239	4
	全年合格率 (%)	100	100	100
BOD ₅	国标 (60mg/l)	60	省标 30	省标 0.5
	年均值 (mg/l)	24.09	4.99	13.36
	浓度范围 (mg/l)	5.42~37.8	1.62~7.27	0.0~13.36
	全年采样数	81	87	1
	全年合格率 (%)	95.1	100	100
硫化物	国标 (1.0mg/l)	1.0	省标 0.5	省标 0.5
	年均值 (mg/l)	0.371	0.081	0.50
	浓度范围 (mg/l)	0.18~1.14	0.008~0.1934	0.0~0.96
	全年采样数	235	246	3
	全年合格率 (%)	90.2	99.2	33.3

续表

项 目	类 别	采 样 点		
		总 泵 站	稀释泵站	孤榆树出口
		浓 度		
氰化物	国标 (0.5mg/l)	0.5	省标 0.5	省标 0.5
	年均值 (mg/l)	0.0142	0.0002	0.0102
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.0284	0.0~0.002	0.002~0.0154
	全年采样数	224	233	5
	全年合格率 (%)	100	100	100
悬浮物	国标 (500mg/l)	500	省标 100	省标 100
	年均值 (mg/l)	24.87	10.87	71.32
	浓度范围 (mg/l)	7.58~90.68	1.15~76.53	42.33~159.5
	全年采样数	241	249	4
	全年合格率 (%)	100	100	75
六价铬	国标 (0.5mg/l)	0.5	省标 0.2	省标 0.2
	年均值 (mg/l)	0.0231	0.0006	0.0
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.232	0.0~0.004	0.0~0.0
	全年采样数	23	22	3
	全年合格率 (%)	100	100	100
铅	国标 (1.0mg/l)	1.0	省标 0.5	省标 0.5
	年均值 (mg/l)	0.0	0.0	0.0
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.0	0.0~0.0	0.0~0.0
	全年采样数	15	15	3
	全年合格率 (%)	100	100	100
汞	国标 (0.05mg/l)	0.05	省标 0.005	省标 0.005
	年均值 (mg/l)	0.0011	0.0004	0.0
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.085	0.0~0.0015	0.0~0.0
	全年采样数	16	18	3
	全年合格率 (%)	93.8	100	100
砷	国标 (0.5mg/l)	0.5	省标 0.4	省标 0.4
	年均值 (mg/l)	0.004	0.0066	0.002
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.095	0.0~0.0315	0.0~0.006
	全年采样数	22	23	3
	全年合格率 (%)	100	100	66.6
镉	国标 (0.1mg/l)	0.1	省标 0.05	省标 0.05
	年均值 (mg/l)	0.0	0.0	0.0
	浓度范围 (mg/l)	0.0~0.0	0.0~0.0	0.0~0.0
	全年采样数	3	6	3
	全年合格率 (%)	100	100	100

* 辽化三种废水监测点为：工业废水为总泵站，清洁废水为稀释泵站，明沟污水为孤榆树出口。

** 是指辽宁省城乡建设环境保护厅 1983 年 9 月 2 日发布 (辽 Q1647-83)《辽宁省环境污染物排放标准》。

通过污染源评价，得到三种废水的等标污染负荷比为：

工业废水：32.99%；近似清洁废水：14.37%；杂废水：52.64%。

由于明沟排放的杂废水的水质复杂，对水体污染影响大，又通过污染源评价，找出主要的排放源。选择的评价参数为 COD、BOD、石油类、悬浮物、酚、六价铬、铅、砷、镉等 10 项。各污染源的等标污染负荷比为：①化工实验厂为 66.82%；②化工四厂为 20.35%；

③化工二厂为 10.03%；④化工一厂为 1.32%；⑤化工三厂为 0.98%。

由此确定主要污染源是化工实验厂和化工四厂，须重点治理。

3. 各类废水排放对太子河水域的影响评价

(1) 水质监测

在丰水期、平水期和枯水区，曾多次对排入太子河水的工业污水、近似清洁废水及明沟污水进行了监测（1987 年），结果见表 9-15。

表 9-15

各水域监测结果

mg/l

项 目	监 测 点								
	孤榆树上游	孤榆树出口	孤榆树下游	管桥上游	管桥出口	管桥下游	蛤蜊上游	蛤蜊出口	蛤蜊下游
	浓 度								
COD _{Mn}	1.3	5.22	2.97	2.97	3.77	2.11	3.13	7.37	3.96
石油类	0.06	0.74	0.17	0.17	0.68	0.16	—	0.06	0.15
总硬度	3.2	4.75	6.33	6.33	3.53	3.43	3.50	3.50	3.60
硫酸盐	18.4	18.4	—	—	—	—	66.0	63.3	56.4
酚	* —	0.00038	—	—	—	—	—	0.008	0.0057
氨氮	1.9	2.26	1.58	0.90	1.33	1.04	1.01	1.58	0.63
氰化物	—	0.102	—	—	—	—	0.003	0.0045	0.004
悬浮物	—	71.62	—	—	8.5	—	7.0	22.17	15.33
浊度	42.0	15.3	24.0	24.0	22.7	15.0	6.0	8.0	—
铜	—	—	—	—	—	—	—	—	—
铅	—	—	—	—	—	—	—	—	—
锌	—	—	—	—	0.142	—	—	—	—
镉	—	—	—	—	—	—	—	—	—
汞	—	—	—	—	—	—	—	—	—
砷	—	0.002	—	—	0.0013	—	—	0.0045	0.007
六价铬	—	—	—	—	—	—	—	—	—
氯离子	14.2	122.48	15.98	10.98	17.74	20.43	21.30	16.87	23.08
硫化物	0.18	0.51	0.17	0.17	—	0.107	0.12	0.107	0.16
溶解氧	7.3	2.4	4.9	4.9	4.7	5.4	4.0	1.4	3.6

* — 为未检出。

(2) 水质评价

评价参数选用 COD、石油类、酚、氰化物、铜、锌、铅、镉、砷、六价铬等十项。

评价标准为：(GB3838—83)《地面水环境质量标准》的二级标准和 (GBJ36—79)《地面水中有害物质最高容许浓度》。

评价公式选用南京水质指数：

$$K = \sum_{i=1}^n 0.1 \times \frac{C_i}{C_{0i}}$$

式中 C_i ——河水中 i 污染物的监测浓度；

C_{0i} —— i 污染物的评价标准。

评价分级系统（见表 9-16）。

表 9-16 评 价 分 级 系 统

污染指数 K	污染分级	污染指数 K	污染分级
<0.1	未受污染	$0.5 \sim 1.0$	中度污染
$0.1 \sim 0.2$	微度污染	$1.0 \sim 5.0$	重度污染
$0.2 \sim 0.5$	轻度污染	>5	严重污染

4. 明沟杂废水对地下水水质的影响

(1) 水质监测

在 1987 年按枯、平、丰三个水期对明沟沿线饮用水水井的水质进行了监测。

(2) 地下水水质评价

评价参数为六价铬、铜、铅、锌、镉、氰化物、硬度等。

评价指数为：

$$p = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i —— i 污染物浓度；

S_i ——饮用水浓度（TJ20—76），饮用水水质标准。

5. 噪声

(1) 噪声监测

1) 环境噪声，根据辽化地区的特点及测试力量情况，区域环境噪声测量限于在居民住宅、机关学校、工业企业及商业网点和其它空矿地区进行测量，测量方法采用网格布点法，将测量范围按 $250\text{m} \times 250\text{m}$ 距离均匀划分为 125 个网格。

2) 功能区环境噪声，在区域环境噪声测量范围内，根据辽化不同功能区分布特点选择三个监测点，即工业区、生活区、商业区。其设点要求在具有功能区特点的地方。

3) 交通噪声，交通噪声布点在有代表性的交通路口、车流量较大的地方，监测结果列于表 9-17。

(2) 评价标准

采用辽化地方环境噪声标准（见表 9-18）。

(3) 分析与评价

根据城市噪声标准衡量辽化地区噪声，其中工业区 31.3% 超标，生活区 95.1% 超标，其它区 16% 超标。根据地方标准，基本符合要求。辽化的噪声主要是工业声源引起的，应该加强治理。今后应注意各功能区的合理布局，创造安静的环境。

表 9-17

昼夜环境噪声统计表

dB (A)

声源类型	白 天						夜 间			
	测点	占测点%	L_{90}	L_{50}	L_{10}	L_{eq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}	L_{eq}
工业区	51	40.8	58.1	59.6	61.2	60.5	55.8	57.3	59.2	57.7
生活区	37	29.6	47.1	51.9	58.3	55.9	42.6	43.7	45.1	42.2
其它区	37	29.8	50.8	53.5	57.5	54.7	49.5	51.3	52.0	50.6
全测区	125	100	50.2	55	59.1	57.0	50.8	50.8	52.1	50.2

表 9-18

辽化地区环境噪声标准

dB (A)

地 区 类 型	白 天	夜 间	地 区 类 型	白 天	夜 间
特别需要安静区	45	35	工业集中区	70	55
居民文教区	50	40	交通干线两侧	70	55
居民商业混合区	55	45			

6. 评价结果分析

(1) 辽化地区大气质量是好的, 按大气监测评价法可定为良好级。

(2) 辽化排放的水污染物主要随工业废水和杂废水排出。杂废水中的污染物主要是化工实验厂和化工四厂排放的。

(3) 辽化废水对太子河水质有轻度污染。

(4) 明沟排放的杂废水对地下水水质影响不显著。

(5) 辽化的噪声超过我国城市环境噪声标准, 但基本上符合辽化地区环境噪声标准。

复 习 题

1. 什么是区域环境质量综合评价?
2. 环境质量综合评价有哪两种方法?
3. 加拿大的总环境质量指数 (EQI) 有哪几点特征?
4. 大阪府的环境污染综合评价方法的特点是什么?

第十章 其它环境要素的环境影响评价

第一节 生物环境影响评价

一、建设项目对生物环境的主要途径

建设项目主要通过两条途径影响生物环境，对生物造成危害。第一条途径是开发活动对自然环境造成非污染性破坏，使生物环境发生物理变化，进而对生物的繁衍生息产生影响。这个途径如图 10-1 (a) 所示。第二条途径是开发活动所排出的污染物，通过大气、水体、土壤等环境介质，进入生物体，并对其产生危害。这条途径如图 10-1 (b) 所示。在预测开发活动的生态效应时，应以这两条主要途径综合分析开发活动对生物环境的影响。火电厂建设和生产过程对生物的典型影响主要体现在四个方面：①噪声污染改变了动物的繁殖和觅食活动；②水体热污染改变水生生物的生活方式；③辐射作用可能丧失某些野生生物；④排放的大气、水体污染物和粉煤灰对水生生物和陆地生物的伤害。进行该类评价时，应充分注意到以上四点。

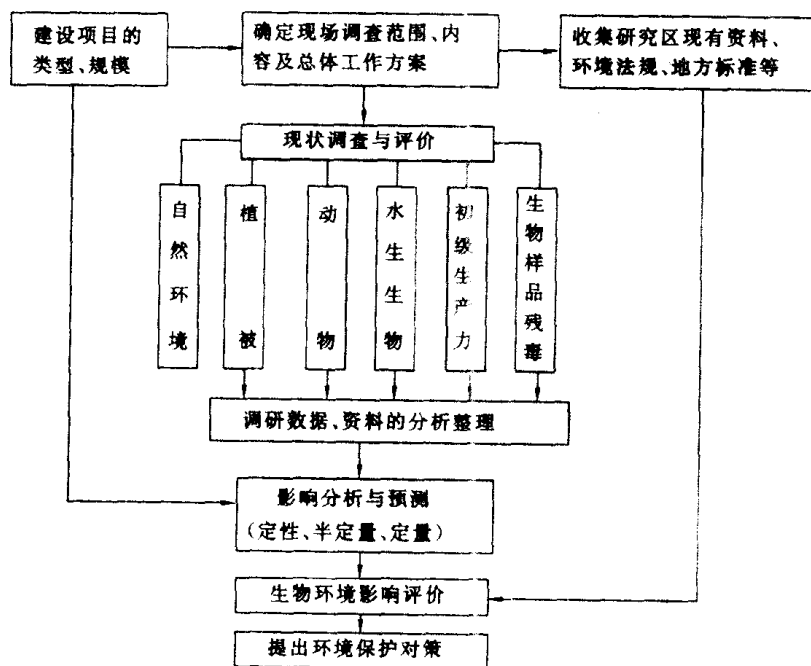


图 10-1 开发活动影响生物环境的途径

二、生物环境影响评价的主要内容和要求

(一) 主要内容

(1) 编制评价区内构成生物环境现状的动植物一览表，并说明各种群落类型及其地理分布特征，重点说明区域内是否有应保护的稀有物种和濒危物种，是否有珍稀动物的栖息

地，是否有独特的生态系统。

(2) 讨论未经开发前区域生态系统的自然演变趋势。

(3) 根据开发项目的类型、位置、规模和开发过程，预测对组成生物环境的动、植物的直接和间接影响，一次影响和二次影响，包括由于破坏环境所造成的影响和由于污染物排放所造成的影响。

(4) 比较各种开发活动方案的生态后果，并根据未开发前区域生态系统的自然演变趋势，以生态经济学的观点，进行建设项目的损益分析。

(5) 根据影响分析和评价结论，制定保护区域生物环境的对策。

(二) 工作要求

建设项目对生物的影响预测和评价，按不同情况，以两种方法进行。

1. 初步评价

符合下列两个条件之一时，可采用初步评价方法：

(1) 根据开发区域的自然环境状况及建设项目的类型、位置、规模，可明显地判断出项目在建设过程中和建成后对生物是否产生直接或间接的重大影响；

(2) 区域内没有珍稀动、植物物种。进行初步评价，一般只能用定性描述的方法。

2. 详细评价

有下列情况之一时，应进行详细评价：

(1) 重大或特殊的开发项目；

(2) 不能明显地判断建设项目是否会对生物产生重大影响；

(3) 开发区域有珍稀物种或有独特的生态系统；

(4) 对初步的评价结论发生争议。

详细评价中应有较完整的定性分析结果，必要时，应有半定量或定量计算结果。

三、生物环境影响评价的基本工作程序

建设项目对生物的影响分析和预测评价工作可分为4个阶段：准备阶段；现场调查与预测阶段；评价阶段；提出环保对策阶段。基本工作程序见图10-2。

四、生物环境影响评价的基本方法

1. 生物物种表

生物物种表可分为陆生植物、动物物种表与水生植物、动物物种表。列物种名称时，应把物种的科学名称与通用名称都列上，该方法的作用和局限性如下：

(1) 生物物种表可用来描述环境现状。

(2) 可利用物种清单对环境影响作定性的讨论，并根据物种对环境影响的适应性与敏感性选择评价的物种。

(3) 生物物种表的局限性。

1) 着眼于单一物种，忽略了系统性，如食物链关系。

2) 注重列表而忽略了环境影响。

2. 一般的生物环境方法

生物环境是指植物和动物群落生存的环境，如森林、沙漠等。

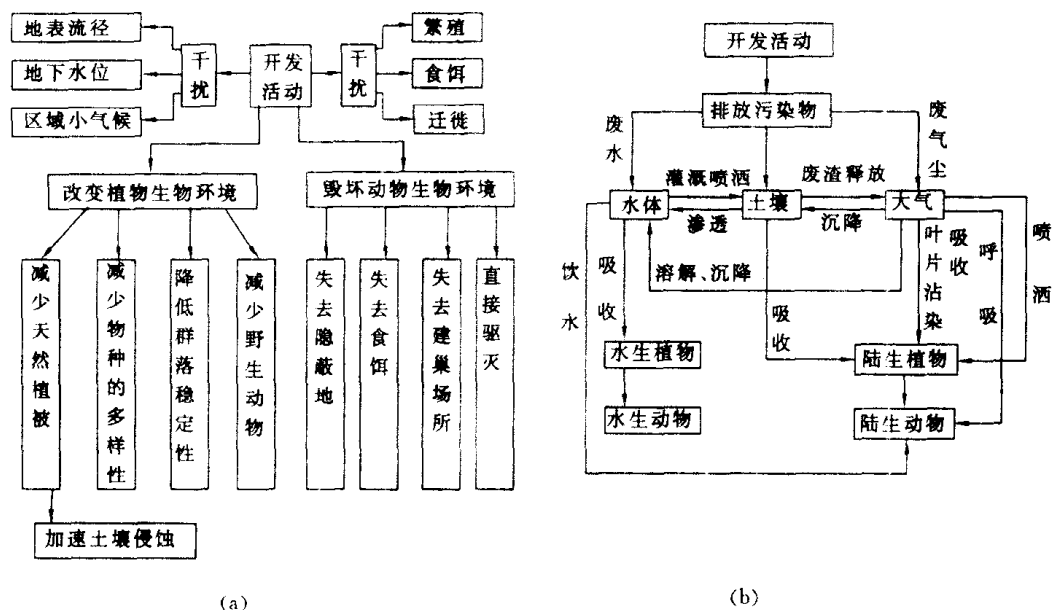


图 10-2 生物环境影响评价基本工作程序

该方法是依据有关动物、植物对生物环境要求的有关边界资料，以及利用地图、图表及照片，划分生境类型。根据不同生物环境类型预测的变化预测影响。其应用范围及不足如下：

(1) 该方法提供了系统关系的资料，如食物网。

(2) 该方法在描述环境与生产影响的时候着重于分析生物的系统关系，提供了系统的结构。

(3) 该方法的不足之处是定性多，定量少。

3. 生物环境指数法

(1) 生物环境指数法分类

1) 生物环境评价法 (HEP)。

2) 生物环境评价系统 (HES)。

(2) 生物环境指标评分

生物环境指标分数 = (某一类型生物培养面积) × (某一类型生物环境质量指数)

(3) 生物环境质量

生物环境质量与诸多因素有关，即：

生物环境质量 = ϕ (参数)

一般选 8~10 个参数，分析它们对生物环境质量的影响，建立各项参数与生物环境质量指标之间的函数关系。

生物环境质量指数 (HQI) 按下式计算：

$$HQI = \sum_{i=1}^n \text{重要性权值参数 } i \times \text{生物环境质量指数参数 } i$$

与生物环境质量指数有关的各项参数的数值由生物专家小组制定。

(4) 生物环境指数法特点

- 1) 根据生物环境面积与生物环境质量指数确定生物环境质量。
- 2) 提供了生物环境的系统结构, 定量地描述了生物环境质量。
- 3) 要求选择参数, 而这些参数往往很难确定。

4. 生态系统模拟模型

生态系统是一个由生物群落及其环境所构成的复杂系统。对于一个系统的动态关系和功能, 单靠直接观察是无法了解其详情的, 为了深入研究和认识生态系统的全部过程, 指出建设项目对生态系统各成分的影响, 为预测和对策提供依据, 需应用数学方法和电算技术对生态系统进行模拟分析。

到目前为止, 生态模型的研制已采用至少两种不同的方法, 一种是分室系统法, 另一种是实验成分法。

建立分室模型, 主要是为了考察生态系统中能量流动或物质循环的总动态。大体作法是: 根据预定的模型目标, 确定系统的若干基本成分(分室), 通过野外观测和实验研究, 建立整个系统的数学模型。分室模型所用的必需数据, 主要来自野外观测, 模型参数值通常是由观测数据来估计的。在建立分室模型时, 可以把内部结构尚不清楚的分室, 当做黑箱, 通过研究这个黑箱的输入与输出关系, 预测系统的行为。

实验成分法是由 Hnlling (1966) 提出的。这个方法是将所研究的生态学过程分成很简单的方程式或方程组来描述, 最后利用计算机把这些基本成分模型合并为全过程模型或过程集合模型。这种研究方法强调生态学过程的详细分析, 侧重于预报系统对于干扰和控制的反应。实验成分模型的参数值通常是由实验考察结果求得的。在生态系统模型的研制中, 为了描述整个系统的动态行为, 往往需要阐明系统中所发生的某些生态学过程, 生态系统模型的部分参数值, 亦须根据实验考察结果来确定。因此, 所有的生态系统模型几乎都是这两种方法结合应用的产物。

生态系统模型方法的优点首先在于它不仅可以表示建设开发活动对某一要素的影响, 而且可以表示这种影响如何通过各种要素间的联系扩大到整个生态系统。其次, 选用最能反映建设开发活动的影响指标为模型的控制变量, 即把对生态系统的影响简化为对所选择指标的影响, 比较符合人们目前的技术水平, 有利于预测模型的建立。

由于人们对于生物调节和反馈联系的概念还不十分了解, 即目前仍缺乏生态学综合基础理论。再加上建立模型所必需的某些资料不全以及生态演化的非线性, 建立和应用生态系统模型是十分困难的。

第二节 社会—经济环境影响评价

一、社会—经济环境影响评价的影响因素

由于社会—经济系统涉及到人们的生产和生活的方方面面, 因此该类评价的影响因素也极多。进行该系统的影响评价时, 需针对不同的开发行动去选择、判断有关的影响因素。

主要影响因素举例如下：

1. 人口及人口结构

要考虑男女人口比例、人口的年龄结构、职业结构、文化结构等，其变化是引起社会经济环境变化的主导因素。

2. 社会发展状况

主要包括社会经济发展水平、工农业总产值、产业构成、产值构成、各产业部门的设备、技术、人员、原料及市场状况等。

3. 土地利用

现有土地类型，土地利用现状和水平，待开发利用的土地面积，土地开发利用潜力，土地开发利用规划等。

4. 住房

现有住房类型、比例，各类住房的设施条件、利用率，人均住房面积，住房供需状况等。

5. 社会服务性与福利设施

学校、医院、食堂、旅店、商店、上下水管线、道路、公园、公共交通、绿地等的总数量及人均占有量，主要社会服务及福利设施的装备水平、运行状况等。

6. 生活质量

生活质量分物质和精神两方面。物质方面如人们的食物构成，营养摄取状况，人均或户均收入，人们的穿着与住房条件，家庭设施和家用电器普及率等。精神方面如人们的日常文化娱乐生活的类型、内容、人均享有次数，人们用于精神文化生活的投资与比例等。

二、影响预测

1. 人口预测

(1) 简单计算

预测人口 = (现有人口) + (工程增加人数) + (工人家庭人数 + 服务人数)

其中工程增加人数包括工程建设增加人数与工程运行所需的人数。

(2) 采用复杂的预测模型

2. 经济预测

(1) 简单计算

(2) 复杂经济模型

3. 土地利用的变化

土地利用 = (由工程引起的土地变化) + (由于人口增长、经济与社会福利所引起的土地使用变化)

4. 住房

需要住房面积 = (新人口需要住房的面积) $\left\{ \begin{array}{l} \text{现有空着的房子} \\ \text{新房子} \left\{ \begin{array}{l} \text{暂时性房屋} \\ \text{永久性房屋} \end{array} \right. \end{array} \right.$

5. 社会服务与福利设施

例如：水利用影响，既需考虑现有水系统的水质及资源总量，又需考虑水的单位需用量，水需用量 = (新增加人员) × (每人用水量)。

三、影响评价

评价的依据是：

- (1) 最初的设计及与设计有关的新要求；
- (2) 规划标准与规定；
- (3) 采用地理平均值。

将社会—经济环境影响因素的预测结果参照上述评价依据作出人为评价，最后，对整个社会—经济的未来发展变化趋势作出预测和评价。

第三节 建设项目的环境影响经济损益分析

建设项目的环境影响经济损益分析，在建设项目的环境影响评价工作中占有十分重要的地位。而衡量一个建设项目的环境影响经济效果，除了计算其费用以外，还要计算它的收益。费用—收益分析（损益分析）的目的，就是全面衡量一个建设项目在经济上的优劣。

一、费用—收益分析的基本思想

这里，我们以确定污染物最佳去除水平为例，介绍费用—收益分析的基本思想。

若以 x 表示污染物的除去量， B 表示相应的总收益， C 表示相应的总费用，令

$$B = f_1(x)$$

$$C = f_2(x)$$

在最佳的污染物除去水平上，应有：

$$\max(B - C) = \max[f_1(x) - f_2(x)]$$

或

$$\frac{df_1(x)}{dx} = \frac{df_2(x)}{dx}$$

如果 $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 的函数形式及其参数可以以一定的精度确定的话，就可以用上式来确定最佳污染物除去水平。

从社会经济学观点出发，任何一项建设项目对环境的影响能够实现的值在于它的收益必须大于费用，也就是说，应有：

$$B - C > 0$$

$$B/C > 1$$

能够取得最净收益（净收益 = $B - C$ ）的方案，就是建设项目的最佳方案。

二、费用、收益的分类

1. 费用的分类

防止环境污染，减轻或防止环境质量下降，维护与发展环境的某些机能，以及为创建舒适优美的新环境所付出的花费，都属环境费用。美国环境质量委员会将环境费用分为四

类：

(1) 损害费用

是污染本身的直接费用，如有害污水排到河里使渔业遭受损失的赔偿费，或由污染引起人体生病的治疗费，以及由此而致死的人员所支付的丧葬费、抚恤费等。

(2) 防护费用

是人们为要避免污染而付出的费用。为了避免污染危害而增添的净化、防患装置等付出的费用，包括建筑、安装、运转、维修费用。例如，为了防止噪声、振动危害而发生的隔音和减振费用，为躲避居住环境恶化而支付的集体搬迁费用等。

(3) 管理费用

是指搜集污染情报的费用以及反污染业务所支付的监测费、科研费以及增设这些机构所花费的基建投资、人员工资费用等。

(4) 清除费用

是指为防止或减轻污染发生的清除污染的费用，如污水处理厂、除尘器、脱硫装置、垃圾焚烧炉等的费用。

根据我国实际情况，还应加上排污费用。排污费是由环保部门按谁污染谁治理的原则向排污单位收缴的排污费及超标排放罚款等项费用。

从经济学角度讲，按外部费用和内部费用划分环境费用更为恰当。

(1) 内部费用

内部费用是指企业为了防止污染而安装的防治设备的投资和运行费用，这一部分费用由企业支付，以计入成本方式最终转嫁给消费者。例如有关污染控制设备的投资和运行费用。

(2) 外部费用

外部费用是指由于开发利用水、气、矿产等自然资源或工厂排出污染物造成对自然资源及环境质量损害费用，这部分费用可分为以下三方面：

1) 以对社会产生的损失为出发点。其中有：①因污染而致害的赔偿费；②因污染而致病的医疗费，丧失劳动能力而补发的工资，丧葬抚恤费；③因工人健康受到损害造成劳动生产率降低，劳动力不足而增加临时工所增加的工资，以及因污染造成的生产产量或质量下降的损失。

2) 因污染造成的国民经济上的损失，以水污染为例：①工业上，因水质下降而使给水处理费增加，能耗增加，发电量减少；②农业上，因污水灌溉而污染土地造成农业减产，不合理的水利工程造成土壤次生盐碱化致使农业减产，粮食、蔬菜受到污染而使产量下降或售价降低等；③渔业上，因水污染造成渔业产量下降，水产品不能食用等；

3) 因污染造成生态破坏，珍稀动、植物资源数量、质量下降；对自然资源乱耕滥伐，过量开发，无代价的丢弃，造成资源耗竭，难于恢复。

2. 收益的分类

环境收益的确定要比环境费用的确定复杂些，大致可分为货币收益和非货币收益两种：

(1) 货币收益

货币收益指可以用市场价格直接估值的部分。又可以分为直接收益和间接收益两种情况：

直接收益：如建设水库，使发电量增加，水电费降低，给水费降低及多种经营带来的收益等。又如水质改善，使水处理费降低，产品质量改善等。

间接收益：增加灌溉使农业增产，提高水的自净能力等。

(2) 非货币收益

非货币收益指市场规律失效的部分。例如风景区环境改善后，旅游人数增加而带来收益增加；生态环境改善后，使益鸟、珍禽栖息地恢复的收益等。

由于不确定因素较多，计算收益时要列举出各个可能的方面，并要逐一考虑和计算。它们的内容要根据研究对象的具体情况确定。

三、费用—收益分析的步骤和计算方法

1. 费用—收益分析的步骤

(1) 根据社会、经济和技术各方面因素的综合研究，确定建设项目的环境污染控制目标。目标对象和目标值要根据污染源评价和环境现状评价结果而定。

(2) 确定为达到以上目标而可供选择的方案。例如对各污染源实施均匀处理，最低费用处理，区域最优化处理等等。但这些方案必须是切实可行的。

(3) 分析各方案对自然条件及社会经济的全部影响。

(4) 计算各方案的费用及收益，能用货币表示的全部用货币表示，不能折算成货币的则可定性地描述。

(5) 计算各方案的净收益，一般以净收益最大的方案作为最佳方案。

(6) 编制费用—收益分析的有关曲线和表格，为决策提供依据。

2. 费用—收益的计算方法

目前，我国刚刚开始研究费用—收益的计算方法，现选择三种国外采用过的方法介绍如下：

(1) 数学模型法

应用经验的数学关系式来计算经济或生态损害的方法，如效用函数法、费用函数法、生态经济模型等，举两例说明：

1) 污灌损害。污灌造成的农业损害，日本用下式计算：

$$D = r_0 - r_1$$

式中 r_0 ——无污染损害的农业生产收入；

r_1 ——农业生产的实际收入。

首先求出 r_0

$$r_0 = S \cdot r$$

式中 S ——农场土地总面积；

r ——无污染损害的单位产量。

其生产收入

$$r = \frac{r_1}{S - \alpha S_1}$$

式中 S_1 ——污灌恶化了的土地面积；

α ——污灌造成的减产数量，%。

此模式也可用于酸雨、尾矿砂对农业、林业、水产损害的计算。

2) 大气污染对居民的损害。因燃油、燃煤所发生的大气污染给每户居民造成的损失；日本采用下面回归关系式计算：

$$\lg r_0 = 0.462 \lg x_0 + 1.884$$

式中 x_0 ——燃料数量；

r_0 ——家庭生活费损失额。

损失包括对居住特性的破坏—房价或房租的降低；粉刷维修费用额外增多；为避免受害而搬迁的费用；医疗费支付；洗涤次数增加；物品污损及果蔬、花木死亡的损失等。

(2) 影子价格法

影子价格法是在计算某一个区域环境所带来的收益或损害时，可以假设一同样大小和生态功能的环境所需要的总收益或总费用作为补偿费用，代表该区域的收益或费用。也就是用“影子价格”把环境功能价格化的一种方法，先分别计算环境中各种功能的价值，后求出环境的总价值。下面以森林的公益效能计量的办法加以说明。

把森林每年带给社会的效益，按照它所起的作用，进行货币估值。如果森林不存在了，要用另外的办法取得现在森林所起的对社会有益的效果，每年所要花的钱数，就作为森林收益的钱数。具体地说，森林有涵养水分的功能，计算某一地区森林可以涵养多少水量，然后与蓄积同样多水量的水库相比，水库所耗费的钱就是这个地区森林涵养水分的收益。同样，把能够想到的森林公益的各个方面的钱加起来，最后就得到了森林的总收益。日本调查了全国森林所涵养的水分为 $2300 \times 10^8 \text{t}$ ，要建造水库储蓄同样多的水量就需要 16000 亿日元，森林各种效能的总收益每年估算为 128000 亿日元，这相当于日本 1972 年全国财政支出。可见，森林所起的作用是非常大的。

(3) 能量成本法

这种方法是根据生态系统的能量生产总值，并将其换算成货币单位来估算收益或费用的方法。先从国民经济生产总值与总能耗之比中求出能量的单位价值：

$$\text{能量单位价值} = \frac{\text{国民生产总值}}{\text{国家总能耗}}$$

再用生态学方法求得某一生态系统的总能量，该总能量乘以能量单位价值就是此生态系统的总能量价值：

$$\text{总能量价值} = \text{总能量} \times \text{能量单位价值}$$

复 习 题

1. 建设项目对生物环境可产生哪些影响？

2. 生物环境影响评价的主要内容是什么？
3. 生物环境影响评价有哪些基本方法？
4. 社会—经济环境影响评价的特点是什么？
5. 费用—收益分析的基本思想是什么？

第十一章 环境风险评价

第一节 环境风险评价概述

一、风险

风险就是发生不幸事件的概率。风险广泛存在于人们的生活、生产等活动的环境之中。在我们日常生活的各个过程，都存在产生人们所不希望的可能性的后果。英国一家化学工业公司曾统计了该公司工人在一天 24h 中经历的死亡事故风险分布的情况，并从大量的统计数据中求出工人每小时死亡的概率。其实，即使在家睡觉，也会有意外的死亡事故发生，只不过这种概率甚小，一般人都不会去考虑罢了。然而，代表着人类文明与进步的化学工业、石油工业、核电工业等造成的突发性事件，却愈来愈引起人类的不安与关注。例如，1978 年 3 月 16 日，隶属美国标准石油公司的超级油轮，航行中因船舵失灵，在法国的布列塔尼海岸搁浅。从油轮中溢出的 6800 万加仑的原油迅速在海面上形成长 130 公里、宽 29 公里的污染带。造成直接损失达 1.64 亿美元。其中不包括死于溢油污染的 1 万只海鸟和 5000 多只被原油污染的牡蛎，以及对 210 公里风景如画的法国海岸风光及其旅游资源的破坏。除此之外，还有 1979 年 3 月 28 日，美国三里岛核电站发生部分放射性物质外泄，引起放射性污染事故，迄今发生了多起核事故，其中以原苏联的切尔诺贝利事件最为严重，1986 年 4 月 26 日，切尔诺贝利核电站 4 号反应堆爆炸起火，大量放射性物质外泄，先后造成 280 多人死亡，526 个居民点 13 万居民需要迁出，直接经济损失达 120 亿卢布。尤为严重的是，在 20 年内将有 1~3 万人面临患癌症的危险，当地的生态系统受到了极度的破坏，很难适于人类的生存了。再如 1984 年 12 月 3 日，印度博帕尔市市郊的美国联合碳化公司所设的一家农药厂，由于管理混乱，操作不当，致使贮罐内剧毒物甲基异氰酸酯压力升高而爆炸外泄。45t 毒气形成一股浓密的烟雾，袭向博帕尔市区，死亡人数达 0.6~2 万人，受害人数达 10~20 万人，受害面积达 400 万 km²。

据美国环保局调查，在 1980~1985 年间，美国的工厂发生各种污染事件 6928 起，平均每天 5 起。另据英国核能安全局统计，全世界平均每年发生 200 多起严重的化学污染事故。而对于这些严重破坏人们生存环境的污染事故，人们往往无法确切地了解其发生的时间、危害程度以及影响范围等。

综上所述，无论对整个社会还是我们个人，也无论从事何种工作，都会遇到风险。

二、环境风险

环境风险是指由人类活动引起的，或由人类活动与自然界的运动过程共同作用造成的，通过环境介质传播的，能对人类社会及其生存、发展的基础—环境产生破坏、损失及至毁灭性作用等不利后果的事件的发生概率。

环境风险有两个主要特点，即不确定性和危害性。不确定性是指人们对事件发生的时

间、地点、强度等事先难以预料；危害指事件的后果而言，具有风险的事件对其承受者会造成威胁，并且一旦事件发生，就会对风险的承受者造成损失或危害，包括对人身健康、经济财产、社会福利乃至生态系统带来程度不同的危害。

环境风险广泛存在于人们的生产和其它活动之中，而且表现方式纷繁复杂。根据产生原因的差异，可以将环境风险分为化学风险、物理风险以及自然灾害引发的风险。化学风险是指对人类、动物和植物能发生毒害或其它不利作用的化学物品的排放、泄露、或者是易燃、易爆材料的泄漏而引发的风险，物理风险是指机械设备或机械结构的故障所引发的风险，显然，自然灾害引发的风险具有综合的特点。

另外，也可根据危害性事件承受对象的差异，将风险分为三类，即人群风险、设施风险以及生态风险。人群风险是指因危害性事件而致人病、伤、死、残等损失的概率；设施风险是指危害性事件对人类社会的经济活动的依托—设施，如水库大坝、房屋等造成破坏的概率；生态风险是指危害性事件对生态系统中的某些要素或生态系统本身造成破坏的可能性。对生态系统的破坏作用可以使某种群数量减少，乃至绝灭，导致生态系统的结构、功能发生异变。

三、环境风险评价

环境风险评价，广义上讲是指对某建设项目的兴建、运转，或是区域开发行为所引发的或面临的灾害（包括自然灾害）对人体健康、社会经济发展、生态系统等所造成的风险可能带来的损失进行评估，并以此进行管理和决策的过程。狭义上讲是指对有毒化学物质危害人体健康的可能程度进行概率评估，并提出减少环境风险的方案和决策。

人们已经逐渐认识到，环境风险与人类社会的经济发展往往是联系在一起的。对于人类社会的经济发展所带来的或面临的不确定性，特别是一些重大的不确定性影响进行分析、预测和评价，有助于决策者做出更为科学的决策。同时，从人类社会开发行为的效益和风险两方面考察人类的行为，也反映了人们认识范围的扩大和水平的提高。

环境风险评价包括三个主要步骤，一是环境风险识别，二是环境风险度量，三是环境风险对策和管理。

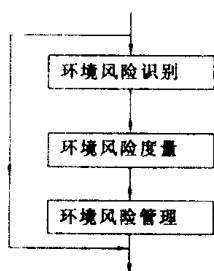
环境风险识别，又称危险识别，是进行环境风险评价时首先进行的基础工作。这主要是因为形成环境风险的因素很多，其严重程度各异；同时环境系统中各个因素间又错综复杂。忽略或遗漏某些重要因素对于决策的科学化是很不全面的；但面面俱到地考虑每个因素又会使问题复杂化。环境风险识别就是根据因果分析的原则，用筛选、监控和诊断的方法，把环境系统中能给人类社会、生态系统带来风险的因素识别出来的过程。它将对应当考虑哪些环境风险及引起这些环境风险的主要原因是什么等问题作出回答。

环境风险估计，或称环境风险度量，是指对环境风险的大小以及事件的后果（包括事件涉及的时空范围、强度等）进行测量。在环境风险识别中已回答了要遇到的风险及引发的因素是什么，在环境风险估计时就应回答这个风险有多大，给出事件发生的概率以及后果的性质。在回答这个问题之前，必须先确定风险事件危害的范围，分析环境风险的途径。确定环境风险的危害范围，应该从空间和时间两方面考虑。如在大多数环境风险评价中，从空间来讲有国界就足够了。例如一个新的杀虫剂厂需进口某种有毒物质，在该国的环境风

险评价过程中空间范围将限于码头以及国内的运输途径，而不必去考虑别的国家加工以及在出海中运输的风险。另一方面，某些污染物有重要的区域性或全球性影响，空间范围的边界就应适当放宽。时间范围的限定对评价也很重要，如难降解的有毒重金属物质在环境中的积累和富集，将造成潜在的重大风险。分析环境风险的途径是考虑初始事件对人类健康造成最终影响之间的联系。这种联系一般包括①大气、水体、土壤和食物；②人类通过皮肤接触、咽下或吸入有害物质。

环境风险估计常常采用定量化的方式估计不利事件发生的概率以及造成后果的严重程度。如用单位时间内不希望出现的后果或某种损失超过正常值或背景值的增量来表示。

环境风险决策和管理是根据风险分析、评估的结果，结合风险事件的承受者的承受能力，确定风险是否可以被接受，并根据具体情况采取减小风险的措施和行动，如工程技术措施等等。



在环境风险管理和环境风险识别之间存在一个反馈环（见图11-1），这表明环境风险评价是一个动态过程，是一个可以迭代的过程。初始阶段可能把环境风险范围限定得相当小，在风险管理、决策阶段，便可修正系统边界以及风险表达式。

目前，根据环境风险评价的内容，可以将环境风险评价分为两类，即各种化学物品的环境风险评价和建设项目的环境风险评价。

图 11-1 环境风险管理与
环境风险之间的关系

化学物品的环境风险评价，是确定某种化学物品从生产、运输、消耗到最终进入环境的整个过程中，乃至进入环境后，对人体健康、生态系统造成危害的可能性及其后果。对化学物品进行环境风险评价，不仅要从化学物品的生产技术及产量、化学物品的毒理性质等方面进行考虑，而且应考虑人体健康效应、生态效应以及环境效应。目前人工合成的化学物品已超过 700 万种，经常使用的也达数万种。如果对这些化学物品逐一进行评价，将消耗大量的人力、物力和财力。因此，对化学物品的环境风险评价的一般作法是分门别类加以识别，并根据它们对人体健康和环境造成危害的相对能力进行排队，并确定它们的优先级，根据优先程度进行评价。

建设项目的环境风险评价是针对建设项目本身引起的风险进行评价。它所考虑的是建设项目引发的，具有不确定性的危害事件发生的概率及其危害后果。主要包括：①工程项目在建设和运行阶段所产生的各种事故及其引发的短期急性和长期慢性危害；②人为事故、自然灾害等外界因素对工程项目的破坏而引发的各种事故及短期、长期危害；③工程项目投产后正常运行产生的长期危害。建设项目的环境风险评价主要应用于核工业、化学工业、石油加工业、有害物质运输、水库、大坝等建设项目，其中，以核工业建设项目的环境风险评价比较成熟。

总之，环境风险评价主要是研究具有不确定性的危害事件的发生概率以及后果的严重性。这里主要讨论建设项目的环境风险评价。

在实际工作中，常遇到环境影响评价和环境风险评价，二者有什么区别和联系呢？

环境影响评价和环境风险评价之间最根本的区别，就在于环境影响评价所考虑的影响

是建设项目引起的相对确定的事件，而且其影响程度的测量和预测也相对较容易，而环境风险评价是考虑建设项目引起的不确定性的危害事件，或者说考虑潜在的危险事件，这类事件的发生具有概率特征，危害后果发生的时间、范围、强度等，事先都难以准确预测。例如，对燃煤电厂而言，环境影响评价主要集中讨论正常工作条件下，其排放的 SO_2 、 NO_x 和粉尘对人群以及周围环境的影响，而环境风险评价则不考虑正常运转条件下的影响，而只考虑火灾、爆炸、泄漏等意外事故而导致对环境的严重影响。

环境风险评价与环境影响评价又有一定的联系，环境风险评价不是一个分离的、孤立的评价，它是在环境影响评价确定了某些重大的危险因素的基础上，所作的进一步分析。

第二节 环境风险识别

环境风险识别是指运用因果分析的原则，采用一定的方法（筛选、监控、诊断等）从纷繁复杂的环境系统中找出具有风险的因素的过程。因此，环境风险评价的第一项工作就是环境风险识别。

环境风险识别主要回答下列问题：

1. 有哪些风险是重大的？并需要进行评价的？
2. 引起这些风险的主要因素是什么？

在进行某个建设项目时，能引起的风险事件较多，存在许多不确定性。环境风险识别就是要合理地缩小这种不确定性。

本节讨论的环境风险识别方法不仅适用于环境风险评价；也适用于环境质量评价方面的其它工作。如特尔菲法既可用于环境风险识别，又可用于环境质量预测等。

一、专家调查法

由于在环境风险识别阶段的主要任务是找出各种潜在的危险并作出对其后果的定性估量，但不要求作定量分析；又由于有些危险因素很难，或者说不可能在短时间内用统计方法、实验分析的方法或因果论证的方法得到证实，例如河流污染对附近居民的癌病发病率的影响等。在这种情况下，人们用于环境风险识别的常用方法是专家调查法。所谓专家调查法是一种专家按照规定程序对有关问题进行调查的方法，它能够尽量准确地反映出专家们的主观估计能力，是经验调查法中的一种比较可靠、具有一定科学性的方法。专家调查法不仅用于环境风险识别中，也常用于其它方面。

1. 智力激励法

这是一种刺激创造性、产生新思想的方法。它可以由单个人完成，然后将各个单个人的意见汇集起来，参加的人数一般为 10 人左右。如果将此法运用于环境风险识别中，就应提出类似于以下的问题：进行某项目，将会遇到哪些危险？这些危险危害各个方面的程度如何？为避免重复，提高效率，应首先将已进行的分析结果向有关方面说明，使人们不必在一些简单问题上花费过多的时间和精力。这样，可使环境风险识别者打开思路，寻求危害事件。使用这种方法时应注意如下规则：

- (1) 解放思想，对风险识别人员所发表的思想不得有任何非难。

(2) 应将参与人所提的意见进行分类、组合以及合理的改进。对风险识别提的意见愈多，数量愈大，出现有价值的意见的概率也就愈大。

参加风险识别的人员应由环境风险评价的专家，某个相应专业领域内的专家和工程项目的设计者组成。这种方法适用于所研究或探讨的问题比较单纯，目标也比较明确的情况。如果问题牵涉面较广，包含因素太多，就应首先进行一定原则下的分解，然后再采用此法。

2. 特尔菲法

该方法的一般程序可参考有关书籍，在应用于环境风险识别时有以下几个主要用途：

(1) 明确一些可以产生环境风险的因素。这些因素有人为的，也有自然的；有物理的，也有化学的；有技术性的，也有非技术性的。

(2) 对环境风险的实现及其时间作概率估计。

(3) 利用专家，评价环境风险的时间进程。

(4) 检查某一危险在既定条件下的可能性。

(5) 缺乏客观数据和资料时，对工程项目引发的环境风险作出主观定量测量。

二、幕景分析法

幕景分析方法是一种能帮助识别关键因素的方法。其研究的重点是：当某种能够引起环境风险的因素发生变化时，会有什么危险发生？对整个工程项目又会发生什么作用？这正如电影上一幕又一幕的场景，供人们研究和比较。

幕景分析方法常用于以下几种情况：

(1) 提醒决策者注意某种措施可能引发的风险或危险性后果。

(2) 提供需要进行监控的风险的范围。

(3) 研究某些关键性因素对环境以及未来的影响。

(4) 处理各种互相矛盾的情形。

幕景分析方法的具体应用、筛选、监测和诊断常常用于环境风险识别之中。筛选是用某种程序将具有潜在性的危险的产品、过程和现象进行分类选择的识别过程；监测是对应于某种危险及其后果，对产品、过程和现象进行观测、记录和分析的过程；而诊断则是根据征状或其后果，找出可疑的起因，并进行仔细分析和检查。

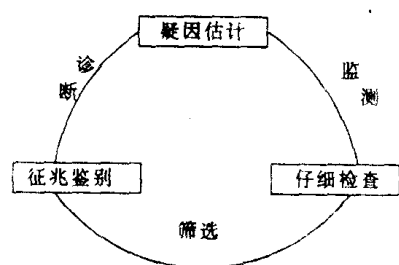


图 11-2 风险识别三元素的顺序图

筛选、监测和诊断是紧密相联的，它们分别从不同侧面进行环境风险的识别。古德曼 (Goodman) 在 1976 年提出一个描述筛选、监测和诊断关系的风险识别各元素的序列图 (见图 11-2)。他认为三种过程均使用相同的元素—疑因估计、仔细检查和征兆鉴别，只是各过程顺序不尽相同。

筛选：仔细检查—征兆鉴别—疑因估计；

监测：疑因估计—仔细检查—征兆鉴别；

诊断：征兆鉴别—疑因估计—仔细检查。

1. 筛选

建设项目的环境风险的筛选是指找出项目具有哪些可能的危害，需要进行什么类型的

风险评价。一般来说，根据建设项目可能存在的环境影响，可以把建设项目分为需要进行环境风险评价的项目和不需要进行环境风险评价的项目两类。对于前者，首先进行初步筛选，其目的是为了挑选出哪些需要做环境风险评价的项目，如杀虫剂、石化产品、合成有机化合物的生产、加工；石油、天然气和有害废物的处理、存贮和运输；核电站、水库及大坝的兴建等等，然后再进一步作化学风险筛选和物理性风险筛选。

物理性风险的筛选主要包括：

(1) 交通风险

交通风险是指有害有毒化学物品、易燃品和易爆品的运输过程中发生泄漏、扩散等事故所造成的风险。对于工业项目而言，要考虑其原材料和产品的运输过程中是否可能发生事故。如拟建项目是否会引起局部或区域性的公路、铁路、水路以及空中运输量的大量增加？拟建项目要使用的交通路线是否有反常的事故发生？交通系统是否受到拟建项目的不利影响等。

(2) 水库和大坝项目中的洪水风险

主要包括水坝和水库的建筑失事所引发的水灾风险。

(3) 自然灾害引发的环境风险

主要包括地震、台风和洪水等对建设项目造成破坏而引发的环境风险。

(4) 工程项目面临的风险因素或条件

该项目是否使用高气压、高电压、高温、微波辐射、离子辐射等？该项目的流程是否错综复杂，任一部分的失事都将引发一系列的事故？该项目是否需要工作人员执行潜在的危险性任务，操作人员的失误将产生不利后果？

图 11-3 示出了化学性风险的筛选过程。其中：①根据已有成果来确定的，一些手册上给出了某些有毒有害化学物品的清单；②筛选过程中，把化学物品的量用三个水平来衡量：第一，该量比阈值低，不需要进行环境风险评价；第二，该量比阈值高，又低于阈值的 10 倍；第三，该量大于阈值的 10 倍。

2. 监测

这里所说的监测是指事故性监测，它不同于研究性监测和监视性监测。它的特定目的是将监测技术用于建设项目和大型设备中的事故、危险等的识别。

监测是一个极其复杂的过程，为了正确描述各危险因素，首先应使监测记录或数据具有时空上的代表性。科学地布置观测采样点、确定适当的采样频率是保证监测结果具有代表性的关键，其次应根据优先监测原则，确定优先监测的因素，即确定那些危害严重，而且频率高的因素。具体地说，优先监测的因素是：①对环境和人体健康危害极大的污染物；②已有可靠方法并能获得准确数据的污染物；③对环境和人体健康的影响具有一定阈值的污染物。

目前使用较多的是化学、物理和生物监测技术。根据建设项目的性质，可采用一种或几种监测方法。例如对于核工业建设项目，放射性监测是主要内容，其中放射性化学分析技术是一种重要手段。

不论是采取自动、连续监测，还是采用简易、快速的监测手段，都必需保证监测过程

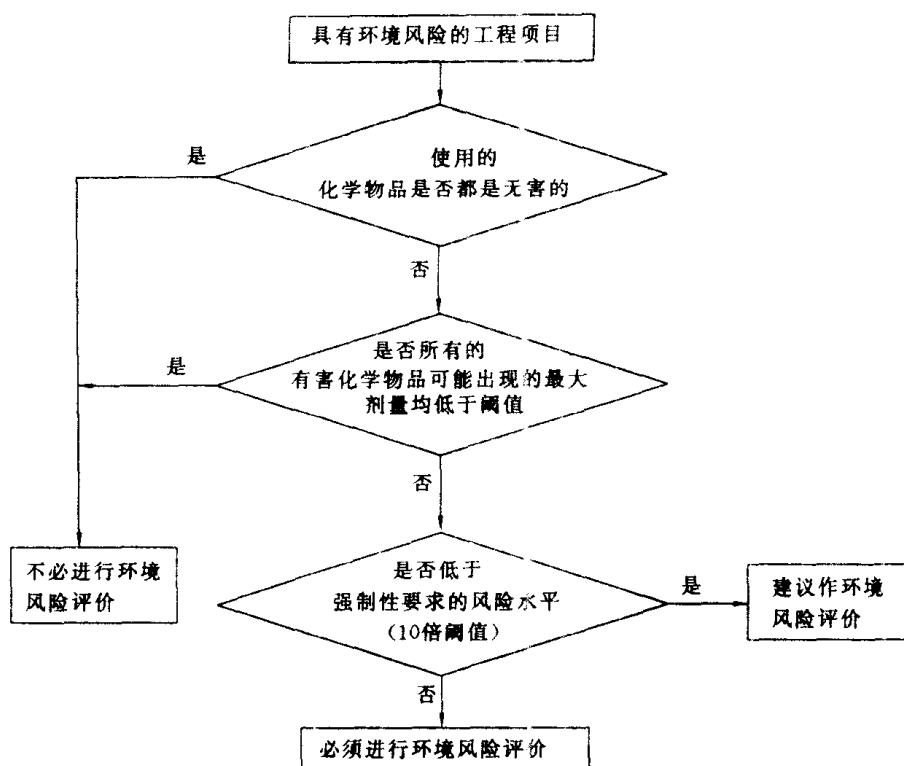


图 11-3 化学性风险筛选框图

的准确性和良好的监测质量。这是由环境风险的不确定性决定的。由于监测对象成分复杂、时空和数量级的范围广泛，而且随机多变，难以准确测量。这就要求从采样到提供的数据都有可比性，以便做出正确的结论。如果没有一个科学的监测质量保证程序，由于人员的技术水平，仪器差异，难免出现监测资料相互矛盾、数据难以利用的现象，造成大量人力、物力和财力的浪费。

3. 诊断

依据因果关系，从不利事件的后果中分析产生不利事件的原因。

目前使用的化学性风险筛选过程实际上是一种诊断的筛选方式。由于某些化学物品所造成的后果是比较明确的，有些手册给出了有毒有害化学品的清单，只要根据手册中给出的阈值，就可将某些产生环境风险的因素筛选出来。

诊断作为环境风险识别的一种方式，在环境风险管理过程中也是很有用的。根据风险可能造成的后果，查找产生的原因，制定减缓风险的措施。由于是逐步向初级查找，因此最终制定的减缓措施带有根本性。

三、故障树分析法

故障树分析法就是利用图解的形式将大的故障分解成各种小的故障，并对各种引起故障的原因进行分解。由于图的形状像树枝一样，故得名故障树。这是环境风险分析的有力工具，常用于直接经验很少的风险识别中（见图 11-4）。

分解原则是故障树分析法的基本原则，它是将复杂的环境风险系统分解成比较简单的容易被识别的小系统。例如，可以把建设化肥厂引发的环境风险分解为化学风险、物理风

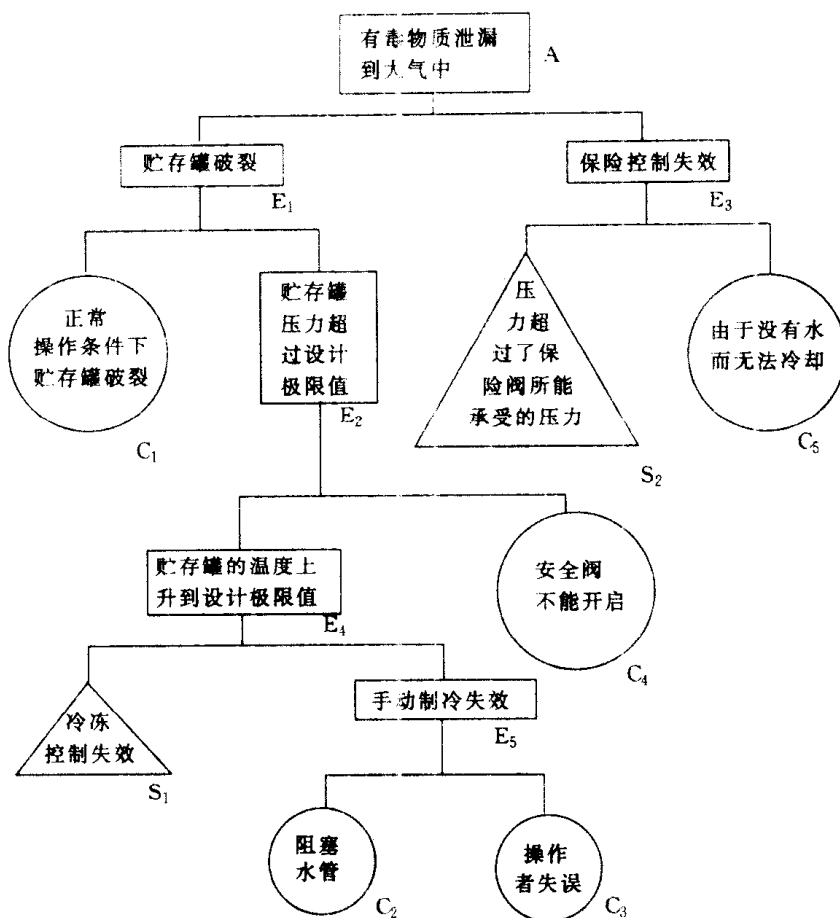


图 11-4 事件追踪故障树

险等。然后对每一种风险再做进一步的分析。

例如化学风险可以分解为如下两个方面：

(1) 易燃易爆、有毒有害材料加工、存贮等方面的风险。其中包括设计是否符合标准，这些标准是否包括中心控制系统、压力和温度的极限控制、泄漏监测和自动关闭等方面。

(2) 人为失误造成的风险。如工人们是否经过培训？是否有操作类似设备的经验？

化学风险是化学工业、石油加工业、有害材料运输业的建设项目所必须考虑的因素。对于不同的建设项目，有不同的分解内容。

下面通过一个假想的例子来说明故障树分析法的使用。为使一个容纳有毒物质的贮存罐不发生泄漏，需通过一个水循环系统制冷，当贮存罐中的压力超过某一阈值，贮存罐的安全阀自动起保护作用，通过安全阀将有毒物质引入充满水体的吸收池内。在此例中，我们将有毒物质泄漏到大气中作为最严重的危险事件。有毒物质泄漏到大气中有两种可能性，一种是贮存罐破裂，另一种是保险控制失效。造成贮存罐破裂的原因有正常操作条件下的破裂和非正常操作条件下的破裂，而保险控制失效主要是由于自动制冷系统失灵。

如果借助形式逻辑的符号，将事件追踪故障树重新绘制成符号故障树，会更有助于环境风险的识别以及环境风险度量，首先介绍几种常见的形式逻辑符号（见图 11-5）。

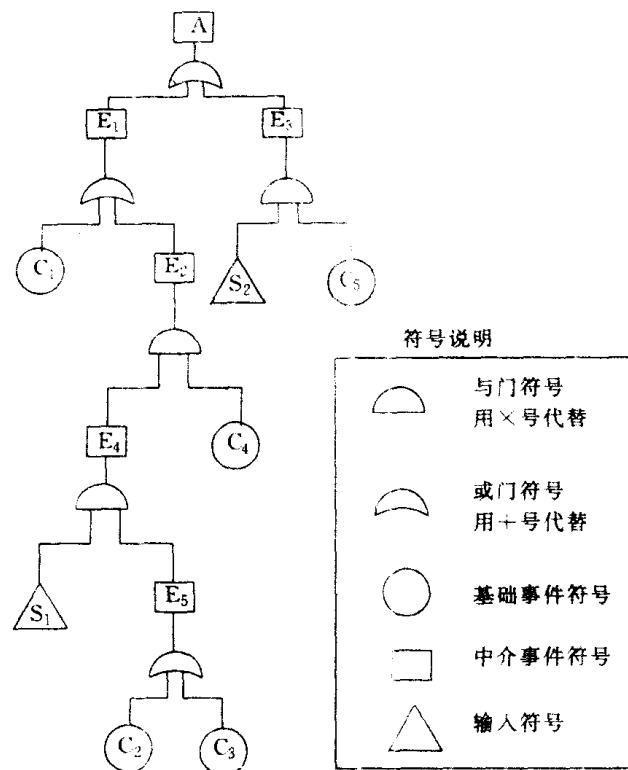


图 11-5 符号故障树

环境风险识别的理论实质上是关于环境危害的推断和搜索的理论，它是一个统计分类的过程。例如，研究海洋污染引起的风险时，要将各种进入海洋的物质分成危险、安全和需要进一步研究三大类，这是一个经典的分类问题，为此需要进行统计推断。由于环境风险辨识中要考虑的因素很多，不确定性严重，有些因素难以定量描述。因此，在环境风险识别中有以下几个问题值得注意。

(1) 可靠性问题，即是否有严重的危险未被发现？

(2) 成本问题，即为了环境风险识别而进行的收集数据和监测所消耗的费用。盲目扩大监测范围，一味追求高新技术，不能充分利用监测数据都是造成成本提高的因素。

第三节 环境风险的度量

环境风险的度量就是对风险进行定量的测量，它包括事件出现概率的大小和后果严重程度的估计。如果说环境风险所回答的问题是工程项目引发的风险是什么？则环境风险度量所回答的问题是这风险有多大？

一、风险度的定义

风险度是将风险的概率特性进行量化的一种表示方式，可以有不同的表示方式。一种是将危险事件出现的概率定义为风险度。应当说，给出了概率分布也就有了关于风险度量的基本资料。但有时为了比较各种方案，常需要一个归一化的数字来描述风险，这时则采

用另一种定义：

$$\text{风险度 FD} = \frac{\sigma}{M_x}$$

式中 σ ——标准差；

M_x ——期望值。

风险度越大，就表示对将来越没有把握，风险也就越大，这应当成为决策时一个重要考虑因素。

以上节有毒物质泄漏到大气环境中的风险为例，说明如何度量这一风险。根据上节介绍的符号故障树中的与门、或门的关系，我们可以得到一系列的、有显著不同的事件集。

$$A = E_1 + E_3$$

$$E_1 = C_1 + E_2$$

$$E_3 = S_2 \times C_5$$

$$E_2 = E_4 \times C_4$$

$$E_4 = S_1 \times E_5$$

$$E_5 = C_2 + C_3$$

将 $E_1 \sim E_5$ 代入上式，可以得到：

$$A = C_1 + (S_1 \times C_2 \times C_4) + (S_1 \times C_3 \times C_4) + (S_2 \times C_5)$$

由此看出，下列事件集中任何一个集发生，都将导致有毒物质泄漏到大气中去，我们将从故障树上切割下来的这类事件集称为最小切割集。

$$\left. \begin{array}{l} C_1 \\ S_1 \times C_2 \times C_4 \\ S_1 \times C_3 \times C_4 \\ S_2 \times C_5 \end{array} \right\}$$

每一个最小切割集发生的概率，是根据概率理论计算的。如最小事件集 $S_1 \times C_2 \times C_4$ 发生的概率为

$$P(S_1 \times C_2 \times C_4) = P(S_1) \times P(C_2) \times P(C_4)$$

为了进一步说明环境风险的概率特性，可以设想一个由特尔菲法得到的各单元事件发生的概率（见表 11-1、11-2）。

在上述条件下，一年工作日的泄漏事件概率为最小切割集概率之和。

$$P(A) = 600009 \times 10^{-12}$$

从表 11-2 中可以看出，在压力控制系统失控 S_2 和吸收池无水 C_5 而使保险控制失效造成泄漏事件的可能性最大，占全部风险的 83%，因此对决策者来说，要减少泄漏事件的风险，可以加强 S_2 和 C_5 的改善与管理。

关于概率的计算，一般是根据大量试验所取得的足够多的信息用统计方法进行的。用这种方法得到的概率数值是客观的，不依计算者或决策者的意志而转移，故称为客观概率。但在环境风险评价中，经常不可能获得足够多的信息，如核电站的泄漏事故不可能做大量的试验，又因危险事件是将来发生的，因而很难计算客观概率。但由于决策的需要，要求

对事件出现的可能性做出估计,只好由决策者或专家对事件出现的概率作出一个主观估计,这就是主观概率。主观概率是用较少信息量作出估计的一种方法。

表 11-1 各单元发生事件概率表

事件名称	p
C_1 贮存罐破裂	1×10^{-7}
C_2 水管堵塞	5×10^{-3}
C_3 操作者无反应	4×10^{-3}
C_4 安全阀未开启	1×10^{-5}
C_5 没有水	1×10^{-2}
S_1 制冷系统失效	1×10^{-4}
S_2 压力控制系统失效	5×10^{-5}

表 11-2 最小切断集发生概率

最小切断集	发生概率	所占全部事件的比重
C_1	100000×10^{-12}	17%
$S_1 \times C_2 \times C_4$	5×10^{-12}	~0
$S_1 \times C_3 \times C_4$	4×10^{-12}	~0
$S_2 < C_5$	500000×10^{-12}	83%

注 表中的概率均假设,不可在实际中应用。

下面对主观估计的量化作一个实例分析。近年来由于氟碳化合物(CFC)的影响,臭氧层遭到破坏,紫外线透射增强,对皮肤癌的发病率有直接影响。关于影响大小问题的研究,可以用统计方法、相关分析方法和生理分析等方法,但所需时间、经费、人力都较多,为了适应某种急需,可以使用主观估计法。例如:

设在我们所研究范围内皮肤癌发病人数增长率与紫外线照射强度增长率之间成线性关系:

$$\Delta U/U = \alpha \Delta C/C$$

式中 ΔU ——皮肤癌病人增长数;

U ——皮肤癌病人数;

ΔC ——紫外线照射强度增长数;

C ——紫外线照射强度;

α ——比例系数。

由该式提出的问题是:对比例系数 α 作出估计,拟采用专家调查的方法,要求被调查的专家A、B、C、D、E(被调查人的代号)对有关环境风险的度量的知识有了解,根据他们的长期经验和观察,对于 α 取值范围也有一个大致估计,因此需制定如表11-3形式的调查

表 11-3

被调查人代号××

累积概率	1%*	25%**	50%***	75%****	99%*****
α 值					
说 明					

* 档1%,是可能的最小值,说明 α 值小于该值的可能性仅有1%;

** 档25%,是50%与最小值之间的中间集;

*** 档50%,是最大和最小的中间值,说明 α 值大于或小于该数值的可能性各占50%;

**** 档75%,是50%与最大值之间的中间值;

***** 档99%,是可能的最大数值,说明 α 值小于或等于该值的可能性占99%。

这样用不断将各区间分成两半的作法进行下去即可取得许多数值。用这种方法是为了让被调查人便于思考和回答,分的太细也没有必要,因为被调查人也说不太准确。

二、危害的估计

环境风险的另一个特征就是造成后果的严重程度。在分析了有害物质泄漏后会造成什么样的不利事件之后,就需要定量的分析有害物质会造成多大的影响。

1. 有害物质泄漏量的计算

有害物质的泄漏主要分为有害液体的泄漏和有害气体的泄漏。

根据伯努利流量方程式计算有害液体从容器中排放的速率 Q 。对于加压贮存的有害液体,其泄漏推动力取决于液体的势能差以及容器内部压力 p_1 和外部大气压 p_a 的差值。

$$Q = C_d A_r \rho_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_a)}{\rho_1} + 2gh}$$

式中 C_d ——排放系数,取决于孔的形状和流动状态。对于液体流动,一般取 $0.6 \sim 0.64$;

A_r ——泄漏孔所对着的有效开阔区域(或称释放面积), m^2 ;

ρ_1 ——有害液体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

h ——流体的静力势差(高度差), m ;

p_1 ——容器内部压力, N/m^2 ;

p_a ——大气压力, N/m^2 。

上式假定贮存有害液体的容器或者管道的长度与泄漏孔的直径比值很小(<12),那么通过小孔排出的流体在排放时保持液态,不会挥发成气态。该式只适用于计算瞬间排放速率,而不适用于随着排放时间的延续,压力和液面势差下降的情况。

对于有害气体排放的速率的计算,是在假设理想气体的绝热可逆膨胀过程的条件下进行的。根据格林(Crane)提供的公式计算排放率:

$$Q = Y C_d A_r p_1 \sqrt{\left(\frac{mr}{RT_1}\right) \cdot \left(\frac{2}{r+1}\right)^{\frac{r+1}{r-1}}}$$

当 $p_a < p_1 \left(\frac{2}{r+1}\right)^{\frac{r+1}{r-1}}$ 时, $Y=1 \sim 0$ 。

式中 Y ——泄漏系数;

T_1 ——液体的温度, K ;

R ——气体常数, $J/(mol \cdot K)$;

m ——有害气体的分子量;

r ——热辐射率。

其它符号同前式。此公式适用于大贮存容器或管道中的有害气体排放。

2. 有害物质泄漏后的扩散估算

有害液体泄漏后会迅速蔓延到地面。如果没有人工阻界,如堤岸、围墙,它会一直蔓延直至达到最小的厚度不能再蔓延为止,或者是直至液体的蒸发率与排放率相等使积累的液体量不再增加。为了进行计算,必须研究有害液体扩散(蔓延)过程,找出蔓延半径随时间变化的函数关系。沙(Shaw)和伯瑞斯考(Briscoe)提出了圆形积块的传播公式:

$$r = \left(\frac{t}{\beta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \beta = \left(\frac{\pi \rho_1}{8gm} \right)^{\frac{1}{2}}$$

对于连续现象：

$$r = \left(\frac{t}{\beta} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \beta = \left(\frac{\pi \rho_1}{32gm} \right)^{\frac{1}{3}}$$

式中 m ——质量，kg；

ρ_1 ——液体的密度，kg/m³；

r ——扩散半径，m；

t ——时间，s。

其它符号同前。

$$D = D_0 \sqrt{\rho_{a2}/\rho_{a1}}$$

式中 D_0 ——泄漏孔的直径，m；

ρ_{a1} ——喷射情况下，相对于周围空气的瞬时密度，kg/m³；

ρ_{a2} ——常温下，相对于周围空气的密度，kg/m³。

距孔源 x 处喷射轴上的浓度为：

$$C = \left[\frac{\frac{b_1 - b_2}{b_1}}{0.32 \frac{x}{D} \cdot \frac{\rho_{a1}}{(\rho_{a2})^{1.2}} + 1 - \rho_1} \right]$$

b_1 、 b_2 是形态常数

$$b_1 = 50.5 + 48.2\rho_1 - 9.95\rho_1^2$$

$$b_2 = 23.0 + 41.0\rho_1$$

该公式可以估算蒸汽高速喷射的扩散行为，但对于有毒气体的排放需用其它模式计算。

有害物质在大气中的扩散近十年来引起了广泛的重视，因而发展了许多不同扩散模式。随着对有毒物质分析的发展，人们开始注意有害物质的密度与空气密度明确不同，其扩散行为亦不同。在环境风险分析中，通常认为比空气密度大的烟云最重要，因为此烟云将下沉而造成危害，描述这种扩散行为可采用高密度气体扩散模式。该模式中，认为瞬间泄漏的烟云形成半径为 R ，高为 H 的圆柱体，在重力作用下消散，这些烟雾从中心向半径方向扩散，同时其中心又随风移动，同时又在夹卷作用和热力传递作用下改变烟云体积。

在重力作用下的扩散公式为：

$$\frac{dR}{dt} = [Kgh(\rho_2 - 1)]^{\frac{1}{2}}$$

空气的夹卷作用：

$$Q_e = r \frac{dR}{dt} \text{ (从烟雾的四周夹卷)}$$

$$U_e = \frac{\alpha u_1}{Re} \text{ (从烟雾的顶部夹卷)}$$

式中 r ——边缘夹卷系数，取 0.6；

Re ——雷诺数；

α ——顶部夹卷系数，取 0.1；

u_1 ——风速，m/s；

K ——实验值，取 1.0。

热量传递作用主要是因为烟与地表的温差很大，地表的热量传递到烟云中，使烟云的体积发生变化。

热传递量的公式为：

$$q_n = h_n(T_c - T_g)^{4/3}$$

式中 q_n ——热传递量，J/(m²·s)；

h_n ——传导系数，取 2.7；

T_c ——烟体温度，K；

T_g ——地面温度，K。

需要指出，当湍流引起的扩散率大于重力扩散速率时，高密度的扩散模型不再适用，过渡条件为：

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d\sigma_y}{dt} = \frac{d\sigma_y}{dx} \cdot u$$

3. 有毒物质释放的影响

有毒物质泄漏引起的影响程度，取决于暴露时间和暴露浓度以及物质的毒性。遗憾的是许多物质对人体的影响资料非常少，大部分资料都是通过动物实验获得的，实验毒物的浓度和持续时间可以人为控制，但因为体重及生理机能皆不相同将这些实验结果用到人体上就有问题了。另一方面人群易损伤性也是不同的。因此，毒性影响表达式中的人群数只能表明某一特定人群所受的影响。由于以上诸多原因，要想总结物质的毒性并作比较是非常困难的。

比较物质毒性的常用方法有以下几种：

半致死浓度：表示在接触时间内有 50% 的生物死亡浓度。

极限阈值浓度：表示在给定暴露时间内不产生危害的极限接触浓度，一般应指出正常工作条件下的极限值浓度和紧急暴露极限阈值浓度。

以上数据对扩散计算中选择最低浓度都是有用的，有毒气体的浓度一般采用大气微量污染物扩散模式，连续排放时的地面浓度计算公式为：

$$C(x, y, 0) = \frac{C_i Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

式中 C_i ——有害气体的排放效率系数，与温度、光照有关；

Q ——泄漏率；

其它符号同高斯模式。

对于在一定时间内接触的毒性影响可用概率公式计算，概率 y 可通过接触浓度和时间来计算：

$$y = A_i + B_i \ln(C^n t_e)$$

式中 C ——接触浓度, mg/m^3 ;

t_e ——接触时间, min 。

A_i 、 B_i 、 n 是与有毒物质的性质有关的参数, 数值在表 11-4 中给出。

表 11-4 一些物质毒性参数

物 质	A_i	B_i	n
氯气	-5.3	0.5	2.75
氨	-9.82	0.71	2.0
丙烯醛	-9.93	2.05	1.0
四氯化碳	0.54	1.01	0.5
氯化氢	-21.76	2.65	1.0
甲基溴	-19.92	5.16	1.0
光气	-19.27	3.69	1.0
氟化氢 (单体)	-26.4	3.35	1.0

如果死亡率 50% 的概率为 5, 对于连续排放源则有:

$$\exp\left(\frac{5 - A_i}{B_i}\right) = C^n t_e$$

4. 爆炸的影响

爆炸是突然释放出大量热量产生的冲击波。常发生的爆炸有:

- (1) 易燃气体扩散时产生的爆炸性燃烧或缓慢性燃烧, 这就是常说的自由烟气爆炸。
- (2) 在一个有限空间内易燃混合物的爆炸。
- (3) 加压容器由于泄漏反应或其它异常过程而引起的爆炸。
- (4) 加压容器内物质不发生化学反应的燃烧引起的爆炸。

前三种爆炸释放出化学能量, 后一种爆炸释放出物理能量。物理性爆炸的影响只局限在某处, 而化学性爆炸会产生广泛的影响。因此, 对爆炸及危害性的研究多数集中在化学爆炸上。

根据爆炸能量与产生危害之间的关系, 可以估算爆炸的影响。下面给出一个直接估计危害程度的公式, 该公式可用于预测伤害半径 R :

$$R = C(NE_e)^{\frac{1}{3}}$$

式中 C ——实验常数, 用来定义伤害程度 (C 和伤害程度的关系见表 11-5);

E_e ——爆炸的总能量, 等于燃烧物质单位质量上释放的热量乘以燃烧物质的总质量, J ;

N ——冲击波产生的能量占 E_e 的百分数。

表 11-5

C 和伤害程度的关系

C	危 害 性	
	对 设 备	对 人
0.03	对建筑及设备产生重大危害	1%人死于冲击波的伤害, 50%以上人的耳膜破裂, 50%以上的人受到爆炸片严重伤害
0.06	对建筑物造成可修复的损坏	1%人的耳膜破裂, 1%人受到爆炸片的严重伤害
0.15	玻璃破裂	受到爆飞片的轻微伤害
0.4	10%的玻璃受损	

第四节 环境风险评价与管理

一、环境风险评价的目的

环境风险评价的最终目的是确定什么样的风险是社会可接受的, 因此也可以说环境风险评价是评判环境风险的概率及其后果可接受性的过程。判断一种环境风险是否能被接受, 通常采用比较的方法, 即把这个环境风险同已经存在的其它风险、承担风险所带来的效益、减缓风险所消耗的成本等进行适当的比较。

为了有利于比较环境风险的大小, 经常使用环境风险值 R 来表述:

$$R = f(P \times C)$$

式中 P ——事件发生的概率;

C ——事件发生后果的严重程度。

从上式可以看出, 有了 P 和 C 值, 就不难计算风险值的大小。风险值函数关系式的确定要具备可比性, 否则无法判断风险的大小, 也就不能决定风险能否被接受。

在环境风险评价中, 有以下几种常用的比较方式:

(一) 与自然背景风险进行比较

众所周知, 不存在没有风险的生活方式和生活地点。但这种自然背景风险值是社会能接受的, 有时也将这种风险值称为背景值。有的学者把人类遭受无法控制的自然灾害, 如雷击、风暴、地震、火山爆发等对个人的风险值 (10^{-6} /年) 作为环境风险的背景值。而有的学者将人类遭受水灾、中毒、车祸等意外事故的风险值 (10^{-5} /年) 认为是社会可接受的风险水平。

(二) 与减缓风险措施所需的费用及其效益进行比较

为了减少风险, 就需要采取措施付出代价。把采取减缓风险措施的费用与效益进行比较是要找出最有效的、所需费用最低的措施。

(三) 与承受风险所带来的好处进行比较

因为承担了风险就应该有效益。一般地说, 风险愈大, 效益愈高。如建设的水坝用于发电和灌溉, 那么洪水的风险可与增加农作物产量和发电带来的好处进行比较。

(四) 与某些风险评价的标准进行比较

有以下标准可供比较：

1. 补偿极限标准

这种补偿极限标准随着减少风险措施投资的增加，年事故发生率会下降。但当达到某点时，如果继续增加投资，从减少事故损失中得到的补偿甚微，此时的风险度可作为风险评价的标准。

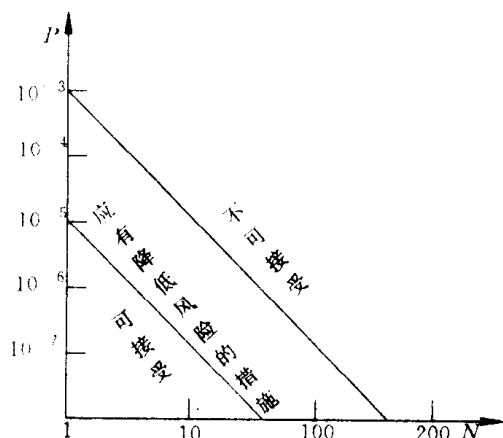


图 11-6 人群死亡概率的可接受程度

(来源 Van Kuijen, 1988)

横坐标 N ：表示事故中突发死亡人数；纵坐标 P ：
表示每年所发生的超过 N 个死亡人数的事件概率

2. 人群可接受的风险标准

普通人受自然灾害的危害或从事某种职业造成伤亡的概率是客观存在的。如有毒气体的化学工业，在一年内由于化学品泄漏事故引起 10 个人死亡的概率为 10^{-3} ，引起 100 人死亡的概率为 10^{-6} 。因此，存在某一概率是社会所能接受的。这样的风险度可作为环境风险的评价标准。对于从事某一单一危险工业的成组人群而言，经常采用的标准是致死人数超过某个确定的突发死亡数的事件概率（见图 11-6）。

图 11-6 中两条斜率是限定在概率降低两个数量级，死亡人数增加 10 人的条件下。这种限定看起来十分严格，但是同一组人群可能接受到许多如此的风险。因此，任一单一工厂的风险必须降低，以使环境风险总和仍可接受。应该强调指出，仅用死亡率作为风险可接受性的单一指标是不可取的。这是因为，死亡率仅是众多社会、经济效应中的一种思考方法（单一指标只能缩小在环境中实际存在的不确定性的变化范围）。

作出环境风险是否能被接受的判断或决策，还涉及经济、生态甚至政治等因素。因此，通过各事件发生的概率和各种后果的严重程度给出定性环境风险评价的形式也是非常必要的。下面通过国外一个实例，进一步理解此种方法（如图 11-7）。

二、环境风险评价的内容与范围

环境风险的可接受性，除了表现人的心理因素外，还表现风险所涉及到的时空范围。因此，环境风险评价的深度要依据可接受性的程度来确定。

1. 风险评价的边界

风险评价的边界一般从以下七个方面来确定：

(1) 根据引起不利的危害事件的类型来确定。

危害事件的类型有项目正常运行引起的不利事件；项目非正常状态下的事件；自然灾害等外界因素对工程项目的破坏而引发的危害事件。

(2) 根据接受风险的人群来判断。主要有项目的工作人员（职业性风险）；一般的公众；特殊敏感人群。

(3) 根据工程材料流程的不同阶段来确定。因为有些危险物品除在其自身建筑边界附

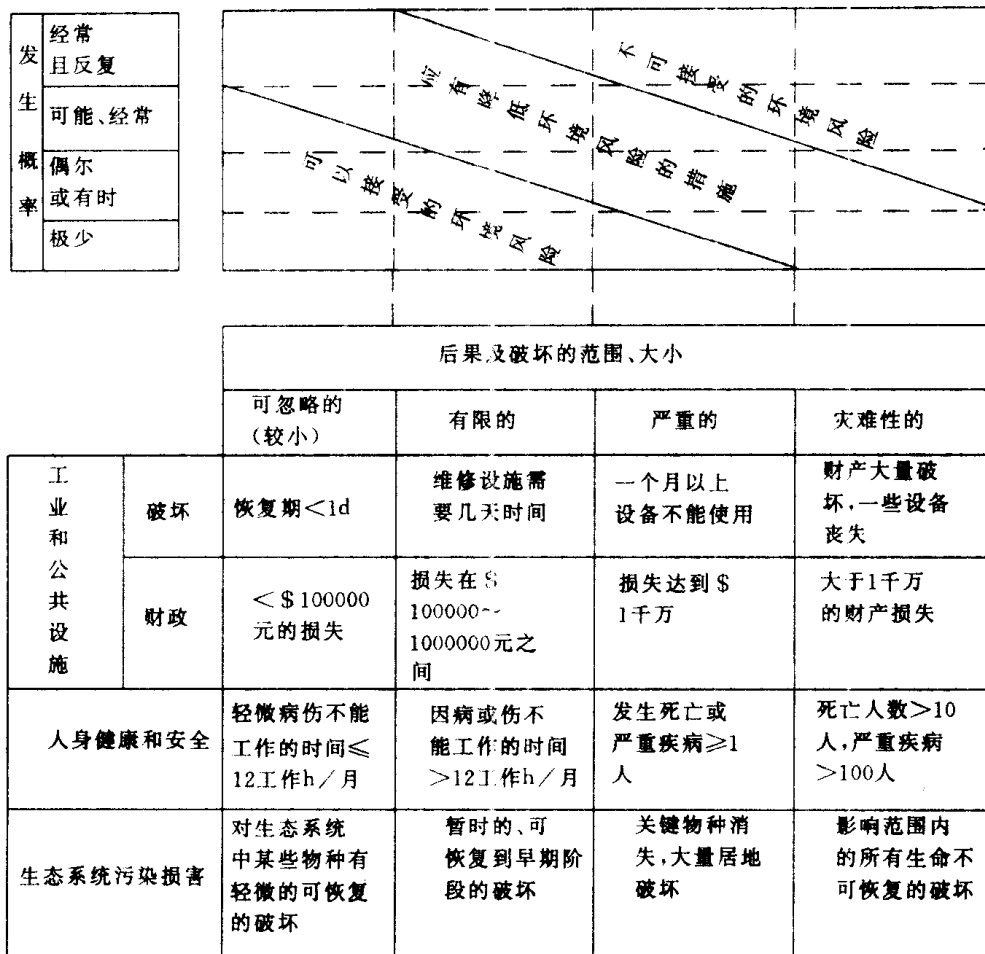


图 11-7 综合判断环境风险可接受程度的案例

近会引起风险外,还会因为另一些有关的行动引起风险,如原材料阶段,基本生产阶段、深加工阶段、存储阶段、运输阶段、产品使用阶段和废物处理阶段。

(4) 根据评价的地理边界来确定。一个建设项目的材料流程可以延伸到距场址很远的地方,甚至跨越国界。因此适当的确定评价的地理边界是很重要的。

(5) 根据项目进行的不同阶段来确定。包括规划、施工、调试、运营、保养等阶段。前苏联切尔诺贝利核电站事故就是在调试阶段发生的。

(6) 根据风险存在的可能时间来确定。有些建设项目产生的有毒物质被认为在环境中能无限循环下去。因此,若把评价时间范围局限在使用期内是不合理的。另外,还应注意采用什么样的风险评价指标等。

2. 风险评价的深度

根据环境风险的可接受程度和环境风险管理的要求,评价的深度可以不同。一般可分为微观性、系统性和宏观性风险评价。

(1) 微观性风险评价是针对建设项目产生的一种或几种污染物的风险评价。典型的例子是美国环保局采用的方式,经常以化学品致癌表示风险。虽然微观性风险评价有一定局限性,但可以提供许多可靠的数据资料。

(2) 系统性风险评价考虑一系列行为以及不同阶段的不同风险，一般通过系统性评价可获得较全面的结论。

(3) 宏观性风险评价是在经济—社会领域中进行的风险评价。一个工程建设项目处在某一系统中，它能在某一些方面引起风险，而在另一些方面能降低风险。采用宏观性风险评价可以较好地解决这一问题，能较全面地反映风险的可接受性。

三、环境风险评价的管理

1. 环境风险管理的概念

环境风险管理就是提出减缓或控制环境风险的措施或决策，达到既要满足人类活动的基本需要，又不超出当前社会对环境风险的接受水平。这个概念包括以下三方面的内容：

(1) 提出减缓或控制环境风险的措施或决策。其实质就是采用技术的、经济的、法律的、教育的、政策的和行政的各种手段对人类的行动实施控制性的影响，使人们按生态规律、自然规律和经济规律去办事。

(2) 人类的需要应与环境相协调。人类的需要又必须与社会发展水平相协调，包括对自然资源、环境资源的合理利用，因此，人类活动的基本需要必须满足与环境的协调关系。

(3) 以环境风险制约人类的活动。人类要生存、要发展就必须承担环境风险。但环境风险的可接受性又与各种因素有关，因此，在制定人类活动方案时要充分考虑各种能产生环境风险的因素。

2. 环境风险的控制方式

环境风险是可以预测的，也是可以控制的，控制措施的方式如下：

(1) 减轻环境风险。通过改革生产工艺或改进生产设备使环境风险降低。

(2) 转移环境风险。利用迁移厂址、迁出居民等措施使环境风险转移。

(3) 替代环境风险。通过改变生产原料或改变产品品种可以达到用另一种较小的环境风险替代原有的环境风险。

(4) 避免环境风险。要想真正避免某一种环境风险，只有关闭造成这一环境风险的工厂或生产线。

对于上述提到的四种控制措施，可以在风险生产的全过程实施，图 11-8 是一种因果关系的风险管理方式。

图 11-8 需要指出的是，这种因果关系的环境风险管理方法，控制措施应从右端开始，随着时间或环境风险可接受的程度逐渐移向左端。

3. 进行环境风险评价应注意的问题

环境风险是社会产生的一种必然现象，环境风险评价是为了了解环境风险并提出降低风险的措施和方法，它实际上是对社会效益、经济效益和环境风险进行比较，寻找出社会经济发展的最佳途径。环境风险评价有如下一些特点：

(1) 各种环境风险是相互联系的，降低一种风险可能引起另一种风险。因此要求评价主体应具有比较风险的能力，要做出是否能接受的判断。

(2) 环境风险是与社会效益、经济效益相联系的。通常是风险愈大，效益愈高。当降低一种环境风险意味着降低该风险带来的社会效益和经济效益。因此必须予以合理地协调。

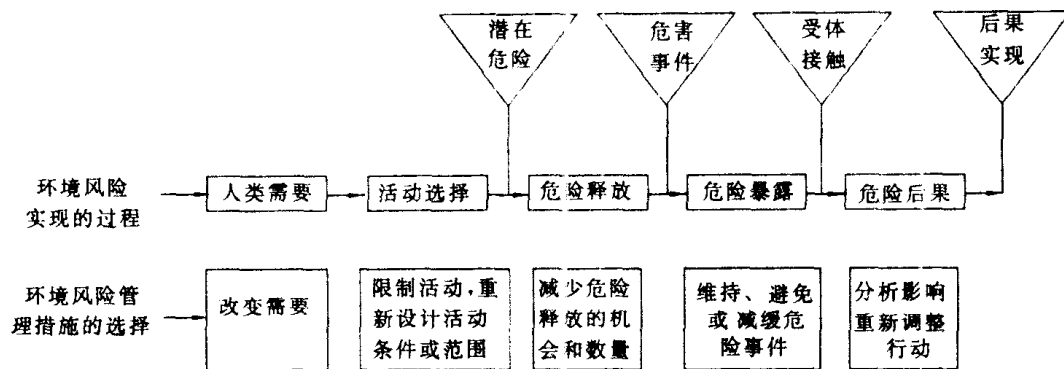


图 11-8 一种风险管理方式框图

(3) 环境风险评价与不确定性相联系。环境风险本身是由于各种不确定性因素形成的，而识别环境风险、度量环境风险仍然存在着不确定性。环境风险不可能被精确地衡量出来，它只能是一种估计。

(4) 环境风险评价与评价主体的风险观相联系。对于同一种环境风险，不同的风险观可以有不同的评价结论。

复 习 题

1. 何为风险和环境风险？
2. 何为环境风险评价？
3. 为什么要进行环境风险识别？
4. 环境风险识别有哪些方法？
5. 何为风险度？
6. 环境风险评价的内容有哪些？
7. 简述环境风险管理的概念。
8. 环境风险评价和环境影响评价的区别和联系。

第十二章 工程建设项目环境影响评价

工程建设项目的环境影响评价工作必须在项目建设前期的可行性研究阶段进行。根据

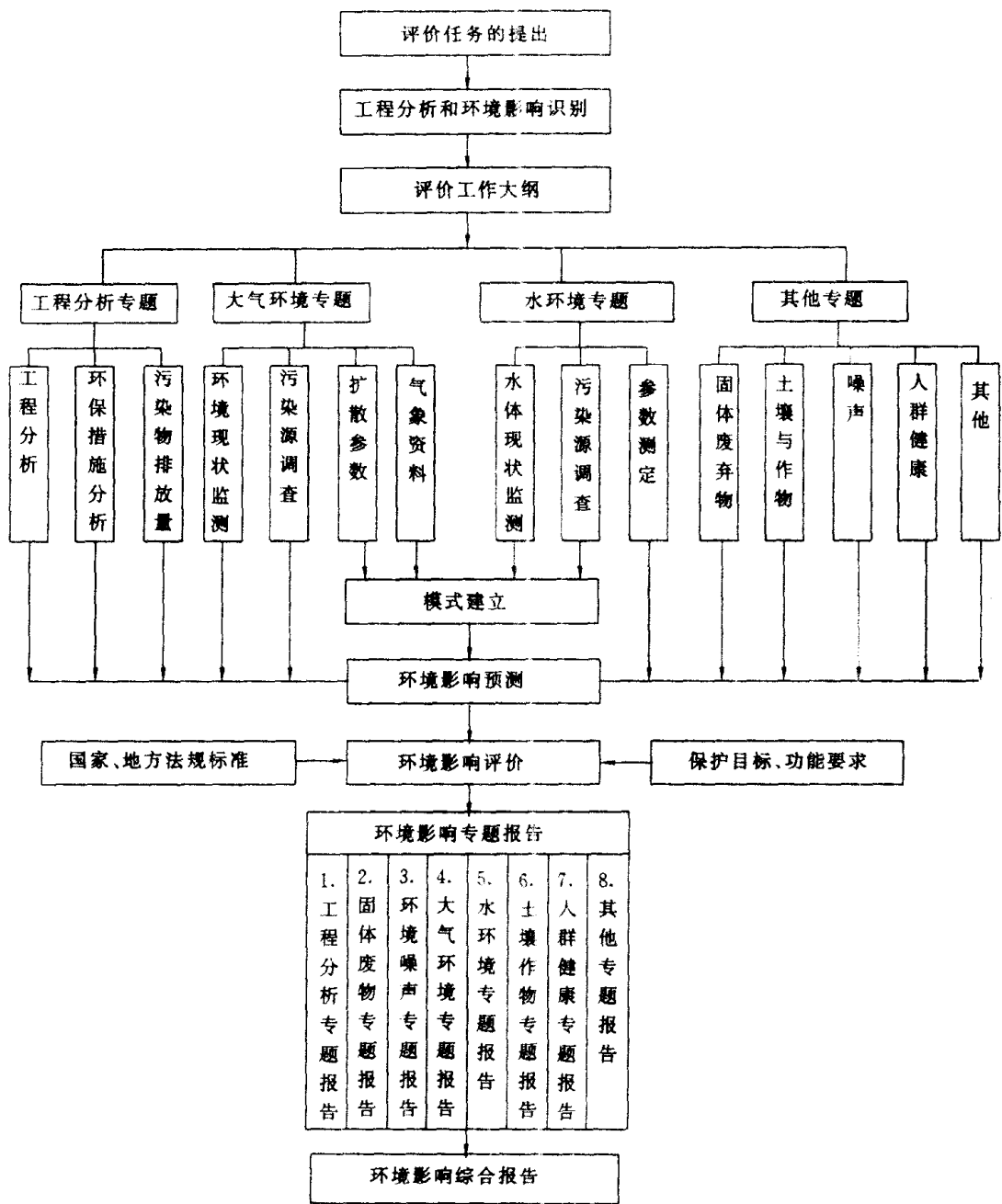


图 12-1 中国环境影响评价工作程序

我国关于工程建设程序的规定，环境影响评价与其它可行性研究的技术依据一起被有关部门批准，并纳入前期工作计划的项目建议书，作为建设项目决策的依据，它应与工程项目的其它可行性研究同时完成。

为了全面了解工程建设项目环境影响评价，有必要讨论其工作程序。图 12-1 给出我国的环境影响评价工作程序。从图 12-1 可知，工程建设项目的环境影响评价的最终成果是环境影响报告书，它涉及到工程建设项目的环境影响评价的方方面面，下面以火电厂建设项目环境影响报告书编制为例，就建设项目的有关问题进行讨论。

第一节 火电厂建设项目环境影响报告书编制的前期工作

首先要简述项目的由来、性质、规模、建设意义、委托单位、评价单位、评价协作单位及分工情况。工程进展情况及目前的工作阶段、评价指导思想等。

一、编制依据

1. 项目名称、规模及基本构成

项目名称、规模及基本构成按表 12-1 填写。

表 12-1

项 目 基 本 构 成

项 目 名 称			
建设单位（或业主）			
规 模 (MW)	项 目	单机容量及台数	总 容 量
	现有电厂		
	本 期		
	全 厂		
配 套 工 程			
备 注		1. 扩建工程应注明老厂的容量，机组台数 2. 应明确了规划容量则在备注中说明 3. 供热电厂应注明供热能力	

2. 评价依据

主要应给出如下内容；

- (1) 采用规范的名称及标准号；
- (2) 采用评价的技术导则的名称及标准号；
- (3) 项目建议书及批准文号；
- (4) 项目的初步可行性研究报告及可行性研究阶段有关工程设计资料名称和编制单位；
- (5) 环保部门对本工程的有关文件；
- (6) 环境影响评价大纲；

(7) 国家环保局对评价大纲的批文及文号。如委托省级环保局审批，应列出国家环保局的委托文件名称及文号。

3. 环境敏感区域和保护目标

主要根据环保部门的文件和环境影响评价大纲中的规定,从大气、水体、声学、生态等环境要素及国家或地方政府批准的自然保护区、人文遗迹等方面考虑。

4. 评价范围、评价标准及评价参数

(1) 环境空气评价范围和标准

评价范围按批准的大纲内容编写,并用图表示,评价标准按表 12-2 填写。

表 12-2 大气评价标准

功能区划分	标准名称	标准级别	内 容					备 注
	环境空气 质量标准 (标准号)			SO ₂ (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	TSP (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	
		1 小时平均						
		日平均						
		年平均						
允许占标准值份额%			(取值时间)					
内容 排放标准			SO ₂	烟尘	NO _x		其它	
			允许排放量 (t/h)	允许排放浓度① (mg/m ³)	允许排放浓度① (mg/m ³)		允许排放浓度① (mg/m ³)	
国家大气污染物排放标准名称(标准号)								
地方大气污染物排放标准名称(标准号)								

注 份额值由地方环保部门或国家环保局批复的大纲确定;所有浓度均指标准状态。

① 指干烟气标态时的数值。

(2) 水体评价范围及标准

评价范围按表 12-3 填写,评价范围按批准的大纲填写。

表 12-3 水体评价范围及标准

电厂各排水口名称	受纳水域	评价范围	执行的环境质量标准与级别	执行的排放标准与级别

(3) 噪声评价范围及标准

该项内容按表 12-4 填写。

表 12-4 噪声评价范围及标准

功能区名称	评价范围	执行的标准和级别	厂界噪声	厂界外 1m

(4) 其它

有关农作物、敏感植物等的标准。

二、电厂概况及工程分析

(一) 电厂建设计划

(1) 厂址选择的理由

从燃料、水源、占地、运输、灰场、环保等方面进行简要描述。每个方面用一句话概括即可。如果在工程上有多个厂址方案的比较，应说明推荐厂址的主要理由。

(2) 现有电厂概况

此部分只针对扩、改建工程。它包括如下内容：

1) 厂址的地理位置和占地概述，简要描述现有电厂地理位置、电厂厂区、生活区、灰(渣)场、煤场等占地面积及与本期工程的关系。

2) 设备概况，现有电厂主要设备及环保设施概况可参照表 12-9 填写。

3) 燃料、水源情况，现有电厂燃料情况按表 12-5 填写，水源情况参照表 12-6 填写，并绘制现有电厂水量平衡图，绘制方法及内容见图 12-1。

表 12-5 现有电厂燃料情况一览表

机组号	烟囱号	燃料来源	配比 (%)	耗 煤 量			供电煤耗 g (标煤) / (kW · h)
				t/h	t/d	10 ⁴ t/a	
煤质说明							

注 (年运行小时数)。

表 12-6 现有电厂用水情况一览表

水源种类 ^①	水源名称	用 途	单 位	循环用水量		补充水量	
				最大值	平均值	最大值	平均值
		冷却水	m ³ /s ^②				
		工业用水	t/h				
		冲灰水	t/h				
		生活用水	t/d				
		...					
耗水指标			m ³ (s · GW)				

① 水源种类指地表水、地下水、海水等。

② 冷却水为直流冷却时单位采用 m³/s；若为循环冷却单位采用 t/h。

4) 现有电厂工程与环保概况，绘制现有电厂工艺流程图。流程图应围绕电厂主要污染物产生、流转、治理、排放的过程绘制。图中应包括燃烧系统 (包括除灰系统)、汽水系统 (包括循环水系统) 和发送电系统。图中应反映出设备表中的主要设备和环保设施。工艺流程图幅面一般为 210mm×297mm，或 420mm×297mm。

绘制现有电厂平面布置图，应重点画出电厂主要设备和构筑物，并特别注意画出报告

书中提出的主要污染治理设施。图中应标明比例尺、方向，并列出主要设备和构筑物一览表。平面布置图幅面一般为 420mm×297mm。

现有电厂污染物排放情况按表 12-7 填写。

表 12-7 现有电厂污染物排放情况

项 目					单 位	数 值	处 理 方 式	达 标 情 况
大 气 污 染 物	SO ₂	(机组号) ^①	(烟囱号) ^①	排放量	t/h			
				排放浓度 ^③	mg/m ³			
	NO _x	(机组号)	(烟囱号)	排放量	t/h			
				排放浓度 ^③	mg/m ³			
	烟尘 (除尘器出口)	(机组号)	(烟囱号)	排放量	t/h			
				排放浓度 ^③	mg/m ³			
水 污 染 物	酸碱废水排放量							
	含油废水排放量							
	输煤系统冲洗水排放量							
	锅炉酸洗废水排放量							
	生活污水排放量							
	冲灰水排放量							
	其它							
灰渣排放量								
主要设备噪声 ^②								
厂界噪声								

① 机组号和烟囱号可根据具体情况编排，但内容不宜删减。

② 若现有电厂噪声超标，则分项列出超标的主要设备。

③ 指干烟气标态时的数值。

5) 现有电厂存在的主要环境问题主要从三方面论述：① 污染物排放是否满足排放标准；② 污染治理方案是否符合现行的技术政策，是否需要结合本期工程一同综合治理；③ 公众对电厂环境保护方面的意见。

(3) 本期工程基本情况

1) 明确厂址所在的省、县、乡、村，明确所属地区的类别（城市、农村或丘陵等）。

2) 简要描述地理位置，并附厂址地理位置图。厂址地理位置图应做到清晰地标明电厂位置、灰场位置及主要环境敏感目标。图中应标明比例尺、指北针和风玫瑰图。厂址地理位置图比例尺一般规定为 1：50000，幅面一般为 420mm×297mm。在厂址地理位置图的幅面内，应用 110mm×110mm 的幅面绘出以电厂为中心，比例尺为 1：5000000 的简要地理位置图。

3) 说明灰场的名称、位置、距电厂的距离和方位，灰场的性质（山谷灰场、平原灰场、海滨滩涂灰场等），贮灰方式（碾压灰场、湿灰场等）。

4) 本期工程占地情况参照表 12-8 填写。

表 12-8

占 地 概 要 表

名 称	占地面积 (hm ²)	土地功能 ^①	备 注
厂 区			
生活区			
灰 场			
专用铁路			
其 它			

① 土地功能按土地部门的划分填写。

5) 设备概况 (电厂主要设备及环保设施按表 12-9 填写)。

表 12-9

主要设备及环保设施概况表

项 目		单 位	新机组		现有机组	
			机组号	...	机组号	...
出力及开始运行时间	出 力					
	时 间					
锅 炉	种 类					
	蒸发量					
汽 轮 机	种 类					
	出 力					
发 电 机	种 类					
	容 量					
烟气治理设备	烟气脱硫装置	种 类				
		脱除量				
	烟气除尘装置	种 类				
		效 率				
	烟 囱	型 式				
		高 度				
		出口内径				
	NO _x 控制措施	方 式				
		效 果				
	...					
冷却水方式						
排水处理方式	种 类					
	处理量					
灰渣处理方式	种 类					
	处理量					
灰渣综合利用设备	种 类					
	用 量					

注 本表可根据工程情况做适当调整。

参照 (2) 5) 绘制工艺流程和平面布置图。

利用外资项目有要求时应附电厂鸟瞰图, 内资项目根据大纲评审确定。该图采用彩色为好, 并特别注意与周围环境的协调。鸟瞰图幅面一般为 $420\text{mm} \times 297\text{mm}$ 。

(4) 燃料、水源

1) 燃料: 燃料情况按表 12-10 要求填写, 并说明燃料运输及贮存方式。

表 12-10 燃料种类、来源、配比表

设计燃料			校核燃料		
种类 ^①	来源 ^②	配比 (%)	种类	来源	配比 (%)

① 种类指燃油、燃煤、燃气等燃料类别。

② 来源指燃料的产地, 如晋北、神木等, 一般应具体到矿。

燃料工业分析和元素分析按表 12-11 填写。

表 12-11 燃料工业分析和元素分析表

项目 ^①		符 号	单 位	设计值	校核值
工业分析	收到基水分	M_{ar}	%		
	收到基灰分	A_{ar}	%		
	干燥基挥发分	V_d	%		
	收到基低位发热量	$Q_{net, ar}$	kJ/kg		
元素分析	碳	C_{ar}	%		
	氢	H_{ar}	%		
	氧	O_{ar}	%		
	氮	N_{ar}	%		
	全硫	$S_{t, ar}$	%		
	...				

① 若需对氟化物进行预测, 应列出煤的氟含量, 其单位为 mg/kg。

若为混煤则应列出混煤的配比数值。

燃料消耗情况按表 12-12 填写

表 12-12 燃料消耗表

项 目	单 位	本期工程 (规模)	
		设计煤种	校核煤种
小时耗煤量	t/h		
日耗煤量	t/d		
年耗煤量	10^4t/a		
供电煤耗	g (标煤) / (kW · h)		
年运行小时数	h		

用水量可参照表 12-13 填写。

用水量表

项 目	单 位	循环用水量		补充水量	
		最大值	平均值	最大值	平均值
冷却水	m ³ /s ⁻¹				
工业用水	t/h				
灰水	t/h				
生活用水	t/d				
...					
耗水指标	m ³ / (s · GW)				

要求做电厂用水水量平衡图，它是指全厂（包括本期和现有电厂）总的水量平衡。主要说明来水、耗水、排水的量级相互间的基本关系。其中耗水一般分四部分即：冷却水、工业用水、冲灰水和生活用水。全厂水量平衡图按图 12-2 形式绘制。该形式为示意性平衡图，实际绘制时，在每条流程线上都应标明水量最大值和平均值，并注明水量的单位，同时对图进行必要的说明，其中包括外排口数量、名称、位置及排水量。

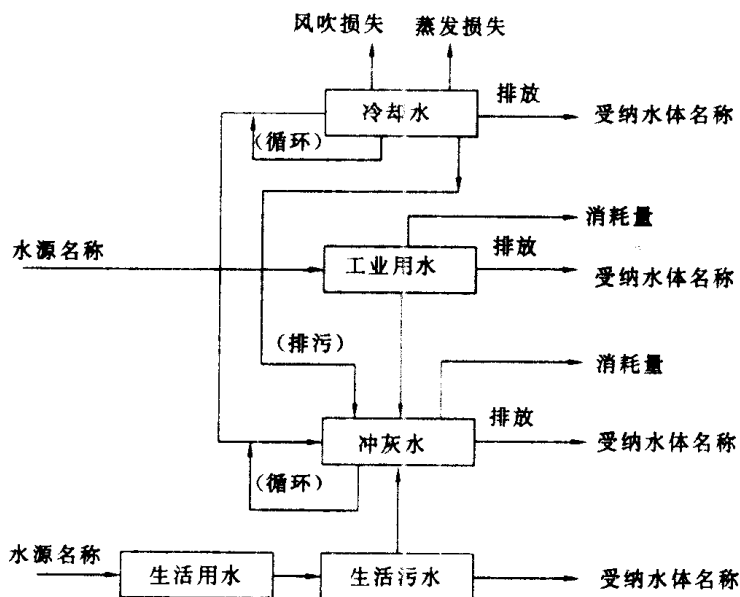


图 12-2 全厂水量平衡图 (示意)

(5) 工程环保概况

1) 排烟状况: 电厂排烟状况按表 12-14 要求填写。

表 12-14

电厂排烟状况一览表

项 目		符 号	单 位	机 组 号	合 计
烟 囱	烟囱方式	简要描述烟囱组合形式			
	几何高度	H_s	m		
	出口内径	D	m		
烟气排放状况 (除尘器出口)	干烟气量 ^①	V_g	m ³ /s		
	湿烟气量 ^①	V_w	m ³ /s		
	烟气含氧量	O_2	%		
	空气过剩系数	α			
烟囱出口参数	烟气温度	t_a	℃		
	排烟速度	V_s	m/s		
大排 气放 污状 染况 物	SO ₂	排烟速度 ^②	C_{SO_2}	mg/m ³	
		排放量	M_{SO_2}	t/h	
	NO _x	排放浓度 ^②	C_{NO_x}	mg/m ³	
		排放量	M_{NO_x}	t/h	
	烟尘 (除尘器出口)	排放浓度 ^②	C_A	mg/m ³	
		排放量	M_A	t/h	
	...	...			

注 本表中数据,以锅炉连续最大出力工况计算。若计算氟化物排放量时,可以参考通过审查的电厂报告书的方法。

① 标准状况的数值。

② 干烟气标态时的数值。

2) 温排水排放主要给出三方面内容:

冷却水取排水方式:用文字描述冷却方式(循环冷却或直流冷却),取、排水口位置(与电厂的相对位置),垂直取水范围,取水流速和取水量、排水量。排水管及排水渠的基本情况(长度、流经地等),排入水体的方式(表层、深层),排水流速。

设计水温上升值:电厂冷却水设计工况参照表 12-15 填写。

表 12-15

冷却水设计工况一览表

项 目		单 位	机 组 号		总 计
冷却水使用量	夏 季	m ³ /s			
	冬 季				
设计水温上升值		℃			

加氯情况:冷却水加氯情况参照表 12-16 填写。

表 12-16

加氯情况一览表

名称 ^①	方式 ^②	加氯量 (kg)	游离性余氯 ^③ (mg/l)	其它药剂

① 指加液氯、电解氯或其它方法。

② 指连续加氯或间断加氯。

③ 游离性余氯量指随冷却水排入水体的余氯浓度。

3) 本期工程一般废水排放情况按表 12-17 填写。

表 12-17

本期工程一般废水排放情况一览表

序 号	废水项目	排放方式	排放量	主要污染因子	处理方式	去 向
1	酸碱废水			pH、SS 等		
2	含油废水			石油类、SS 等		
3	输煤系统冲洗水			SS 等		
4	锅炉酸洗废水			pH、SS 等		
5	冷却塔排污水			盐类等		
6	生活污水			SS、BOD、COD 等		
7	厂区雨水			SS 等		
8						

4) 灰水排放应注意到以下几方面问题：

灰水比及灰水排放量：湿式除灰渣采用不同系统（如灰渣沟输送系统、灰渣混除系统、灰渣分除系统或浓缩池浓浆除灰系统等）的灰水比和灰水排放量按表 12-18 要求填写。

表 12-18

灰水比及灰水排放量

系统方式	灰水比	灰水外排量 (t/h)	回收率 (%)

注 灰水比为质量比。

灰场水量平衡：绘制灰场水量平衡图。

外排灰水水质及排放方式：外排灰水水质及排放方式参照表 12-19 填写。

表 12-19

外排灰水水质及排放方式

项 目	单 位	出口浓度	排放方式及去向
pH 值			
悬浮物	mg/l		
氟化物	mg/l		
...			

雨季及洪水期间灰水排放情况。

5) 固体废弃物中灰渣量及处置方式: 按表 12-20 内容填写, 并绘制灰渣处理系统图, 用方框图表示。

表 12 20 灰渣量及处置方式

规 模 (MW)	煤 种	排 渣 量		排 灰 量	
		t/d	t/a	t/d	t/a
输 送 及 处 置 方 式	设计煤种				
	校核煤种				
	输送方式 ^①				
	贮存方式 ^②				
	综合利用方式				

① 指水力输送、汽车运输、皮带运输、船舶运输等。

② 指湿灰场、碾压灰场。

粉煤灰的成分参照表 12-21 填入。

表 12-21 粉煤灰成分 数据来源: %

项 目	符 号	数 值	项 目	符 号	数 值
三氧化二铝	Al ₂ O ₃		氧化镁	MgO	
三氧化二铁	Fe ₂ O ₃		氧化钙	CaO	
二氧化硅	SiO ₂		氧化钠	Na ₂ O	
三氧化硫	SO ₃		氧化钾	K ₂ O	
二氧化钛	TiO ₂		其它		

6) 噪声

电厂主要设备噪声参照表 12-22 填写。

表 12-22 主要设备噪声 dB (A)

设备名称	台 数	噪声值	设备名称	台 数	噪声值
锅炉对空排汽			送风机		
汽轮发电机组			输煤栈桥转运站		
磨煤机			...		
引风机			冷却水塔		

(6) 污染物总量变化情况

此内容仅对改、扩建电厂, 该类电厂的污染物排放总量情况按表 11-23 要求填写。

表 12-23

污染物排放总量情况一览表

项 目	单 位	现有机组	扩改后	增减值 ^①	增减情况 (%)
规模	MW				
燃煤量	10 ⁴ t/a				
耗水指标	m ³ / (s · GW)				
SO ₂ 排放量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
烟尘排放量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
烟尘排放浓度 ^②	mg/m ³				
...					
生活污水排放量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
工业废水排放量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
灰场排水量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
灰渣排放量	t/h				
	10 ⁴ t/a				
...					

① 增减值一栏数值前用“+”、“-”号分别表示增减。

② 干烟气标态时的数值。

(二) 电厂建设规划

1. 建设期内容及进度

电厂建设进度计划按表 12-24 要求填写。

表 12-24

建设进度计划一览表

建设年度		××××年				××××年							
建设项目	年度月份	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
五通一平及施工准备													
烟囱													
冷却水塔													
厂外除灰系统													
...													

2. 施工方法及规模

列出主要的土石方工程、树木采伐、植被剥离、建筑材料开采、材料运输、灰场筑坝、防渗，施工场地平面布置规划等。主要利用施工组织设计中的资料，进行简要描述。

(三) 其它与电厂相关的开发计划

1. 集中供热计划

主要涉及供热需求、供热能力、供热管线长度、供热区域面积及电厂供热的经济、环境分析等。

2. 灰渣综合利用计划

简要说明有关部门对灰渣综合利用计划情况，以及有关意向性协议书。

第二节 拟建项目地区区域环境状况

一、地形

(一) 厂址地区地形特征

对评价区域的地形特征进行归类（如山区、丘陵、城市、平原、盆地、滨湖、沿海等）。

收集或绘制该区域的地形分类图，标明地形特征、厂址位置、交通干线、主要河流、水域、城镇、村屯、厂矿企业、自然和人文景物等，并注明图例和比例尺（1:50000~1:100000）。对区域地形分类图作简要描述，包括区域和厂区的植被状况、厂址海拔高度等。地形分类图幅面一般为420mm×297mm。

说明给电厂建设可能带来影响的特殊地形、地貌（如采空区、崩塌、滑坡、泥石流、冻土等）。

电厂所在区域有无湿地，如有则说明其面积、环境功能等，并在地形分类图上注明。

(二) 灰场状况

说明灰场地形、地貌、生态特征、目前灰场土地使用状况，灰场分期建设及其占地面积，征地范围内有无搬迁、砍树，以及灰场保护的主要目标和对象，附灰场地形图。灰场地形图幅面一般为420mm×297mm。

二、陆地水文状况

(一) 陆地水文一般状况

1. 主要水系情况

简要描述电厂地区所属的水系或海域。说明电厂地区河流、水库的名称及与该水系的关系（支流或主流），附水系图。标明厂址在水系图上的位置。

2. 电厂涉及的主要水源的状况

根据项目特点及接纳废水的水域功能，在下述项目中选择有关内容进行描述。

(1) 河流水文状况

河流水文状况主要有以下三个方面：

河流形态特征：平直长度、弯曲半径、河宽、水深坡降、糙率等，丰水期的分流、漫滩，枯水期的浅滩、沙洲分布等。

水文变化规律：水位、流速、流量变化，丰、平、枯水期的划分，各期水位、流量特征值，含沙量及断流情况、水文顶托现象等，流域面积。

水温变化：指受纳温排水的水域，给出河流水温的年、季、月变化规律及结冰、封冻、解冻情况。

(2) 河口水文状况

河口水文状况主要指受纳温排水的水域。除一般河流常规调查内容外，需增补潮汐类型，感潮河段范围，涨潮、落潮、平潮时的水位、水深、坡降、流速、河向等。

(3) 湖泊（水库）水文状况

湖泊水文状况主要指受纳温排水的水域，调查两方面的内容：

形态特征：形状、面积、水深与水量关系、水深与面积关系等。

水文变化：丰、枯、平水期的划分，各时期平均蒸发量和年季变化，死水位和库容，泥沙淤积流入流出量，停留时间，水量调度，放水规律及湖流、环流的流向、流速等。

(4) 水的利用情况

水的用途：工业用水、农业用水、生活用水、景观娱乐用水等。

使用及利用的区域。

(5) 水生生物

接受电厂温排水影响水域中的水生生物，主要描述水生生物的情况、种类、产量、经济价值、生活习性、食物及是否有珍稀种类，是否对水温敏感等。

3. 地下水状况

主要指受灰场影响的地下水。尽量利用已有资料进行编制。

三、海洋水文状况

(一) 潮位

描述潮汐类型、永久性验潮站的位置，潮汐资料系列年代，各种基准面的关系。

1. 典型大、中、小潮潮位过程线

根据永久性验潮站实测资料分析设计潮位过程线。

2. 潮汐特征值

根据永久性验潮站实测的年平均潮位、年平均高潮位、年平均低潮位、年最高潮位、年最低潮位、年平均潮差、年最大潮差、年最小潮差、涨落潮历时等资料，分析其特征值。

3. 临时测站潮位分析

与海流观测同步的大、中、小潮潮位过程线。

(二) 潮流

描述潮流观测的海域范围及观测站位置，观测时间、观测方法、观测结果概述，区域潮流的概况。

1. 流速及流向

描述各测点对应于潮位的流速、流向过程线，横坐标为时间，纵坐标为流速值或流向角度，也可以用流玫瑰图表示。比例尺可以根据具体情况选定。

2. 潮流量

描述评价区域内的潮流量如下：

- (1) 典型大、中、小潮的潮流量。
- (2) 潮流观测时的大、中、小潮的潮流量。
- (3) 余流，给出余流方向及流速，绘制余流分布图。

(三) 波浪

一般性描述波高、波向、波型、周期、海况等。

(四) 汇入评价海域的主要河流水文概况

可参照表 12-25 填写。

表 12-25 汇入评价海域的主要河流概况 m³/s

河 流 名 称	入 海 径 流 量		
	洪 水 期	平 水 期	枯 水 期

四、气象

(一) 地面气象历史资料

1. 资料来源

说明资料来源，并附气象台（站）位置图。

2. 气候特征

简述当地气候特征。

3. 地面气象要素

介绍观测仪器、方法及观测频率等。

(1) 风向、风速

简要分析地面风向、风速基本特征。各风速度风向出现频率参照表 12-26 填写。

表 12-26 各风速度风向出现频率 (××××年)

测试单位：

测试方法：

测试时间：

%

风 向 风 速 段 (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
0.5~0.9																	
1.0~1.9																	
2.0~2.9																	
3.0~3.9																	
4.0~5.9																	
6.0 以上																	

注 缺测率，静风频率。

气象台(站)各月平均风速曲线参照图12-3绘制。

绘制气象台(站)全年及四季的风向玫瑰图。

(2) 气温、气压、湿度、降水量、蒸发量

搜集多年资料，参照表12-27填写。

(3) 大气稳定度及联合频率

简要介绍本评价中采用的稳定度分类方法及理由(包括如何考虑电厂高架源特点，如何考虑与应用模式结合等，必要时可作多方案对比)，说明资料来源、时间、并分析稳定度分类特征。

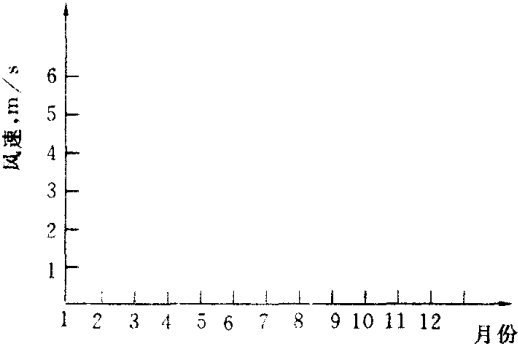


图12-3 ××气象台(站)各月平均风速曲线(××××年)(示意)

表12-27 ××气象台(站)气温、气压、湿度、降水量、蒸发量统计表(××××~××××年)

项目 \ 月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
气温 (℃)	平 均													
	极端最低													
	极端最高													
气压 (hPa)	平 均													
	极端最低													
	极端最高													
相对湿度 (%)	平 均													
降水量 (mm)	平 均													
	极端最高													
蒸发量 (mm)	平 均													
	极端最低													

表12-28为稳定度分类统计示意表，原则上根据实际采用的分类方法列表，但当评价区域为平原地区(包括农村、城市)或项目规定要求计算年平均浓度时，此表应改为风向、风速稳定度联合频率表。

表12-28 (××时间) 稳定度分类统计

稳定度①	A	B	C	D	E	F
百分比(%)						

① 如稳定度分类方法不同，形式可以有相应变化。

(二) 地面气象临时观测

当气象台(站)在评价区外,或与厂址处地理条件不一致时,应设置临时地面观测站。

(三) 边界层污染气象特征

简要说明开展污染气象测试的时间、方法、布点、内容的理由。

1. 测试时间

原则上按 HJ/T2.2—93 中方法确定。说明测试起止年、月、日,观测时次。

2. 测试布点位置

原则上按 HJ/T2.2—93 中的方法确定,绘制监测布点图,并用图例标出每个测点的测试内容。

3. 测试内容及使用仪器

测试内容及使用仪器参照表 12-29 填写。

4. 测试期间的天气形势

根据评价大纲评审确定是否需要做天气形势分析。如果需要进行则分析整个测试期间天气形势,绘制地面及 850hPa 天气图(高原地区附 700hPa 或 500hPa 天气图)。每个测试期间选择其中有代表性的 1~2 天,缩小后附于报告书中。

5. 其它资料

当引用当地或附近其它污染气象测试资料或气象探空资料时,应对资料来源、时间、测点、测试内容及建厂地区的地形差异加以描述。

表 12 29 测试内容及使用仪器

类 别	项 目	测试方法	使用仪器 ^①	备 注
大 气 边 界 层	风向风速			
	温度			
	湍流及扩散参数			
	气流轨迹			
	其它			
地 面	风向风速			
	气温			
	气压			
	湿度			
	其它			

① 使用仪器指仪器的型号、精度等。

6. 测试结果

(1) 风向

说明各高度风向的基本特征,风向随高度变化的一般规律,并参照表 12-30 和作各高度风向频率玫瑰图加以说明。如处于复杂地形条件下,应对风向变化的特殊规律加以描述。

表 12-30

复杂地形条件下各高度风向频率

测试单位：

测试时间：

测试方法：

‰

高度 (m)	风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
地面																		
100																		
等 间 距 100m 考 虑																		
1500																		

(2) 风速

说明边界层风速时空变化，主要分布规律等。平均风速时空变化按表 12-31 填写。

表 12-31

平均风速时空变化

测试单位：

测试方法：

测试时间：

m/s

高度 (m)	测试时间						平均
地面							
100							
等 间 距 100m 考 虑							
1500							

采用 P 指数法（或称幂指数法）计算平均风速廓线。列出有关公式，说明参数及计算方法，适用范围等。

平均风速廓线 P 指数可列表表达。

各高度各风速段出现频率参照表 11-32 填写。分析风速在各高度的出现频率，重点分析静风、小风频率随高度的变化。如静小风出现频率较高时，应考虑静风（小风）出现时间、

出现条件等，应有明确结论。

表 12-32 各高度各风速段出现频率 (×季) %

高度 (m)	风速 (m/s)					
	0~0.9	1~2.9	3~5.9	6~7.9	8~9.9	>10
地面						
100						
200						
300						
500						
700						
1000						
1500						

要绘制各高度平均风玫瑰图，风速、风向可以在同一张图上用不同线型表示，也可用另一张图分别表示。

(3) 低空流场分析

分析当地边界层流场特征。对于复杂地形条件的流场分析应根据下垫面特性，结合背景天气状况，分析当地低空流场的主要特点（如山谷风、海陆风、过山气流、城市热岛效应等）。应充分利用现场测试资料，天气资料加以分析，必要时，应做边界层风场的数值模拟。对于平原地区流场分析可以相对简化。

(4) 气温

分析当地边界层温度结构，如温度的时空变化等。平均温度时空变化参照表 12-33 填写。

表 12-33 平均温度时空变化 (示意)

测试单位：测试方法：测试时间：℃

高度 (m)	测试时间					平 均
地面						
100						
等 间 距 100m 考 虑						
1500						

(5) 逆温

分析逆温出现类型、强度、出现频率等特征，对可能引起的污染物浓度增加的逆温特征加以分析和描述。其特征可填表表示（见表 12-34）。

表 12-34

逆 温 特 性

测试单位：

测试方法：

测试时间：

逆 温 特 征		高 度 (m)	<100	100~200	200~300	300~500	>500	平均 ^② (合计)
接地逆温 ^①	出现频率 (%)							
	平均强度 (C/100m)							
	最大强度 (C/100m)							
低空逆温	出现频率 (%)							
	平均强度 (C/100m)							
	最大强度 (C/100m)							
	平均厚度 (m)							

① 接地逆温高度栏指顶高；低空逆温高度栏指底高。

② 平均（合计）一栏中，出现频率填合计值，其它项目填平均值。

(6) 混合层

说明混合层判别方法（实测或计算），分析混合层特征、出现频率等。在不同季节的各稳定度下平均及最大混合层高度可列表给出。

(7) 大气扩散参数

说明大气扩散参数获取的方法及理由，如选取现有的扩散参数，应结合高架源排放扩散特征论证其可行性。如采用实测方法，要描述测试手段、资料获取情况，简述计算方法、计算结果。扩散参数应分别用表及图示出。

(8) 资料代表性分析

简要分析测试期的各类资料代表性，地面资料与低空资料相关性分析，得出分析结论。

五、环境空气现状

(一) 环境空气污染源调查

1. 调查范围

一般不超过评价范围，然后绘制污染源分布图。

2. 调查内容及成果

调查拟建电厂周围污染源排放状况。主要以环保部门颁布或发行的环境公报、年鉴、报表等资料为依据，调查主要污染源的类型和能耗，统计 SO₂、NO_x、烟尘（粉尘）或其它有害物质排放量。若拟建电厂为热电厂，还应调查今后因集中供热而取代（削减）的污染源排放状况。

(二) 环境空气质量现状

1. 历史资料情况

若无历史资料，此部分可以不写。

(1) 资料来源

简要说明资料来源状况。

(2) 调查成果

收集评价范围内各例行环境空气监测点的近1~3年监测资料，以及当地环保部门的环境公报（告）、年鉴等公布的数据，统计分析当地大气中SO₂、NO_x、TSP等的1h平均浓度，日平均浓度和年平均浓度的历史状况和变化趋势。

2. 现状监测

(1) 监测点布设

简述布点原则，并绘制环境空气现状监测布点图（比例为1:50000或1:100000）。图中要附监测点一览表，内容包括：测点编号、点名、距源的直线距离、说明各测点的监测内容，所处的功能区。

(2) 监测项目

SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀等。

(3) 监测时间及频率

监测时间：说明监测起止年、月、日。

监测频率：说明每天监测次数及每次时间。

监测分析方法：参照表12-35填写。

表 12-35 监 测 分 析 方 法

项 目	监测仪器	采样方法	分析方法	最低检出限	单 位
SO ₂		盐酸副玫瑰苯胺比色法			
NO _x		盐酸萘乙二胺比色法			
PM ₁₀		重量法			
TSP		重量法			
...					

注 本表中所列项目应与现状监测项目一致。

监测结果：参照表12-36和表12-39填写。

表 12-36 （污染物名称）环境质量现状监测1h平均浓度统计结果

监测单位：

监测日期：

监测方法：

点 号	样本数	浓度范围 ^① (mg/m ³)	最大超标倍数	超标率 (%)

注 本表中浓度保留三位小数，最大超标倍数、超标率保留一位小数。

① 指标准状态时的数值。

表 12-37 (污染物名称) 环境质量现状监测日平均浓度统计结果

监测单位:

监测日期:

监测方法:

点 号	有效日数 (d)	浓度范围 ^① (mg/m ³)	最大超标倍数	超标率 (%)

注 本表中浓度值保留三位小数, 最大超标倍数、超标率保留一位小数。

① 指标准状态时的数值。

(三) 评价结论

根据监测数据的统计分析结果, 采用与评价标准直接比较的方法 (单因子法) 进行评价。

六、水质状况

(一) 水污染源调查

1. 调查范围

电厂排水涉及到的环境水域, 其范围根据分级确定。

2. 调查内容

调查水域评价范围内主要废污水排放口位置、排放量及主要污染物的排放浓度, 并附污染源位置图, 给出调查结果。

(二) 水温分布现状

本部分仅对同时受纳现有与扩、改电厂温排水的水体而设。

1. 历史资料

说明年平均、月平均、日平均水温及水温的年变化、月变化、日变化等资料的收集情况。

2. 现场补充监测

(1) 监测时间及频率。

(2) 监测范围及监测点布置。在电厂排水口上下游, 按水体的大小和功能确定调查范围和布置监测点。绘制监测布点图。

(3) 监测方法。说明水温同步观测的方法, 使用的仪器及记录的内容。

(4) 监测结果。说明监测结果, 绘制水温平面与垂向分布图, 并做出一定的分析。

(三) 水质现状

应尽量利用现有资料 (地方监测资料和项目监测资料), 无资料或现有资料不足时应进行现场监测。

1. 收集资料情况

用图或表表示出资料来源, 历年的情况、变化趋势等。

2. 监测情况

(1) 监测点布设

绘制监测布点位置图，并标明每个监测断面和监测点的监测内容。

(2) 监测项目

按地面水环境质量标准所列项目选择，并根据水体类型、主要污染源的主要污染因子及预测模型的要求有所侧重。主要项目有：水温、悬浮物、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、总氮、总磷、氟化物、石油类及有关重金属元素等。

根据功能，地下水按生活饮用水水质标准或地下水水质标准选择。

(3) 监测时间及频率

(4) 监测分析方法

可参照表 12-38 填写。

表 12-38 各监测项目的采样分析方法一览表

监测项目	分析方法	方法依据	检出限	单 位

(5) 监测结果

水质监测数据结果按表 12-39 填写。

表 12-39 水质数据结果表

监测项目	监测数据	评价标准值	备 注

(四) 水质现状评价结论

根据水质监测数据的统计分析结果，采用与评价标准直接比较的方法，对评价范围内的水体环境质量进行评价。

七、水生生物

(一) 水生生物调查

水生生物调查只针对温排水或灰水排放涉及到的水域内具有重要水生生物资源的情况。应充分利用现有资料，对不足部分作适当的实地补充调查。如该水域无重要水生生物资源，此部分可简化。

1. 调查范围

列出调查半径、调查面积并说明理由。

2. 断面和站点设置

说明断面和站点的设置方法，并附图。

3. 调查时间

说明调查的时段及每一时段调查的具体时间。

4. 调查内容

微生物、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物、游泳生物等，说明种类、生物量、初级生产力等。

(二) 现状调查结果

1. 水生生物

水生生物在评价水域内出现的种类及出现量按表 12-40 填写。

表 12-40

水生生物出现状况调查表

调查单位：

调查时间：

调查水域：

分 类	种 类	出 现 量	备 注
微 生 物			
浮游植物			
浮游动物			
底栖生物			
潮间带生物			
游泳生物			
...			

2. 特殊保护项目

对本水域有无特别保护的鱼类、虾类进行描述。

八、陆生生物

利用地方志或其它文献和概况性资料了解电厂地区有无重要陆生植物和陆生动物，如存在重要陆生植物和陆生动物（指有重要经济价值、生态价值、观赏价值、物种保存价值），则对其名称、特征概要、地域分布进行描述。

九、噪声环境质量现状

1. 测点布设

说明布点原则，并绘制噪声现状监测布点图。

2. 监测时间及频率

3. 监测仪器及方法

说明监测仪器生产厂家、型号、监测方法及监测频度等。

4. 监测结果

噪声现状监测统计结果按表 12-41 填写。

表 12-41

噪声现状监测统计结果

监测单位：

监测方法：

监测日期：

dB (A)

序 号	测点编号	昼 间				国家标准	夜 间				国家标准
		L_{10}	L_{50}	L_{90}	$L_{eq}(A)$		L_{10}	L_{50}	L_{90}	$L_{eq}(A)$	

注 天气状况：云量 $\times\times/\times\times$ ；温度 $^{\circ}\text{C}$ ；气压 hPa（昼间）

云量 $\times\times/\times\times$ ；温度 $^{\circ}\text{C}$ ；气压 hPa（夜间）

5. 噪声现状评价结论

根据噪声现状监测统计结果,采用与评价标准直接比较的方法(单因子),对评价范围内的噪声现状进行评价。

十、自然景观

1. 自然景观特征

说明将会受到电厂影响的景观现状,电厂附近主要人文、自然景观的名称及概要,位置、方位及距离。

2. 自然保护区

(1) 自然公园

指国家和省级政府规定的自然保护区和旅游风景区。对厂址区域的国家和省级政府规定的自然保护区和旅游风景区进行说明。自然公园、自然保护区及旅游风景区概况可按表 12-42 填写。同时附自然公园相对电厂的位置图。

表 12-42 自然公园(自然保护区和旅游风景区)概要表

名 称	等 级	分布地域及总面积	行政区属	概 要	批准年月

(2) 防护林

指国家或地方政府规定的森林、防护林、鸟兽保护区。对厂址区域国家或地方政府规定的森林、防护林、鸟兽保护区加以说明,可用填表方式表示,要附森林、防护林、鸟兽保护区相对电厂位置图。

十一、文化遗产及旅游资源

1. 文物古迹

指国家级和省级的文物古迹。对厂址区域的国家级和省级的文物古迹进行说明,文物古迹概况参照表 12-43 填写,并附相对电厂的位置图。

表 12-43 文 物 古 迹 表

名 称	等 级	位 置	年 代	概 要	批准年月

2. 旅游资源

指地方政府部门正式行文规定的旅游资源,要对其进行说明,内容包括种类名称、等级及批准年月、位置、性质、概况和目前开发、利用的状况等。

十二、其它

(一) 人口和社区

利用国家或地方统计年鉴，对电厂所在地的人口和社区的数量、位置、人口构成、人口密度、人口分布、人口就业、人口推移等情况进行简要说明。

(二) 土壤及土地利用

1. 土壤

根据评价大纲进行有关工作。

2. 土地利用状况

利用国家或地方统计年鉴，采取图、表法对电厂所在地的土地利用状况进行说明，土地利用情况参照表 12-44 内容填写。

表 12-44 土地利用概况表

市乡名称	土地总面积 (hm ²)	农 田		城 镇		村 宅		其 它	
		面积 (hm ²)	比例 (%)	面积 (hm ²)	比例 (%)	面积 (hm ²)	比例 (%)	面积 (hm ²)	比例 (%)

注 比例指分项面积除以土地总面积。

3. 土地利用规定及规划

地方政府部门和地方人大确定的土地利用规定、法规名称及主要内容。地方政府部门文件确定的土地利用规划内容。

(三) 水域利用

1. 水域名称、区域位置及种别 (是否港湾)

2. 水域资源开发利用现状

(四) 当地产业活动

1. 产业结构

各种产业就业人数、主要产业门类及产品种类、产量。

2. 总产值

各种产业门类的产值及总产值。

(五) 公共设施

1. 交通设施和能源供应

公路、铁路、港口、机场、航道的情况，能源、电力、供热、供气的基本情况。注意采用从各种公开发表的或从最新的年鉴、国民经济统计公报中获取的资料，并注意与电厂可行性研究报告一致。附厂址交通图。

2. 其它

当地通讯、医疗、卫生、教育、娱乐等方面发展的状况，在公共设施方面存在的主要问题等。

(六) 发展规划

说明当地是否制定了发展规划，制定和批准的时间与部门，发展规划的主要内容描述，规划执行和发展的状况等。

第三节 环境影响预测及评价

一、运行期环境影响预测及评价

(一) 环境空气环境影响预测与评价

以设计煤种和最终推荐的污染治理方案为主进行。

1. 环境空气污染物允许排放量及排放浓度

(1) 计算依据

说明执行标准、来源。

(2) 计算公式

列出主要计算公式。

(3) 参数的选取

参照表 12-45 内容选取有关参数。

表 12-45 参数选取一览表

项 目	符 号	单 位	数 值	备 注
环境平均温度	T_a	K		烟囱出口处
地面 10m 处平均风速	U_{10}	m/s		
有效烟源高度	H_e	m		
过剩空气系数	α			除尘器出口
排放控制系数	P			
地区扩散条件指数	m			
炉型折算系数	K			

(4) 计算结果及分析

计算结果：环境空气污染物允许排放量及允许排放浓度和实际值按表 12-46 填写。

表 12-46 环境空气污染物允许排放量及允许排放浓度

容量 (MW)	SO ₂ 排放量 (t/h)		SO ₂ 排放浓度 ^① (mg/m ³)		烟尘排放浓度 ^① (mg/m ³)		NO _x 排放浓度 ^① (mg/m ³)		
	实际值	允许值	实际值	允许值	实际值	允许值	实际值	允许值	

① 指干烟气标态时的数值。

计算结果分析：对 SO₂、烟尘、NO_x 等与标准进行对比分析；对改扩建工程应与老厂结合起来分析。确定除尘器效率；提出控制 SO₂ 和 NO_x 的要求；给出结论性意见。

2. 地面浓度预测

(1) 预测方法

根据工程和环境特点（包括对复杂地形和特殊环境保护要求），论述采用的预测方法。

1) 预测模式。烟气抬升高度公式：分别列出不稳定、中性、稳定与小风时的抬升公式，

同时论述选择抬升公式的理由。

浓度预测模式：列出 1h 平均浓度、日平均浓度预测模式，并简要论述选取模式的理由及模式的试用条件、范围。只有在平原地区和大纲审查明确提出要求时，才进行年平均浓度预测，并列出预测模式。否则可以省略。

2) 模式中参数的选取有排放源参数：电厂烟气排放参数见表 11-14。

扩散参数：列出各稳定度时的扩散参数，当对小风、静风及其它特殊气象条件进行预测时，应分别用表格表示其扩散参数。

(2) 预测结果

1) 1h 平均浓度主要针对不利气象条件分析最大落地浓度。

1h 平均浓度预测结果按表 12-47 要求填写。

表 12-47 1h 平均浓度最大值预测结果一览表 规模：

不利气象 条件说明	预测因子	最大地面浓度 ^① (mg/m ³)	离源距离 (km)	占评价标准百分比 (%)	所处功能区	出现频率 (%)	其它

① 指标准状态时的数值。

2) 日平均浓度重点分析日均浓度的一般规律，最大地面浓度状况及对主要关心点、敏感点的影响。日平均浓度预测结果按表 12-48 要求填写。

表 12-48 日平均浓度预测结果一览表 规模：

日 期	预测因子	最大地面浓度 ^① (mg/m ³)	离源距离 (km)	方 位	占标准百分比 (%)	超标面积 (km ²)	所处功能区	其 它
日平均浓度范围								

① 指标准态时的数值，表 12-49、12-50、12-51 均相同。

要求绘制日平均浓度等值线图。可以在同一张图上用不同的线型分别表示不同污染物的日平均浓度。图中应标明电厂位置、比例尺、方向、主要道路、重点保护目标及最大浓度发生的位置、数值等，注明时间及浓度单位。每个典型日应对应一张等值线图。等值线图幅面一般为 420mm×297mm。

参照表 12-49 填写主要关心（敏感）点日平均浓度情况。不同污染物可以用同一张表或分别列表表示。

表 12-49 主要关心（敏感）点日平均浓度

序 号	关心点功能描述	现状浓度 (mg/m ³)	电厂贡献浓度范围 (mg/m ³)	电厂日均浓度占标准份额范围 (%)

3) 不同方案的 SO₂ 日平均浓度预测结果分析

上述预测结果都是对设计煤种和最终确定的方案进行的，此部分则要简要分析不同方案的情况。

不同方案的日平均浓度预测结果按表 12-50 要求填写。

表 12-50 不同方案的日平均浓度预测结果分析表

方案内容 ^①	最大值 (mg/m ³)	占标准的份额 (%)	超标面积 (km ²)	超标频率 (%)	超标位置及功能区

① 方案内容可以为不同的烟囱高度和组合形式（包括新、老厂）、不同的容量、不同的煤质等，根据工程的具体情况确定。

4) 扩、改建电厂对环境影响的变化情况

对扩、改建电厂还应考虑现有电厂影响、新老厂对比及最终影响。扩、改建电厂对主要关心点最大日均浓度的变化情况按表 12-51 要求填写。

表 12-51 扩、改建电厂对主要关心点最大日均浓度的变化情况

序 号	关 心 点	污 染 物 名 称	最大日均浓度 (mg/m ³)			增减 ^① (%)
			现有电厂	本期	扩改后	

① 增减(%)一栏为扩改后与现有电厂相比，各关心点污染物最大日均浓度的增减量占原有电厂影响的百分比。增减符号用“+”、“-”号表示。

5) 年平均浓度

若需进行年平均浓度预测时，绘制设计煤种的 SO₂ 年平均浓度分布图，简要分析计算结果。

(3) 其它

以氟化物为例：

- 1) 燃料含氟量分析。
- 2) 排放量计算方法。
- 3) 执行的标准。
- 4) 评价的对象及特点。
- 5) 预测模式。
- 6) 预测结果分析。

3. 风洞试验

根据大纲审查确定是否进行风洞试验。如进行风洞试验，则按下述内容描述。

(1) 简介

说明试验单位、试验方法及模型比例，附试验装置图。

(2) 试验条件及范围

1) 试验条件

说明试验风向、风速、大气稳定度，烟源参数。

2) 试验范围

说明并给出试验范围。

(3) 选择试验条件的理由

(4) 试验结果

将模式预测结果与风洞试验结果进行对比分析,说明预测结果准确性。

4. 数值模拟预测

根据大纲审查确定是否采用数值模拟方法预测污染物浓度,当采用数值模拟方法预测污染物浓度时,按下述内容描述。

(1) 模式简介

列出主要公式,说明应用范围条件、计算方法。

(2) 参数选取和边界条件

(3) 浓度预测

(4) 模式验证

5. 参数、资料的代表性分析

6. 环境空气影响评价结论

对计算结果及上述分析进行综合。说明电厂投运是否符合有关的排放标准;说明电厂对周围环境空气的影响程度及范围是否在可以接受的限度之内;对厂址选择、建设规模、总图布置等可行性提出意见;对改造项目(含以大代小),要分析对环境污染程度的增减状况,并说明运行后最终规模对环境的影响,对其它环境敏感问题的影响和评价等。

(二) 温排水环境影响预测及评价

1. 温排水水温的扩散预测

(1) 扩散预测计算

1) 温排水扩散的数值模拟验证及预测。温排水的扩散数值模拟应建立在二维或三维流场数值计算的基础之上。需具体说明采用的控制方程、计算的初始及边界条件、计算方法、各种假设的解释。绘出计算网格及尺寸,同时结合流场模拟验证结果。

温排水扩散预测条件参照表 12-52 内容填写。

表 12-52

温排水扩散预测条件表

项 目	单 位	模拟数据	备 注
温排水流量	m^3/s		
环境水温	$^{\circ}\text{C}$		
排水水温	$^{\circ}\text{C}$		
热水层厚度	m		
扩散系数(或公式)	m^2/s		
湿度	$\%$		
风速	m/s		
云量			
水面综合散热系数	$\text{J}/(\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h})$		
模拟范围	km^2		

2) 模拟预测结果。绘制各个工况下的流速场分布及相应的水温分布图。图中应包含

1C、2C、3C、4C等温线。图中应标明电厂排水口、岸线及主要关心点等。该图幅面一般为420mm×297mm。

模拟预测结果参照表12-53填写。

表 12 53

预 测 结 果 一 览 表

项 目 ^①		沿岸方向最远扩散距离 (km)	垂岸方向最远扩散距离 (km)	包络面积 (km ²)
表 层	1C			
	2C			
	3C			
	4C			
中 层	1C			
	2C			
	3C			
	4C			
底 层	1C			
	2C			
	3C			
	4C			

① 若采用二维模式只填写中层一栏表格。

(2) 温排水物理模型试验

根据大纲审查确定是否进行物理模型试验。若进行该试验则应说明采用物理模型试验的方法。

1) 试验条件。说明物理模型试验装置、试验方法、模型模拟范围、模型相似准则、模型比尺。试验条件参照表12-54内容给出。

表 12-54

试 验 条 件

项 目	单 位	原 型 量	模 型 量	备 注
温排水流量	m ³ /s			
排水流速	m/s			
排水口方向				
温排水水温	℃			
自然水温	℃			

2) 试验结果按表12-55填写。

表 12-55

试 验 结 果

试验单位：

试验时间：

深 度	超温 ($^{\circ}\text{C}$)	扩散最远距离 (km)			扩散面积 (km^2)
		沿岸方向	垂岸方向	距排水口最远距离	
表层水面 0.5m 以下	1				
	2				
	3				
	4				
水面以下 3m	1				
	2				
	3				
	4				
水面以下 5m	1				
	2				
	3				
	4				
水面以下 7m	1				
	2				
	3				
	4				

绘制温排水扩散预测超温包络线范围（包括水面以下 0.5m、3m、5m、7m），绘制温排水纵断面流速分布（纵坐标为水深，横坐标为距排水口距离），绘制排水口附近水域的流速流向平面分布图等，图幅一般为 210mm×297mm 或 420mm×297mm。

2. 温排水余氯的扩散及预测

根据环境特征，采取类比方法进行说明。对特殊项目如需进行数值模拟时，应给出数学模型、计算条件、衰减系数等。对模拟结果绘制不同工况下余氯浓度分布图和浓度包络线图，并说明包络面积，图幅一般为 210mm×297mm 或 420mm×297mm。

3. 温排水对水域富营养化影响预测

根据大纲审查确定是否需要。如果需要，应做以下说明。

(1) 现状评价

说明评价依据、标准和评价方法等。

(2) 预测因子

总氮、总磷、叶绿素等。

(3) 水域富营养化影响预测

说明选择预测模式的理由，计算方法和各参数选择的原则等。

(4) 预测结果分析

着重分析由温排水而引起的水体温度增升所造成的影响及防治措施。

4. 温排水环境影响评价结论

- (1) 水域温升 1℃ 以上对水生生物影响评价结论。
- (2) 取水对水生生物的卷载效应和机械损伤的影响评价结论。
- (3) 温排水对渔业生产产量及产品质量的影响定性评价结论。
- (4) 一定水域内冷却水取排水流速对船舶的侧向流速影响是否能满足基本要求的结论。
- (5) 温排水对环境水域富营养化（包括赤潮）影响程度的定性分析或评价结论。

(三) 一般排水环境影响预测及评价

1. 预测内容

(1) 预测因子

选择的预测因子说明。

(2) 混合区范围计算

(3) 污染物浓度分布计算

根据水域功能可以用稀释混合模式及一维、二维的数模计算，给出模式名称及形式。

2. 预测结果

预测结果参照表 12-56 填写。

表 12-56 预 测 结 果 mg/l (pH 除外)

预测项目	水体名称	断面距离 (m)	现状情况	预测结果	评价标准	评价结果

3. 一般排水环境影响评价结论

扩建电厂应将各项指标与原状指标进行比较，说明污染程度的加强或减轻。

(四) 灰水环境影响预测及评价

1. 灰水环境影响预测

(1) 灰水对地面水环境影响预测

1) 预测因子。选择因子的说明。

2) 预测方法及有关文件。其中对 pH 应考虑环境水域对灰水的掺混稀释效应及环境水或对冲灰水的缓冲作用，给出预测方法并作有关说明。对其它污染因子，其污染物预测模式应考虑不同污染物的化学反应、衰减作用和沉降作用。

3) 预测结果。说明灰水在评价水域内的浓度分布。预测结果参照表 12-57 填写。

表 12-57 灰水对地面水环境影响预测结果 mg/l (pH 除外)

预测项目	水体名称	断面距离 (m)	现状结果	预测结果	评价标准	评价结果

4) 洪水期风险分析。

(2) 灰水对地下水环境影响预测

主要适用于具有饮用水功能的地下水水源地。以下内容适用于水力除灰湿灰场方案,干灰碾压贮存方案时,工作深度可酌减,以调查分析为主。

1) 预测因子。根据实际灰水水质而定。

2) 预测方法及有关条件。地下水渗流模型:列出模型公式及计算方法,并简要说明理由。

地下水水质模型:列出模型公式及计算方法,并简要说明理由。

参数取值

3) 预测结果。应给出灰水下渗后污染物扩散的浓度分布、水位变化及污染程度。

2. 灰水环境影响评价结论

分别对灰水影响的地面水及地下水进行评价。地下水重点评价对生活饮用水源的影响及防治措施。

(五) 噪声环境影响预测及评价

1. 源强

一般采用类比调查方法确定。

2. 预测模式

写出主要的预测模式。

3. 预测结果

计算出噪声等效 A 声级值,以 5dB (A) 间隔的等值线绘制噪声等效 A 声级值预测分布图。图幅一般为 420mm×297mm。

4. 噪声环境影响评价结论

说明评价厂界噪声是否达标,对电厂周围环境影响是否满足有关噪声环境质量标准,尤其应对敏感点(区)的影响作出明确评价结论。

(六) 固体废弃物及粉尘环境影响分析

简要分析粉煤灰在输送及贮存过程中二次扬尘对大气环境可能造成的影响,分析灰场二次扬尘对周围环境的影响程度和范围,可能造成不良影响的气象条件及出现概率、分析贮煤场(电厂内)可能造成的二次扬尘的影响。

(七) 对水生生物的影响分析

(八) 对陆生生物的影响分析

此部分根据大纲评审确定,只对电厂建设期、运行期对敏感陆生动植物的影响进行简要分析。

1. 电厂建设期的影响

简要说明由于电厂的建设对其周围植被及重要陆生动物、鸟类生息及繁衍环境的影响。

2. 电厂运行期的影响

根据环境空气、噪声预测结果,分析对拟建电厂周围陆生生物(敏感、重要的动物、植物)的影响。

对于农作物,可根据(GB9137)《保护农作物的大气污染物最高允许浓度进行评价。

(九) 对自然景观的影响分析

1. 电厂建设对自然景观的影响分析

简述由于电厂建设对自然景观的影响,对有特殊景观要求的,在有代表性的观察点拍摄建设前的景观照片,并合成建设后的景观照片。照片对角线长以不小于 20cm 为宜。

2. 景观保护

提出对总体布置、建筑物、设施色彩配置、绿化、点化的要求,从而使电厂建成后能与周围自然景观和谐、交融。

提出保护灰场自然景观的要求。

(十) 其它

1. 土地利用

分析灰场及电厂建设对土地利用的影响,并说明有无移民问题。

2. 水域利用

3. 交通运输

说明电厂建成后,对当地交通运输业,交通道路设施等的正负影响。宜绘制电厂建设和运行中主要原材料运输的主要线路图。

4. 文化遗产

首先说明有无国家或地方政府规定的文化遗产保护目标,若有则简要分析对其可能产生的影响。

二、建设期环境影响简要分析

此部分只做简要描述。

第四节 污染防治对策

一、电厂运行期污染防治对策

(一) 环境空气污染防治对策

1. 基本原则

环境空气污染防治首先要通过治理措施的优化,使电厂向外环境排放的大气污染物满足国家和地方的排放标准,并使其通过大气输送与扩散后满足环境质量标准的要求。其次,尽可能地考虑到环境标准的逐步严格化,在经济合理的条件下,采取使电厂排放的大气污染物对环境影响程度尽可能小的预防和治理措施。

2. 使用燃料的情况分析

对使用设计煤种的可靠性和使用校核煤种的可能性进行分析,对扩建电厂应分析实际使用煤种的情况,此部分主要针对煤的含硫量分析。

3. 防治对策

(1) SO₂ 防治对策

1) 高烟囱排放。通过论证提出烟囱型式(单管还是集束)、高度、出口内径。论证时

应给出不同烟囱方案的允许排放量、地面浓度、技术经济状况比较表等。

2) 煤种调换与调度。改换低硫煤种或在不利条件下燃用优质煤(主要指低硫煤)的可能性分析。

3) 预留脱硫装置的位置。对需要预留脱硫装置时应说明其重要性和必要性,并根据初步的脱硫方案确定占地面积,并在总平面布置中标明。

4) SO_2 的监控计划。

5) 采用脱硫装置。如需安装脱硫装置,则提出硫的脱除量,并参照表 12-58 填写初步分析的脱硫后有关排放参数。并提出要进行专门的脱硫可行性研究的建议。

表 12-58 安装脱硫装置的基本情况

序 号	假定的脱硫方式	处理烟气量 ^① (m^3/h)	入口浓度 ^① (mg/m^3)	脱硫效率 ^① (%)	出口浓度 ^① (mg/m^3)	烟囱出口排放量 (kg/h)

① 指标态时的数值。

(2) NO_x 防治对策

说明采用低氮氧化物燃烧器和改变燃烧方式降低 NO_x 排放量的具体措施,提出烟气 NO_x 排放浓度的要求。

(3) 烟尘防治对策

提出除尘器形式及所需最低的除尘效率、烟尘排放量及排放浓度等。论证保证除尘效果的可能性和可靠性,明确具体措施等。

(二) 温排水污染防治措施

1. 基本原则

应说明冷却水取排水口的平面及立面布置,并用图表示。主要从如何减小温排水高温区方面考虑。

2. 取排水对策

(1) 取水对策

为了防止取水对水生生物的机械损伤和被吸入取水口所采取的措施。

(2) 排水对策

说明排水口的位置、型式、缩小高温区范围和减轻热影响及防止对船舶航行影响的工程措施。

3. 加入有关药剂的对策

4. 其它

(三) 一般取排水污染防治对策

1. 一般取水对策

(1) 基本原则

电厂使用淡水时,防治取水设施对环境影响的基本原则。

(2) 具体对策

1) 说明是否经水资源储委会的审定。

2) 电厂取水工程对环境的影响及采取的主要防护措施,应注重大江大河取水的泥沙处理、生态影响问题。当影响到当地用水规划时,与地方协商解决的具体措施和方案等。

2. 一般排水污染防治对策

(1) 基本原则

通过论证提出废(污)水的处理措施。从是否满足排放标准及水体环境功能的要求,是否做到了在经济合理的前提下最大限度地减少了向水体排放废水,是否做到了一水多用及优化用水排水方案等方面进行考虑。

(2) 具体对策

1) 对策概要。论述电厂各主要废水的处理方案选取原则。

2) 设置的主要处理设施及处理效果。电厂主要废(污)水处理设施和处理效果按表 12-59 填写。

表 12-59 主要废(污)水处理设施和效果一览表 mg/l (pH 除外)

废(污)水名称 ^①	处理设施及工艺描述	处 理 效 果				去 向
		主要污染因子	入口浓度	出口浓度	排放标准	

① 表中所列废(污)水名称及主要污染因子应与表中一致。

对表中所列各种废(污)水绘制处理工艺流程图,图中应注明水量。当采用冷却塔再循环冷却方案时,应说明冷却塔的循环倍率、循环水处理方法,以及排污水的处理方法及去向。并提出防止冷却塔水雾对环境影响的对策。

3. 电厂节水的基本考虑、措施和效果

(四) 灰水污染防治对策

1. 基本原则

防止湿式贮灰场灰水污染主要从对地下水、地面水的影响方面考虑。

2. 具体对策

(1) 对地面水的影响对策

1) 贮灰场澄清水应尽可能地进行回收,减少灰水排放量。

2) 合理确定灰场的排灰口及灰水排放口的位置,尽可能延长灰水在灰场中的停留时间,降低悬浮固体(SS)和 pH 值。

3) 使灰水满足排放标准的其它措施。

4) 保证灰场在洪水期间安全运行,减轻灰水对环境的影响,包括防止洪水对灰坝影响的措施。

(2) 对地下水的影响对策

1) 根据灰场工程地质及水文地质资料,结合灰场地区环境,提出必要的防渗措施。如:采用工程碾压、截渗管、土工膜、帷幕灌浆、泄压井等。

2) 对由于地下水水位抬升而影响到的农作物及民用水井的补救措施。

3) 监测井位设置的考虑。

(五) 噪声污染防治对策

1. 基本原则

从设备噪声控制、隔音降噪、平面布置、建筑设计和绿化等方面，论述控制、防治噪声的原则。

2. 具体对策

列出对主要噪声源（设备）的噪声限值要求及隔音、降噪和防震措施。电厂主要噪声源、噪声限值及防噪措施参照表 12-60 填写。

表 12-60 主要噪声源、噪声限值及防噪措施 dB (A)

噪声发生源	噪声限值	防噪措施	噪声发生源	噪声限值	防噪措施
锅炉对空排汽			主变压器		
磨煤机			输煤栈桥、转运站		
发电机					
汽轮机			冷却塔		

(六) 固体废弃物及贮煤场防治对策

1. 基本原则

针对灰渣的处置和利用的具体情况,提出防止其污染的原则。

2. 具体对策

(1) 防二次扬尘对策

论证并提出防治贮煤场产生的煤尘、灰的输送，存贮过程产生的二次扬尘污染防治措施。

1) 煤尘污染防治措施。煤场情况概述：说明运输方式和煤堆形状、最大堆煤量、堆放方式及是否在敏感目标所在地的盛行风向的下风向等。还要说明煤的运输过程和煤场防尘措施。

2) 灰场二次扬尘防治对策是厂内干灰系统防尘对策和卸灰系统防尘对策。灰场二次扬尘防尘措施。特别要重视对干灰碾压灰场的防尘。

灰场管理：说明灰场管理站情况、人员、装备、运行和管理措施及灰场绿化、覆土造田。

(2) 综合利用

工程中如何考虑粉煤灰综合利用创造条件?考虑了哪些具体措施?

说明综合利用的情况,有哪些确定可靠的途径?用灰量多少?哪个部门提出的计划?有待进一步开展哪些工作。

(七) 保护陆生生物对策

1. 陆生植物

(1) 基本原则

根据植物生态的调查结果进行绿化设计, 并努力保护电厂区域的植物生态环境。

(2) 具体对策

1) 植物保护。根据环境调查,了解和掌握电厂周围的植物生态环境状况,如敏感植物种群和作物种类、自然植物保护区等。特别是对于灰场的植被保护与恢复应有具体条件。

2) 绿化计划。厂区及主要电厂设施周围(煤场、主变压器、冷却塔、灰场、厂前区和生活区)、主要道路两侧设置绿地或绿化带。根据占地的特点提出绿化设计的原则,如树木、灌木、草本植物的栽种方案。提出绿化系数。除此应附电厂绿化规划图,标明图例及比例尺、方位、绿化面积。绿化规划图幅面一般为420mm×297mm。

2. 陆生动物

根据具体情况确定。

(八) 保护水生生物对策

1. 水生植物

根据具体情况确定。

2. 水生动物

根据具体情况确定。

(九) 自然景观保护对策

1. 基本原则

总平面布置及建筑设计和布置方面要考虑与当地自然景观协调。

2. 具体对策

(1) 电厂建筑物的色彩考虑与周围景观尽可能协调。

(2) 土地使用方面,对现存树木、绿地、农田的占用要控制在最低限度。

(3) 结合电厂(含灰场)的绿化设计来规划安排现有常绿林木、绿地。

(十) 其它

二、电厂建设期污染防治对策

(一) 环境空气污染防治对策

1. 基本原则

污染防治要使施工中排放的环境空气污染物满足国家有关的排放标准。

2. 具体对策

生活及工业用水锅炉的烟尘与粉尘防治措施及施工中粉尘防治对策。

(二) 水污染防治对策

1. 基本原则

对施工的主要污水排放要进行控制和处理,建设单位和施工单位要重视施工污水排放的管理,杜绝不处理和无组织排放,排放地域(水体)应征得当地环保部门和有关方面的同意,以防止施工污水排放对环境的污染。

2. 具体对策

用流程图表示施工污水种类、水量和简要处理方案。

(三) 噪声防治对策

1. 基本原则

从施工机械、运输工具的噪声控制、防震降噪、作业时间限制等方面，论述控制、防止噪声的原则。

2. 具体对策

(四) 其他

根据具体情况，一般考虑施工中物资材料运送、挖掘土石方及灰场施工等情况。提出防治污染的基本原则和具体对策。

第五节 结 论 及 其 他

一、电厂环保投资估算与效益简要分析

(一) 电厂环保投资估算

可按表 12-61 内容填写。

表 12-61

电厂环保投资估算表

项 目 ^①	费 用 (万元)	备 注
除尘系统		
电厂环境监测站及监测系统		
烟囱及烟道		
取排水环保系统		
工业废水处理系统		
生活污水处理系统		
灰场、除灰系统		
灰渣综合利用		
降噪隔音及消音器		
绿化及植被恢复		
脱硫或预留脱硫场地(包括副产品处置用地)		
环评费用		
...		
合计		
发电工程总投资		
占总投资费用的比例, %		

① 若电厂工程包括专用煤码头，则应将煤码头环保投资列入表内。

(二) 效益分析

1. 环境效益

主要说明建厂前有哪些不利环境条件通过电厂建设而得以改善，如自然景观布局，对污染物排放的削减等。分析电厂建设对环境的不利因素是否在可接受的程度内。

2. 社会效益

主要从解决供电（热）状况的改善，教育、文化、医疗、娱乐设施优先发展和健全，提供就业机会等方面进行论述。

3. 经济效益

根据电厂建设的经济效益指标，结合当地或行业经济发展现状和有关政策，简要分析经济效益。电厂经济效益情况参照表 12-62 内容填写。

表 12-62 电厂经济效益一览表

项 目	单 位	指 标	项 目	单 位	指 标
工程总投资	万元		投资税利率	%	
流动资金	万元		财务内部收益率	%	
投资回收期	年		财务净现值	万元	
投资利润率	%		售电单位成本	元/ (MW · h)	

二、环境管理与监测计划

（一）环境管理计划

提出电厂设立环境管理机构的具体要求，根据本项目特点提出环境管理机构的职能和管理工作的特殊要求。

（二）环境监测计划

应针对项目特点及有关环保要求，提出环境监测计划。

1. 运行期环境监测项目

根据项目特点和有关规定设立相应监测项目。

（1）环境空气、废气

烟气排放、煤场、灰场扬尘等。

（2）水体、废水

厂区排水、灰场排水等。

（3）其它

如噪声等。

2. 监测方法和手段

根据火电厂环境监测技术规范和国家有关监测规范进行监测。

3. 监测点布设

根据有关规范要求布设监测点。

4. 环境监测站与主要仪器设备

（1）环境监测站设置

根据火电厂环境监测条例规定，结合工程的具体情况提出环境监测站的面积和基本要求。

（2）主要环保监测仪器

用表列出主要环境保护监测仪器。

三、结论

1. 电厂建设重要性及必要性

2. 环境质量现状

简要描述环境空气、水体、声学等环境质量状况，说明有无超标及存在的主要问题，对超标情况应说明超标功能区、面积、超标倍数及频率。

3. 电厂运行期主要污染防治对策

(1) 环境空气污染防治对策

简要说明烟囱高度、组合形式、脱硫或预留场地或采取用低硫煤控制 SO_2 的对策情况，除尘器类型、最低要求效率、推荐效率、控制 NO_x 排放的具体措施等。

(2) 水污染防治对策

简要说明有无温排水，减少温度影响范围及防止对生物损伤的措施，工业废水是分散处理还是集中处理，以及具体达标处理的措施及重复利用情况，有无灰水，灰水回收循环利用情况，灰场防渗、截渗情况，处理达标后排放情况，生活污水排放途径，处理达标排放的措施等。

(3) 噪声防治对策

针对敏感目标采取的主要措施。

(4) 固体废弃物及煤尘防治对策

简要说明除灰渣方式（湿除、分除、干除灰、湿除灰），灰渣存贮方式，防灰场、煤场扬尘措施，采取哪些措施为粉煤灰综合利用创造条件（如：干灰干排、粗细分排、灰渣分排，设计粉煤灰的输送贮运系统）。

(5) 其它

如煤码头等。

4. 环境影响主要预测结果

定量化简要说明电厂的主要污染物对环境质量 and 重要环境保护目标的影响。

5. 评价结论

从环保角度对建设规模、厂址和灰场选择的可行性给出明确结论，并提出推荐厂址及灰场名称。

6. 建议

根据我国环保法规定，报告书中提出的环保对策是必须执行的。但因特殊原因对某项污染物还无法确定具体的处理工艺时，应提出原则性要求和下一步工作的建议，如脱硫、锅炉酸洗废液的处理等。

复 习 题

1. 简述工程建设项目环境影响评价在电力工业可持续发展中的作用和地位。
2. 电力建设项目环境影响评价的依据为哪些内容？
3. 电力温排水中为何加氯？
4. 电力生产中产生哪些环境污染问题？

5. 拟建项目地区环境状况包含哪几方面？
6. 简述电厂运行期间环境影响预测与评价的内容。
7. 电力生产的污染防治对策为哪些内容？
8. 二氧化硫和氮氧化物采用什么方法进行控制？
9. 环境影响评价应得出什么结论？

参 考 文 献

- 1 薛纪渝, 王华东. 环境学概论. 北京: 高等教育出版社, 1995
- 2 曲格平. 中国的环境管理. 北京: 中国科学出版社, 1989
- 3 张开航等. 环境管理与环境系统分析. 济南: 山东大学出版社, 1990
- 4 程声通等. 环境系统分析. 北京: 高等教育出版社, 1994
- 5 朱利中, 张建英. 环境化学. 杭州: 杭州大学出版社, 1994
- 6 蒋展鹏, 祝万鹏. 环境工程监测. 北京清华大学出版社, 1990
- 7 苏文才等. 环境质量学概论. 开封: 河南大学出版社, 1989
- 8 酆桂芬. 环境质量评价. 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- 9 蔡贻谟等. 环境影响评价手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1987
- 10 王华东等. 环境影响评价. 北京: 高等教育出版社, 1989
- 11 陆雍森. 环境评价. 上海同济大学出版社, 1990
- 12 叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学. 北京: 高等教育出版社, 1994
- 13 《火电厂工程环境影响研究》编写组. 火电厂工程环境影响研究. 南京: 南京大学出版社, 1989
- 14 国家环保局. 环境影响评价技术导则. 北京: 中国环境科学出版社, 1994
- 15 国家环保局, 电力工业部. 火电厂建设项目环境影响报告书编制规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1996
- 16 Word Bank. Environmental Impact Assessment Guidelines for Industrial Development. Washington. D. C. : Office of Environmental and Scientific Affairs, 1985
- 17 James E. Dooley. Risk Analysis for Health and Environmental Management. Atlantic Nova print, 1990
- 18 Munn R E. Environmental Impact Assessment. SCOPE Series, John Willey & Sons Inc, 1979
- 19 Carpenter R A. and Maragos J E. How to Assess Environmental Impact on Tropical Islands and Coastal Areas. Asian Development Bank, 1989
- 20 Canter L. W and Hill L. G. Handbook of variables for Environmental Impact Assessment. Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1979

Images have been losslessly embedded. Information about the original file can be found in PDF attachments. Some stats (more in the PDF attachments):

```
{
  "filename": "MTA5NjA1MTkuemlw",
  "filename_decoded": "10960519.zip",
  "filesize": 23069403,
  "md5": "658fd10ec1c68747746aadb5f6acb34",
  "header_md5": "a26da5d6d5296160a3bcfa171c1da9b8",
  "sha1": "435c77c5438e5594001b77543e7d89e5188f794c",
  "sha256": "525a0f02eb75038be403044e88b1083189c81ff92ad0087bd280f922f6ffa5fb",
  "crc32": 828526011,
  "zip_password": "",
  "uncompressed_size": 24266658,
  "pdg_dir_name": "",
  "pdg_main_pages_found": 289,
  "pdg_main_pages_max": 289,
  "total_pages": 296,
  "total_pixels": 1959839360,
  "pdf_generation_missing_pages": false
}
```