



新世纪土木工程系列教材

土木工程概论

(第4版)

主编 叶志明

副主编 姚文娟 汪德江

高等教育出版社

本书第3版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材



新世纪土木工程系列教材 (专业核心课程)

● 土木工程概论 (第4版)		叶志明	主 编
工程流体力学 (第2版)	禹华谦	主 编	莫乃榕 副主编
土力学 (第2版)	赵树德	主 编	廖红建 主 编
土木工程地质 (第2版)	胡厚田	主 编	白志勇 主 编
土木工程材料 (第2版)	黄政宇	主 编	尚建丽 副主编
土木工程测量 (第2版)	岑敏仪	主 编	许 曦 杨正尧 副主编
混凝土结构设计原理 (第4版)	沈蒲生	主 编	梁兴文 副主编
钢结构设计原理	张耀春	主 编	周绪红 副主编
基础工程 (第2版)	赵明华	主 编	徐学燕 副主编
土木工程施工 (第2版)	刘宗仁	主 编	王士川 副主编
建设项目管理 (第2版)		田金信	主 编
土木工程预算 (第2版)	张守建	主 编	许程洁 副主编
荷载与结构设计方法 (第2版)	白国良	主 编	刘 明 副主编
土木工程建设法规 (第2版)	吴胜兴	主 编	罗世荣 宋宗宇 王 岩 副主编
土木工程结构试验与检测		刘 明	主 编



数字课程网站

网址: <http://abook.hep.com.cn/1248021/>

<http://abook.hep.edu.cn/1248021/>

数字课程账号 使用说明详见书内数字课程说明页

ISBN 978-7-04-044724-8



9 787040 447248 >

定价 39.80元



新世纪土木工程系列教材

土木工程概论

TUMU GONGCHENG GAILUN

(第4版)

主编 叶志明

副主编 姚文娟 汪德江

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是新世纪土木工程系列教材之一，依据教育部最新颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》的要求编写，本书是在 2001 年第 1 版、2004 年第 2 版、2009 年第 3 版的基础上修订而成的《土木工程概论》（第 4 版）。

本书简明、新颖、实用，着重介绍土木工程专业的基本内容，以帮助学生了解土木工程所涉及的范围、成就和最新发展等情况。根据本书在第 1、2、3 版使用过程中所发现的问题与不足，结合近年来土木工程领域所取得的成就与进展，以及编著者在课程和教材建设中所取得的成果，本书第 4 版作了较大的修订。版式也做了全新的设计。全书共 12 章，分别就课程绪论、土木工程材料、地基基础及地下工程、建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、港口工程、水利水电工程、土木工程施工与建设项目管理、土木工程防灾与减灾、数字化技术在土木工程中的应用、智慧城市和土木工程等方面进行了介绍，尽可能从学科概论的视角反映土木工程的综合性、社会性及其在技术、经济与管理方面的统一性，并在进行工程教育的过程中告诉学生从事土木工程专业的思想和方法。

本书可以作为土木工程、水利工程、建筑学、城市规划等专业的教材和教学参考书，也可作为其他理工类和人文类专业的选修课教材，同时亦可供成人自学使用。

图书在版编目（CIP）数据

土木工程概论 / 叶志明主编. --4 版. --北京：高等教育出版社，2016.2
ISBN 978-7-04-044724-8

I. ①土… II. ①叶… III. ①土木工程 - 高等院校 - 教材 IV. ①TU

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第010039号

策划编辑	单 蕾	责任编辑	单 蕾	封面设计	李小璐	版式设计	范晓红
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘丽娴	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	高教社（天津）印务有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	850mm×1168mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	15.25	版 次	2001年8月第1版
印 数	300千字		2016年2月第4版
购书热线	010-58581118	印 次	2016年2月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	39.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有 侵权必究
物 料 号 44724-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1249611>，单击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 课程充值：登录后单击右上方“充值”图标，正确输入教材封底标签上的明码和密码，单击“确定”按钮完成课程充值。

3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程，单击“进入课程”即可开始课程学习。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：ecourse@pub.hep.cn



用户名

密码

验证码

2 8 5 4

进入课程

使用说明

数字课程介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

土木工程概论数字课程与纸质教材一体化设计，紧密配合。数字课程涵盖课程介绍、教学动画、视频、拓展阅读、参考文献等板块。充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时，为学生学习提供思维与探索的空间。



用户名：输入教材封底的16位明码；
密码：刮开“增值服务”涂层，输入16位暗码；输入正确的验证码后，
点击“进入课程”开始学习。

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程资源按照章、节的形式构成，配有名人介绍、视频、拓展阅读、教学动画等内容的资源，均以二维码（如下）的形式在书中出现，扫描后即可观看。所有资源在易课程的对应章节中也可观看。



教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

名誉主任：沈蒲生（湖南大学）

主任委员：周绪红（重庆大学）

副主任委员：（按姓氏笔画排序）

叶志明（上海大学）

白国良（西安建筑科技大学）

沙爱民（长安大学）

吴胜兴（河海大学）

邹超英（哈尔滨工业大学）

强士中（西南交通大学）

委员：（按姓氏笔画排序）

卫 军（中南大学）

王 湛（华南理工大学）

朱彦鹏（兰州理工大学）

江见鲸（清华大学）

李远富（西南交通大学）

张家良（辽宁工业大学）

周 云（广州大学）

高 波（西南交通大学）

黄醒春（上海交通大学）

廖红建（西安交通大学）

王 健（北京建筑大学）

王清湘（大连理工大学）

刘 明（沈阳建筑大学）

杨和礼（武汉大学）

张印阁（东北林业大学）

尚守平（湖南大学）

赵明华（湖南大学）

黄政宇（湖南大学）

梁兴文（西安建筑科技大学）

霍 达（北京工业大学）

出版者的话

根据 1998 年教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录（1998 年）》，我社从 1999 年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于 2000 年成立了由具丰富教学经验、有较高学术水平和学术声望的教师组成的“高等教育出版社土建类教材编委会”，组织出版了新世纪土木工程系列教材，以适应当时“大土木”背景下的专业、课程教学改革需求。系列教材推出以来，几经修订，陆续完善，较好地满足了土木工程专业人才培养目标对课程教学的需求，对我国高校土木工程专业拓宽之后的人才培养和课程教学质量的提高起到了积极的推动作用，教学适用性良好，深受广大师生欢迎。至今，共出版 37 本，其中 22 本纳入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，5 本被评为普通高等教育精品教材，若干本获省市级优秀教材奖。

2012 年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录（2012 年）》。新的专业目录中土木与建筑分开单独设类，土木类包括土木工程、建筑环境与能源应用工程、给排水科学与工程、建筑电气与智能化等 4 个专业，并增加了城市地下空间工程和道路桥梁与渡河工程 2 个特设专业。其中土木工程专业包含了 1998 年版专业目录中土建类的土木工程和建筑工程教育。

为了更好地帮助各高等学校根据新的专业目录对土木工程专业进行设置和调整，利于其人才培养，与时俱进，编委会决定，根据新的专业目录精神对本系列教材进行重新审视，并予以调整和修订。进行这一工作的指导思想是：

一、紧密结合人才培养模式和课程体系改革，适应新专业目录指导下的土木工程专业教学需求。

二、加强专业核心课程与专业方向课程的有机沟通，用系统的观点和方法优化课程体系结构。具体如，在体系上，将既有的一个系列整合为三个系列，即专业核心课程教材系列、专业方向课程教材系列和专业教学辅助教材系列。

在内容上,对内容经典、符合新的专业设置要求的课程教材继续完善;对因新的专业设置要求变化而必须对内容、结构进行调整的课程教材着手修订。同时,跟踪已推出系列教材使用情况,以适时进行修订和完善。

三、各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平,以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容,贯彻理论联系实际的原则。

四、要正确处理继承、借鉴和创新的关系,不能简单地以传统和现代划线,决定取舍,而应根据教学需求取舍。继承、借鉴历史和国外的经验,注意研究结合我国的现实情况,择善而从,消化创新。

五、随着高新技术、特别是数字化和网络技术的发展,在本系列教材建设中,要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展,发挥综合媒体在教学中的优势,提高教学质量与效率。在开发研制教学软件时,要充分借鉴和利用精品课程建设和精品资源共享课建设的优质课程教学资源,要注意使文字教材与先进的软件接轨,明确不同形式教学资源之间的关系是相辅相成、相互补充的。

六、坚持质量第一。图书是特殊的商品,教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序,最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能,也是沟通作者、编辑、读者的桥梁,一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此,遴选作者、审定教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为此,编委会在原系列教材的基础上,研究提出了符合新专业目录要求的新的土木工程专业系列教材的选题及其基本内容与编审或修订原则,并推荐作者。希望通过我们的努力,可以为新专业目录指导下的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写和修订都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,恳请读者批评指正!

高等教育出版社

高等教育理工出版事业部

建筑与力学分社

二〇一三年三月一日

第4版前言

自2001年7月首次出版了《土木工程概论》，2004年出版了第2版，2009年出版了第3版书以来，我国许多高等学校纷纷采用此书作为土木工程专业学生使用的教材。本书是该教材的第4版，依然是一本全面扼要地介绍土木工程总体情况的入门书，内容依然保持原来的特点和风格，这里不再详述。本教材经过15年的实践，结合新技术尤其是互联网技术的发展，使得我们对教材的建设又有了新的认识和体会，因此本书的第4版中充分体现了我们在教材研究与建设上的一些新成果。

本书经历了10年的教学实践后，曾经于2010年被评选为国家级精品教材。作为“土木工程概论”这门宏观性、概述性的课程，就是要不断地吸收科学研究、教学研究、教材研究等最新成果。首先，土木工程领域里的新发展必将反映在教材上；其次，我们遵循着与本教材相配合的国家级精品课程“土木工程概论”的建设理念：“把教的创造性留给老师，把学的主动权还给学生”，始终坚持教学和教材既要重知识传授，还要重能力培养。因此，教材的内容和形式要适应变化着的世界，更要适应教育教学改革的需要，适应大学生的创业创新能力的培养。再者，在本次教材修订上，我们依然注重将有关的历史、人文、哲理等内容贯穿于教材之中，并实现了“互联网+土木工程概论”的设想，所以教材也不再是单纯的传统纸介质教材，还包括数字和网络平台等在内的完整的教学资源支持体系，可以用扫描二维码的方式方便、快捷地阅读与观看。编著者们依然维持原来第3版全新的、以学生为本的教材版式，还创新性地结合互联网+技术更有效地呈现了教材的有关内容，更加方便读者扩充学习。

本书第1章由上海大学叶志明、清华大学江见鲸编写，第2章由上海大学陈伶俐编写，第3章由上海大学朱杰江编写，第4、7、8章由上海大学姚文娟编写，第5章由上海大学彭妙娟编写，第6、12章由上海大学徐旭、杜晓庆

编写，第9章由上海大学宋少沪编写，第10章由上海大学刘绍峰编写，第11章由上海大学汪德江编写。全书由叶志明、姚文娟、汪德江主编统稿。

在本书第4版修订过程中，得到教育部高等教育出版社、上海大学等有关部门的大力支持，曾经使用过本书的兄弟院校、工程界同行对本书第3版提出了很好的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

编著者

2015年8月于上海

第3版前言

本书自2001年7月首次出版发行、2004年12月再版以来，得到我国许多高校土木工程专业师生的欢迎。本书第3版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是“高等教育百门精品课程教材建设计划”的研究成果，是在第2版的基础上修订而成的。第3版依然是一本全面扼要地介绍土木工程总体情况的入门书，内容依然保持原来的特点和风格，这里不再详述。经过七年多来的教学实践，我们对教材的建设又有了新的认识和体会，本书第3版体现了我们对教材建设的一些新的研究成果。

众所周知，精品教材既是在教学实践中产生的，又要经过教学实践的检验。“土木工程概论”作为一门较新的课程，其第1版教材不可能在一出现时就能成为精品教材，而是要经过教学实践的反复使用、修改和再版，在不断吸收科学研究、教学研究和教材研究等成果的过程中逐步成熟起来。本书第2版于2007年获得了“上海市普通高校优秀教材奖”一等奖，这既是对我们持续进行教材研究和建设的鼓励，更是对我们与时俱进的鞭策。

我们努力实现教材体系和内容、教材版式和各类媒体方面的创新，立足于以学生为本的理念。

教学和教材既要体现知识传授，也要重视能力培养。教材中注重以内容为载体来阐述观点及方法，培养学生的学习能力，教会学生掌握知识和方法。通过对知识的学习，学生能够初步树立起科学的思维与方法，因而教材的内容要反映科学技术的发展，适应变化的社会实际，符合专业调整和教学改革的需要。本书第3版以全新的、以学生为本的教材版式和插图来呈现土木工程领域的有关内容，更加注重反映土木工程发展的最新成果；在传授知识的同时，注重将历史人文内容、哲理贯穿于教材内容之中，不断地给学习者以史学教育，引发学习者的兴趣。结合前两版教材编写的经验，本书第3版还强调了对本门

课程所持的教学思想、教育理念、科学方法论等方面的阐述,因为好的教育思想和理念、正确的方法论是引导学生更加成熟、走向成功的基石。

随着信息技术的广泛使用,教材也不再是单纯的纸介质教材,而应该是包括电子和网络平台等在内的完整的教学资源体系。因此,我们在教材建设中已不仅仅局限于传统的纸质媒介,我们尝试采用立体化的教学资源为教师和学生服务,更加注重对其他媒体的建设与开发,例如网络课程、电子教案、课程网站和师生互动平台等,以实现我们课程建设的理念“把教的创造性留给老师,把学的主动权还给学生”。第3版与“中国高校土木工程课程网”<http://civil.cncourse.com>进行了链接,这样可以方便教师和学生在学习与教学中更加广泛地实现交流与互动。在教材的相关部分,都设计了相应知识点的网上链接地址,以方便将文字教材和网络资源结合起来展开教与学。同时,我们还把课程学习与思考的问题放在网络上,便于学生学习之余复习之用。

本书第1章、第15章和附录由上海大学叶志明编写;第2章由汪德江编写;第3、8章由朱杰江编写;第4、7、9章由姚文娟编写;第5章由彭妙娟编写;第6、14章由徐旭编写;第10章由陈伶俐编写;第11、12章由宋少沪编写;第13章由刘绍峰编写;全书由叶志明主编统稿。周富浩参与了本书的资料汇总、编排等工作。

在本书第3版修订的过程中,得到高等教育出版社、上海大学等有关部门的大力支持,曾经使用过本教材的兄弟院校、工程界同行对本书第2版提出了很好的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2008年8月于上海

第2版前言

本书第1版于2001年7月出版,自出版以来,得到广大教师和学生的欢迎。第2版,依然是一本全面扼要地介绍土木工程总体情况的入门书,依然保持原作的特点和风格,即:

1. 以工程概论为主要线索来介绍土木工程所涵盖的各个领域,较为详尽地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。

2. 由本书作者编著、国内首次出版的多媒体课件《土木工程概论CAI》与本书配套,两者内容互为呼应、互为补充,以增加学生的学习兴趣和提高学习效果。

3. 本书在编写时,以教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会的指导意见为依据,充分考虑“大土木”的专业特点,力求以较小的篇幅,反映宏大的土木工程领域。本书文字力求通俗易懂,便于读者自学。

本书的编写为的是实现两个目标:一是使学生较全面地了解土木工程所涉及领域的内容和发展情况,初步构建专业基础知识;二是为学生提供清晰和有逻辑性的工程学科的基本概念和方法,初步树立专业思想和方法。因此,作者根据在本书第1版使用中发现的问题和不足,以及土木工程领域近年来所取得的进展,对第2版作了较大的修改,主要不同之处有:

1. 尽可能地反映土木工程学科在近几年所取得的新技术、新方法和新成就,补充和加强了某些章节的内容,引入相关的例子。例如:已投入商业运行的磁悬浮列车、土木工程防灾中的生命线工程、意大利比萨斜塔的纠偏加固工程、数字化技术在土木工程中的应用等。

2. 为了便于学生能较全面、宏观地了解土木工程学科以及思考有关问题,将部分章节内容通过合并和缩减成一章来统一讲述,以突出其共性和宏观层面。例如:将“道路工程”、“铁路工程”、“机场工程”和“隧道工程”合并为

“交通土建工程”。

3. 在对工程概论的叙述中也尽可能介绍一些工程问题的思想和分析方法。例如：增加了“土木工程设计方法”一章，该章从较宏观的层面上简要地阐述了土木工程设计中要考虑的基本内容、基本概念及基本思维方式等。

4. 本书可以与作者研制的“教育部新世纪网络课程建设项目”《土木工程概论网络课程》（于2003年由高等教育出版社出版）配套互动学习。

本书第1章由清华大学江见鲸编写；第5、6、13、14、15章和附录由上海大学叶志明编写；第2、3、7、9、11、12章由上海大学宋少沪编写；第4、8、10章由上海大学汪德江编写；上海大学陈玲俐参与了第10、14章部分内容的编写，全书由叶志明和江见鲸主编。楼思展、顾冲、任月芬、曾玉山、张福波、张佩军和漆敏琦等参与了本书有关章节的资料收集和编写工作。

本书修订过程中，得到了教育部高等教育出版社、清华大学、上海大学等有关部门的大力支持，部分兄弟院校和工程界同行对本书第1版提出了很多宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2004年7月于上海

第1版前言

1998年7月教育部正式颁布了《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新目录的颁布使我国普通高等学校的土木工程专业正式规范于“大土木”的框架。现今的“大土木”包括了原来的建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设（部分）、工业设备安装工程、涉外建筑工程等专业，但新的土木工程专业并不是以前土木工程相关专业的简单归并与重复，而是更高意义上的整合与扩展。

随着新的土木工程专业目录的实施，迫切需要有一本面向学生的介绍“土木工程”总体情况的教材，以使学生入学后能及早地了解本专业的概况性内容。本书就是为适应这种需要而编写的。

本教材具有以下特点：

1. 以工程概论为主要线索来介绍土木工程中的各个层面，较为详尽地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。具体包括房屋建筑工程、道路工程、铁路工程、岩土与地下工程、桥梁工程、飞机场工程、水利工程、给排水工程、土木工程施工、土木工程材料、土木工程勘察、计算机在土木工程中的应用等方面的内容。

2. 本书与国内首次出版的《土木工程概论 CAI》多媒体光盘（世界银行贷款资助、上海市普通高校“九五”重点教材，高等教育出版社2000年出版）相配套，两者内容不尽相同，可以互为补充，以增加学生的学习兴趣和提高学习效果。

3. 本教材在编写时，以教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会的指导意见为依据，充分考虑新专业的特点，力求以较小的篇幅（按20~30学时的教学计划编写），反映土木工程所涉及的各个领域。本书文字力求通俗易懂，便于读者自学。

本书第一章由清华大学江见鲸编写；第五、六、七、八、十五、十六章和附录由上海大学叶志明编写；第二、三、九、十一、十二、十三、十四章由上海大学宋少沪编写；第四、十章由上海大学汪德江编写；上海大学徐旭参与了第五章和第七章的编写，全书由江见鲸和叶志明统稿，本书承清华大学土木系主任石永久教授审阅。

本书除可作为土建类本科和专科有关专业的必修课和选修课教材外，也可供水利类专业参考选用，同时亦可作为建设管理、设计、施工、投资等单位及工程技术人员的参考用书，也可以作为其他工程类、人文类专业学生的选修课教材使用。

编者深知内容如此广泛的教材不易写好，再加之编者水平所限，错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正，多提宝贵意见。

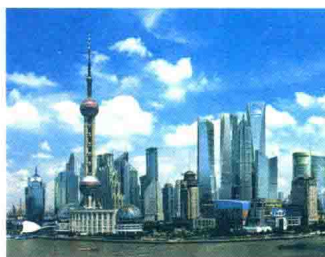
本书在编写过程中，得到教育部高等教育出版社、清华大学、上海大学等有关部门的大力支持和部分兄弟院校、工程界同行的热情帮助，在此表示衷心的感谢。

编 者

2001年1月于上海

目 录

第1章 绪论	1
1.1 土木工程概论课程任务	2
1.2 土木工程发展概述与未来	3
1.3 土木工程学习与土木工程师	7
第2章 土木工程材料	15
2.1 土木工程材料与工程结构的关系	16
2.2 土木工程材料的主要属性、特点	17
2.3 日新月异的土木工程材料	21
第3章 地基基础及地下工程	25
3.1 地基	27
3.2 基础	32
3.3 不均匀沉降	37
3.4 地基处理	37
3.5 地下工程	39
第4章 建筑工程	45
4.1 基本构件	46
4.2 房屋的组成	50
4.3 建筑及结构类型	51
4.4 特种结构	60
4.5 未来展望	61





第5章 交通土建工程	65
5.1 道路工程	66
5.2 铁路工程	73
5.3 机场工程	79
5.4 隧道工程	84
第6章 桥梁工程	93
6.1 桥梁的分类	94
6.2 桥梁工程的总体规划和设计要点	95
6.3 桥梁的结构形式	97
6.4 桥墩与桥台	106
6.5 桥梁基础	108
6.6 桥梁技术的发展方向	108
第7章 港口工程	111
7.1 港口的定义	112
7.2 港口的分类	112
7.3 港口的主要特征指标	112
7.4 港址的选择	113
7.5 港口的组成	113
7.6 港口的布置	115
7.7 码头建筑	117
7.8 防波堤	120
7.9 港口仓库与货场	122
7.10 我国港口工程未来的发展前景	123
第8章 水利水电工程	125
8.1 农田水利工程	126
8.2 水利枢纽工程	131
8.3 水电工程	132

8.4 防洪工程	136
8.5 前景展望	138

第9章 土木工程施工与建设项目管理 141

9.1 基础工程施工	142
9.2 结构工程施工	150
9.3 特殊施工技术	164
9.4 施工组织	168
9.5 工程项目管理	172

第10章 土木工程防灾与减灾 185

10.1 灾害的范围及危害	186
10.2 工程灾害的类型与防治	187
10.3 工程结构检测鉴定与加固	193

第11章 数字化技术在土木工程中的应用 199

11.1 计算机辅助设计 (CAD)	200
11.2 计算机结构设计计算与模拟仿真	201
11.3 BIM	205

第12章 智慧城市和土木工程 211

12.1 智慧城市	212
12.2 智慧建筑	213
12.3 智慧交通	216
12.4 智慧建造	216
12.5 智慧运维	219





第1章 绪 论

- 1.1 土木工程概论课程任务
- 1.2 土木工程发展概述与未来
- 1.3 土木工程学习与土木工程师

1.1 土木工程概论课程任务

对于刚刚跨进大学大门,并且选择了土木工程专业的同学们来说,非常关心的问题是:“土木工程”包括哪些内容?掌握“土木工程”要学习哪些知识,掌握哪些基本技能,具备哪些能力?怎样才能学好“土木工程”等。回答这些问题便是本书的主要任务。

什么是“土木工程”?中国国务院学位委员会在学科简介中定义为:“土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称,它既指工程建设的对象,即建在地上、地下、水中的各种工程设施,也指所应用的材料、设备和所进行的勘测设计、施工、保养、维修等技术”。可见土木工程的内容非常广泛,它和广大人民群众的日常生活的密切相关,在国民经济中起着非常重要的作用。

土木工程,英语为“Civil Engineering”,直译是民用工程,它的原意是与军事工程“Military Engineering”相对应的,即除了服务于战争的工程设计以外,所有服务于生活和生产需要的民用设施均属于土木工程。后来,这个界限也不明确了。现在,已经把军用的战壕、掩体、碉堡、浮桥、防空洞等防护工程也归入土木工程的范畴了。

英语的民用工程(Civil Engineering)怎么会译成土木工程呢?原来,中国古代哲学(五行学说)认为,世界万物是由五大类物质:“金、木、水、火、土”组成的。而在几千年漫长的时间内,土木工程所用的材料,主要是五行中的“土”(包括岩石、沙子、泥土、石灰以及由土烧制成的砖、瓦和陶、瓷器等)和“木”(包括木材、茅草、藤条、竹子等植物材料),古代常将大兴土木作为大搞工程建设的代名词。因而,将“Civil Engineering”翻译成土木工程了。

土木工程的范围非常广泛,它包括房屋建筑工程、公路与城市道路工程、铁道工程、桥梁工程、隧道工程、机场工程、地下工程、给水排水工程、码头港口工程等。国际上,运河、水库、大坝、水渠等水利工程也包括于土木工程之中。人民生活离不开衣、食、住、行。其中“住”是与土木工程直接有关的;“行”则需要建造铁道、公路、机场、码头等交通土建工程,与土木工程



1.1.1 课程任务内容部分



1.1.2 “土木工程”名词各类定义阐述



1.1.3 土木工程专业介绍

关系也非常紧密;“食”需要打井取水、筑渠灌溉、建水库蓄水、建粮食加工厂、粮食储仓等;“衣”的纺纱、织布、制衣,也必须在工厂内进行,这些也离不开土木工程。此外,各种工业生产必须要建工业厂房,即使是航天事业也需要发射塔架和航天基地,这些都是土木工程人员可以施展才华的领域。正因为土木工程内容如此广泛,作用如此重要,所以国家将工厂、矿井、铁道、公路、桥梁、农田水利、商店、住宅、医院、学校、给水排水、煤气输送等工程建设称为基本建设,大型项目由国家统一规划建设,中小型项目也归口各级政府有关部分管理。

对以上介绍各种类型的土木工程设施的规划、勘测、设计、施工、管理和维修便构成了土木工程专业所要学习的核心内容。作为入门,本书在以下各章将对以上各种类型的土木工程作简要的介绍。

1.2 土木工程发展概述与未来

1.2.1 土木工程发展概述

土木工程的发展经历了古代、近代和现代三个阶段。

古代土木工程的历史跨度很长,它大致从旧石器时代(约公元前 5000 年起)到 17 世纪中叶。这一时间的土木工程说不上有什么设计理论指导,修建各种设施主要依靠经验。所用材料主要取之于自然界,如石块、草筋、土坯等,在公元前 1 000 年左右开始采用烧制的砖。这一时期,所用的工具也很简单,只有斧、锤、刀、铲和石夯等手工工具。尽管如此,古代还是留下了许多有历史价值的建筑,有些工程即使从现代角度来看也是非常伟大的,有的甚至难以想象。

西方留下来的宏伟建筑(或建筑遗址)大多是砖石结构的。如埃及的金字塔,建于公元前 2700—前 2600 年间,其中最大的一座是胡夫金字塔,该塔基底呈正方形,每边长 230.5 m,高约 140 m,用 230 余万块巨石砌成。又如希腊的帕特农神庙、古罗马斗兽场等都是令人神往的古代石结构遗址。在公元 532—537 年间,在土耳其伊斯坦布尔修建的索菲亚大教堂为砖砌穹顶,直径 30 余米,穹顶高 50 多米,整体支承在用巨石砌成大柱(截面约 $7\text{ m} \times 10\text{ m}$)上,非常宏伟。



1.2.1 古代部分

中国古代建筑大多为木构架加砖墙建成。公元 1056 年建成的山西应县木塔（佛宫寺释迦塔），塔高 67.3 m，共九层，横截面呈八角形，底层直径达 30.27 m。该塔经历了多次大地震，历时近千年仍完整耸立，足以证明我国古代木结构的高超技术。其他木结构如北京故宫、天坛，天津蓟县的独乐寺观音阁等均是具有漫长历史的优秀建筑。

中国古代的砖石结构建筑也有伟大成就。最著名的当数万里长城，它东起山海关，西至嘉峪关，全长 5 000 余公里。又如公元 590—608 年在河北赵县洹河上建成的赵州桥为单孔圆弧形石拱桥，全长 50.82 m，桥面宽 10 m，单孔跨度 37.02 m，矢高 7.23 m，用 28 条并列的石条拱砌成，拱肩上有 4 个小拱，既可减轻桥的自重，又便于排泄洪水，且显得美观，经历千余年尚能正常使用，确为世界石拱桥史上的杰作。

我国一直有兴修水利的优秀传统。传说中的大禹因治水有功而成为我国受人敬仰的伟大人物。四川灌县的都江堰水利工程，为秦昭王（公元前 306—前 251 年）时由蜀太守李冰父子主持修建，建成后使成都平原成为“沃野千里”的天府之乡。这一水利工程，至今仍造福于四川人民。

在交通工程方面，古代也有伟大成就。秦朝统一全国后，以咸阳为中心修建了通往全国群县的驰道，主要干道宽 50 步（古代长度单位，1 步等于 5 尺）形成了遍布全国的交通网。在欧洲，罗马帝国也修建了以罗马为中心的道路网，包括 29 条主干道和 322 条联系支线，总长达 78 000 km。

这一时期还出现了一些经验总结和描述外形设计的土木工程著作。其中，比较有代表性的为公元前 5 世纪的《考工记》，北宋李诫的《营造法式》，意大利文艺复兴时代贝蒂著的《论建筑》等。

一般认为，近代土木工程的时间跨度为 17 世纪中叶起到第二次世界大战前后，历时 300 余年。在这一时期，土木工程逐步形成为一门独立学科。

土木工程的发展某种程度上是随着材料与施工技术的进步而发展起来的。1824 年波特兰水泥的发明及 1867 年钢筋混凝土开始应用是土木工程史上的重大事件。1859 年转炉炼钢法的成功使得钢材得以大量生产并应用于房屋、桥梁的建筑。由于混凝土及钢材的推广应用，使得土木工程师可以运用这些材料建造更为复杂的工程设施。在近代及现代建筑中，凡是高耸、大跨、巨型、复杂的工程结构，绝大多数应用了钢结构或钢筋混凝土结构。土木工程的建造也不断



1.2.2 都江堰工程



1.2.3 近代部分



1.2.4 伽利略



1.2.5 外国的近代土木工程案例

地提供了新的施工机械和施工方法。打桩机、压路机、挖土机、掘进机、起重机、吊装机等纷纷出现,这为快速高效地建造土木工程提供了有力的手段。

这一时期具有历史意义的土木工程很多,读者可以扫描二维码,从中获得西方近代土木工程的一些例子。

这一时期的中国,由于清朝采取闭关锁国政策,土木工程技术发展缓慢。直到清末开始洋务运动,才引进了一些西方先进技术,并建造了一些对中国近代经济发展有影响的工程,读者可以扫描二维码,从中获得中国近代土木工程的一些例子。

第二次世界大战以后,许多国家经济起飞,现代科学技术迅速发展,从而为土木工程的进一步发展提供了强大的物质基础和技术手段,开始了以现代科学技术为后盾的土木工程新时代。这一时期的土木工程有以下几个特点:功能要求多样化;城市建设立体化;交通工程快速化;工程设施大型化等。

综观土木工程历史,中国在古代土木工程中有着光辉的成就,至今仍有许多历史遗存,有的已列入世界文化遗产名录。在近代土木工程中,进展很慢,这与封建时代末期落后的社会制度有关。在现代土木工程中,我国在近20年来取得了举世瞩目的成就。以往在列举世界著名的土木工程时,我国只有长城、故宫、赵州桥等古代建筑,而现在无论是高层建筑、大跨桥梁,还是机场、港口码头,中国在世界前10名中均有建树,有的已列前三名,甚至第一名,这些成就均为改革开放以来取得的。土木工程的发展可以从一个侧面反映出我国经济的发展,显示中华民族正在开始复兴。这一进程仅仅是开始,有志于土木工程建设的小伙伴们是非常幸运的,希望在未来的土木工程建设中贡献才华,谱写亮丽人生。

1.2.2 土木工程的未来

土木工程是一门古老的学科,它已经取得了巨大的成就,未来土木工程发展的前景怎样,首先要弄清目前人类社会所面临的挑战和发展机遇。土木工程目前面临的形势是:

① 世界正经历工业革命以来的又一次重大变革,这便是信息(包括计算机、通信、网络等)工业的迅猛发展,可以预计人类的生产、生活方式将会发



1.2.6 中国的近代土木工程案例



1.2.7 现代部分



1.2.8 现代土木工程的特点



1.2.9 世界著名土建工程案例视频之一: Akashi Kaikyo Bridge



1.2.10 世界著名土建工程案例视频之二: Boston Tunnel



1.2.11 世界著名土建工程
案例视频之三: Hoover
Dam



1.2.12 世界著名土建工程
案例视频之四: Palm
Island



1.2.13 世界著名土建工程
案例视频之五: Petro-
nas Twin Towers



1.2.14 世界著名土建工程
案例视频之六: 迪拜超
大建筑狂想曲



1.2.15 未来部分

生重大变化。

② 航空、航天事业等高科技事业的发展,月球上已经留下了人类足迹,对火星及太阳系内外星空的探索已取得了巨大进步。

③ 地球上居住人口激增,目前世界人口已达 60 亿,预计到 21 世纪末,人口将接近百亿。而地球上的土地资源是有限的,并且因过度消耗而且日益枯竭。

④ 生态环境受到严重破坏,如森林植被被破坏,土地荒漠化,河流海洋水体污染,城市垃圾成山,空气混浊,大气臭氧层破坏等。随着工业的发展、技术的进步,人类的生存环境将会日益恶化。

人类为了争取生存,为了争取舒适的生存环境,土木工程必将有重大的发展。

1. 重大土木工程项目将陆续兴建

为了解决城市土地供求矛盾,城市建设将向高、深方向发展。高速公路、高速铁路的建设仍呈发展趋势,交通土建工程在 21 世纪内会有巨大的进步。航空港、海港和内河航运码头的建设也会在不久的将来取得巨大的进步。

2. 土木工程将向太空、海洋、荒漠地开拓

地球上的海洋面积占整个地球表面积的 70% 左右,现在陆地上土地太少,首先想到可向海洋发展,向海洋开拓近代已经开始。为了防止噪声对居民的影响,也为了节约用地,许多机场已开始填海造地。全世界陆地中约有 1/3 为沙漠或荒漠地区,千里荒沙,渺无人烟,目前还很少开发。沙漠难于利用主要是缺水,生态环境恶劣,日、夜温差太大,空气干燥,太阳辐射太强,不适于人类生存。近代许多国家已开始沙漠改造工程。向太空发展是人类长期的梦想,在 21 世纪这一梦想可能变为现实。

3. 工程材料向轻质、高强、多功能化发展

21 世纪在工程材料方面希望有较大突破,例如传统材料的改性,还有化学合成材料的应用。目前的化学合成材料主要用于门窗、管材、装饰材料,今后是向大面积围护材料及结构骨架材料发展。

4. 设计方法更加精确化,设计工作更加自动化

计算机与网络化的进步,使设计由手工走向更加精确与自动化。目前许多设计部分已经丢掉了传统的制图版而改用计算绘图,这一进程在未来将进一步发展和完善。数字计算机的进步使过去不能计算带有盲目性的估计可以变为较

精确的分析。土木工程的由各个杆件分析到整体分析；工程结构的定性分析到按施工阶段的全过程仿真分析；工程结构中在灾害载荷作用下的全过程非线性分析，与时间有关的长时间徐变分析和瞬间的冲击分析，等等。

5. 信息和智能化技术全面引入土木工程

主要在：信息化施工，智能化建筑，智能化交通，土木工程分析的仿真系统等方面取得重要进展。

6. 土木工程更加关注可持续发展问题

可持续发展是指“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的发展构成危害”。这一原则具有远见卓识，在建设及使用土木工程过程中与能源消耗、资源利用、环境保护、生态平衡有密切关系，对贯彻“可持续发展”原则影响很大。我国政府已将“可持续发展”列为国策，大力加以宣传，我们土木工作者对贯彻这一原则有重大责任。

1.3 土木工程学习与土木工程师

1.3.1 科学、技术与工程的关系

在日常交往与报刊文章中常将“科学技术”作为一个词来应用，中国政府部门设有“科技部”，既说明科学技术非常重要，同时也表明科学技术的关系是非常紧密的。但仔细分辨起来，科学与技术还是有很大区别的。

科学是关于事物的基本原理和事实的有组织、有系统的知识。科学的主要任务是研究世界万物发展变化的客观规律，它解决一个为什么的问题。例如，解释电灯为什么会亮。科学的英文名为 Science。

技术则是指将科学研究所发现或传统经验所证明的规律发展转化成为各种生产工艺、作业方法、设备装置等，它解决一个如何实现的问题，如怎样使电灯发亮。技术的主要任务是为生产某种满足人类需要的产品服务，其英文名为 Technique。

所以，科学和技术虽联系密切，但毕竟是两个不同的概念。举例来说，科学上已发现，放射性元素（如铀 235）的核裂变可以释放出巨大的能量，这便



1.2.16 土木工程之未来



1.2.17 结构设计的基本理论与方法——结构设计的基本理论



1.3.1 科学、技术与应用之关系

是制造原子弹的科学依据。但是从原理到制造出原子弹还需解决一系列技术问题,如铀矿中提纯铀 235,反应速度的控制,快速引爆机构等,因此每一个拥有原子弹的国家都用了较长的时间才制造出来。而至今尚有一些国家渴望制造原子弹,但因技术不过关而未能如愿。

在高校入学考试、选择志愿时,理工科属于一个大类,其实选择理科(如数学、物理、化学、生物、力学等)的学生侧重学习科学,当然也要学习技术,以便应用。而选择工科(如土木、机械、电工电子、通信等)的学生在学习中更侧重于学好技术,当然要掌握技术的前提也应掌握其科学原理。

工程的含义则更为广泛,它是指自然科学或各种专门技术应用到生产部门去而形成的各种学科的总称,英文名为 Engineering,其目的在于利用和改造自然来为人类服务。通过工程可以生产或开发出对社会有用的产品。一般说来,工程不仅与科学和技术有关,而且受到经济、政治、法律、美学等多方面的影响。例如,利用多孔纤维吸附受污染水中的杂质使之可以饮用,这一技术已经成熟,但是要在城市供水中大规模地应用,则因其成本太高而未能推广。又如基因工程的克隆技术,发达国家已经掌握了克隆动物的技术,并且克隆羊、克隆牛、克隆鼠等均已问世,但是克隆人,至今则没有一个国家被法律所允许,有的国家还明令禁止。可见,工程是科学技术的应用与社会、经济、法律、人文等因素结合的一个综合实践过程。对于选择了工科的同学来讲,必须非常重视这一点。

1.3.2 土木工程的知识、能力和素质要求

我国高等土木工程专业的培养目标是:培养适应社会主义现代化建设需要,德智体全面发展,掌握土木工程学科的基本理论和基本知识,获得土木工程师基本训练,具有创新精神的高级工程科学技术人才,毕业后能从事土木工程设计、施工与管理工作,具有初步的工程规划与研究开发的能力。

下面仅就土木工程的知识、能力方面的要求作简要介绍:

土木工程的基本理论包括基础理论和应用理论两个方面。基础理论主要包括高等数学、物理和化学。应用理论内容较多,包括基本工程力学(理论力学、材料力学),结构力学,流体力学(重点水力学),土力学与工程地质学等。



1.3.2 作为一名土木工程师,你必须培养以下五项基本素质

土木工程的专业知识与技术包括建筑结构（如钢结构、木结构、混凝土结构、砌体结构等）的设计理论和方法，土木工程施工技术与组织管理、房屋建筑学、工程经济、建筑法规、土木工程材料、基础工程、结构试验、土木工程抗震设计等。

学习土木工程需要的相关知识有：给水排水、供暖通风、电工电子、工程机械等。

土木工程需要掌握的技能或工具有：工程制图、工程测量、材料与结构试验、外语和计算机在土木工程中的应用等。

在土木工程学科的系统学习中，不仅要注意知识的积累，更应注意能力的培养。从成功的土木工程师的实践经验中得出以下几点值得重视：

（1）自主学习能力

大学只有4年，每门课程从十几个学时到上百学时，所学的东西总是有限的，土木工程内容广泛，新的技术又不断涌现，因而自主学习，扩大知识面，自我成长的能力非常重要。不仅要向老师学、向书本学，而且要注意在实践中学习，善于查阅文献，善于在网上学习。

（2）综合解决问题的能力

大学期间大多数课程是单科教学，有一些综合训练及毕业设计是训练综合解决问题的能力，要特别珍惜。实际工程问题的解决总是要综合运用各种知识和技能，在学习过程中要注意培养这种综合能力，尤其是设计、施工等实践工作的能力。

（3）争强、创新能力

社会在进步，经济在发展，对人才创新要求也日益提高，所以在学习过程中要注意创新能力的培养。当然，土木工程是基础产业，大学学习的主要任务是打好基础，所以事事处处均要求创新是不现实的。但争强、争好的精神却是可以从具体工作做起的，同样的图纸要力争画得最好，要培养“扫地我也扫得比你干净”的精神，从大处着眼、从小处着手，培养力争上游、开拓创新的精神和能力。

（4）协调、管理能力

现代土木工程不是一个人能完成的，少则几个人、几百人，多则需成千上万的人共同努力才能成功。为此，培养自己的协调、管理能力非常重要。同



1.3.3 土木工程专业涉及的若干基础理论课



1.3.4 土木工程结构的力学分析与计算

学们毕业后,不论参加任何业务部分的工作,总会涉及管理工作,如:管理一部分人(当设计组长、项目负责人、工长等)和受人管理(上面有总工、总经理,主管部门有规划局、环境保护局、技术监督局等)。同学们在工作中一定要处理好上下左右的关系,对上级要尊重,有不同意见应当面提出讨论,要努力负责地完成好上级交给的任务,使上级对你的工作“放心”;对同事既竞争又友好,对下级要既严格要求,又体贴关怀。总之,有“厚德载物”的包容精神,做事要合理、合法、合情,要有团队精神,这样工作才能顺利开展,事业也能更上一层楼。

1.3.3 土木工程主要教学方法及学习建议

大学的教学和训练与中学相比要多样化一些,主要的教学形式有课堂教学、试验课、设计训练和施工实习。下面对这几个环节作简要介绍。

1. 课堂教学

课堂教学是学校学习的最主要的形式,即通过老师的讲授、学生听课来学习。大学的课堂教学与中学也有所区别:一是进度快,内容多,中学时很薄的一册课本讲得很仔细,反复讲反复练,大学中很厚的一册书,很快就讲过去了,要注意适应。二是中学班级小,常按班上课,几十个人一个班,老师认识每一个学生,大学许多课按专业甚至按系上课,大课堂有二、三个班上课是常事,老师未必熟悉每一个同学,听课效果好坏,主要靠学生自主努力。三是中学的教学内容是成熟的经典理论,变化很小,而大学教学,必须随时代发展而增添新的内容。有时书本上还未编入的内容而教师只能根据资料讲解,这时要注意听讲并作必要的记录。

听课堂教学时,要注意记住老师讲授的思路、重点、难点和主要结论。大学生一般在课堂上作一些笔记,以记下老师讲课的内容,有的学生记得极详细,几乎一字不漏;有的只记要点难点和因果关系。笔者建议采用后者,甚至可在教材的空白处旁记,并用自己约定的符号在书中画出重点和各内容之间的联系。

与大班课堂讲授相配套的可能还有一些小班的讨论课、习题课,以对课程的重点或难点加深理解。参加这样的课时,同学们一定要积极思考,主动参加



1.3.5 学习指导

讨论,这不仅能巩固和加深所学知识,也是对表达能力的一种训练。

课堂教学后,要复习巩固,整理笔记,做到能用自已的语言表达所学内容。对于不懂的问题不要放过,可自己思索,也可与同学切磋,再不懂时,可记下来,适当的时候找老师答疑讨论。

2. 实验教学

通过试验手段掌握试验技术,弄清科学原理。其中,物理、化学等均开设试验课,这与中学差别不大,不过内容更加现代化,方法更先进了。在土木工程专业中还开设材料试验、结构检验的试验课,这不仅是学习基本理论的需要,同时也是同学们熟悉国家有关试验、检测规程,熟悉实验方法及学习撰写试验报告的需要。不要有重理论轻实验的思想,应认真做好每一次试验,并鼓励学生自主设计、规划试验。

3. 设计训练

任何一个土木工程项目确定以后,首先要进行设计,然后才能交付施工。设计是综合运用所学知识,提出自己的设想和技术方案,并以工程图及说明书来表达自己的设计意图,通过设计训练在根本上培养学生自主学习、自主解决问题的能力。

设计土木工程项目一定会受到多方面的约束,而不像单科习题那样只有一、二个已知条件的约束,这种约束不仅有科学技术方面的,还有人文经济等方面的。使土木工程项目“满足功能需要,结构安全可靠,成本经济合理,造型美观悦目”是设计的总体目的,要做到这一点必须综合运用各种知识,而其答案也不会是唯一的,这对培养学生的综合能力、创新能力有很大作用。

4. 施工实习

贯彻理论联系实际的原则,使学生到施工现场或管理部门学习生产技术和知识。通常一个工地往往很难容纳一个班(几十人)的学生,因此施工实习常在统一要求下分散进行。这不仅是对学生能否在实际中学习知识技能的一种训练,也是对学生敬业精神、劳动纪律和职业道德的综合检验。

主动认真进行施工实习,虚心地向工地工人、工程技术人员请教,可以学习到许多在课堂上学不到的知识和技能,但如马马虎虎,仅为完成实习报告而走过场,则会白白浪费自己宝贵的时间。能否成为土木工程方面的优秀人才,施工实习至关重要。



1.3.6 结构试验室举例



1.3.7 施工现场举例

1.3.4 土木工程师的工作

土木工程师要对土木工程结构做出“设计”，那么设计是什么意思呢？实际上它对不同人可能有不同的含义。对于某些人们来讲，设计是满足人们对某些事物的功能的要求；而对于另一些人们来讲，设计是为了美观。因此，土木工程结构的基本功能应具有两个方面：一是为人类生活和生产提供良好的服务，以满足人类使用要求、审美要求；另一类是承受和抵御结构服役过程中可能出现的各种环境作用（环境是广义的，包括结构所承受的各种作用）。这里将介绍设计中所涉及的因素和过程、设计的特点和理念等。

设计的基本理念：想象一下，有一条小河穿过某一小镇，将小镇分为两半。现在要解决穿越河流的问题，使得镇上的人们生活更方便。那么，我们可以设想用船进行摆渡的方式来解决，当然这样还不是十分方便。于是又设想通过在小河上架设一座桥梁来解决这个问题，同时也有人提出用河底隧道的办法来解决这个问题。那么哪一种方案比较好呢？这里又取决于对方方面面问题的考虑，它涉及小镇的文化、镇上居民的生活习惯、过河方式实现的代价等。即使是你选择了造桥的方式来解决，这里又会遇到桥的位置选择，这与小镇的道路网络情况有关。还有造什么样的桥，是混凝土结构桥还是钢结构桥，是采用拱桥还是悬索桥等一系列的问题。一旦式样确定以后，你又要对桥梁的结构进行分析演算，要考虑用什么样的材料、使用多少材料才能满足桥的功能和外观要求，进而为桥梁建设者绘制桥梁施工图等技术文件。最后使得建成的桥梁能满足当初人们的需要。所有这一切都是土木工程师在设计上所要考虑的问题。

一般来讲，一项好的设计应该包含如下内容：首先，要能够完全满足客户的使用需求；其次，要有很好的经济效益，不论是在建设资金和今后的保养费用都比较省钱；最后，当然要符合审美要求。实际上，“设计”是在以上这些问题中求得平衡。因此，设计是一项以满足客户所有不同要求而不断优化的过程。它要求集成上述所有的内容到最终产品上，使得最后的产品最有效、最经济和最美观。

对于上述小镇过河的问题，我们根据设计的要求，可以总结为：问题的提出、项目调查、初步设计、规划批准、详细设计、施工图绘制、建造等几个步骤。



1.3.8 关于设计的定义



1.3.9 计算机辅助施工管理与专家系统

那么怎样做才算是一名好的土木工程师呢？一般讲要满足以下几个方面：① 接受过良好的土木工程学科和相关学科的教育，并训练有素；② 对其他学科具备一定的知识；③ 不断地参与土木工程有关最新技术和知识的各种活动；④ 很好的表达技能，包括口头、撰写、绘图和数字化方面。

由此可见，好的土木工程师不仅仅能进行工程结构的计算及计算得如何精确，更重要的是要具备全局性、创造性和不断追求的精神和意识。

在土木工程项目设计中，如桥梁、大坝等工程项目的设计，工程师们起到了举足轻重的作用。首先，通常要遇到如下因素：① 所设计的结构要适合其使用目的；② 结构是持久耐用的；③ 项目在预算的范围内；④ 项目在预定的时间内完成。

接着，工程师必须考虑建设造价和工期等，其中有：① 建设施工的方法和方式；② 所用材料的类型；③ 所用材料的数量；④ 所用材料的质量；⑤ 对材料的特殊要求和施工的特殊要求；⑥ 施工工地的环境与条件等各方面因素，这些是一项工程项目设计中必须考虑的因素。

典型的设计项目所经历的各个环节有：

① 规划阶段：这是设计者对客户提出的要求进行整体规划的阶段，它涉及要建设什么、在哪里建设；所设计的结构和全部材料的要求；荷载情况；设计参数，如温度、湿度和海拔高度等；建设和使用中的各种限制；将来可能要扩展的考虑；预算等。

② 初步设计阶段：一般地由建筑师或者其他规划工程师对所建设的项目作方案设计。

③ 方案设计阶段：这一阶段中，设计者要进一步完善和细化初步设计阶段的工作，作出设计方案。

④ 详细设计阶段：为项目作出详细设计图纸和有关数据文件。

⑤ 建设信息阶段：这一阶段中，结构最后的计算分析、必要的信息必须完成，并送交各级权威部门。同时，也是为施工阶段做好工程图纸的准备。

⑥ 建设阶段：这个阶段中，土木工程师需要对施工中的各类问题进行检查，以保证项目能够按照设计的要求进行。

⑦ 后合同阶段：实际上，对于建设合同来讲，某些变化是可能发生的，这时，工程师要为客户提供全部在建的图纸、设计参数和地质勘察数据、项目



1.3.10 概率论简介



1.3.11 科学家胡克



1.3.12 关于设计规范



1.3.13 拓展阅读的参考文献与网络资源

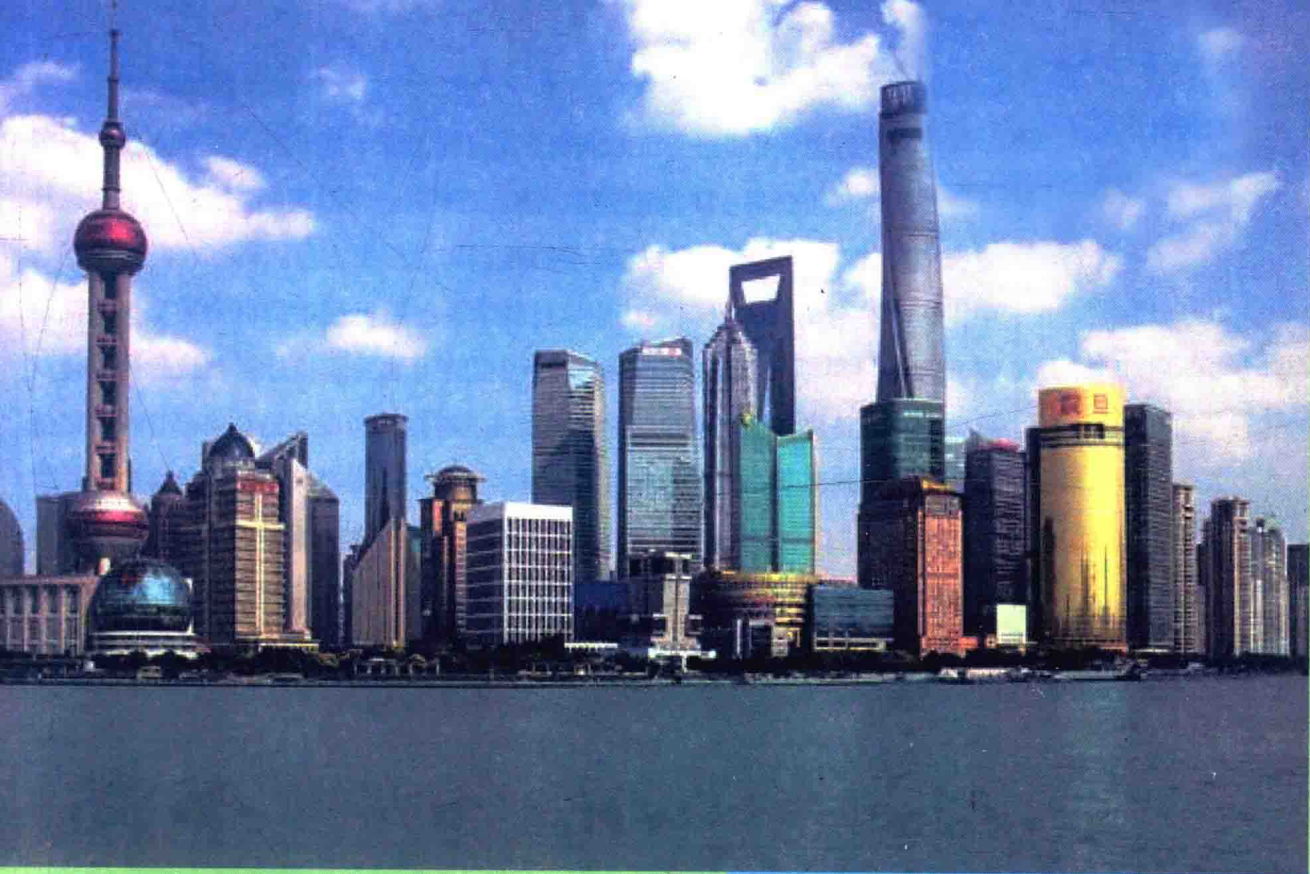
执行报告等。

以上仅仅是作为一名土木工程师在工程设计中可能遇到的一些问题和步骤。要设计并完成一个项目，常常需要承担巨大的工程责任，要掌握合适的信息，在适当的时候，尽可能最小化超预算风险。然而，一项好的设计也许是：客户不会感谢那种不能满足预算需要的设计者。因此，这就需要对设计和设计过程进行智能化的管理。

要成为一名优秀的设计者，就必须与时俱进，要不断地学习，要从失效的教训中学习。作为土木工程师，应该在工作中做到以下几个方面：① 要不断地适应社会的变化；② 要不断地掌握技术的变化；③ 要不断地知晓经济的变化；④ 要不断地了解环境的变化；⑤ 要不断地参与职业学习；⑥ 要从失效的教训中学习。

学习与思考

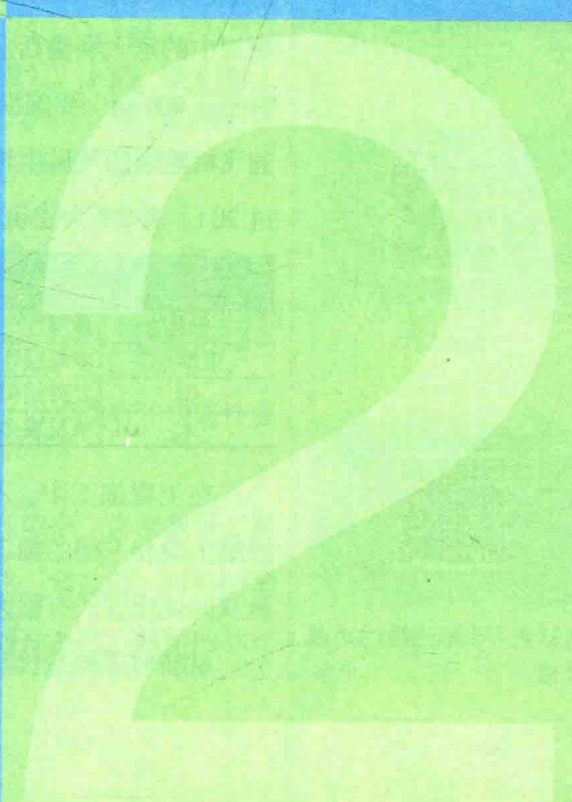
1. 根据课程中对土木工程的定义，思考身边有哪些属于土木工程。
2. 联系以前的历史课程，学习土木工程的发展历史。
3. 针对课程的著名案例，在网上或文献上查考其具体情况。
4. 土木工程师应具备的基本素质。



第2章

土木工程材料

- 2.1 土木工程材料与工程结构的关系
- 2.2 土木工程材料的主要属性、特点
- 2.3 日新月异的土木工程材料





2.0.1 土木工程材料



2.0.2 工程材料分类标准



2.1.1 桥梁材料、梁长与造价的统计关系



2.1.2 不同土质的地基处理

土木工程材料指与土木工程设计、施工、建设、维护相关联的各类材料的总称。土木工程材料主要包括：土、砂、石、砖、木、混凝土、金属材料、沥青、橡胶等高分子等。土木工程材料有不同的分类方法。例如，在建筑结构中，材料被分为墙体材料和功能性材料；在道路桥梁中，材料被分为路面材料和基底材料；砖、石、混凝土砌块因主要力学性能相近，被统称为砌体材料；利用垃圾废料加工的建筑材料被称为再生材料；用于特殊环境，响应特殊工程需求的材料称为特种材料；相比传统材料，近年研发推出的力学性能非常突出的新材料称为新型高性能材料；环境友好，可再生利用的材料称为绿色材料。

土木工程材料在土木工程各领域、各阶段都极为重要。

2.1 土木工程材料与工程结构的关系

土木工程材料的选择与土木工程设计方案、施工方案、工程经济性及使用性能密切相关。不同的工程材料限制了桥梁的跨度，建筑物的高度，道路的最大载重量，以及工程造价。石拱桥的单孔跨度通常不超过 20 m；而钢索拉结的悬索桥单跨跨度早已突破千米，1998 年建成的日本明石大桥主跨为 1 991 m。规划中的意大利墨西拿海峡大桥主跨达 3 300 m；直布罗陀海峡大桥的设计主跨为 5 000 m。我国沥青路面的最大载重量单轴不得超过 10 t；而混凝土浇筑的飞机跑道的飞机主轮竖向设计荷载根据飞机型号不同有很大差别，一般均超过 20 t。表 2.1 为建筑结构中常用的几种建筑材料的适用范围。

表 2.1 建筑材料的适用范围

砌体	多层住宅、旅馆等空间要求不大的房屋
混凝土	多高层住宅、公共性建筑（办公、商业、科研、教学、医院等）
钢	大跨结构、高层和超高层结构
木	单层或多层住宅和公共建筑等

在工程施工中，不同材料对应不同的加工方法、施工工艺。例如，钢梁、混凝土梁和木梁的加工完全不同；软土地基、湿陷性黄土地基和非均匀膨胀土地基的处理方法有很大差别。

材料对工程造价具有决定性影响。虽然砌体材料和混凝土材料都可以用于

多层住宅，但是对 7 层以下的民宅，二者对应的工程造价差别在 30% ~ 40%。从另一个角度评价，采用钢筋和混凝土的方案更加昂贵，而它的抗震性能要优于砌体结构方案。因此，工程材料的选择应合理考虑工程的安全性、经济性、适用性、耐久性及现实性等多方面要求，因地制宜科学选取。

材料决定结构形式。在地下工程中我们可以清楚地看到不同的土体材料对地下结构和基础形式的影响。例如，在承载力大的一类或二类场地土上，砌体结构或层数较低的框架结构可以采用浅基础，如独立基础或条形基础；而在四类软土层上，只能采用桩基或满堂基础。

材料决定工程寿命。在道路和交通中，能够看到不同材料对路面使用寿命的影响，见表 2.2。

表 2.2 路面结构的设计使用年限

道路等级	沥青	水泥混凝土	混凝土砌块	石材
快速路	15	30	—	—
主干路	15	30	—	—
次干路	10	20	—	—
支路	8	15	10	20

在震害历史中，可以观察到不同材料对土木工程抗震性能的影响巨大。近年发生在我国的汶川地震和青海玉树地震中，发生震害的建筑物 80% 以上为砌体结构，混凝土结构的震害率约为 10%，而钢结构的震害率则低于 3%。

工程材料对土木工程的影响与材料本身的特性密切相关。下面，我们对土木工程中几种典型建筑材料的材料特性进行比较论述。

2.2 土木工程材料的主要属性、特点

土木工程材料属性有很多，有物理性质、化学性质、力学性质和功能性属性等。材料的物理和化学性质又称为材料的基础属性。

材料的物理性质主要有密度、弹性模量、泊松比、孔隙率、含水率等；材料的化学性质主要包括化学组分、亲水性、憎水性、老化、锈蚀等。材料的基础属性对材料其他属性的影响是材料科学中一个重要的研究方向。材料的基础

材料为建筑这首凝固的音乐奠定了基调。砖石凝重，木瓦轻灵；现代建材让建筑师们的艺术创作更加自由奔放。



2.1.3 材料、结构与震害



2.2.1 材料性质



2.2.2 建筑材料的技术标准

材料的应力应变曲线是通过对标准材料试样进行拉、压或剪切试验得到的材料变形破坏与承受荷载之间的相对关系。



2.2.3 典型建筑材料的应力应变曲线图



2.2.4 材料试验与检验



2.2.5 砖的种类



莫干山皇后饭店
(石砌建筑)

属性常常决定了材料的分类。例如,密度将石材分为了重石和轻石;含水率将土分为了饱和土和非饱和土;含碳量的高低将钢材分为了低碳钢、中碳钢和高碳钢。钢材中的化学组分决定了钢材是否会出现热脆或冷脆现象。

材料的力学性质指材料在各种荷载作用下的强度、变形及破坏性质。材料强度指单位面积上材料所能承受的最大荷载。材料的变形能力在工程中称为材料的塑性。变形能力差的材料,在破坏前没有预兆,无法预警和规避破坏导致的危害,被称为脆性材料。在同类材料中,强度和塑性似乎鱼与熊掌不可兼得。近年新开发的高强混凝土比普通混凝土强度高,但是塑性却变差;钢材也是如此。材料的抗疲劳能力指材料在动荷载反复作用下仍然能够正常使用的能力,通常用疲劳强度衡量。路面材料被车辆反复碾压,材料的抗疲劳能力决定了道路的正常使用寿命。

土木工程材料的功能性属性主要有防火性能、隔热性能、抗腐蚀性能等,是功能材料选择的依据。例如,建筑中的防火材料的选择首要关注的就是材料在高温下的热工性能,保温材料首要关注的是材料的导热系数。

在实际工程中,材料的选择是材料多个性能指标的平衡和材料性能与造价的平衡。例如,保温材料分为无机材料和有机材料两大类,无机材料的保温隔热性能低于有机材料,但是它阻燃、自身可承重,且价格低廉。

下面列出了几种工程中最常见的工程材料的突出特点。

2.2.1 砖、石

砖瓦的生产和使用在我国历史悠久,素有“秦砖汉瓦”之称,长城、嵩岳寺塔是存留千年的砖砌工程。粘土砖加工便利,生产成本低,具有较高的抗压强度和耐久性,因此从古至今,应用非常广泛。但是,由于生产粘土砖要毁田取土、能耗高、砖自重大,施工中劳动强度高、工效低,因此我国目前推广使用工业废料制砖,如粉煤灰砖、炉渣砖和灰砂砖等;为降低砖自重,空心砖、多孔砖大量用于非承重构件中。砖砌结构的最大缺点是抗拉强度低,导致其在地震中破坏严重。配筋砖砌体弥补了传统砖砌体的缺陷,使砖砌体的承重能力和建筑高度有了很大提升。

石材的特点与砖类似,只是抗压强度更高,耐磨性和耐久性更优良,价格

偏高,自重更大,可用作桥基、路基和房屋基础。石材经加工后表面美观,富于装饰性,也是建筑中常用的装饰材料。

2.2.2 木

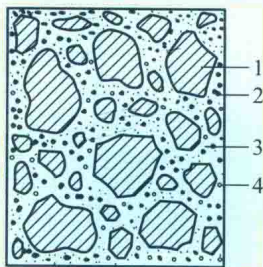
木材是一种古老的工程材料,坐落在杭州钱塘江畔的六和塔,至今已有千年历史。木材的力学性质非常独特,木材的顺纹(作用力方向与纤维方向平行)强度远高于横纹(作用力方向与纤维方向垂直)强度。因此,木材非常适合承受拉力和弯矩。木材轻质、高强,易于加工(如锯、刨、钻等),有较好的弹性和韧性,能承受冲击和振动作用,抗震性能优异,在日本被广泛应用。木材导电和导热性能低,可用作保温材料;木纹美丽,装饰性好……

但木材也有缺点,如构造不均匀、各向异性,易吸湿、吸水,因而产生较大的湿胀、干缩变形,易燃、易腐等。不过,这些缺点经过加工和处理后,可得到很大程度的改善。

2.2.3 混凝土和钢筋混凝土

混凝土是由胶结材料、骨料及水按一定比例配制,经搅拌振捣成型,在一定条件下养护而成的人造石材。混凝土的种类很多:按胶凝材料不同,分为水泥混凝土(又称普通混凝土)、沥青混凝土、石膏混凝土及聚合物混凝土等;按密度不同,分为重混凝土、普通混凝土、轻混凝土;按使用功能不同,分为结构用混凝土、道路混凝土、水工混凝土、耐热混凝土、耐酸混凝土及防辐射混凝土等;按施工工艺不同,又分为喷射混凝土、泵送混凝土、振动灌浆混凝土等。

从远古时代起,中国、埃及和古罗马的人们就用烧石灰、烧粘土、烧石膏及石灰加火山灰作为胶凝材料配制了混凝土。但以石灰、石膏等气硬性胶凝材料制作的混凝土有不耐水的缺点,而石灰、火山灰虽然具有一定的水硬性,但其力学性能和耐久性等也远不能满足人类对包括混凝土在内的土木工程材料的要求。1824年之后,以水泥作为胶凝材料的混凝土开始问世,随后在1850年和1928年先后出现了钢筋混凝土和预应力混凝土。混凝土从此得到了广泛应用。目前,它已是世界上用量最大、使用最广泛的土木工程



普通混凝土结构示意图

1—石子; 2—砂子;
3—水泥浆; 4—气孔





2.2.7 石子与砂



2.2.8 混凝土的种类



2.2.9 钢筋混凝土的由来



2.2.10 建筑钢的类型

材料。

混凝土具有抗压强度高、耐久性好、强度等级范围宽等优点。同时，它原料丰富、生产工艺简单、价格低廉，因而其用量越来越大。但是，混凝土本身具有自重重大，抗拉强度低，易开裂等缺点。

1868年，一个法国园丁获得了包括钢筋混凝土花盆，以及紧随其后应用于公路护栏的钢筋混凝土梁柱的专利。人们发现在混凝土构件的受拉区域和易开裂的区域配置钢筋，能大幅提高混凝土构件的抗拉、抗弯强度，并能限制裂缝的出现和开展。1872年，世界第一座钢筋混凝土结构的建筑在美国纽约落成，人类建筑史上一个崭新的纪元从此开始。

钢筋混凝土结构在1900年之后在工程界得到了大规模的使用。1928年，一种新型钢筋混凝土结构形式——预应力钢筋混凝土出现，并于第二次世界大战后被广泛地应用于工程实践。钢筋混凝土的发明以及19世纪中叶钢材在建筑业中的应用使高层建筑与大跨度桥梁的建造成为可能。

2.2.4 钢材

土木工程用的钢材是指用于钢结构的各种型材（如圆钢、角钢、工字钢等）、钢板、管材和用于钢筋混凝土中的各种钢筋、钢丝等。

从19世纪初，人类开始将钢材用于建造桥梁和房屋。到19世纪中叶，钢材的品种、规格、生产规模大幅度增长，强度不断提高，钢材的切割和连接等加工技术也大为发展，为建筑结构向大跨重载方向发展奠定了重要基础。

与石材、混凝土等材料相比，钢材抗拉、抗压强度都很高，且具有良好的变形能力和易加工的性能。钢结构抗震性能极为优越。由于强度高，使钢结构构件的截面尺寸相比其他材料可以更长、更高，也更纤细，大大扩展了现代工程的跨度和高度，使现代工程呈现出轻盈灵动的视觉效果。

钢材的缺点是易锈蚀，因此需要做好钢结构的防锈防腐养护。火灾中钢材会软化，“美国9·11恐怖袭击事件”中倒塌的世贸大厦就是由于飞机撞击大厦起火，导致钢材软化，结构倒塌。因此，钢结构的防火同样重要。

2.2.5 沥青

沥青是原油加工过程中产生的一种衍生品,呈液态、半固态或固态,高温时软化,低温时质脆,粘结性和防腐性能良好。在土木工程中被广泛用作防腐材料、粘结材料和路面材料。

由于天然沥青对温度过于敏感,使用时要根据工程条件和要求,对沥青性能进行改良,称为改性沥青。改性沥青是指添加了橡胶、树脂、高分子聚合物、磨细了的胶粉等改性剂,或采用对沥青进行轻度氧化加工,从而使沥青的性能得到改善的沥青混合物。改性沥青提高了沥青的热稳定性,即高温下抗车辙的能力;降低了冷脆性,即低温下抗开裂的能力;使沥青能够适用于炎热和低温环境。有些改性沥青提高了沥青的粘结性,使其耐磨损能力提高,大大延长了沥青路面的使用寿命。改性沥青铺设的路面有良好的耐久性、抗磨性,能保证高温不软化,低温不开裂。

改性沥青的优点有:①耐高温,抗低温,适应性强;②韧性好,抗疲劳,增大路面承载能力;③抗水、油和紫外线辐射,延缓老化;④性能稳定,使用寿命长,降低养护费用。⑤降低噪声,改善了行驶舒适性。

常用的改性沥青:
丁苯橡胶(SBR)沥青;
聚乙烯(PE)沥青;
北美沥青 UN-A;
EVA 树脂热拌沥青。

2.3 日新月异的土木工程材料

20 世纪出现的高分子材料、新型金属材料和各种复合材料,使土木工程的功能和外观发生了根本性的变革,一方面在不断改进提升材料属性,一方面在不断推陈出新。轻质混凝土、高强混凝土、高性能混凝土、纤维混凝土、特殊性能混凝土、高强钢、绿色建材已经从实验室走进实际工程。

土木工程材料的发展可概括为:①轻质高强材料的应用方式、使用范围和功能在不断拓展完善;②绿色建材变废为宝,循环利用,环境友好;③智能工程材料的研发;④工程材料生产加工的工业化和产品化。

在土木工程中,建筑材料的自重是工程中的主要荷载之一;降低材料自重,就能降低结构负荷,因此近年推出了多种轻质工程材料和轻质构件,如陶粒混凝土、泡沫混凝土、发泡砖、轻钢构件和充气膜等。



2.3.1 现代建材

新型混凝土的发展

方向:

智能化;
低能耗化;
生态化;
长寿命化。



2.3.2 智能化混凝土

以前高强混凝土一般是指强度等级在 C45 级以上的混凝土。随着科学技术的发展,高强混凝土被定义为强度等级在 C60 级以上的混凝土。目前已知的在实际工程中应用的最高强度的混凝土为活性粉掺合料混凝土,强度等级已经达到 C200。

近年研发的高性能混凝土比传统混凝土不仅性能优越,且在生产和使用上有显著差异。美国混凝土学会(ACI)认为:“高性能混凝土是一种能符合特殊性能与均匀性要求的混凝土,此种混凝土往往不能用常规的混凝土组分材料,通过常规的搅拌、浇捣和养护获得。”一般而言,它的主要指标可概括为:超高的强度、低渗透性、良好的结构性能、优越的耐久性、可观的经济效益、环保性;对于常规的混凝土物理、力学性能指标亦要根据不同的使用要求而有所提高或改善。日本从该国的能源、材料、经济、环保等角度出发,开发出较多类型的高性能混凝土,如防磁防辐射混凝土、导电混凝土、超耐磨混凝土等。

纤维混凝土是在混凝土中加入合成材料纤维丝或钢纤维,是由纤维和水泥基料(水泥石、砂浆或混凝土)组成的复合材料的统称。水泥石、砂浆与混凝土的主要缺点是:抗拉强度低、极限延伸率小、性脆,加入抗拉强度高、极限延伸率大、抗碱性好的纤维,可以克服这些缺点。纤维混凝土能增强塑性混凝土的抗拉能力,显著降低其塑性流动和收缩微裂纹。这种减少或消除塑性裂纹的性能使混凝土获得其最佳的长期整体性。这些纤维呈各向均匀地分布于整个混凝土,使混凝土得到辅助的加强,并防止收缩裂缝。在随处都有纤维的混凝土中,亦可最大限度地减小在受力状态下混凝土可能出现裂缝的宽度和长度。

绿色材料是指在原料采取、产品制造、使用或者再循环以及废料处理等环节中对地球环境负荷最小和有利于人类健康的材料。绿色建材的基本特征是:建材生产尽量少用天然资源,大量使用尾矿、废渣、垃圾等废弃物;采用低能耗、无污染环境的生产技术;在生产中不得使用甲醛、芳香族、碳氢化合物等,不得使用铅、镉、铬及其化合物制成的颜料、添加剂和制品;产品不仅不损害人体健康,而且有益于人体健康;产品具有多种功能,如抗菌、灭菌、除霉、除臭、隔热保温、防火、调温、消磁、防射线、抗静电等功能;产品可循环和回收利用,无污染废弃物以防止造成二次



绿色建材产品标志



2.3.3 绿色建材

污染。

我国“绿色建材”发展近几年已取得了初步成果,如:以粉煤灰、煤矸石、矿渣、炉渣、页岩等废弃物为基料研制的实心砖、空心砖、砌块等产品取代粘土砖已趋于成熟,工程中已大量应用。采用化学石膏制板产品,以磷石膏、脱硫石膏、氟石膏代替天然石膏生产“绿色建材”,可减少天然石膏矿藏的大量开采,是我国解决若干地区酸雨问题的措施之一。充分利用白色污染废弃物,经粉碎后,采用刨花板(或中密度板)生产技术生产保温板系列产品、复合夹芯板材产品来代替木材,中国建材研究院开发生产的HB彩乐板即属此类。利用稻草或农植秸秆为填料,加水泥蒸压生产水泥草板,有关稻草板的国家行业标准已制定,各地均有生产。采用高新技术生产有益人体健康的多功能“绿色建材”,如抗菌、除霉、除臭、灭菌的陶瓷玻璃产品,以及可调湿、防火、远红外无机内墙涂料,不散发有机挥发物的水性涂料,无毒高效粘接剂。水泥生产企业以废渣经过加工代替部分水泥,从而降低水泥产量;生产中改进工艺、降能耗、减少排污和排入大气的二氧化碳,尽量达到环境容许程度。我国年产粉煤灰已超过1亿吨,年产矿渣约8000万吨,是水泥工业使用废渣可靠的供应源。

智能材料是20世纪90年代迅速发展起来的一类新型复合材料。智能材料具有感知环境(包括内环境和外环境)刺激,对之进行分析、处理、判断,并采取一定的措施进行适度响应的智能特征的材料。在土木工程中已投入使用的有:形状记忆合金、压电陶瓷、智能玻璃、光纤和电磁流变液等。

形状记忆合金具有形状记忆效应。利用形状记忆合金可以制作成消防报警装置及电器设备的保安装置。当发生火灾时,记忆合金制成的弹簧发生形变,启动消防报警装置,达到报警的目的。形状记忆合金另一种重要性质是伪弹性,即加载过程中产生的大应变会随着卸载而恢复。这一性能已被用于建筑减震中。

顺应工业化要求,工程材料也在向着商品化、成品化方向发展,如商品混凝土、预制构件、集成阻尼器等。工程材料所关注的已不仅仅是材料本身,还有生产、服务、技术……



2.3.4 形状记忆合金的发现



2.3.5 拓展阅读的参考文献与网络资源

学习与思考

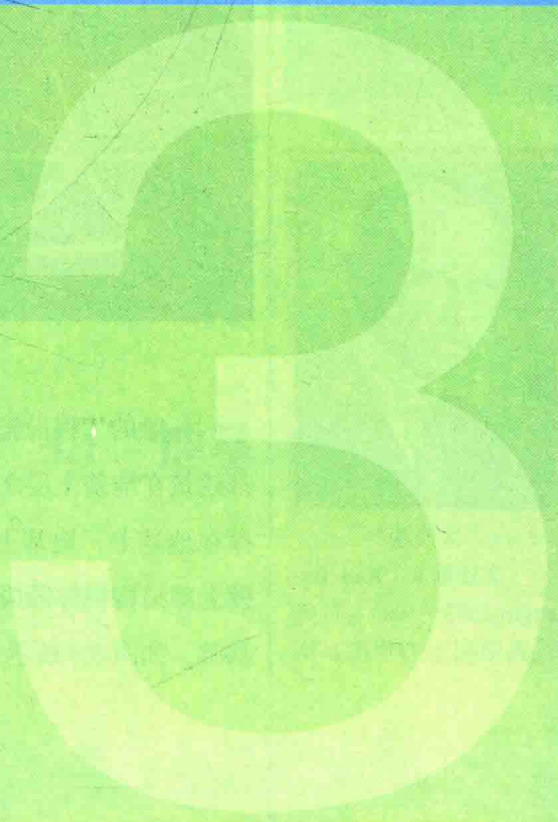
1. 常用材料的选用原则和方法有哪些？如何决策？
2. 工程中常用建筑材料的合格性检验、判定方法有哪些？
3. 随着高强钢和混凝土的出现，低标号的钢和混凝土是否会逐步被淘汰？为什么？
4. 自学写出混凝土材料从制备、使用到变成建筑垃圾的全寿命变化历程。



第3章

地基基础及地下工程

- 3.1 地基
- 3.2 基础
- 3.3 不均匀沉降
- 3.4 地基处理
- 3.5 地下工程





西安半坡村遗址

远古先民在史前建筑活动中,就已创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和殷墟遗址的考古发掘,都发现有土台和基础。



赵州桥

隋朝大业初年(公元605年左右)石工李春所修建成的赵州石拱桥,造型美观,至今安然无恙。现在验算其基底压力 $500 \sim 600 \text{ kPa}$,这与现代土力学理论给出的承载力值很接近。



太沙基

太沙基 K (Karl Terzaghi, 1883—1963), 美籍奥地利土力学家, 现

建筑、桥梁、大坝、电视塔等工程设施均可以分成地面以上和地面以下两个部分, 见图 3.1 和图 3.2。地面以上的部分我们都能感受到, 但地面以下的部分, 即地基基础及地下工程在建造完成后, 其外表我们是看不见的, 也可称之为隐蔽工程。

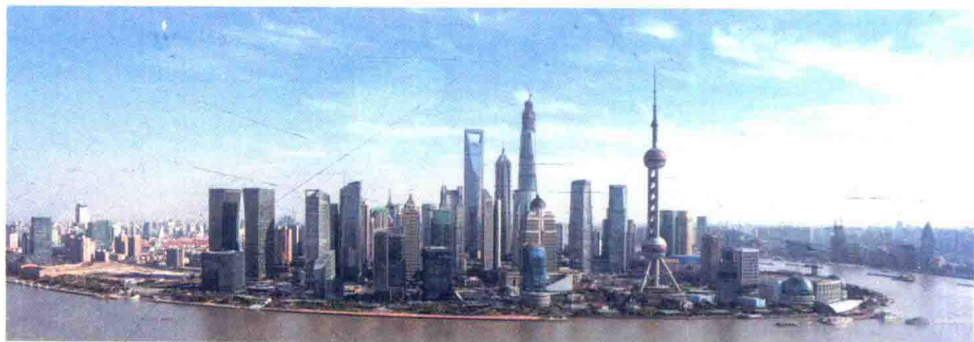


图3.1 上海浦东陆家嘴区域地面以上效果



图3.2 正在施工中的地下工程

一般的工程设施为什么要有地下部分呢? 万丈高楼平地起, 任何土木工程都建筑在地基土层之上。与土木工程材料相比, 土层相当软弱, 如建筑直接支撑在地基上, 地基土层不能满足强度和变形的要求, 必须要有一个过渡结构, 使上部结构构件的应力有效扩散, 使之与土层强度相匹配, 这个过渡结构就是基础, 如图 3.3 所示。

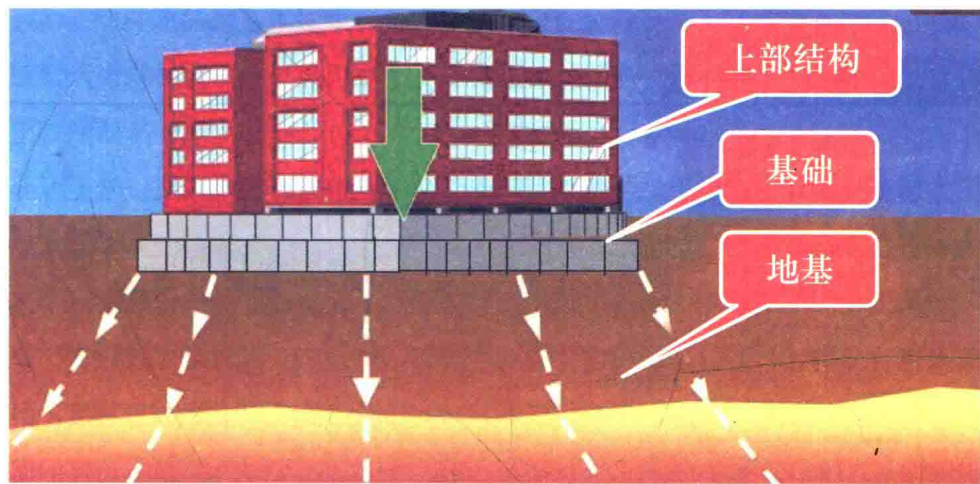


图3.3 地基及基础示意图

地基是指承托土木工程基础的这一部分很小的场地。地基及基础组成了一个稳固的系统以支撑着上部结构。工程实践中解决地基基础问题主要通过理论、实验、经验三方面结合来解决。理论是指土力学的基本理论和各类地基基础的结构计算理论。复杂的地基基础问题的解决要通过大量的现场和室内实验的结果来解决问题。对于有些理论计算和实验都不能解决的问题只能依靠工程师的经验来解决。

在地面以下土层或岩体中修建各种类型的地下建筑物或结构的工程，可称为地下工程。为了保护耕地，建筑用地将会越来越紧，人类不得利用地下作为活动空间，此外，地下空间也有着独特的优势，如节能环保、恒温恒湿、密闭性好等。

简言之，地基基础是为了满足工程设施受力及传力的要求；地下工程是为了满足人类特定使用功能及拓展活动空间的要求。

3.1 地基

地基主要由土或岩石组成，土或岩石可以看成为一种工程材料，其软硬程度决定着将以何种方式支撑起上部工程设施。

代土力学的创始人。他发表的《理论土力学》和《实用土力学》(中译名)全面总结和发展了土力学的原理和应用经验，至今仍为工程界的重要参考文献。



3.0.1 建筑结构的受力及传力



3.0.2 地下工程的种类



3.0.3 基础工程

岩石按地质成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩等三种类型。



岩浆岩

岩浆岩是由岩浆喷出地表或侵入地壳冷却凝固所形成的岩石。



沉积岩

沉积岩是其他岩石的风化产物和一些火山喷发物经过水流或冰川的搬运、沉积、成岩作用形成的岩石。



变质岩

变质岩是在高温、高压和矿物质的混合作用下由一种岩石自然变质成的另一种岩石。

3.1.1 岩土的分类

岩土位于地壳的表层，包括岩石和土，其中土由岩石风化而成。岩土可分为岩石、碎石土、砂土、粉土和粘性土。

从工程应用的角度，岩石可根据其坚硬程度、完整程度和风化程度三个方面进行分类。岩石的坚硬程度分为5个类别：坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩。岩体完整性是指岩体内以裂隙为主的各类地质界面的发育程度，而裂隙性是岩体十分重要的特性，破碎岩石的强度较完整岩石大大降低。岩体的完整程度分为5个等级：完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎。岩石风化是指岩石在太阳辐射、大气、水和生物作用下出现破碎、疏松及矿物成分次生变化的现象。岩石的风化程度分为5种：未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化。

土的物质成分包括固态矿物颗粒、土骨架孔隙中的液态水及其溶解物质和土孔隙中的气体。因此，土由固相、液相和气相构成，见图3.4。土的三相组成物质和三相比例的大小对土的轻重、松密、湿干、软硬等一系列物理性质产生影响，而土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质。因此，物理性质是土最基本的工程特性。

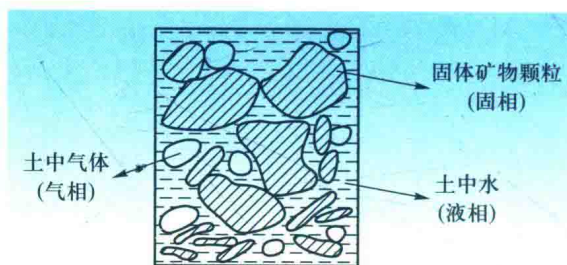


图3.4 土的三相物质

土的颗粒大小是影响土的性质最主要因素，土粒大小含量的数量关系是土的分类依据，当土中巨粒（土粒粒径 $>60\text{ mm}$ ）和粗粒（土粒粒径为 $60\sim 0.075\text{ mm}$ ）的含量超过全重的50%时，属无粘性土，包括碎石土和砂土；反之，不超过50%时，属粉土和粘性土。

为了得到土的三相比例，通常将土体中处于分散状态的三相物质理想化地分别集中在一起，构成如图3.5所示土的三相图。图中，左边注明的是各相质



量, 右边注明的是各相体积。土样质量 m 为土粒质量 m_s 和土中水质量 m_w 之和, 通常认为空气的质量可以忽略; 土样体积 V 为土中空气体积 V_a 、水体积 V_w 和土粒体积 V_s 之和。

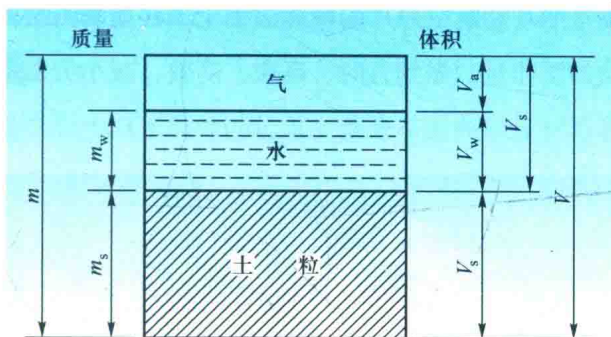


图3.5 土的三相图

三个基本的三相比例指标是指土粒相对密度 d_s (土粒质量与同体积的 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纯水的质量之比)、土的含水量 w (土中水质量与土粒质量之比) 和密度 ρ (土单位体积的质量)。

3.1.2 岩土工程勘察

为了对岩土有一个正确的认识和科学的评价, 必须进行野外的工程勘察, 该项工作是工程设施设计和施工的基础, 如勘察工作不到位, 不良工程地质问题不能揭露发现, 即使上部构造的设计、施工达到优质也不免遭受破坏。不同类型、不同规模的工程活动都会给地质环境带来不同程度的影响; 反过来, 不同的地质条件又会给工程建设带来不同的效应。岩土工程勘察的目的主要是查明工程地质条件, 分析存在的地质问题, 对建筑地区作出工程地质评价。

1. 工程地质测绘

工程地质测绘就是填绘工程地质图件, 根据野外调查综合研究勘察区的地质条件, 填绘在适当比例尺地形图上加以综合反映。对地质条件较复杂的场地应进行工程地质测绘, 其目的是为了查明场地及其邻近地段的地貌、地质条件, 并结合其他勘察资料对场地或建筑地段的稳定性和适宜性做出评价, 并为勘察方案的布置提供依据。

常用的工程地质测绘方法有像片成图法和实地测绘法。目前, 遥感技术



粘性土

粘性土由粘粒与水之间的相互作用产生, 通气透水性能差, 湿时粘干时硬



无粘性土

无粘性土指的是含粘土粒较少, 透水性较大的土。



3.1.2 土的三相比例指标计算公式



3.1.3 岩土工程勘察三个阶段



地貌

地貌指的是地表起伏的形态,如陆地上的山地、平原、河谷、沙丘,海底的大陆架、大陆坡、深海平原、海底山脉等。根据地表形态规模的大小,有大地貌、中地貌、小地貌和微地貌之分。大陆与洋盆是地球表面最大的地貌单元,较小的地貌形态如有在流水和风力作用下形成的沙垄和沙波等。地貌是自然地理环境的重要要素,对地理环境的其他要素及人类的生产和生活具有深刻的影响。

遥感技术是20世纪60年代兴起的一种探测技术。航空遥感又称机载遥感,是指利用飞机、飞艇、气球等航空器械作为传感器运载工具实施空中遥感探测的一种综合性探测技术。

2008年5月12日,中国四川省汶川发生了8.0级大地震,在地震灾区通信、交通被严重破坏的情况下,科技工作者通过卫星遥感技术和航空遥感飞机,给抗震救灾指挥部及时提供了大量地面宏观灾情遥感图像,为指挥部科学评估灾情,进而采取有效救灾防灾措施做出了贡献。

(图3.6)已在工程地质测绘中得到广泛应用。遥感是指根据电磁辐射的理论,应用现代技术中的各种探测器,对远距离目标辐射来的电磁波信息进行接收,传送到地面接收站加工处理成遥感资料(图像或数据),以探测识别目标物的整个过程。将卫星照片和航空照片的解译应用于工程地质测绘,能在很大程度上节省地面测绘的工作量,做到省时、高质、高效,减小劳动强度,节省工程勘察费用。

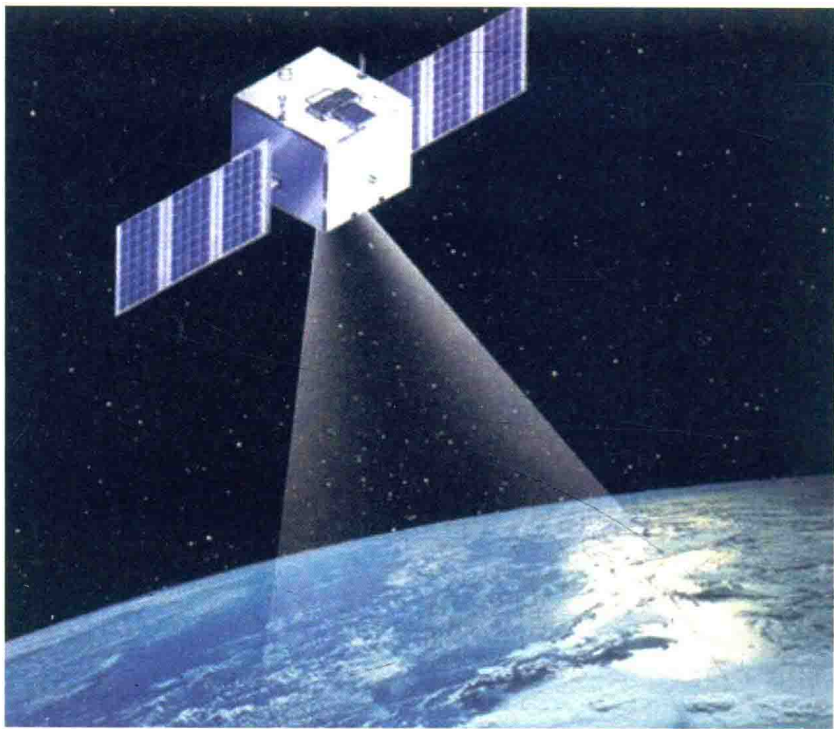


图3.6 遥感技术测绘示意图

2. 岩土工程勘探方法

岩土工程勘探是为了进一步查明地表以下工程地质问题,取得深部地质资料而进行的。勘探的方法主要有钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等方法。

钻探是勘探方法中应用最广泛的一种,它是采用钻探机具向下钻孔,以鉴别和划分地层、观测地下水位,并采取原状土样以供室内试验,确定土的物理性质、力学性质指标。需要时还可以在钻孔中进行原位测试。

地球物理勘探简称物探,它是通过研究和观测各种地球物理场的变化来探测地层岩性、地质构造等地质条件。由于组成地壳的不同岩层介质往往在密度、弹性、导电性、磁性、放射性以及导热性等方面存在差异,这些差异将引

起相应的地球物理场的局部变化。通过量测这些物理场的分布和变化特征,结合已知地质资料进行分析研究,就可以达到推断地质性状的目的。和钻探相比,具有设备轻便、成本低、效率高、工作空间广等优点。但它由于不能取样,不能直接观察,故多与钻探配合使用。

3. 原位测试

原位测试是在岩土原来所处的位置上或基本上在原位状态和应力条件下对岩土性质进行的测试。常用的原位测试方法有:载荷试验、静力触探试验、旁压试验、十字板剪切试验、标准贯入试验、波速测试及其他现场试验。

(1) 载荷试验

载荷试验是在天然地基上通过承压板向地基施加竖向荷载,观察所研究地基土的变形和强度规律的一种原位试验。试验前在试验点开挖试坑,载荷试验采用堆载或液压千斤顶均匀加荷,承压板形状宜采用方形或圆形。试验装置见图 3.7。

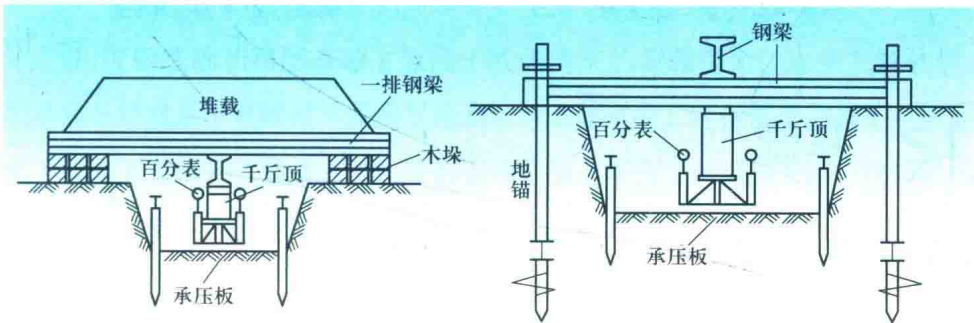


图3.7 载荷试验

(2) 旁压试验

在上述载荷试验中,如果基础埋置深度较大,则试坑开挖很深,开挖工作量非常大,不太适用载荷试验的方法;如地下水位较浅,基础埋置在地下水位以下,则载荷试验无法采用。在这些情况下可采用旁压试验,如图 3.8 所示。

旁压试验的原理就是在试验地点钻孔,将旁压器放入钻孔中至测试位置,用水加压力,使充满水的旁压器圆筒形橡胶膜膨胀,压向四周钻孔孔壁的土体,然后分级加压并测读施加的压力与四周孔壁土体的变形,最后评定地基承载力和变形参数。

地球物理勘探的发展方向。引进现代电子计算机技术,进一步压制干扰,提高分辨能力,提取更多的有用信息,发展反演的理论和技术,提高各类地质问题的地球物理解释、推断效果并不断提高地球物理数据处理的工作效率和图像处理技术。地球物理勘探仪器要向轻便化、高精度、多功能、数字化、系列化和智能化的方向发展。

常用的地球物探方法有直流电勘探、交流电勘探、重力勘探、磁法勘探、地震勘探、声波勘探、放射性勘探等。



3.1.4 钻探、探井及探槽

旁压试验适用于粘性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩和软岩等。



3.1.5 静力触探设备及适用性



3.1.6 刚性及扩展基础

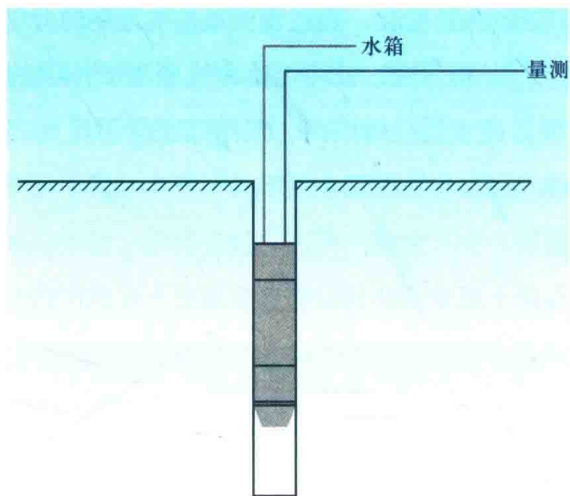


图3.8 旁压试验示意图

(3) 静力触探试验

静力触探试验是通过静压力将一个内部装有传感器的触探头以匀速压入土中，通过量测土对探头的阻力，推测被测土层的工程性质。

3.2 基础

3.2.1 浅基础



筏基底板
正在施工中的筏板
基础底板。

一般而言，基础多埋置于地面以下，但诸如码头桩基础、桥梁基础、半地下室箱形基础等均有一部分在地表之上。通常把位于天然地基上、埋置深度小于5 m的一般基础（柱基或墙基）以及埋置深度虽超过5 m，但小于基础宽度的大尺寸基础（如箱形基础），统称为天然地基上的浅基础。

在桥梁结构中，对于无冲刷河流，埋置深度是指河底或地面至基础底面的距离；有冲刷河流是指局部冲刷线至基础底面的距离。

天然地基上的浅基础埋置深度较浅，用料较省，无需复杂的施工设备。在开挖基坑的过程中，采取必要的支护坑壁和排水疏干后对地基不加处理即可修建，其工期短、造价低，因而设计时宜优先选用天然地基。当这类基础及上部

结构难以适应较差的地基条件时,才考虑采用大型或复杂的基础形式,如连续基础、桩基础或人工处理地基。

浅基础按构造类型可分为四种:

① 单独基础:在房屋建筑中,柱的基础一般为单独基础,如图 3.9 所示。

② 条形基础:墙的基础通常连续设置成长条形,称为条形基础,如图 3.10 所示。条形基础在普通的砌体结构中应用相当广泛。

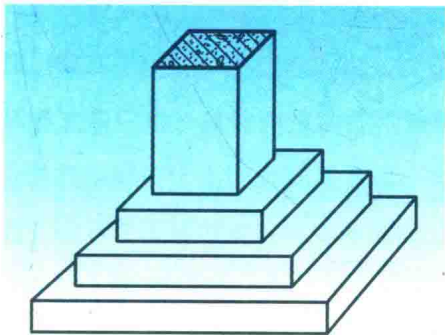


图3.9 柱下独立基础

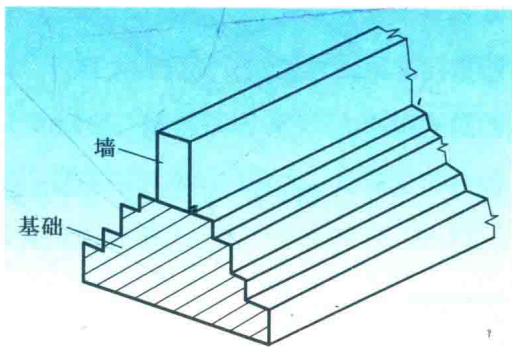


图3.10 墙下条形基础

③ 筏板基础和箱形基础:当柱子或墙传来的荷载很大,地基土较软弱,用单独基础或条形基础都不能满足地基承载力要求时,往往需要把整个房屋底面(或地下室部分)做成一片连续的钢筋混凝土板作为房屋的基础,这种基础称为筏板基础。为了增加基础板的刚度,以减小不均匀沉降,高层建筑往往把地下室的底板、顶板、侧墙及一定数量的内隔墙一起构成一个整体刚度很强的钢筋混凝土箱形结构,这种基础称为箱形基础,如图 3.11、图 3.12 所示。

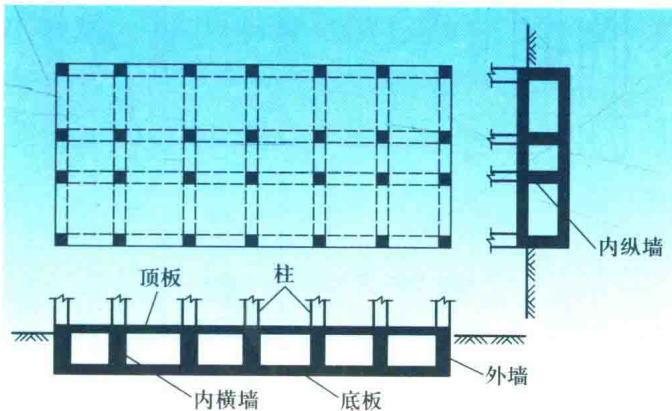


图3.11 箱形基础

地下连续墙:通过专门的挖掘机泥浆护壁法挖成长条形深槽,再下钢筋笼和灌注水下混凝土,形成单元墙段,它们相互连接而成连续墙,其厚度一般为 0.3 ~ 2.0 m,随深度而异,最大深度已达 100 m。



上海龙华塔

龙华塔位于上海市徐汇区,7层,40.4 m,相当于13层楼高,始建于三国东吴时代(公元220—280年),重建于宋代(公元977年),用木桩,桩周用灰土防腐,是软基础上建高层的范例。

预制桩：将事先在工厂或施工现场制成的桩，用不同沉桩方法沉入地基。

灌注桩：直接在设计桩位开孔，然后在孔内浇灌混凝土而成。

静压预制桩：通过静力压桩机的压桩机构以压桩机自重和机架上的配重提供反力而将桩压入土中的沉桩工艺，这种压桩方法完全避免了锤击打桩所产生的振动、噪声和污染，因此施工时具有无噪声、无振动、无冲击力、无污染等优点。

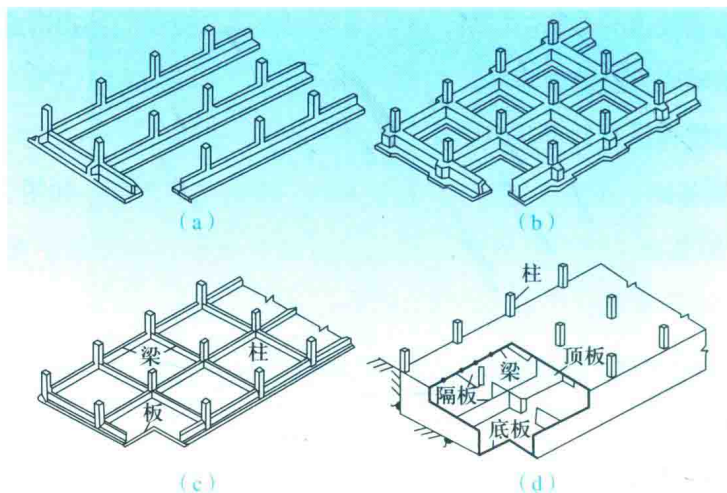


图3.12 带形基础、十字形基础、筏板基础和箱形基础

3.2.2 深基础

位于地基深处承载力较高的土层上，埋置深度大于 5 m 或大于基础宽度的基础，称为深基础，如桩基、地下连续墙、墩基和沉井等，如图 3.13 所示。

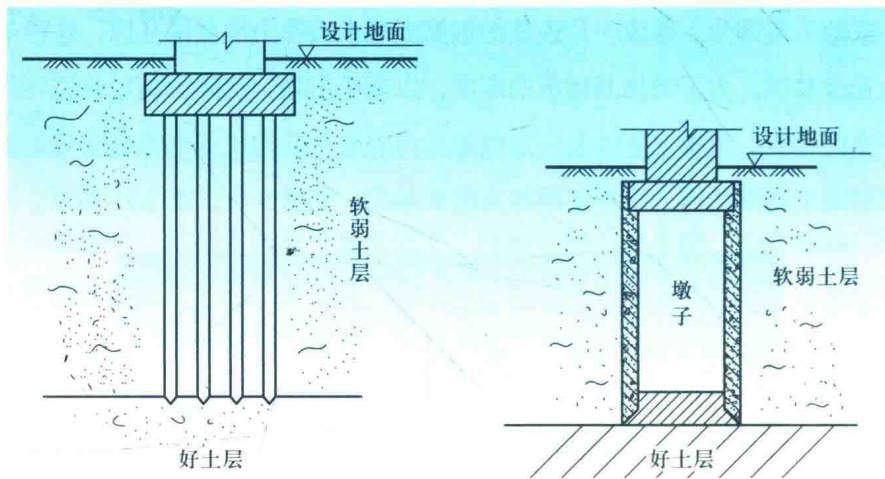


图3.13 深基础两种类型

1. 桩基础

(1) 桩基础发展历史

桩具有悠久的历史。美国考古学家在 1981 年 1 月对在太平洋东南沿岸智利的蒙特维尔德附近的森林中发现的一间支承于木桩上的木屋进行了放射性碳 60



3.2.1 桩传递荷载的方式



3.2.2 沉井基础类型



南京长江大桥

南京长江大桥于1968年12月28日建成。南京附近的长江，水深有三四千米，水下的泥沙覆盖层则更厚，江底岩层情况又极复杂。过去，有些国家的桥梁专家曾经断言：在南京长江上造桥，基础工程这一关就过不了。我国的建桥工人和科学技术人员根据不同的水文地质情况，分别采用了几种类型的管柱基础和沉井基础。其中一种浮运薄壁钢筋混凝土沉井基础，平面大小为400余平方米，高55 m，相当于一个篮球场那样大，1座14层楼房那样高，有20 000多吨重，下沉的深度达到水下70余米。当时在国外尚属少见，在我国桥梁工程中，则是一个创举。

测定，认为其距今至少已有12 000年至14 000年的历史。我国于1973年到1978年在浙江余姚河姆渡村发掘了新石器时代的文化遗址，出土了占地40 000 m²的大量木结构遗存，其中有木桩数百根，研究认为其距今约7 000年。自人工挖孔桩100年前在美国问世以来，灌注桩基础得到了极大的发展，出现了很多新桩型，单桩承载力可达数千千牛，最大的灌注桩直径可达数米以上，深度已超过100 m。

(2) 采用桩基础的条件

一般采用天然地基时地基承载力不足或沉降量过大时，宜考虑选择桩基础。像高层建筑、纪念性或永久性建筑、设有大吨位的重级工作制吊车的大型单层工业厂房、高耸建筑物或构筑物（如烟囱、输电铁塔等）、大型精密仪器设备基础都应优先考虑桩基方案。当建筑物或构筑物荷载较大，地基上部软弱而下部不太深处理藏有坚实地层时，最宜采用桩基。

(3) 桩的分类

按桩身材料不同，可将桩划分为木桩、混凝土桩、钢筋混凝土桩、钢桩、其他组合材料桩等。按施工方法可分为预制桩、灌注桩两大类。按成桩过程中挤土效应可分为挤土桩、小量挤土桩和非挤土桩。

2. 沉井基础

为了满足结构物的要求，适应地基的特点，在土木工程结构的实践中形成了各种类型的深基础，其中沉井基础（图3.14），尤其是重型沉井、深水浮运钢筋混凝土沉井和钢沉井，在国内外已有广泛的应用和发展，如我国的苏通长江大桥、南京长江大桥、天津永和斜拉桥、美国的STLOUIS大桥等均采用了沉井基础。目前，在其构造、施工和技术方面我国均已进入世界先进水平，并具有自己独特的特点。

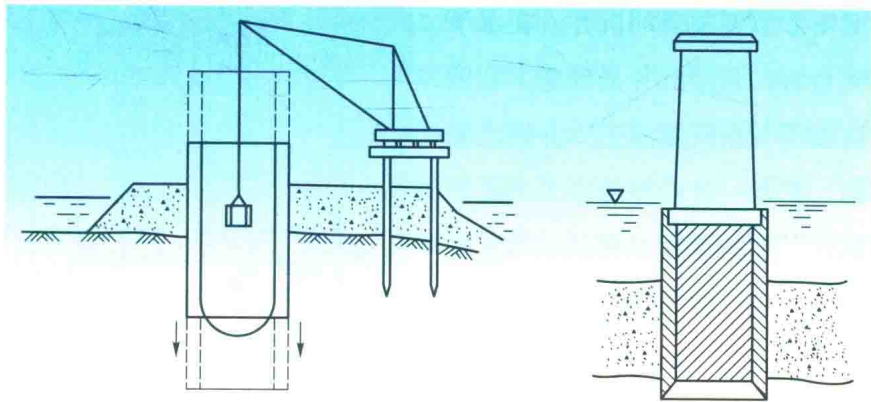


图3.14 沉井基础



3.2.3 沉井基础

气压沉箱新工艺：
“大深度气压沉箱技术与设备研究”是上海市科委 2004 年立项的重大科研项目，经过上海基础公司联手上海交通大学等单位近 4 年的协同攻关，这项具有我国自主知识产权的新技术已基本获得成功。该工艺采用气压平衡沉箱底部的水压力，使沉箱底土体在无水状态下进行挖土排土，箱体在本身自重以及上部荷载的作用下下沉到指定深度。该工艺不但突破以往气压沉箱以人工挖土为主，作业空间小、气压高、温度高、噪声大、危险性大、工作效率低、容易患“沉箱病”等瓶颈，而且与传统工艺相比，能有效避免坑底隆起和流砂管涌现象，从而实现有效控制周边环境的沉降、位移，在城市建设应用的前景广阔。



3.2.4 地基沉陷模型

沉井是一种四周有壁、下部无底、上部无盖、侧壁下部有刃脚的筒形结构物。通常用钢筋混凝土制成。它通过从井孔内挖土，借助自身重量克服井壁摩阻力下沉至设计标高，再经混凝土封底并填塞井孔，便可成为桥梁墩台或其他结构物的基础，如图 3.15 所示。

沉井既是基础，又是施工时的挡土和挡水围堰结构物，施工工艺也不复杂。沉井基础的特点是埋置深度可以很大、整体性强、稳定性好，能承受较大的垂直荷载和水平荷载。沉井基础的缺点是：施工期较长；对细砂及粉砂类土在井内抽水易发生流砂现象，造成沉井倾斜；沉井下沉过程中遇到的大孤石、树干或井底岩层表面倾斜过大，均会给施工带来一定困难。

3. 沉箱基础

沉箱基础又称之气压沉箱基础，它是以气压沉箱来修筑的桥梁墩台或其他构筑物的基础。

沉箱形似有顶盖的沉井。在水下修筑大桥时，若用沉井基础施工有困难，则改用气压沉箱施工，并用沉箱作基础。它是一种较好的施工方法和基础形式。它的工作原理是：当沉箱在水下就位后，将压缩空气压入沉箱室内部，排出其中的水，这样施工人员就能在箱内进行挖土施工，并通过

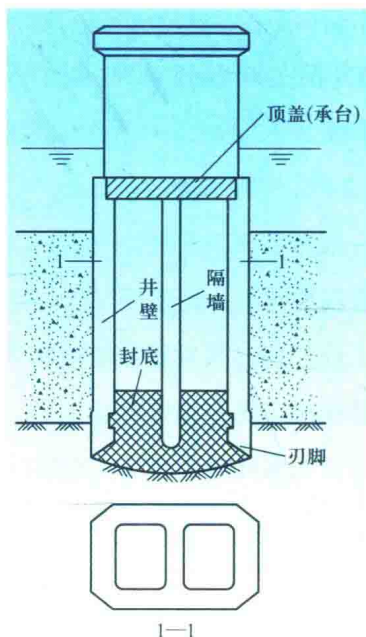


图3.15 桥的沉井基础

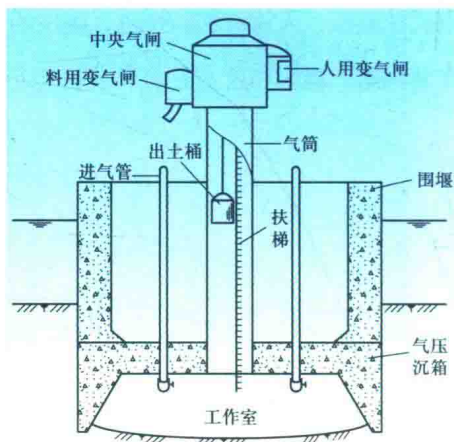


图 3.16 桥的沉箱基础

升降筒和气闸,把弃土外运,从而使沉箱在自重和顶面压重作用下逐步下沉至设计标高,最后用混凝土填实工作室,即成为沉箱基础,如图 3.16 所示。由于施工过程中都通入压缩空气,使其气压保持或接近刃脚处的静水压力,故称为气压沉箱。

3.3 不均匀沉降

反映土木工程结构地基的变形特征的重要指标就是差异沉降,也就是我们通常所说的不均匀沉降,一般是指同一结构体中,相邻的两个基础沉降量的差值。如果差异沉降过大,就会使相应的上部结构产生额外应力,当超过一定的限度时,将会产生裂缝、倾斜甚至破坏。



3.3.1 减少不均匀沉降的措施

3.4 地基处理

我国地域辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件地域性较强。当需要在地质条件不好的地方进行工程建筑时,现代土木工程技术的发展使我们能够对天然的软弱地基进行处理。

地基处理的历史可追溯到古代,我国劳动人民在地基处理方面有着极其宝贵的丰富经验,许多现代的地基处理技术都可在古代找到它的雏形。根据历史记载,早在 2 000 年前就已采用了软土中夯入碎石等压密土层的夯实法;灰土和三合土的垫层法,也是我国古代传统的建筑技术之一;我国古代在沿海地区极其软弱的地基上修建海塘时,采用每年农闲时逐年填筑,即现代堆载预压法中被称为分期填筑的方法,利用前期荷载使地基逐年固结,从而提高土的抗剪强度,以适应下一期荷载的施加,这就是我国古代劳动人民在处理软土地基实践中积累的宝贵经验。

地基处理的主要目的是指提高软弱地基的强度、保证地基的稳定性;降低软弱地基的压缩性、减少基础的沉降;防止地震时地基土的振动液化;消除特殊土的湿陷性、胀缩性和冻胀性。



比萨斜塔

比萨斜塔位于意大利托斯卡纳省比萨城北面的奇迹广场上。始建于 1173 年,设计为垂直建造,但是在工程开始后不久便由于地基不均匀和土层松软而倾斜,1372 年完工,塔身倾斜向东南。由于倾斜程度过于危险,比萨斜塔曾在 1990 年 1 月 7 日停止向游客开放,经过 12 年的修缮,斜塔被扶正 44 厘米,基本达到了预期的效果。2001 年 12 月 15 日起再次向游人开放。



3.4.1 地基处理技术的最新发展



浦东国际机场

浦东国际机场位于上海市东部, 1999年9月建成通航。二期飞行区场道原为芦苇、鸟类栖息地, 启动了“驱鸟造地吹砂补土”工程, 为了满足场道设计要求, 采用了“高真空排水+强夯+冲击碾压”的综合加固处理方案, 建成后使用效果良好。



上海国际赛车场

上海国际赛车场。亚洲最大、最先进的F1赛车场, 是唯一建造在软土地基上的“上”字形F1赛道, 占地2.5平方公里, 赛道总长5.28公里, 采用复合桩基固定赛道路面。

3.4.1 地基处理方法

目前, 国内外地基处理方法众多, 主要方法有换填法(图3.17)、预压法、强夯法、振冲法、土或灰土挤密桩法、砂石桩法、深层搅拌法、高压喷射注浆法(图3.18)等。

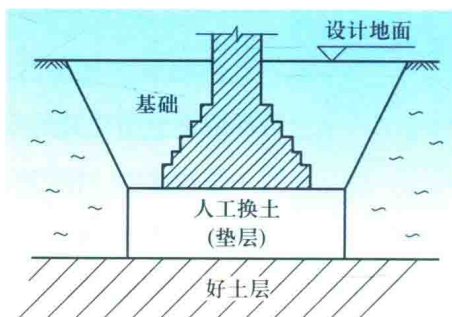


图3.17 地基用换填法处理

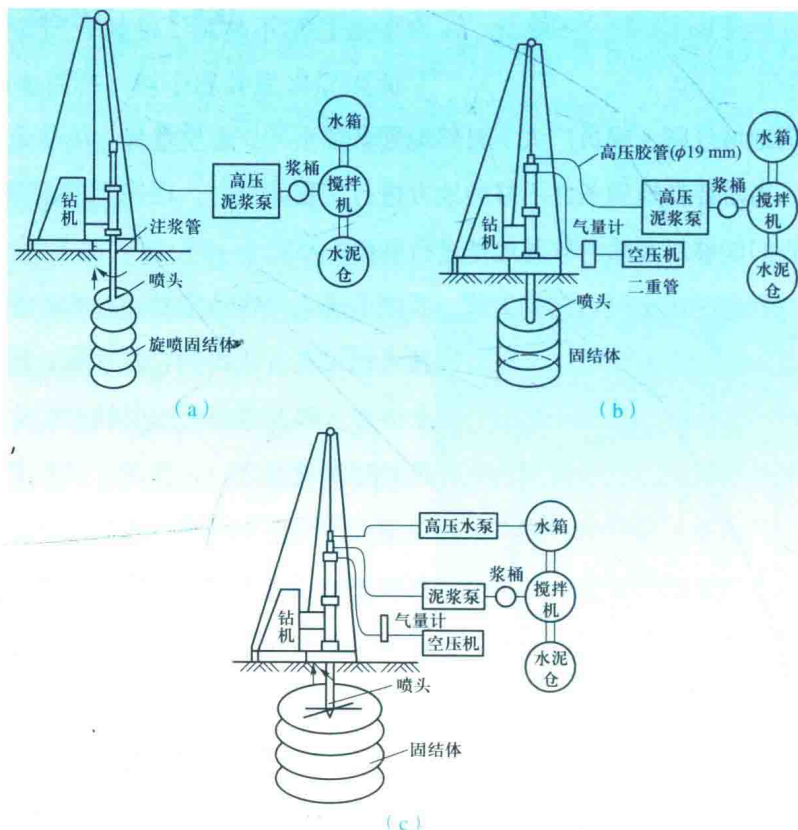


图3.18 高压喷射灌浆示意图

3.4.2 地基处理的方案选择

地基处理的方法虽然很多,但许多方法还在不断发展和完善中。每一种方法都有他的适用范围和局限性,因而选用某一种地基处理方法时,一定要根据地基土质条件、工程要求、工期、造价、料源、施工机械条件等因素综合分析后确定。

3.5 地下工程

19 世纪是桥的世纪,20 世纪是高层建筑的世纪。科学家预言,21 世纪将是人类合理开发利用地下空间的新世纪。

当今世界,人类正在向地下、海洋和宇宙开发。向地下开发可归结为:地下资源开发、地下能源开发和地下空间开发三个方面。地下空间的利用也正由“线”的利用向大断面、大距离的“空间”利用进展。

20 世纪 80 年代,国际隧道协会(ITA)提出“大力开发地下空间,开始人类新的穴居时代”的口号。顺应于时代的潮流,许多国家将地下开发作为一种国策,如日本提出了向地下发展,将国土扩大十倍的设想。从某种意义上讲,地下空间的利用历史是与人类文明史相呼应的,它可以分为四个时代:

第一时代 从出现人类至公元前 3000 年的远古时期。人类原始穴居,天然洞窟成为人类防寒暑、避风雨、躲野兽的处所。

第二时代 从公元前 3000 年至 5 世纪的古代时期。埃及金字塔、古代巴比伦引水隧道,均为此时代的建筑典范。我国秦汉时期的陵墓和地下粮仓,已具有相当技术水准和规模。

第三时代 从 5 世纪至 14 世纪的中世纪时代。世界范围矿石开采技术出现,推进了地下工程的发展。

第四时代 从 15 世纪开始的近代与现代。欧美产业革命,诺贝尔发明黄色炸药,成为开发地下空间的有力武器。

在地面以下土层或岩体中修建各种类型的地下建筑物或结构的工程,可称为地下工程。它包括交通运输方面的地下铁道、公路隧道、地下停车场、过



十三陵

举世闻名的十三陵,是明朝十三个皇帝的陵墓。坐落在北京西北郊昌平区境内的燕山山麓的天寿山。是当今世界上保存完整埋葬皇帝最多的墓葬群。2003 年明十三陵被列入《世界遗产目录》。世界遗产委员会评价:明清皇家陵寝依照风水理论,精心选址,将数量众多的建筑物巧妙地安置于地下。



诺贝尔

阿尔弗雷德·贝恩哈德·诺贝尔(1833.10—1896.12)。瑞典化学家、工程师和实业家,发明了炸药。他对各种人道主义和科学的慈善事业捐款十分慷慨,把大部分财产都交付给了信托,设立了后来成为国际最高荣誉的奖金——诺贝尔奖金,即和平、文学、物理学、化学、生理学或医学共 5 项诺贝尔奖金(其中,诺贝尔经济学奖金是瑞典国家银行在 1968 年提供资金增设的)。



延安窑洞

陕西省延安市东馨家园窑洞住宅小区共有窑洞 10 排 708 孔, 目前为世界上最大的窑洞建筑群。



上海轨交图

2015 年上海轨道交通总里程超过 600 公里, 客运量占公共交通客运量的比重达到 50%, 至 2020 年, 上海将有 21 条地铁线路, 总里程超过 800 公里。



北京轨交图

2015 年北京轨道交通总里程超过 660 公里, 客运量占公共交通客运量的比重达到 45%, 至 2020 年, 总里程超过 1036 公里。



三峡水电站

三峡水电站又称三峡工程、三峡大坝、三峡水库, 分布在中国重

街或穿越障碍的各种地下通道等; 军事方面和野战工事、地下指挥所、通信枢纽、掩蔽所、军火库等; 工业与民用方面的各种地下车间、电站、各种储存库房、商店、人防与市政地下工程, 以及文化、体育、娱乐与生活等方面的联合建筑体等。

本章所介绍的地下工程, 是指除了作为地下交通和矿井等地下构筑物外的地下工程。现代地下工程发展迅速, 世界各国, 特别是发达国家的城市地下空间开发与利用, 已经达到了相当规模。

北欧各国如瑞典在地下空间利用方面, 除了住宅和公共建筑的地下室及城市设施外, 可以看到很多利用坚固的岩石洞穴建设的城市构筑物; 美国将很多设施置于地下, 地下空间的利用是多方面的、广泛的。例如, 将城市地下空间利用点、线、面以整体网络型组合起来, 而地下核防护设施则居世界之最; 日本由于国土狭窄, 地下空间的综合利用虽比北欧等国起步晚, 但是地下街道、地下车站、地下铁道、地下商场的建设规模、成熟程度可以认为已居世界领先地位。

我国地下空间利用最早始于西北黄土高原, 至今还有 4 000 多万人居住在延续数千年的窑洞建筑中, 在黄土层中还修建过结构简单和圆筒拱形地下粮库。但是, 有计划大规模的建设则是 20 世纪 60 年代、70 年代的事。1965 年北京建设地下铁道。20 世纪 60 年代上海修建打浦路水底公路隧道。20 世纪 70 年代, 我国修建了大量地下人防工程, 其中相当一部分目前已得到开发利用, 改建为地下街、地下商场、地下工厂和贮藏库。20 世纪 80 年代各大城市陆续修建成正在规划着适合我国特点的地下综合体工程, 集商业、交通、人行过街和停车场等服务设施于一体。20 世纪 90 年代以来, 我国城市地下的交通与市政设施加快了修建速度。目前建成地铁并开通的城市有北京、上海、天津、重庆、广州、深圳、南京、杭州、沈阳、成都等 23 座城市。与此同时, 城市高层建筑地下室随着城市中心及居住小区的开发而大量发展。此外, 地下街、地下宾馆、地下会堂、地下娱乐中心、地下停车场、地下仓库、冷库等在各大中型城市纷纷涌现。可以预见随着经济的发展, 我国地下工程将进入蓬勃发展的时期。

3.5.1 地下工业建筑

地下水电站、核电站、地下厂房、地下垃圾焚烧厂等均属于地下工业建筑。

1. 地下水电站

厂房设置在地下的水电站。地下水电站可以充分利用地形、地势,尤其在山谷狭窄地带,在地下建站、布置发电机组,十分经济有效。电站建于地下,可获得更大水力压头,并且在枯水季节,水位较低时也能发电。一般水电站的压力隧道,选建于坚硬、完整的岩石中,可简化衬砌结构。地下水电站,在我国的东北和西南地区建设较多。

2. 地下核电站

将原子核裂变释放的核能转变为电能的系统和设备,通常称为核电站也称原子能发电站。核电厂的反应器内有大量的放射性物质,如果在事故中释放到外界环境,会对生态及民众造成伤害。所以,核电站一般都建在地下。

3. 地下工厂

把山体挖空或在平地挖下去,将一些工厂置于地下,不仅是战略的需要,也是经济发展的趋势。地下工厂具有以下一些优点。

(1) 缩短生产工艺流程

比如报社的地下印刷厂,为了缩短报纸从编辑到发行的时间,有必要将印刷厂设在编辑部的旁边,但编辑部往往都在城市的中心,出于经济的考虑,将印刷厂布置在编辑部的地下是一个不错的选择。

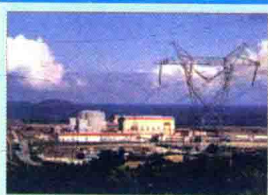
(2) 减少噪声

随着人们对环境要求的提高,噪声控制是我们面临的一大课题。如果将一些噪声较大的生产设施移到地下,利用地层强大的隔声功能,可以大大净化环境。

(3) 恒温、恒湿

如果埋置深度在 3 ~ 5 m,地层中的温度一年四季几乎不会有任何变化,湿度也几乎恒定。需要利用这些特性的生产设施埋置于地下是非常有利的,如冷冻工厂、冷冻仓库等。

庆市到湖北省宜昌市的长江干流上,整个工程于 2009 年全部完工。它是世界上规模最大的水电站,也是中国有史以来建设的最大型的工程项目。



大亚湾核电站

大亚湾核电站位于中国广东省,是中国大陆建成的第二座核电站,也是大陆首座使用国外技术和资金建设的核电站。该电站在 1987 年开工,使用压水型反应堆技术,安装两台 90 万千瓦发电机组,于 1994 年全部并网发电。



3.5.1 地下工程



黄岛地下油库

黄岛地下油库,位于中国山东青岛黄岛区,1974 年 9 月投入使用,建有 2.3 万立方米半地下非金属罐 2 座,1974—1984 年续建地下水封石油库 1 座,容量为 15 万立方米。黄岛地下油库

的竣工,填补了我国地下储油的空白。1978年,黄岛地下油库建设成果获得全国科学大会奖。



珠江新城

珠江新城核心区地下空间及中央广场建筑方案设计范围占地面积约140公顷,是广州目前最大、最重要的地下空间。核心区周边拥有高级写字楼、星级酒店、社会配套公共建筑,包括广州市地标建筑“双子塔”、歌剧院等四大文化公共建筑、海心沙市民广场等。规划通过对核心区地下空间及中央广场的建设,将营造出世界一流的地下城市活动中心。



3.5.2 水封油库



武汉王家墩商务区

武汉王家墩商务区,地面没有规划一个停车位,而在地下将建设全国最大的地下停车场,可满足5万多辆轿车同时停放。

(4) 避免破坏景观

大量的地面建筑破坏了绿化景观,将一些生产设施尽可能地移至地下,可以大大减少对绿化的破坏。

3.5.2 地下仓储建筑

1. 地下仓库

由于地下环境对于许多物质的贮存有突出的优越性,地下环境的热稳定性、密闭性和地下建筑良好的防护性能,为在地下建造各种贮库提供了十分有利的条件。目前,各种类型的地下贮藏设施,在地下工程的建造总量中已占据很大的比重。

2. 地下停车场

随着国民经济的发展,居民家庭拥有车辆不断增加,同时,人们对居住生态环境的要求也是越来越高,减少地面停车,建设地下停车库,更好地解决人车分流是当前迫切需要解决的问题。日本全国约有1/4的停车场是地下停车场,至2000年意大利已修建能停放7.5万辆车的大型地下停车场,我国从20世纪80年代初开始,城市中的地下停车场逐年增加。

3.5.3 地下民用建筑

城市地下空间的开发利用,已经成为现代城市规划和建设的重要内容之一。一些大城市从建造地下街、地下商场、地下车库等建筑开始,逐渐发展为将地下商业街、地下停车场、地下铁道和管线设施等结为一体,形成与城市建设有机结合的多功能的地下综合体。因此,地下综合体可以考虑定义为建设沿三维空间发展的,地面地下连通的,结合交通、商业贮存、娱乐、市政等多用途的大型公共地下建筑。地下综合体具有多重功能、空间重叠、设施综合的特点,与城市的发展应统筹规划、联合开发和同步建设。

3.5.4 人防工程

人防工程也叫人防工事,是指为保障战时人员与物资掩蔽、人民防空指挥、医疗救护而单独修建的地下防护建筑,以及结合地面建筑修建的战时可用于防空的地下室。在 20 世纪 60 年代末、70 年代初,我国城镇曾掀起了“深挖洞”的群众运动。各单位、街道居民在房子底下挖洞,而后相互连通,形成了四通八达的地道网。由于缺少统一规划,缺乏经验,加上技术力量不足,这些工程一般幅员较小,质量较差,现统称为早期工程。随着时间的推移,人防工程建设逐步走上了正规化、科学化的轨道,我国已经建成了一大批质量高、幅员大、效益好的平战两用工程。如哈尔滨奋斗路地下商业街、沈阳北新客站地下城、上海人民广场地下停车场、郑州火车站广场地下商场等。

3.5.5 开发和利用地下空间

合理开发和利用地下空间是解决城市有限土地资源和改善城市生态环境的有效途径。向地下要土地、要空间已成为城市发展的必然趋势,并成为衡量城市现代化的重要标志。

目前,城市地下空间的开发深度已达 30 m 左右,有人曾大胆地估计,即使只开发相当于城市总容积 1/3 的地下空间,就等于全部城市地面建筑的容积。这足以说明,地下空间资源的潜力是很大的。所以,地下工程的发展不仅可为人类的生存开拓广阔的空间,地下空间还具有恒温性、恒湿性、隔热性、遮光性、气密性、隐蔽性、空间性、安全性等诸多方面远远优于地上空间。其社会、经济、环境等多方面的综合效益良好,对节省城市占地、节约能源、克服地面各种障碍改善城市交通、减少城市污染、扩大城市空间容量、节省时间、提高工作效率和提高城市生活质量等方面,都能起到极其重要的作用,是现代化城市建设的必由之路。



3.5.3 地下街及地下商场

人防工程是一种有防护要求的特殊地下建筑,其常用的方式有以下几种:按抗力等级划分,工程可直接称为某级人防工程;按战时用途划分,可分为指挥通信、人员掩蔽、医院、救护站、仓库、车库等;按平时用途可分为商场、游乐场、游馆、影剧院(会堂)等;从工程构筑方式,又分为掘开式工程和坑道式工程两大类。



国家大剧院

国家大剧院地下最深达 32.5 m,是目前北京地区公共建筑最深的地下工程。为了保证人民大会堂等周边建筑的安全,工程技术人员经过了精密调研,最终确定,打造一道深达 41 m 的“地下连续墙”,即用混凝土从最高地下水位直到地下 60 m 岩石层处,砌了一道密封的地下隔水墙,将地基围得严严实实,防止邻近地面沉降。

学习与思考



3.5.4 我国的城市开发与改造



3.5.5 美国波士顿地下空间开发利用



3.5.6 参考文献

1. 谈谈地基与基础、基础工程与地下工程的区别。
2. 结合绿色建筑及可持续发展的理念，思考开发地下空间的必要性。
3. 如果取消建筑物下的基础，会带来什么严重后果？
4. 从静定结构、超静定结构的基本概念出发，理解地基不均匀沉降对建筑物造成的危害。



第4章 建筑工程

- 4.1 基本构件
- 4.2 房屋的组成
- 4.3 建筑及结构类型
- 4.4 特种结构
- 4.5 未来展望





鲁班是我国古代著名的巧匠，战国初期人，本姓公输，名般，当时人称他为公输子，以示敬爱。因为他是鲁国人，并且“般”与“班”同音，后人便称他为鲁班。他是技艺高超工匠的化身，被木匠、泥瓦匠尊为祖师。鲁班奖是我国建筑行业工程质量的最高荣誉奖。

建筑工程 (Building Engineering) 为新建、改建或扩建房屋建筑物和附属构筑物设施所进行的规划、勘察、设计和施工、竣工等各项技术工作和完成的工程实体。

最初的建筑物是人类为了躲避风雨和野兽侵袭的需要而建造的。当初人们利用树枝、石块这些较易获取的天然材料，粗略加工后盖起了树枝棚、石头屋等原始建筑物 (图 4.1)。随着人类的进步和社会生产力的不断发展，人类对建筑物的要求也日益复杂多样化，从最初用天然石材及竹等建造的简单建筑到用混凝土及钢材等建造的高楼大厦 (图 4.2)。



图4.1 竹楼



图4.2 上海浦东陆家嘴

建筑物按照它们的使用性能，通常可以分为工业建筑、农业建筑和民用建筑。其中，民用建筑又可分为居住建筑和公共建筑两大类。建筑物若按层数可分为单层建筑、多层建筑、高层建筑和超高层建筑。

4.1 基本构件

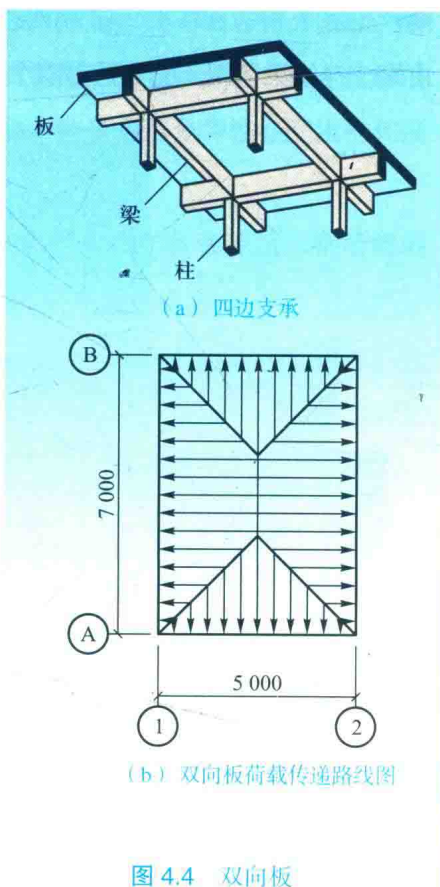
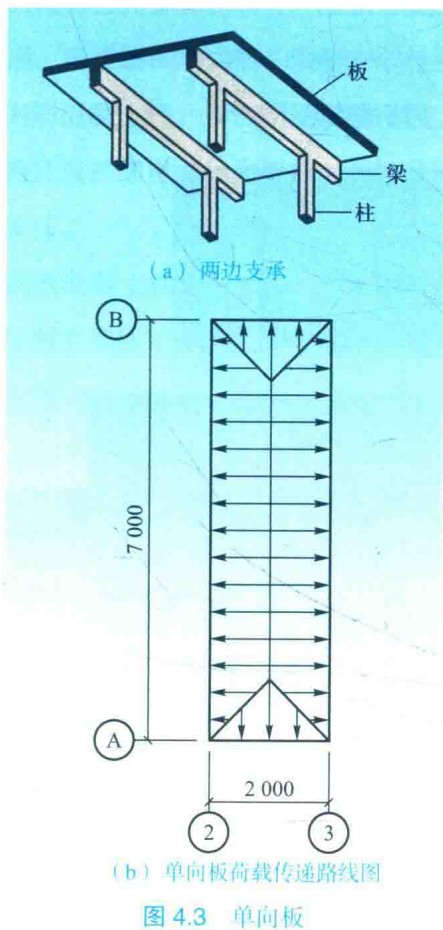
建筑物的最小单元是基本构件，基本构件可分为板、梁、柱、拱。

4.1.1 板

板指平面尺寸较大而厚度较小的受弯构件，通常水平放置，但有时也斜向设置 (如楼梯板) 或竖向设置 (如墙板)。板在建筑工程中一般应用于楼板、屋面板、基础板、墙板等。

板按受力形式可分为单向板 (图 4.3) 和双向板 (图 4.4)。单向板指板上的荷载沿一个方向传递到支承构件上的板，双向板指板上的荷载沿两个方向传递到支承构件上的板。当矩形板为两边支承时为单向板；当有四边支

承时, 板上的荷载沿双向传递到四边, 则为双向板。但是, 当板的长边比短边长得多时, 板上的荷载主要沿短边方向传递到支承构件上, 而沿长边方向传递的荷载则很少, 可以忽略不计, 这样的四边支承板仍认定其为单向板。



4.1.2 梁

梁是工程结构中的受弯构件, 通常水平放置, 但有时也斜向设置以满足使用要求, 如楼梯梁。梁的截面高度与跨度之比一般为 $1/8 \sim 1/16$, 当高跨比大于 $1/4$ 的梁称为深梁; 梁的截面高度通常大于截面的宽度, 但因工程需要, 梁宽大于梁高时, 称为扁梁; 梁的高度沿轴线变化时, 称为变截面梁。

梁按截面形式可分为矩形梁、T形梁、倒T形梁、L形梁、Z形梁、槽形梁、箱形梁、空腹梁、迭合梁等。按所用材料可分为钢梁、钢筋混凝土梁、预应力

混凝土梁、木梁及钢与混凝土组成的组合梁等(图4.5)。

梁按支承方式可分为:简支梁(图4.6a)即梁的两端搁置在支座上,支座仅使梁不产生垂直移动,但可自由转动。为使整个梁不产生水平移动,在一端加设水平约束,该处的支座称为铰支座,另一端不加水平约束的支座称为滚动支座。悬臂梁(图4.6b)是梁的一端固定在支座上。使该端不能转动,也不能产生水平和垂直移动,称为固定支座;另一端可以自由转动和移动,称为自由端。连续梁(图4.6c)是有两个以上支座的梁。

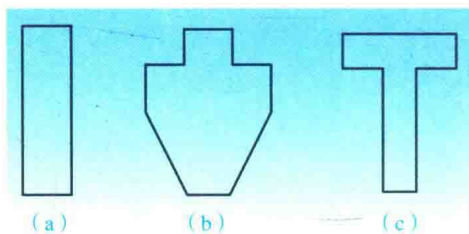


图4.5 钢筋混凝土梁的截面类型

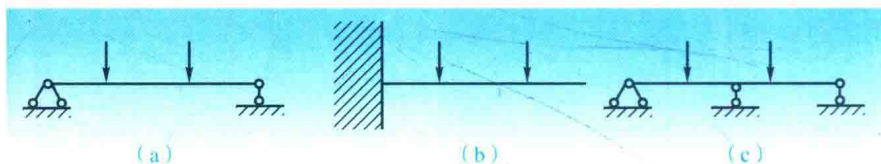


图4.6 梁的支撑类型

梁按其在结构中的位置可分为主梁、次梁、连梁、圈梁、过梁等(图4.7)。次梁一般直接承受板传来的荷载,再将板传来的荷载传递给主梁。主梁除承受板直接传来的荷载外,还承受次梁传来的荷载。连梁主要用于连接两榀框架,使其成为一个整体。圈梁一般用于砖混结构,将整个建筑围成一体,增强结构的抗震性能。过梁一般用于门窗洞口的上部,用以承受洞口上部结构的荷载。

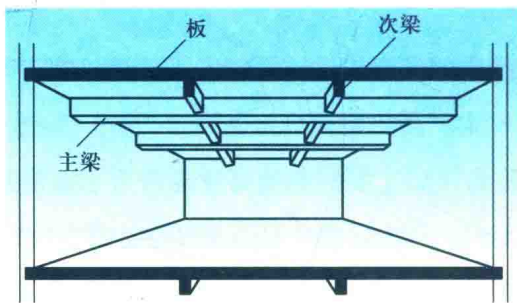


图4.7 建筑楼盖中的主梁、次梁

4.1.3 柱

柱是工程结构中主要承受压力,有时也同时承受弯矩的竖向构件。柱按截面形式可分为方柱、圆柱、管柱、矩形柱、工字形柱、H形柱、L形柱、十字形柱、双肢柱、格构柱;按所用材料可分为石柱、砖柱、砌块柱、木柱、钢柱、钢筋混凝土柱、劲性钢筋混凝土柱、钢管混凝土柱和各种组合柱;按柱的破坏特征或长细比可分为短柱、长柱及中长柱。按受力可分为轴心受压柱和偏心受压柱。

钢筋混凝土柱(图4.8)是最常见的柱,广泛应用于各种建筑。钢筋混凝土柱按制造和施工方法可分为现浇柱和预制柱。



图4.8 钢筋混凝土柱

4.1.4 拱

拱为曲线结构,主要承受轴向压力,广泛应用于拱桥建筑(图4.9、图4.10),其典型应用为砖混结构中的砖砌门窗圆形过梁,亦有拱形的大跨度结构。拱按铰数可分为三铰拱、无铰拱、双铰拱、带拉杆的双铰拱。



李春,赵州桥设计者,首创了在主拱图上设小腹拱的敞肩式拱桥。



4.1.1 赵州桥



图4.9 河北赵州桥



图4.10 美国贝永桥

荷载,指的是使结构或构件产生内力和变形的外力及其他因素。或习惯上指施加在工程结构上使工程结构或构件产生效应的各种直接作用,常见的有:结构自重、楼面活荷载、屋面活荷载、屋面积灰荷载、车辆荷载、吊车荷载、设备动力荷载及风、雪、裹冰、波浪等自然荷载。

承重构件,指承受荷载的构件。

4.2 房屋的组成

一座建筑,一般是由基础、墙或柱、楼板层、地坪、楼梯、屋顶和门窗等几大部分构成的,如图4.11所示。它们在不同的部位发挥着各自的作用。

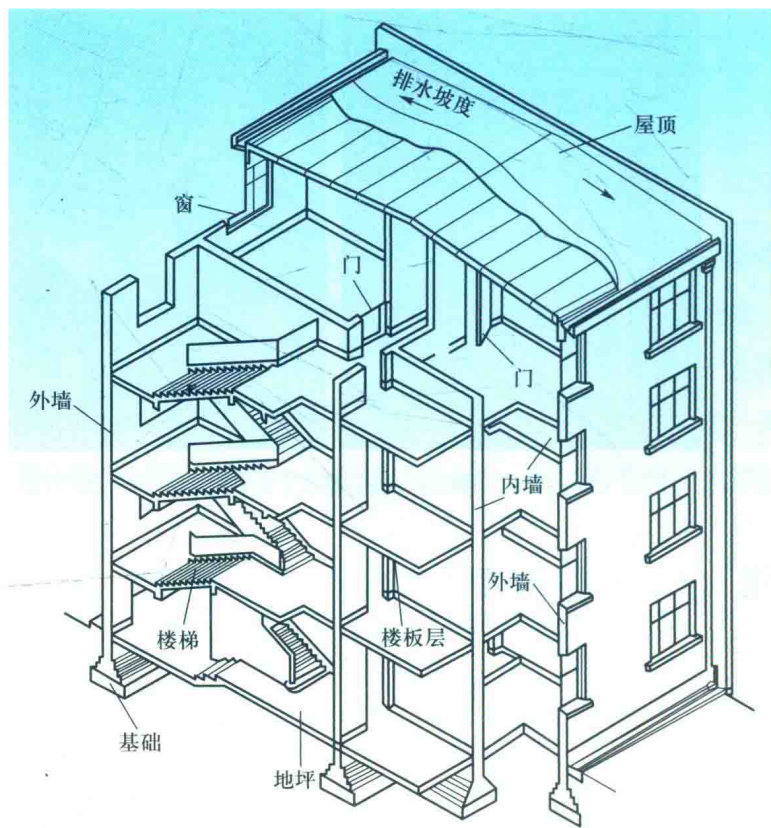


图4.11 建筑物的基本组成



单层工业厂房按材料以前多采用混凝土柱与屋盖结构或混凝土柱与钢梁结构,近年来,轻钢结构的单层厂房越来越普遍。

基础：基础是位于建筑物最下部的承重构件。承受着建筑物的全部荷载，并将这些荷载传给地基。

墙：墙是建筑物的承重构件和围护构件。作为承重构件，承受着建筑物由屋顶或楼板层传来的荷载，并将这些荷载再传给基础。作为围护构件，外墙起着抵御自然界各种因素对室内侵袭的作用；内墙起着分隔房间、创造室内舒适环境的作用。

楼板层：楼板层是楼房建筑中水平方向的承重构件。按房间层高将整幢建筑物沿水平方向分为若干部分。楼板层承受着家具、设备和人体的荷载以及本身自重，并将这些荷载传给墙。同时，还对墙身起着水平支撑的作用。

地坪：地坪是底层房间与土层相接触的部分，它承受底层房间内的荷载。不同地坪，要求具有耐磨、防潮、防水和保温等不同的功能。

楼梯：楼梯是楼房建筑的垂直交通设施，供人们上下楼层和紧急疏散之用。

屋顶：屋顶是建筑物顶部的外围护构件和承重构件。抵御着自然界雨、雪及太阳热辐射等对顶层房间的影响；承受着建筑物顶部荷载，并将这些荷载传给垂直方向的承重构件。

门窗：门主要供人们内外交通和隔离房间之用；窗则主要是采光和通风，同时也起分隔和围护作用。

一座建筑物除上述基本组成构件外，对不同使用功能的建筑，还有各种不同的构件和配件，如阳台、雨棚、散水等小构件。

4.3 建筑及结构类型

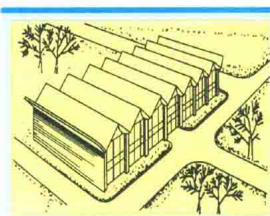
建筑工程的专业包括建筑设计、结构设计和设备设计。建筑设计是指建筑的总平面布置、平面立面尺度及造型设计。结构设计是指对建筑物相关组成部分的受力承重的骨架的设计。设备设计是指对建筑物使用过程中需要的设备的设计。本节仅阐述建筑及结构类型。

建筑按层数分为低层建筑、大跨度建筑、多层建筑、高层建筑和超高层建筑。按使用性质分为民用建筑和工业建筑。以下仅阐述按层数分类的建筑。



桁架结构

桁架结构是节点为铰接的支撑横梁结构。桁架杆件主要承受轴向拉力或压力，从而能充分利用材料的强度，跨度较大时，比实腹梁节省材料，桁架因常用于建筑的屋盖结构，所以也称为屋架。



折板结构

折板结构是由若干狭长的薄板以一定角度相交连成折线形的空间薄壁体系。跨度不宜超过 30 m，适宜于长条形平面的屋盖，两端应有通长的墙或圈梁作为折板的支点。常用有 V 形、梯形等形式。



4.3.1 日本名古屋穹顶



4.3.2 巴库阿利耶夫文化中心



上海体育馆平面为圆形, 直径 110 m, 挑檐 7.5 m, 是目前我国领先的大跨度网架结构。



1998 年年初建成的长春体育馆, 平面为 120 m × 166 m 枣形, 连同支架的平面为 146 m × 192 m, 在我国跨度最大、覆盖建筑面积最大。

4.3.1 低层建筑及结构

低层建筑一般为一层的建筑及二至三层 (低于 10 m) 的建筑, 一层的建筑又分为单层民用建筑和单层工业厂房。低层民用建筑多见于住宅、别墅等, 其结构形式一般为砖混结构。单层工业厂房结构形式分为排架和刚架结构。排架结构指柱与基础为刚接, 屋架与柱顶的连接为铰接; 刚架结构即梁或屋架与柱的连接为刚性连接。

4.3.2 大跨度建筑

大跨度建筑是指跨度大于 60m 的建筑。它常用于展览馆、体育馆、影剧院、飞机机库等。按整体受力形式可分为平面结构体系和空间结构体系。其中, 平面结构体系主要有折板结构、桁架结构。空间结构体系主要有网架结构、网壳结构、悬索结构、膜结构、薄壳结构等。

1. 网架结构

网架结构为大跨度结构最常见的结构形式, 因其为空间结构, 故一般称为空间网架 (图 4.12)。由多根杆件按照一定的网格形式通过节点连接而成的空间结构。构成网架的基本单元有三角锥、三棱体、正方体、截头四角锥等, 由这些基本单元可组合成平面形状的三边形、四边形、六边形、圆形或其他任何形体。

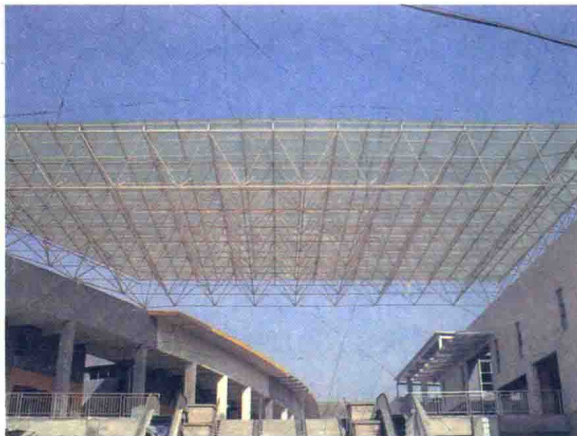


图4.12 网架结构

2. 网壳结构

网壳结构是以钢杆件组成的曲面网格结构。网壳与网架的区别在于曲面与平面。网壳结构由于本身特有的曲面而具有较大的刚度,因而有可能做成单层,这是它不同于平板型网架的一个特点。

在电厂干煤棚工程中采用网壳结构是近几年来发展起来的(图4.13)。1999年建成的漳州后石电厂干煤棚,采用了直径125 m的超过半球的球面网壳,成为我国跨度最大的球面网壳。



图4.13 网壳结构

3. 悬索结构

悬索为轴线受拉结构,它能够充分发挥材料的受拉性能。这种结构选用钢材,无疑是一种理想的大跨度结构。目前达到最大的跨度为160 m左右。该结构是由建筑上自然凹曲的悬索构成建筑造型的优美和韵味。从结构上,由于受力合理,充分发挥材料性能,则结构轻,用钢节省且施工方便。

4. 膜结构

膜结构可分为张拉膜结构和充气膜结构两大类。张拉膜结构是通过柱及钢架支承或钢索张拉成型;充气膜结构是靠室内不断充气,使室内外产生一定压力差使屋盖膜布受到一定的向上的浮力,从而实现较大的跨度。

位于北京的水立方游泳馆(图4.14)是一座外围护结构由多层气枕构成的充气式膜结构建筑,其中使用的ETFE膜材料近100吨。



图4.14 水立方游泳馆



4.3.3 扬州泰州机场航站楼



4.3.4 连云港市体育中心体育场



马鞍形悬索结构——浙江省体育馆



中东阿拉伯联合酋长国迪拜340 m高的标志性膜建筑物——阿拉伯塔酒店为典型的膜结构。



4.3.5 北京建工环境修复车间



4.3.6 国家体育馆鸟巢



4.3.7 砖混结构



4.3.8 多层住宅

5. 薄壳结构

薄壳结构常用的形状为圆顶、筒壳、折板、双曲扁壳和双曲抛物面壳等。圆顶可为光滑的,也可为带肋的。悉尼歌剧院是世界著名的建筑之一,其屋顶像一艘整装待发的航船,整个壳体结构用自然流畅的线条勾勒出悉尼歌剧院宛如天鹅般高雅的外形(图 4.15)。该歌剧院成为澳大利亚的标志性建筑。



图4.15 悉尼歌剧院

4.3.3 多层建筑

一般低于 8 层或总高度低于 24 m 的建筑称为多层建筑。多层建筑主要应用于居民住宅、商场、办公楼、旅馆等。常用结构形式为砖混结构、框架结构。

砖混结构指用不同的材料建造的房屋,通常墙体采用砖砌体,屋面和楼板采用钢筋混凝土结构,故称砖混结构。目前,我国的混合结构最高已达 11 层,局部已达到 12 层。

框架结构指由梁和柱刚性连接而成骨架的结构。框架结构的优点是强度高、自重轻、整体性和抗震性能好。因其采用梁柱承重,因此建筑布置灵活,可获得较大的使用空间,使用广泛,主要应用于多层工业厂房、仓库、商场、办公楼等建筑。

多层建筑可采用现浇,也可采用装配式或装配整体式结构。现浇钢筋混凝土结构整体性好;装配式和装配整体式结构采用预制构件,现场组装,其整体性较差,但便于工业化生产和机械化施工。

4.3.4 高层与超高层建筑

一般 9 ~ 40 层 (总高度 100 m) 的建筑为高层建筑, 40 层以上, 超过 100 m 的为超高层。无疑, 现代超高层建筑从一定意义上是城市现代化的标志。

目前, 世界上已建成的超高层建筑为阿联酋的迪拜塔一共有 162 层, 总高 828 m, 成为世界领先的独立式建筑 (图 4.16)。

我国已建领先的超高层建筑是位于上海陆家嘴金融中心的上海中心, 高度 632 m (图 4.17)。值得注意的是: 高楼大厦虽然体现了繁荣、活力与发展, 但也有许多弊病。这些高楼都是集宾馆、办公、购物中心、餐饮和娱乐为一体的综合建筑, 在亚洲多数城市道路、水电、排污等基础设施尚不完善的情况下, 会给市政带来巨大的压力。由于楼内部管道竖井多、敞开通道多、用火用电多、聚集人员多的“四多”特点, 使超高层建筑灭火安全格外值得关注。这从反面说明应实事求是地开发建设功能齐全、有安全保障的高层建筑。

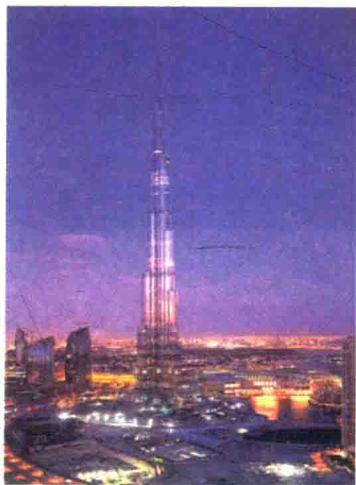


图 4.16 迪拜塔

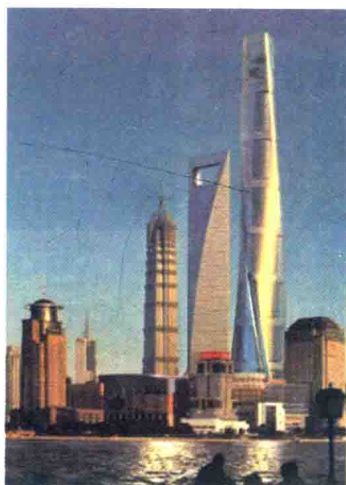


图 4.17 上海中心

高层与超高层结构的主要结构形式有: 框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、筒体结构等。

1. 框架结构

框架结构 (图 4.18) 因其受力体系由梁、柱组成, 用以承受竖向荷载是合理的, 在承受水平荷载方面能力很差。因此, 其仅适用于房屋高度不大、层数



路易斯·沙利文

1856 年出生于美国波士顿, 最初曾为费城著名的建筑师弗兰克·弗尼斯 (Frank Furness) 工作, 被认为是美国最有影响力的建筑师之一。1873 年, 他来到芝加哥, 受雇于素有“摩天大楼之父”之称的建筑师威廉·勒巴隆·詹尼 (William Le Baron Jenney)。在巴黎学习一年之后, 他返回芝加哥, 成为约翰·埃德elman (John Edelman) 的绘图员, 后者奢华有机的装饰设计对他产生了深远的影响。



4.3.9 已建成世界超高层建筑排名



4.3.10 建设中的世界超高层建筑排名



4.3.11 上海中心大厦



4.3.12 哈利法塔



4.3.13 王国塔

不多的建筑。因为，当房屋层数不多时，风荷载的影响很小，竖向荷载对结构的设计起控制作用，但当层数较多时，水平荷载对结构设计具有很大的影响，框架结构不适用。



图4.18 框架结构

2. 框架-剪力墙结构

剪力墙即为一段钢筋混凝土墙体，因其抗剪能力很强，故称为剪力墙。在框架-剪力墙结构图 4.19 中，框架与剪力墙协同受力，剪力墙承担绝大部分水平荷载，框架则以承担竖向荷载为主，这样，可以大大减少柱子的截面。



图4.19 框架-剪力墙结构

剪力墙在一定程度上限制了建筑平面布置的灵活性。这种体系一般用于办公楼、旅馆、住宅及某些工艺用房。如 1997 年建成的广州中天大厦（图 4.20）为 80 层、322 m 高的框架-剪力墙结构。



图4.20 广州中天大厦

3. 剪力墙结构

当房屋的层数更高时, 横向水平荷载已对结构设计起控制作用, 宜采用剪力墙结构 (图 4.21), 即全部采用纵横布置的剪力墙组成, 剪力墙不仅承受水平荷载, 亦用来承受垂直荷载。

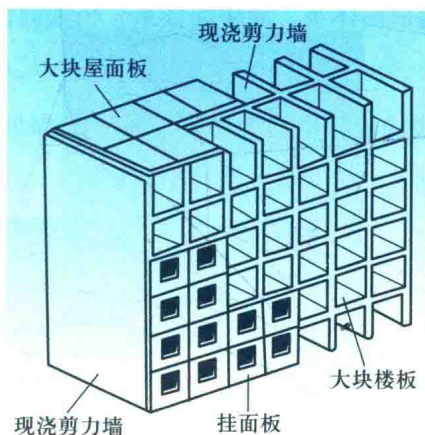


图4.21 剪力墙结构

剪力墙结构因其空间分隔固定, 建筑布置极不灵活, 所以一般用于住宅、旅馆等建筑。如建于 1976 年的广州白云宾馆 (图 4.22), 地上 33 层, 地下一层, 高 112.4 m, 采用钢筋混凝土剪力墙结构, 是我国第一座超过 100 m 的高层建筑。



图4.22 广州白云宾馆



贝聿铭 (Leoh Ming Pei) 华裔美国人, 美国著名建筑学家, 他是当前世界成就最高、最负盛誉的建筑大师之一。1917 年出生。1940 年在美国麻省理工学院获学士学位, 1946 年在美国哈佛大学建筑设计学院获硕士学位。1955 年创建贝聿铭事务所至今。美国艺术与科学学院院士。

4. 筒体结构

筒体结构是由一个或多个筒体作承重结构的高层建筑体系,适用于层数较多的超高层建筑。在侧向风荷载的作用下,其受力类似刚性的箱型截面的悬臂梁,迎风面将受拉,而背风面将受压。

筒式结构可分为框筒体系、筒中筒体系、桁架筒体系、成束筒体系等。

(1) 框筒体系

指内芯由剪力墙构成,周边为框架结构,如深圳的华联大厦(建于1989年),地上26层,地下1层,高88.8m(图4.23)。



图4.23 深圳华联大厦

(2) 筒中筒体系

当周边的框架柱布置较密时,可将周边框架视为外筒,而将内芯的剪力墙视为内筒,则构成筒中筒体系。如广州的广东国际大厦(建于1990年),地上63层,地下4层,高199m(图4.24)。



图4.24 广东国际大厦

(3) 桁架筒体系

在筒体结构中,增加斜撑来抵抗水平荷载,以进一步提高结构承受水平荷载的能力,增加体系的刚度。这种结构体系称为桁架筒体系。如由著名华裔建筑师贝聿铭设计、于1990年建成的香港中银大厦(图4.25)。

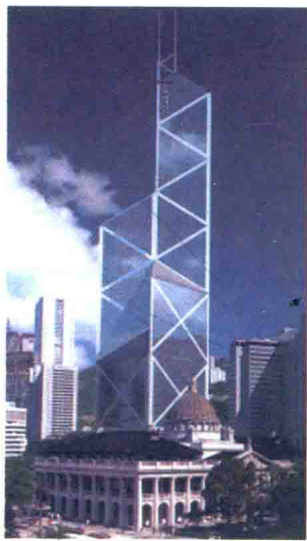


图4.25 香港中银大厦

(4) 成束筒体系

成束筒体系是由多个筒体组成的筒体结构。最典型的成束筒体系的建筑应为美国芝加哥的西尔斯塔楼,地上110层,地下3层,高443 m,包括两根TV天线高475.18 m,采用钢结构成束筒体系(图4.26)。



图4.26 芝加哥西尔斯塔楼

4.4 特种结构

特种结构是指具有特种用途的工程结构,包括高耸结构、海洋工程结构、管道结构、容器结构和核电站结构等。本节介绍工业中常用的几种特种结构。

4.4.1 烟囱

烟囱是工业中常用的构筑物,是把烟气排入高空的高耸结构,能改善燃烧条件,减轻烟气对环境的污染。烟囱按建筑材料可分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱和钢烟囱三类。

4.4.2 水塔

水塔是储水和配水的高耸结构,是给水工程中常用的构筑物,用来保持和调节给水管网中的水量和水压。水塔由水箱、塔身和基础三部分组成。

水塔按建筑材料分为钢筋混凝土水塔、钢水塔、砖石塔身与钢筋混凝土水箱组合的水塔。法国有一座多功能的水塔,在最高处设置水箱,中部为办公用房,底层是商场。我国也有烟囱和水塔建在一起的双功能构筑物。

水箱的形式分为圆柱壳式和倒锥壳式(图4.27),在我国这两种形式应用最多,此外还有球形、箱形、碗形和水珠形等多种。



图4.27 圆柱壳式、倒锥壳式、球形、箱形水塔

4.4.3 水池

水池同水塔一样用于储水。不同的是：水塔用支架或支筒支承，水池多建造在地面和地下。水池按材料分：钢水池、钢筋混凝土水池、钢丝网水泥水池、砖石水池等。

泳池是建筑工程中的一个重要部分。随着生活水平的提高，现在别墅带私家泳池，式样新颖。泳池给人们带来了很多好处，它为人们提供了一个夏季度假避暑的场所。泳池（图 4.28）采用不规则形状的池沿，再配合风景如画的环境，就可以形成类似天然池塘或礁湖的效果。

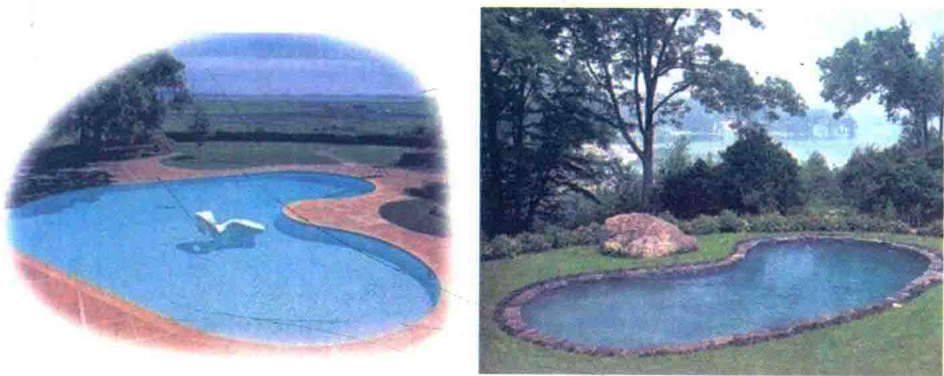


图4.28 室外泳池

4.4.4 筒仓

筒仓是贮存粒状和粉状松散物体（如谷物、面粉、水泥、碎煤、精矿粉等）的立式容器，可作为生产企业调节和短期贮存生产用的附属设施，也可作为长期贮存粮食的仓库。

4.5 未来展望

日本佐贺宇宙科学馆（图 4.29），建于 1999 年，是一座能与周围自然环境进行有张力对话的参与体验型综合科学馆。其展示空间的大半体量沉入地下，

展馆像台阶一样层层跌落,露出地表的部分呈柔和的圆弧形,创造出崭新的建筑轮廓线,与大地融为一体。宇宙展示部分的设计定位在“太空船”上,金属饰面的建筑体量按加法构成的模式组合,从绿色的大地上浮现出来,通过与自然的对峙,创造出特异的趣味。性格不同的各种展示空间通过三层通高的公共空间连接起来,在视觉和功能上成为一体,让人联想到宇宙基地的整体建筑形象,展示出未来建筑的可能形式。



图4.29 日本佐贺宇宙科学馆

建筑的发展是综合利用多种要素以满足人类居住需要的完整现象,走可持续发展之路,以新的观念对待21世纪建筑的发展,这将带来又一个新的建筑运动,包括建筑科学技术的进步和艺术的创造等,更具体地说:

- ① 生态观——正视生态困境,加强生态意识;
- ② 经济观——力臻人居环境建设活动与经济发展良性互动;
- ③ 科技观——充分利用科学技术,推动经济发展和社会繁荣;
- ④ 社会观——关怀最广大的人民群众,重视社会发展的整体利益;
- ⑤ 文化观——积极推动建筑文化和艺术的创造、发展和繁荣。

那么未来建筑究竟会是什么样的呢?

(1) 2001—2013年,建筑业的新黄金时期

在这一时期,各国新型建筑极富创造性,设计师们力求大胆、创新和个性化。但是,这些新型建筑仍然是以传统的建筑模式与技术为基础的。例如,城市中心街道两边建筑物上的玻璃,由传统的透明玻璃改变为能通电光的彩色玻璃,因此一到晚上,这些玻璃便更加光彩夺目。有的建筑物通体蓝色,有些则是晶莹的黄色,也有些是闪烁着广告图文的红绿相间的条纹等。

在这个新黄金时期里建筑物的最大特点是追求曲线美,其曲线、曲面将比直线和平面多得多,窗户多为圆形、椭圆形或其他无拘无束的形状。传统的直

接方角已很难见到。

(2) 2014—2040 年, 修道院式和生态艺术

这个时期的城市建筑将倾向于修道院式, 建筑群围成一个或几个天井, 这是因为届时由于人多地少和犯罪率高的结果。与严酷的外界相比, 建筑物围成的天井无疑要安全得多。

这一时期的建筑大多是智能型的, 建筑物中遍布多种智能传感器用于检测应力、畸变、沉降、裂纹、腐蚀以及各种构件的其他功能。建筑物中可能会装上环境传感装置, 用于检测空气的温度、湿度和污染。通过墙壁和房顶对空气进行过滤, 这些信息都将反馈到一个中央处理机构, 以保证建筑的安全与“健康”。

由于越来越关心环境和生物保护, 新的建筑物将与所在地区的特定环境相协调。比如, 沿海一带所有的高层建筑都将呈螺旋状而形似各种贝壳, 建筑物大量采用手工工艺制品和编程机器生产的预制件。从技术角度来讲, 再复杂的构件都可以由机器生产出来, 但是人们越来越崇尚手工工艺。

(3) 2041—2055 年, 怀旧风格与高科技建材

进入 2041 年, 关于“昔日美好时光”的怀旧书籍和影视作品将备受人们欢迎, 怀旧的建筑也因此开始占据上风, 各种各样的早期殖民风格的建筑开始重新流行。刚开始时, 这些经典建筑中复杂的局部都是用手工加工出来的石料和木材, 而高强度、易成形、耐用、阻燃、质量轻、成本低的聚合混凝土和强化塑料已成为新型的建筑材料, 这些新型建筑材料可用高强度粘合剂迅速而又方便地粘合起来, 其外观与天然的石料及木材极为相似。

耐火性能好的预制结构钢也将开始出现, 耐火陶瓷微粒可掺入高强钢中并形成永久化合物。此外, 这一时期将广泛使用的一项高新技术是磁悬浮, 在高层建筑物内使用磁悬浮电梯, 不仅可像磁悬浮列车那样运行平稳和安全, 而且其速度也比普通电梯快好几倍。

(4) 2056—2070 年, 出现带穹顶的城市

预计到 21 世纪的中叶, 将会利用现有的高层建筑柱子, 在城市上空撑起一顶质量轻、半透明的钟罩。于是, 许多高层建筑的顶部都像刀削过般变得一样高了。有了巨大的穹顶, 各种室外娱乐活动都可以 24 h 全天候进行, 每当夜幕降临时, 计算机控制的上百米的彩色激光将穹顶变成了色彩斑斓的反



4.5.1 拓展阅读的参考文献

光镜。

(5) 2071 年以后, 动态建筑时期

到 2071 年以后, 建筑物仍然在日新月异地变化着。陈旧的建筑物落伍了, 新建筑物追求美感的侧重点不再是比例或顺序, 而是活力和动态, 这是 21 世纪活动艺术的延续和发展。

动态建筑能够借助铰链和滑道改变外形, 墙壁和屋顶可以重新排列组合, 房间可以扩大或缩小, 也可以由长方形变成多边形, 甚至还能从一处整体移到另一处, 许多建筑物可以整体旋转, 使太阳能电池始终对着太阳。

学习与思考

1. 房屋建筑由于哪几部分组成? 它们的作用是什么?
2. 房屋的基本构件有哪些? 它们处于什么受力状态?
3. 多层及高层房屋建筑的结构体系有哪些类型? 它们各自有什么特点?
4. 什么是特种结构? 举例说明你所见到的特种结构。
5. 你心目中的未来建筑可能有什么特点?



第5章 交通土建工程

- 5.1 道路工程
- 5.2 铁路工程
- 5.3 机场工程
- 5.4 隧道工程



五尺道

公元前 221 年，秦始皇在云南、贵州地区修建了“五尺道”，开辟沟通了首都咸阳经四川与云南东部的联系。

世界第一条高速公路：德国的波恩至科隆高速公路，1932 年。



中国第一条高速公路

沪嘉高速公路，1988 年建成。

1984 年 12 月开始建设，1988 年 10 月建成通车，全长 18.5 km。全路设计行车时速 120 km/h，双向 4 车道，中央分隔带宽 3 m，全封闭，全立交。

交通运输是国民经济的大动脉，是一个国家社会和经济发展的战略基础。

一个完整的交通运输体系是由铁路、道路、水运、航空和管道五种运输方式构成的大系统，共同承担着客、货的集散与交流。它们在技术与经济上各具特点，根据不同自然地理条件和运输功能发挥各自优势，相互分工、联系和合作，取长补短协调发展，形成综合的运输能力，为社会生产和消费服务。

在综合运输体系中，道路运输可承担其他运输形式的客货集散与联系，承担铁路、水运、空运固线外的延伸运输任务。道路运输最大的优点是投资少、机动灵活，可以深入到城镇、乡村、山区、港口和机场等的各个角落，能独立实现“门到门”的直达运输。

总体来说，近些年来，我国各种运输方式的组成结构也经历着发达国家相似的变化过程，铁路运输的比重逐年下降，公路运输的比重逐年上升，航空旅客运输量迅速增长。但目前铁路运输仍占主导地位，这主要是由我国的基本国情所决定的。

5.1 道路工程

“要致富，先修路”。道路是交通的基础，是国家经济活动的基础和人民生活的基础设施。道路的主要功能是作为城市与城市、城市与乡村、乡村与乡村之间的联系通道。

改革开放以来，我国的交通事业发展迅速，从 20 世纪 90 年代开始，我国高速公路每年以 3 000 km 的速度增长，其建设规模和速度实为世界罕见。到 2002 年年底，高速公路 25 130 km，一级公路 27 468 km，二级公路 197 143 km，三级公路 31 514 km，四级公路 818 044 km。至 2014 年年底，中国公路通车里程达 435.62 万公里，高速公路 10.6 万公里，其里程长度已超越美国跃居世界第一。到“十二五”末，按我国高速公路的建设目标，总规模约 8.5 万公里的“7918”国家高速路网将基本建成，加上地方的高速公路，我国高速公路的里程将达到 12 万公里左右。

道路是一种带状的三维空间人工构造物，它包括路基、路面、桥梁、涵洞、隧道等工程实体。道路的设计一般分为几何（线形）和结构设计两方面。

5.1.1 道路的分类

道路是供各种车辆和行人等通行的工程设施。按其使用特点可分为公路、城市道路、厂矿道路、林区道路及乡村道路。

1. 公路的分类和分级

公路按照交通功能分为干线公路、集散公路和支路三类。干线公路细分为主要干线公路和次要干线公路，集散公路细分为主要集散公路与次要集散公路。

公路按交通部颁发的 JTG B01—2014《公路工程技术标准》，根据交通量、使用任务和性质可划分为五个等级。

高速公路为专供汽车分向、分车道行驶，全部控制出入的多车道公路。高速公路的年平均日设计交通量宜在 15 000 辆小客车以上。

一级公路为专供汽车分向、分车道行驶，可根据需要控制出入的多车道公路。一级公路的年平均日设计交通量宜在 15 000 辆小客车以上。

二级公路为供汽车行驶的双车道公路。二级公路的年平均日设计交通量宜为 5 000 ~ 15 000 辆小客车；

三级公路为供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道公路。三级公路的年平均日设计交通量宜为 2 000 ~ 6 000 辆小客车；

四级公路为供汽车、非汽车交通混合行驶的双车道或单车道公路。双车道四级公路年平均日设计交通量在 2 000 辆小客车以下，单车道四级公路年平均日设计交通量在 400 辆小客车以下。

公路的技术标准是国家的法定技术要求，它反映了一个国家公路建设的技术方针和生活水平。一般为“几何标准”、“载重标准”、“建筑界限标准”和“交通工程沿线设施标准”，在公路设计时必须严格遵守。

2. 城市道路的分类

城市道路是城市总体规划的主要组成部分，见图 5.1。

按照道路在城市道路网中的地位、交通功能及对沿线建筑物的服务功能，我国 CTJ37—1990《城市道路设计规范》将城市道路分为四类。

(1) 快速路

双向行车道、中央设有分隔带、进出口全部或部分采用立体交叉控制，



5.1.1 中国公路网



5.1.2 7918国家高速网

干线公路：在公路网中起骨架作用的公路。

支线公路：在公路网中起连接作用的公路。



5.1.3 道路的分类与类型

年平均日交通量 (AADT)：全年统计的日交通量总和除以全年总天数。单位为 pcu/d。

几何标准：主要是确定路线线形的几何尺寸的技术标准。

载重标准：是用于道路的结构设计，它主要依据的是汽车的载重标准等级。

建筑界限标准：包括公路竖向的净高标准及横向的宽度标准。

世界上最早设置公交专道的城市：巴西的库里提巴

快速路和主干路两侧布置注意事项：均不应设置吸引大量车流和人流的公共建筑的进出口。

次干路布置：次干路两侧允许布置吸引人流的公共建筑，但应设置停车场。



5.1.4 公路建设

平面线形三要素：直线、圆曲线和缓和曲线

为城市中大量、长距离和快速交通服务。如北京的三环路和四环路、上海的外环线等。



图5.1 城市道路

(2) 主干路

连接城市主要分区的干路，以交通功能为主，一般为三幅或四幅路。如上海的内环高架路，已形成申字形的平面线形，为实现连接城市各区和主要部分的交通干路。

(3) 次干路

与主干路组成道路网，起集散交通之用，兼有服务功能。一般情况下快慢车混合使用。

(4) 支路

为次干路与街坊路的连接线，解决局部地区交通，以服务功能为主。道路两侧有时还建有商业性建筑等。

城市道路的设计年限规定为：快速路与主干路为20年；次干路为15年；支路为10~15年。

5.1.2 公路建设

公路建设主要由几何（或线形）和结构两部分组成。

1. 公路的几何组成（线形组成）

公路基于自然条件或地形的限制，在平面上有转折、纵面上有起伏。路线

平面线形由直线、圆曲线和缓和曲线组成,当圆曲线的半径较小时,需设置加宽和超高。路线的纵面线形由直线和竖曲线组成。

公路中线在水平面上的投影为平面线形。公路平面设计的主要内容是根据规划确定的路线大致走向,在满足车辆行驶的技术要求前提下,结合当地地形、地质水文条件,确定其具体方向;选择合适的平曲线半径,解决转折点处的曲线衔接;保证行车视距,使路线既要符合技术要求,又经济合理。

公路中线的竖向剖面图为路线纵断面图。它反映了路中线地面起伏和设计路线的坡度情况。由于公路经过的地形是起伏不平的,汽车必须循着具有不同纵坡度的道路行驶,其中纵坡度变化的交点,称为变坡点。为了便于行车,缓和纵坡折线而设的曲线称为竖曲线。根据坡度转折的形式不同,分为凸形竖曲线和凹形竖曲线。同时纵面设计还要满足最大纵坡和最小纵坡、最大坡长和最小坡长的要求。它是公路设计的重要技术文件之一。

公路的横断面是公路中心线的法线方向切面。横断面主要是由行车车道、路肩、边沟等组成。

对于设计速度大于 60 km/h 的道路,必须重视平纵的合理组合。平纵配合的原则:① 在视觉上能自然而然地引导驾驶员的视线,并保持视觉的连续性。② 保持线形技术指标在视觉和心理上的大小平衡。③ 选择合适的合成坡度,以利于路面排水和行车安全。④ 注意与道路周围环境的配合。平包竖是最好的平纵组合形式。

以下例子为平纵配合不当的情况:

① 长直线配长陡坡组合,如图 5.2 所示。② 长直线内包含了几个小半径竖曲线的组合,如图 5.3 所示。③ 急弯陡坡组合,如图 5.4 所示。



图5.2 长直线配长陡坡组合



超高:从直线段的双向路拱横坡渐变到圆曲线段具有单向横坡的路段。

最大纵坡:指在纵断面设计中,各级道路允许采用的最大坡度值。它是道路设计中的重要指标。

最小纵坡:为保证地面水的排泄畅通,道路应具有一定的最小坡度。若满足不了最小纵坡度,要采取其他排水设施。

平包竖:平曲线与竖曲线顶点重合,且平曲线应稍长于竖曲线。

路堤：有一般路堤、软土路堤、沿河路堤、护脚路堤等。

路堑：是开挖地面而成的路基，两旁设排水边沟。

基本路堑形式有全挖式、台口式和半山洞式。

半填半挖：是路堤和路堑的结合形式。

路基高度：由路线纵断面设计确定；路基宽度则根据设计交通量和公路等级而定；路基边坡则会影响路基的整体稳定性，必须正确设计。



5.1.5 三类路面的特性



图5.3 长直线与几个小半径竖曲线组合



图5.4 急弯陡坡组合

2. 公路的结构建设

(1) 公路的路基建设

路基是行车部分的基础，它是由土、石按照一定尺寸、结构要求建筑成的带状土工结构物。路基必须具有一定的力学强度和稳定性，又要经济合理。公路路基的横断面一般有三种形式：路堤、路堑和半填半挖，如图 5.5 所示。路基的几何尺寸由高度、宽度和边坡组成。

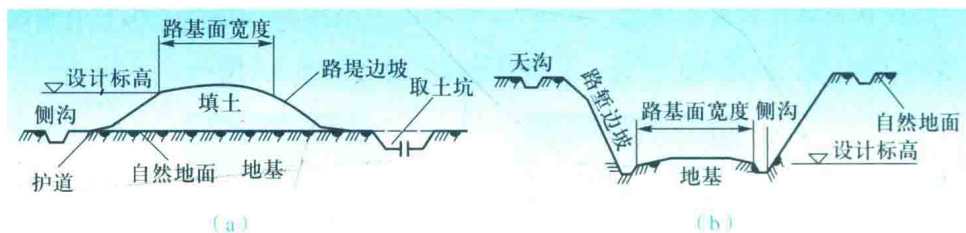


图5.5 路基横断面形式

(a) 路堤；(b) 路堑

(2) 公路的路面建设

公路路面是用各种坚硬材料分层铺筑而成的路基顶面的结构物，以供汽车安全、迅速和舒适地行驶。因此路面必须具有足够的力学强度和良好的稳定性，以及表面平整和良好的抗滑性能。路面结构如图 5.6 所示。

路面按其力学性质分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面三类。

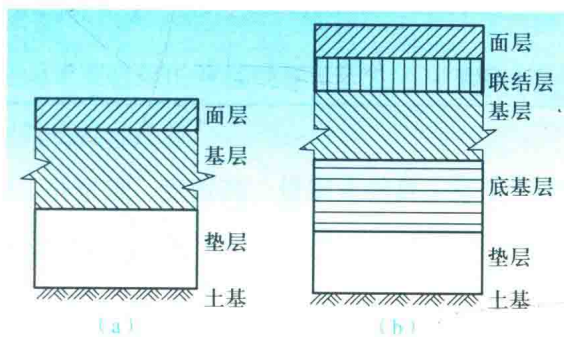


图5.6 路面结构图

(a) 低、中级路面; (b) 高级路面

近年来发展起来沥青玛蹄酯碎石 (Stone Mastic Asphalt, 简称 SMA) 路面和彩色路面也越来越引起关注。

SMA 是由沥青、纤维稳定剂、矿粉和少量细集料组成的沥青玛蹄酯填充间断级配的粗集料的一种新型沥青混合料。这种结构主要解决路面的车辙问题, 用于承受重交通荷载及高轮压的道路和机场路面。首都机场东跑道是世界上首次使用改性沥青和 SMA 结构的跑道。

随着我国经济和人民生活水平的提高, 不仅要求道路畅通, 而且希望道路美观整洁。厦门市在环岛路黄厝段海滨浴场, 铺设了 3.4 km 长的铁红色路面, 这是我国第一条较长的彩色沥青路面。

目前修筑彩色沥青路面, 存在如何能把黑色的沥青脱成浅色的问题, 所以开发和研究浅色胶结料及如何脱去沥青中的沥青质使得沥青变成浅色, 将是彩色路面迫切要解决的问题。

(3) 公路排水结构物建设

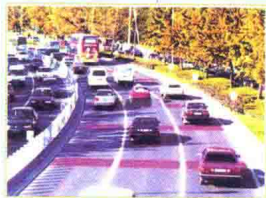
为了确保路基稳定, 免受地面水和地下水的侵害, 公路还应修建专门的排水设施。地面水的排除系统按其排水方向不同, 分为纵向排水和横向排水。纵向排水有边沟、截水沟和排水沟等。横向排水有桥梁、涵洞、路拱、过水路面、透水路堤和渡水槽等。

(4) 公路特殊结构物

公路的特殊结构物有隧道、悬出路台、防石廊、挡土墙和防护工程等。

(5) 公路沿线附属结构建设

一般在公路上, 为了保证行车安全、迅速、舒适和美观, 还需设置交通管



彩色路面

北京二环彩色路面, 这种固体彩色路面是从国外引进的新型交通设施, 它通过特殊的施工工艺敷设于路面, 路面呈现暗红色, 有很强的视觉警示效果, 可减少交通事故的发生。

彩色路面的优点:

- ① 增加城市道路的美观性;
- ② 彩色道路用不同的颜色区分不同道路的使用功能;
- ③ 提高了路面的可视度;
- ④ 对车流的引导要比在路面上画线效果更好;
- ⑤ 彩色路面改善了普通沥青路面黑色的单调性, 可与附近的景观相互搭配、协调。

理设施、交通安全设施、服务设施和环境美化设施等。

5.1.3 高速公路

为了满足现代交通工具的大流量、高速度、重型化、安全、舒适的要求,高速公路应运而生,见图 5.7。

我国的 JTG B01—2014《公路工程技术标准》将高速公路定义为:专供汽车分向、分车道行驶并全部控制出入的多车道公路。高速公路的特征有:
① 限制车速,汽车专用;② 分隔行驶,安全高速。但高速公路的缺点是造价高,占地多。如目前我国的高速公路,每公里造价大约 3 000 万元左右,路基宽按照 26 m 计算,则每公里占用土地约 0.3 km^2 以上。但从其经济效益与成本比较看,高速公路的经济效益还是很显著的。



图5.7 不限速的德国高速公路

5.1.6 高速公路

高速公路里程
(至 2014 年年底)
中国: 10.6 万公里
美国: 9.2 万公里
加拿大: 1.85 万公里
德国: 1.24 万公里
法国: 1.13 万公里

国外高速公路名称:
英国“Motorway”;
法国“Autoroute”;
德国“Autobahn”;
意大利“Autostrada”;
瑞典等“Expressway”;
美国“Superhighway”,
收费公路“Turnpike”。
1968 年统一: 部分控制出入“Expressway”, 全部控制出入“Freeway”。

1. 高速公路的线形设计标准

高速公路的几何设计标准比其他等级的公路要求高,具体规定各国有所不同。我国《公路工程技术标准》的规定主要如下:

(1) 最小平曲线半径及超高横坡限制

对于设计车速为 120 km/h 的高速公路,平曲线的一般最小半径为 570 m,超高横坡限值为 10%。

(2) 最大纵坡和竖曲线

高速公路的最大纵坡限为 3% (平原微丘区) ~ 5% (山岭区),竖曲线最

小半径凹型为 4 000 m, 凸型为 11 000 m。

(3) 线形要求

高速公路应保证司机有良好的视线诱导, 因此不应出现急剧的起伏和扭曲的线形, 并使线形保持连续和舒顺。

(4) 横断面

行车带的每一行驶方向至少两个车道, 便于超车。车道宽 3.75 m。路肩在平原微丘区硬路肩宽不应小于 2.50 m, 土路肩宽不小于 0.75 m。在高速公路整体式断面的中央分隔带护栏形式选择和宽度确定时, 应着重考虑。护栏的防护功能需要, 选择可有效防止车辆失控冲过中央分隔带的护栏形式及对应的中央分隔带宽度。

2. 高速公路沿线设施

高速公路沿线有安全设施、交通管理设施、服务性设施和环境美化设施等。

见闻: 在德国高速公路上乘车, 简直就是一种享受, 在 55 座的大客车上, 坐最后一排也感觉不到颠簸, 可见德国高速公路的路况质量非常高。

德国高速公路不限速。原因是一方面鼓励人们买好车, 拉动汽车消费; 另一方面德国汽车司机有很强的自律意识。



5.1.7 高速公路沿线设施

5.2 铁路工程

1830 年后, 美、法、德、俄、意、加等国相继开始建造铁路。我国第一条铁路是 1876 年建造的吴淞铁路。改革开放以来, 我国的铁路建设方面取得了巨大的成就, 到 2014 年年底, 全国铁路运营总里程已突破 11.2 万公里。

目前国际上是以通过线路上允许的最高速度对铁路进行划分: 时速 100 ~ 120 km/h 称为常速; 时速 120 ~ 160 km/h 称为中速或准高速; 时速 160 ~ 200 km/h 称为快速; 时速 200 ~ 400 km/h 称为高速; 时速 400 km/h 以上称为特高速。



5.2.1 中国高速铁路的定义和建设规划

5.2.1 铁路选线设计与路基

1. 铁路选线设计

铁路选线设计是整个铁路工程设计中一项关系全局的总体性工作。选线设计的主要工作内容有:



詹天佑 (1861 年 4 月 26 日 — 1919 年 4 月 24 日) 英文名 (Jeme Tien Yow), 广东南海人, 原籍江西婺源, 是中国首位铁路工程师, 负责修建了京张铁路等工程, 有“中国铁路之父”、“中国近代工程之父”之称。著作有:《京张铁路工程纪要》、《京张铁路标准图》、《华英工学字汇》等书。

世界上最著名的 10 条铁路: 西伯利亚铁路; 挪威峡湾铁路; 泰缅死亡铁路; 中国青藏铁路; 横穿澳大利亚的铁路; 乘火车游阿拉斯加的“迪纳利之星”号列车; 阿根廷云端列车; 东方快车; 多瑙河快车; 西班牙北方之旅。



① 根据国家政治、经济和国防的需要, 结合线路经过地区的自然条件、资源分布、工农业发展等情况, 规划线路的基本走向 (即方向), 选定铁路的主要技术标准。

② 根据沿线的地形、地质、水文等自然条件和村镇、交通、农田、水利设施, 来设计线路的空间位置。

③ 研究布置线路上的各种建筑物, 如车站、桥梁、隧道、涵洞、路基、挡墙等, 并确定其类型和大小, 使其总体上互相配合, 全局上经济合理。

线路空间位置的设计是线路平面与纵断面设计。设计同公路工程。铁路定线就是在地形图上或地面上选定线路的走向, 并确定线路的空间位置。铁路定线的基本方法有套线、眼镜线和螺旋线等, 如图 5.8 和图 5.9。

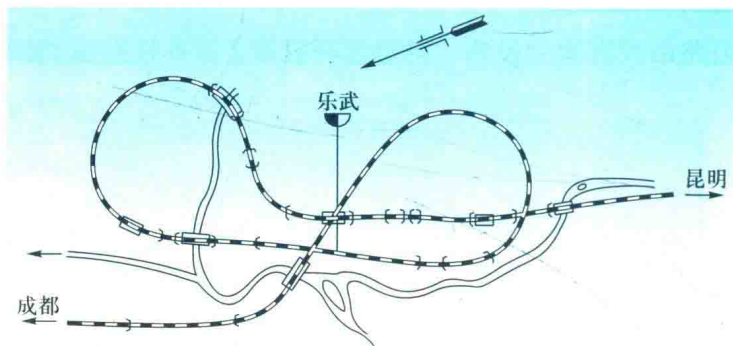


图 5.8 铁路定线: 眼镜线

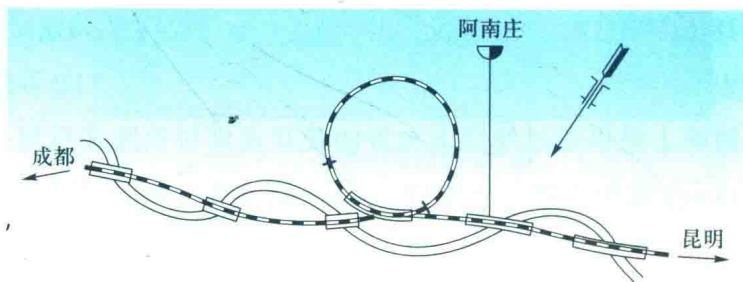


图 5.9 铁路定线: 螺旋线

2. 铁路路基

铁路路基是承受并传递轨道重力及列车动荷载作用的结构, 是轨道的基础, 是保证列车运行的重要建筑物。路基横断面形式同公路工程, 如图 5.5。路基应具有足够的坚固性、稳定性和耐久性。

5.2.2 高速铁路

铁路现代化的一个重要标志是大幅度地提高列车的运行速度。高速铁路 (High Speed Railway) 是发达国家于 20 世纪 60—70 年代逐步发展起来的一种城市与城市之间的运输工具。世界上首条出现的高速铁路是日本的东海道新干线。我国 2008 年 8 月 1 日开通运营第一条即时速为 350 km/h 的京津城际高速铁路。截至 2014 年年底,我国高速铁路营运里程达 1.6 万公里,居世界第一。

日本、法国、德国等是当今世界高速铁路技术发展水平最高的几个国家。

归纳起来,当今世界上建设高速铁路有下列几种模式:

(1) 日本新干线模式全部修建新线,旅客列车专用,如图 5.10 所示。

(2) 德国 ICE (Inter City Express) 模式

全部修建新线,旅客列车及货物列车混用,如图 5.11 所示。

(3) 英国 APT (Advanced Passenger Train) 模式

既不修建新线,也不大量改造旧线,主要采用由摆式车体的车辆组成的动车组,旅客列车及货物列车混用,如图 5.12 所示。

(4) 法国 TGV (Train à Grande Vitesse) 模式

部分修建新线,部分旧线改造,旅客列车专用,如图 5.13 所示。



图 5.10 日本的高速列车



图 5.11 德国的高速列车



图 5.12 高速摆式列车(英国)



图5.13 法国的TGV高速列车

东海道新干线:日本是世界上第一个建成实用高速铁路的国家。1964 年 10 月 1 日东海道新干线正式开通营业,高速列车运行速度达 210 km/h,从东京至大阪间旅行时间由 6 h 30 min 缩短到 3 h。

动车组:把动力装置分散安装在每节车厢上,使其既具有牵引力,又可以载客,这样的客车车辆便叫做动车。而动车组就是几节自带动力的车辆加几节不带动力的车辆编成一组。

中国高速铁路：CRH(China Railway High-speed) 目前中国高铁机车主要有四种型号：CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5。其中 CRH1、CRH2、CRH5 的设计时速在 200 km/h 以上，而 CRH3 的设计时速在 300 km/h 以上。

世界上第一条载客的地下铁路：1863 年首先通车的伦敦地铁。

高速铁路的实现为城市之间的快速交通来往和为旅客出行提供了极大方便。同时也对铁路选线与设计等提出了更高的要求。

轨道的平顺性是解决列车提速的至关重要的问题。轨道的不平是导致车辆的振动，产生轮轨附加动力的根源。因此高速铁路必须严格地控制轨道的几何状态，以提高轨道的平顺性。

另外高速列车的牵引动力是实现高速行车的重要技术关键之一。它又涉及许多新技术，如：新型动力装置与传动装置；牵引动力的配置已不能局限于传统机车牵引方式，而要采用分散会相对集中的动车组方式；新的列车制动技术；适应高速行车要求的车体及行走部的结构及减少空气阻力的新的外形设计等。

高速铁路的信号与控制系统是高速列车安全、高密度运行的基本保证。它是集微机控制与数据传输于一体的综合控制与管理系统，也是铁路适应高速运营、控制与管理而采用的最新综合性高技术，一般统称为先进列车控制系统(Advanced Train Control Systems)。如列车自动防护系统、卫星定位系统、车载智能控制系统、列车调度决策支持系统、列车微机自动监测与诊断系统等。

中国把铁路提速作为加快铁路运输业发展的重要战略，1997 年 4 月 1 日第一次铁路大提速，时速首次达到 140 km/h；1998 年、2000 年和 2001 年，中国铁路又连续实施三次提速；2004 年 4 月 18 日，开始启动第五次大面积提速，主要干线列车时速达到 200 km/h；2007 年 4 月 18 日，中国铁路进行了第六次大面积提速，最高时速达 250 km/h，此次提速最大的亮点是时速达 200 km/h 及以上动车组投入使用。目前京沪高速铁路设计速度达 380 km/h，运营速度达 300 km/h。我国目前营运高速铁路里程居世界第一，达 1.6 万公里。

5.2.3 城市轻轨与地下铁道

目前，法国的巴黎，英国的伦敦，俄罗斯的莫斯科，美国的纽约、芝加哥，加拿大的多伦多，中国的北京、上海、天津、广州等城市均建有地下铁道。英国地铁总长度近 1 000 km，是目前地铁最长的国家。俄罗斯莫斯科的地铁，以其车站富丽堂皇而闻名于世，如图 5.14 所示。

城市轻轨是城市轨道建设的一种重要形式。近年来,随着中国城市化步伐的加快,我国重庆、上海、北京等城市纷纷兴建城市轻轨。轻轨的机车重量和载客量要比一般列车小,所使用的铁轨质量轻,每米只有 50 kg,因此叫做“轻轨”。它克服了有轨电车运行速度慢、正点率低、噪声大的缺点。它比公共汽车速度快、效率高、省能源、无空气污染等。轻轨比地铁造价更低,见效更快。

上海已建成我国第一条城市轻轨系统,即明珠线,见图 5.15。明珠线轨道交通一期工程全长 24.975 km,自上海市徐汇区开始,贯穿长宁区、普陀区、静安区、虹口区达宝山区,沿线共设 19 座车站。全线无缝线路,除了与上海火车站连接的轻轨站以外,其余全部采用高架桥结构形式。



图 5.14 莫斯科的地下铁道



图 5.15 城市轻轨(上海明珠线)

城市轻轨和地下铁道一般具有如下特点:

- ① 线路多经过居民区,对噪声和振动的控制较严,除了对车辆结构采取减震措施及修筑声障屏以外,对轨道结构也要求采取相应的措施。
- ② 行车密度大,运营时间长,因而须采用较强的轨道部件,一般用混凝土道床等少维修轨道结构。
- ③ 一般采用直流电机牵引,以轨道作为供电回路。为了减少泄漏电流的电解腐蚀,要求钢轨与基础间有较高的绝缘性能。
- ④ 曲线段占的比例大,曲线半径比常规铁路小,一般为 100 m 左右,因此要解决好曲线轨道构造问题。



京沪高速铁路

我国第一条具有世界先进水平的高速铁路,2011 年 6 月 30 日通车。线路由北京南站至上海虹桥站,全长 1 318 km,纵贯北京、天津、上海三大直辖市和冀、鲁、皖、苏四省,连接环渤海和长江三角洲两大经济区。总投资 2 209 亿元,设 23 个车站。设计速度为 380 km/h,目前运营速度降低为 300 km/h。北京到上海最快只需 4 h 48 min。

小知识:

- ① 全球只有纽约地铁全天 24 小时运行;
- ② 韩国首尔地铁是世界最繁忙的地铁,每天运送旅客超过 800 万人次;
- ③ 巴西地铁是世界最干净和最安全的;
- ④ 俄罗斯莫斯科地铁是世界上最大和最快的地铁,列车速度可达 120 km/h。

中国第一条轨道交通:1969 年 10 月 1 日建成通车的北京地铁一号线,是中国第一条现代化城市轨道交通系统,它的建成通车结束了中国没有地铁的历史。

轻轨和地铁的区别：
单向最大高峰小时客流量不同。

地铁能适应的单向最大高峰小时客流量为3~6万人次，轻轨能适应的单向最大高峰小时客流量为1~3万人次。

上海地铁：上海地铁第一条线路于1995年4月10日正式运营，是继北京地铁、天津地铁建成通车后中国大陆投入运营的第三个城市轨道交通系统。目前上海轨交全网运营线路总长567 km，车站共计331座（均含磁浮在内），运营规模列世界第一。



5.2.4 磁悬浮铁路

1. 磁悬浮铁路概述

磁悬浮铁路上的列车是利用电磁系统产生的吸引力和排斥力将车辆托起，使整个列车悬浮在线路上，利用电磁力进行导向，并利用直流电机将电能直接转换成推进力来推动列车前进。

目前世界上有三种类型的磁悬浮：一个是以德国为代表的常导磁悬浮，它的优势是技术简单，劣势是产生的电磁吸引力较小，列车与轨道间的缝隙大约8~10 mm。常导型高速磁悬浮列车的时速可达400~500 km/h，适合于城市间的长距离快速运输；另一个是以日本为代表的超导磁悬浮列车，悬浮气隙较大，一般为100 mm左右。它的优点是悬浮力大，列车运行速度快，可实现时速500 km/h以上运行，缺点是技术复杂，需要屏蔽发散的电磁场。第三种就是我国的永磁悬浮，它利用特殊的永磁材料，不需要其他动力。永磁悬浮列车适用于城市轨道交通及城际间交通的应用，既可低速运行又可高速运行，最高时速可达500 km/h以上。

与传统铁路相比，磁悬浮铁路除了具有速度快的特点之外，还有噪声低、振动小、无磨损、不受气候条件影响、不污染环境、安全、舒适、节能等优点，因而引起了人们极大的兴趣，因此磁悬浮铁路将成为未来最具竞争力的一种交通工具。

2. 磁悬浮铁路在各国的发展

日本于1962年开始研究常导磁悬浮铁路。2003年7月31日，在日本山梨县的一处山野中，时速高达500 km/h的磁悬浮列车首次进行了试验，如图5.16所示。

德国从1968年开始研究磁悬浮列车，1983年在曼姆斯兰德建了一条长32 km的试验线，行驶速度达412 km/h。目前，德国在常导磁悬浮铁路研究方面的技术已趋成熟。

目前世界唯一一条投入商业化运营的磁悬浮线是我国上海磁悬浮示范运营线，西起地铁2号线龙阳路站、东至浦东国际机场，全长约33 km，设计最大时速430 km/h，单向运行时间为8 min。



图 5.16 日本的磁悬浮列车

3. 磁悬浮铁路面临的挑战

尽管磁悬浮铁路具有前面所述的种种优点，由于以下原因磁悬浮铁路的发展面临挑战。

首先，磁悬浮铁路的造价高。根据德国在 20 世纪 80 年代的这一项估算认为，修建一条磁悬浮铁路其造价每公里约为 659 万美元，而法国的巴黎至里昂的高速铁路每公里的造价为 226 万美元。磁悬浮铁路的造价大约为高速铁路的 3 倍，制约了其发展。

其次，磁悬浮铁路由于与常规铁路在原理、技术等方面完全不同，无法利用既有的线路，必须全部重新建设。而高速铁路则可以通过加强路基、改善线路结构、减少弯度和坡度等的改造，使既有线路达到高速铁路的行车标准。因此高速铁路的线路和运行成本就大大降低了。

再次，磁悬浮铁路在速度上的优势并没有凸显出来。如法国的“高速列车”(TGV)、德国的“城际快车”(ICE)和日本的新干线，其运行速度都达到或接近 300 km/h。即便是磁悬浮铁路的行车速度达到 450 ~ 500 km/h，在 500 km 区间内的运行中，也只比时速为 300 km/h 的高速铁路节约 0.5 h。

Hermann Kemper:
1922 年，德国 Hermann Kempe 提出了电磁悬浮原理，并在 1934 年申请了磁悬浮列车的专利。



上海磁悬浮列车

由中德两国合作开发的世界第一条磁悬浮商运线，2001 年 3 月 1 日在浦东挖下第一铲，2002 年 12 月 31 日全线试运行，2003 年 1 月 4 日正式开始商业运营。是世界第一条商业运营的磁悬浮专线。

5.3 机场工程

美国莱特兄弟制造双翼飞机，1903 年 12 月 17 日在北卡罗来纳州的基蒂



冯如：1883 年生于广东恩平。1909 年 9 月 21 日对第一架飞机进行了试飞，结果以失败告终。1910 年 7 月，冯如又制作了第二架飞机，10 月至 12 月，冯如驾驶它在奥克兰进行飞行表演大获成功。辛亥革命后，冯如被广东革命军政府委任为飞行队长。1912 年 8 月 25 日，冯如在广州燕塘飞行表演中不幸失事牺牲。



5.3.1 民航运输机概况

霍克附近飞行了 36.38 m，这是人类首次飞机飞行。随着我国经济迅速发展，航空运输需求迅猛增长，对飞机场工程数量和质量也有了更高的要求。

5.3.1 机场概况

1. 民航机场概况

在民航机场的创建初期，场地小且设备很不完善，如以碎石沥青铺筑跑道等。在民航发展期(1950 年开始)，机场发生质的变化，尤其是 20 世纪 70 年代出现的大型宽体客机和运输量的增加，使机场向大型化和现代化迈进。

2. 民航机场分类和组成

(1) 机场分类

机场分为国际机场、干线机场和支线机场。各类民航机场如图 5.17 所示。

国际机场：指供国际航线用，并设有海关、边防检查、卫生防疫、动植物检疫和商品检验等联检机构的机场。国际机场每年为 2 000 万以上乘客服务。

干线机场：指省会、自治区首府及重要旅游、开发城市的机场。干线机场每年为 200 万~2 000 万乘客服务。

支线机场：指各省、自治区内地面交通不便的地方所建的机场，其规模通常较小。支线机场每年为 200 万以下乘客服务。

(2) 机场的组成

民航机场主要由飞行区、旅客航站区、货运区、机务维修设施、供油设施、空中交通管制设施、安全保卫设施、救援和消防设施、行政办公区、生活区、辅助设施、后勤保障设施、地面交通设施及机场空域等组成。



(a)



(b)



(a)



(b)

图5.17 各类民航机场

(a) 上海浦东机场; (b) 法兰克福国际机场; (c) 洛杉矶国际机场; (d) 日本札幌机场

5.3.2 跑道方案

跑道是机场飞行区的主体,直接供飞机起飞滑跑和着陆滑跑之用。如果没有跑道,地面上的飞机无法上天,天上的飞机无法落地。因此跑道是机场上最重要的工程设施。跑道必须要有足够的长度、宽度、强度、粗糙度、平整度和规定的坡度。几种机场跑道方案如图 5.18 所示。跑道按其作用分为:主要跑道、辅助跑道和起飞跑道三种。

主要跑道:指在条件许可时比其他跑道优先使用的跑道,按使用该机场最大机型的要求修建,长度较长,承载力较高。

辅助跑道(次要跑道):指因受侧风影响,飞机不能在主跑道上起飞着陆时,供辅助起降用的跑道,由于飞机在辅助跑道上起降都有逆风影响,所以其长度比主要跑道短些。

起飞跑道:指只供起飞用的跑道。

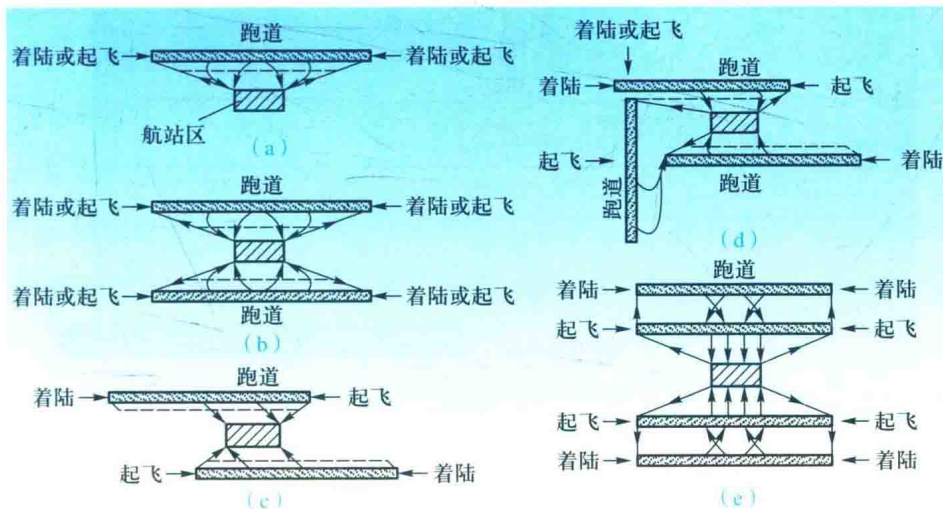


图 5.18 机场跑道方案

(a) 单条跑道; (b) 平行跑道; (c) 端部错位的平行的跑道;

(d) 增加垂直向的跑道; (e) 四条平行跑道



5.3.2 航站区规划与设计

5.3.3 机坪与机场净空区

机场的机坪主要有等待坪和掉头坪。前者供飞机等待起飞或让路而临时停放用,通常设在跑道端附近的平行滑行道旁边。后者则供飞机掉头用,当飞行区不设平行滑行道时,应在跑道端部设掉头坪。

机场净空区是指飞机起飞着陆涉及的范围,沿着机场周围要有一个没有影响飞行安全的障碍物的区域。为了确保飞机安全,对这一范围的地形地物高度必须严格控制,不许有危及飞行安全的障碍物。国际民航组织对机场的净空区专门的要求如图 5.19 所示。

航站楼组成:

① 接地面交通的设施:上下汽车的车边道及公共汽车站等;

② 办理各种手续的设施:旅客办票、安排座位、托运行李的柜台及安全检查,海关、边检(移民)柜台等;

③ 连接飞机的设施:候机室、登机设施等;

④ 航空公司营运和机场必要的管理办公室与设备等;

⑤ 服务设施:如餐厅、商店等。

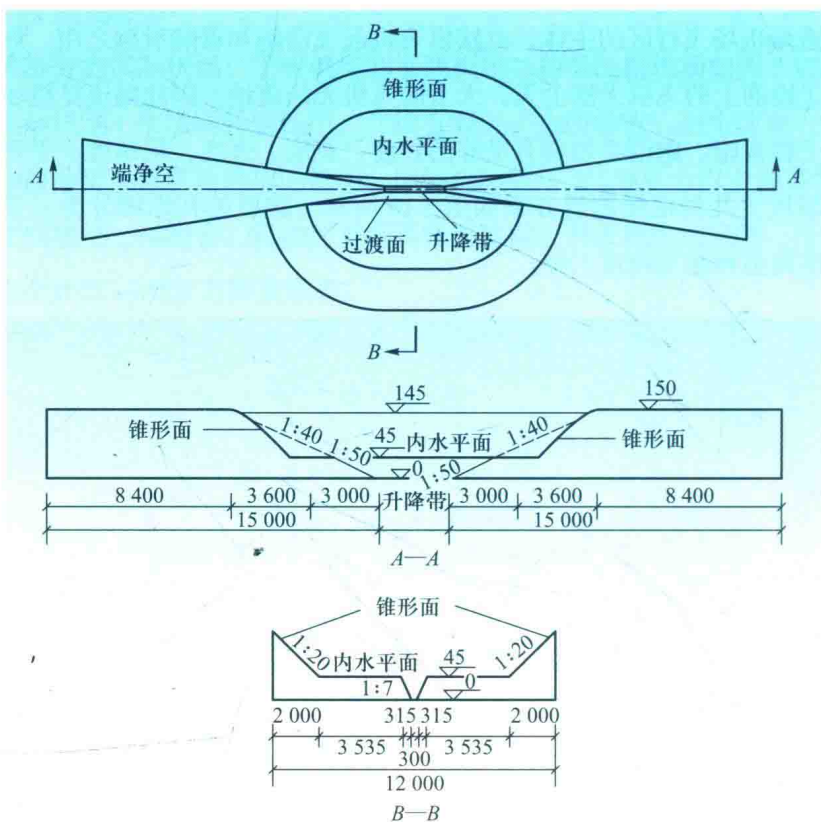


图5.19 机场净空区要求

5.3.4 航站区布局

旅客航站区的规划与设计是机场工程的又一重要方面。旅客航站区主要由航站楼、站坪及停车场所组成。航站楼的设计涉及位置、型式、建筑面积等要素,图 5.20 所示。



图 5.20 上海浦东国际机场

(a) 候机楼外景; (b) 到达大厅

1. 航站楼

航站楼供旅客完成从地面到空中或从空中到地面转换交通方式之用,是机场的主要建筑。

航站楼的布局包括竖向和平面布局:航站楼的竖向布局主要是把出发和到达的旅客客流分开,以方便旅客和提高运行效率。航站楼布置方式有一层、一层半和两层或多层型式。

航站楼的建筑面积根据高峰小时客运量确定。目前我国可考虑采用的国内航班为 $14 \sim 26 \text{ m}^2/\text{人}$, 国际航班为 $28 \sim 40 \text{ m}^2/\text{人}$ 。

2. 站坪、机场停车场与货运区

站坪或称客机坪,是设在航站楼前的机坪。供客机停放、上下旅客、完成起飞前的准备和到达后各项作业之用。

机场停车场设在机场的航站楼附近,停放车辆很多且土地紧张时宜用多层车库。停车场建筑面积主要根据高峰小时车流量、停车比例及平均每辆车所需面积确定。高峰小时车流量可根据高峰小时旅客人数、迎送者、出入机场的职工与办事人员数及平均每辆车载客量确定。

机场货运区供货运装卸、手续办理、货物临时储存等之用。主要由业务

一层式航站楼:离港和到港活动都在同一层平面内,适用于客运量较小的机场。

一层半式的航站楼:分为两层,楼前车道为一层。通常第一层供到港旅客用,第二层供离港旅客用,适用于客运量中等的机场。

二层式航站楼:航站楼与楼前车道都为两层。通常第一层供到港旅客用,第二层供离港旅客用,适用于客运量大的机场。

楼、货运库、装卸场及停车场组成。

货运区应离开旅客航站区及其他建筑物适当距离,以便将来发展。

5.4 隧道工程

隧道是修建在地下或水下或山体中,铺设铁路或修筑公路供机动车辆通行的建筑物。

从不同的角度,可将隧道工程划分为不同的类型:①按照隧道所处的地质条件分为土质隧道和石质隧道;②按隧道的长度分为短隧道(铁路隧道规定 $L \leq 500$ m,公路隧道规定 $L \leq 250$ m)、中长隧道(铁路隧道规定 500 m $< L \leq 3\,000$ m,公路隧道规定 250 m $< L < 1\,000$ m)、长隧道(铁路隧道规定 $3\,000$ m $< L \leq 10\,000$ m,公路隧道规定 $1\,000$ m $\leq L \leq 3\,000$ m)和特长隧道(铁路隧道规定 $L > 10\,000$ m,公路隧道规定 $L > 3\,000$ m);③按照国际隧道协会(ITA)定义的隧道的横断面积的大小划分标准为极小断面隧道($2 \sim 3$ m²)、小断面隧道($3 \sim 10$ m²)、中等断面隧道($10 \sim 50$ m²)、大断面隧道($50 \sim 100$ m²)和特大断面隧道(大于 100 m²);④按照隧道所在的位置分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道;⑤按照隧道埋置的深度分为浅埋隧道和深埋隧道。与我们生活和生产息息相关的隧道主要为铁路和公路隧道(图 5.21 和图 5.22)。



秦岭终南山隧道

位于我国西部大通
道内蒙古阿荣旗至广西北
海国道上西安至柞水段,
在青岔至营盘间穿越秦
岭,全长 18.4 km,技术
标准为高速公路双洞四车
道,行车速度为 80 km/h。



图5.21 青藏线锡铁山分水岭隧道



图5.22 北京八达岭公路隧道

5.4.1 公路隧道

世界最长的公路隧道是挪威西部 24.5 km 长的拉达尔隧道。

改革开放以来,我国大力推进高等级公路的路网建设,高等级公路向山区推进,使得大量公路隧道修建起来。2007 年我国建成了世界最长的双洞高速公路隧道——秦岭终南山公路隧道,单洞长 18.02 km,双洞共长 36.04 km,建设过程中,建设者不断克服断层、涌水、岩爆等施工中的难题和通风、火灾、监控等运营中的重大技术课题,使我国公路隧道建设技术达到了一个新的水平。到 2014 年底,我国公路隧道总数已达 12 404 座,总长度 1 075.67 km,居世界第一。

1. 公路隧道线路

公路隧道平面线形一般采用直线,在必须设置曲线时,其半径不宜小于不设超高的平曲线半径,并确保视距。公路隧道的纵断面坡度,由隧道通风、排水和施工等因素确定,采用缓坡为宜。隧道的纵坡应不小于 0.3%,也应不大于 3%。隧道如从两个洞口对头掘进,为便于施工排水,可采用“人”字坡。单向通行时,设计成下坡对通风有利。

隧道衬砌的内轮廓线所包围的空间称为隧道净空。隧道净空包括公路的建筑限界如图 5.23 所示,建筑限界是指隧道衬砌等任何部件不得侵入的一种限界。

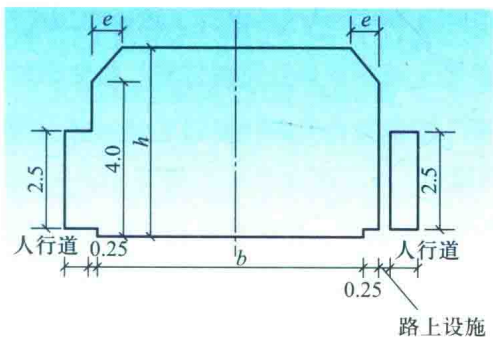


图5.23 公路建筑限界

2. 公路隧道施工

公路隧道主要的施工方法有：

为什么要避免设置曲线隧道？

① 如果采用小半径曲线,会产生视距问题,为确保视距,设超高加宽,导致工程费用增加,施工难度增加。

② 如果是大半径曲线,在测量、衬砌、内装、吊顶等变得复杂。

③ 曲线隧道增加了通风阻抗,对自然通风不利。

公路隧道建筑限界包括：

- ① 车道宽度；
- ② 路肩宽度；
- ③ 路缘带宽度；
- ④ 人行道宽度；
- ⑤ 车道净高；
- ⑥ 人行道净高。



5.4.1 公路隧道的通风和照明



(1) 新奥法即新奥地利施工方法的简称, 简写 NATM

新奥法的概念是奥地利学者拉布西维兹 (L.V.Radcewicz) 教授于 1948 年提出的, 它是以既有隧道工程经验和岩体力学的理论基础, 将锚杆和喷射混凝土组合在一起作为主要支护手段的一种施工方法, 已成为在软弱破碎围岩地段修建隧道的一种基本方法。

(2) 挪威法即挪威隧道工法, 简写 NMT

挪威法是 20 世纪 90 年代隧道工程中发展起来的一种新方法, 该法根据隧道质量指标 Q 值进行围岩分类并选定支护, 是对新奥法的完善、补充和发展。

新奥法和挪威法适用条件: 新奥法适用于能机械或人工进行开挖的软松地层, 这时节理和超挖不占主要地位, 常能形成光滑断面。

挪威法适用于较硬的地层, 这时节理和超挖占主要地位, 常用钻爆法或硬岩隧道掘进机开挖。

世界最著名十大铁路隧道:

- ① 青函海底隧道;
- ② 日本上越新干线上的大清水隧道;
- ③ 日本山阳新干线上的新关门海底隧道;
- ④ 意大利亚平宁隧道;
- ⑤ 日本山阳新干线上的六甲隧道;
- ⑥ 日本上越新干线上的榛名隧道;
- ⑦ 瑞士、意大利边境上穿过阿尔卑斯山的圣哥达隧道;
- ⑧ 日本上越新干线上的中山隧道;
- ⑨ 瑞士列奇堡隧道;
- ⑩ 中国大瑶山隧道。

5.4.2 铁路隧道

世界上最长的一条铁路隧道是日本青函隧道, 全长为 53.860 km。我国最长的铁路隧道为新关角隧道, 全长 32.645 km。

1. 地铁隧道结构

(1) 浅埋区间隧道

多采用明挖施工, 常用钢筋混凝土矩形框架结构。如图 5.24 所示, 是浅埋明挖施工的区间隧道结构型式。

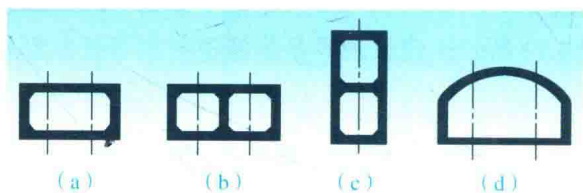


图 5.24 浅埋区间隧道结构形式

(a) 单跨矩形 (b) 双跨矩形 (c) 单跨双层 (d) 单拱形

(2) 深埋区间隧道

深埋隧道多采取暗挖施工, 用圆形盾构开挖和钢筋混凝土管片支护。结构上覆土的深度要求应不小于盾构直径。从技术和经济观点分析, 暗挖施工时, 建造两个单线隧道比建造将双线放在一个大断面的隧道里的做法合理, 因为单线隧道断面利用率高, 且便于施工。

2. 站台型式

站台是地铁车站的最主要部分, 是分散上下车人流、供乘客乘降的场地。

世界各地车站站台断面型式各异,归纳起来主要型式如图 5.25 所示。但站台型式按其与正线之间的位置关系可分为:岛式站台、侧式站台和岛侧混合式站台。

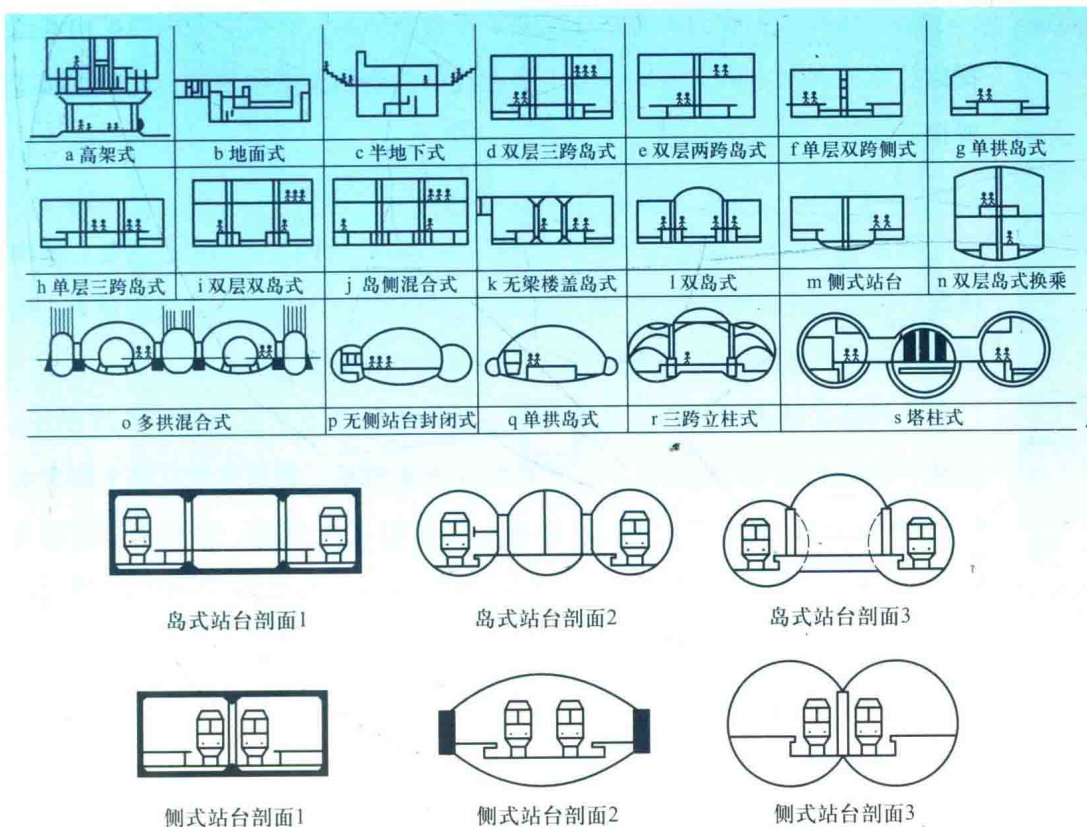


图5.25 地铁车站断面型式

3. 地铁隧道施工

地下铁道沿城市主要街道布置,在市区或市郊修建。因此,施工方案的选取应充分考虑地铁对城市交通、建筑物拆迁及对地面上下管线的影响,从技术、经济等方面加以权衡比较。地下铁道的修建方法很多,概括起来有两大施工方式,即明挖法和暗挖法。

(1) 明挖法

明挖法是浅埋地下通道最常用的方法,也称基坑法。它是一种用垂直开挖方式修建隧道的方法。基坑法施工是指从地面向下开挖,并在欲建地下铁道结构的位置进行结构的修建,然后在结构上部回填土及恢复路面的施工方法。或者从地面向下开挖,用大号型钢架于两侧钢桩或连续墙上,以维持原来路面的交通运行。后一种基坑法也称为路面覆盖式基坑法或称开壕被覆法 (Cut and



5.4.2 隧道施工视频



狮子洋隧道

我国采用盾构法施工的首座水下铁路隧道——广深港高铁狮子洋隧道于2011年3月12日全线贯通。直径超过11 m的巨型盾构机在水下60 m深处的精确对接,标志着我国长距离水下铁路隧道的施工和科研取得了重大突破。这座隧道多项世界性技术难题全部破解,填补了我国泥水加压平衡盾构机施工多项技术空白。

Cover), 我国称为盖板法, 如图 5.26 所示。

(2) 暗挖法

暗挖法有时也称为矿山法, 尤其是指在坚硬的岩石层中采用的矿山巷道掘砌技术的开凿方式。但地铁施工多在浅部的松软土层中进行, 此暗挖法主要指:

① 盾构法。

通常利用地铁车站或通风口等位置开凿竖井, 盾构在井内进行拼装, 盾构由此沿着地铁路线推进施工, 以形成地铁区间隧道。它比明挖法土方量小, 地下各种管线和地面建筑物的迁移量小, 对城市的交通影响也小。

盾构法是隧道暗挖施工法的一种。盾构施工基本示意图如图 5.27 所示。在地下铁道中采用盾构法施工始于 1874 年的伦敦地下铁道东线在粘土和含水砂层修建的内径为 3.12 m 的区间隧道。20 世纪 40 年代起, 苏联采用直径为 6.0 ~ 9.5 m 的盾构先后在莫斯科、彼得格勒等城市修建地下铁道区间隧道, 将盾构法施工水平推进到一个新高度。我国的深圳地铁和南京地铁采用盾构掘进区间隧道, 广州地铁 2 号线、上海地铁 3 号线、北京地铁 5 号线均采用盾构法施工。

② 沉管法。

当地下铁道处于航道或河流中时, 可采用沉管法。这是水底隧道建设的一种主要方法。该法施工是在船台上或船坞中分段预制隧道结构, 然后经水中浮运或拖运的办法将节段结构运到设计位置, 再以水或砂土将其进行压载下沉, 当各节段沉至水底预先开挖的沟槽后, 进行节段间接缝处理, 待全部节段连接完毕, 进行沟槽回填, 遂建成整体贯通的隧道。

③ 顶管法。

当浅埋地铁隧道穿越地面铁路、城市交通干线、交叉路口或地面建筑物密集、地下管线纵横地区, 为保证交通不致中断和行车安全, 可采用顶管法施工。

顶管法施工是在做好的工作坑内预制钢筋混凝土隧道结构, 待其达到强度后用千斤顶将结构推顶至设计位置。这种施工技术不仅用于浅埋地铁, 还可用于城市供排水管道工程、城市道路与地面铁路立交点及铁路桥涵等工程。

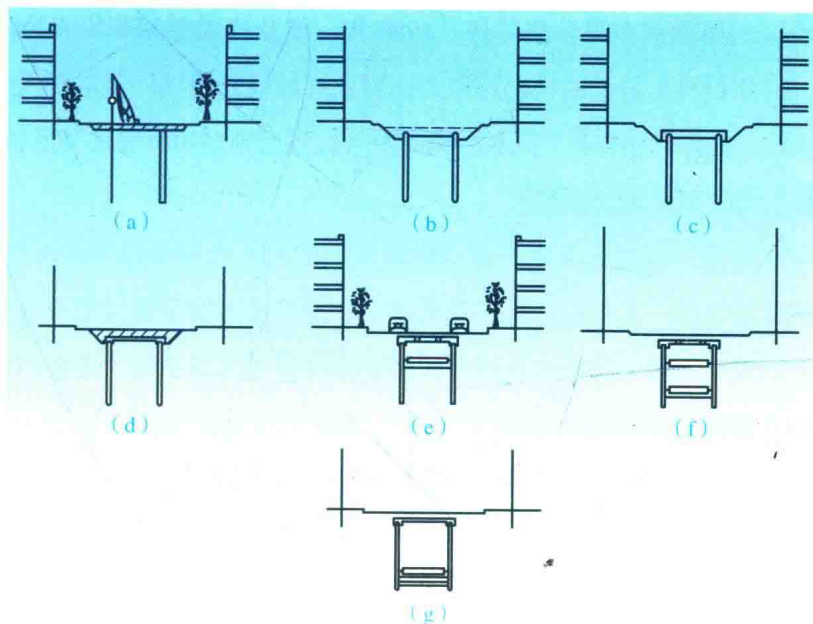


图5.26 路面覆盖式基坑法施工

(a) 板桩墙或连续墙施工; (b) 掘土以露出墙顶部; (c) 覆盖顶板; (d) 回填恢复路面;
(e) 基坑掘进与支护; (f) 掘砌结束形成基坑; (g) 拆除临时支护并建造地铁结构

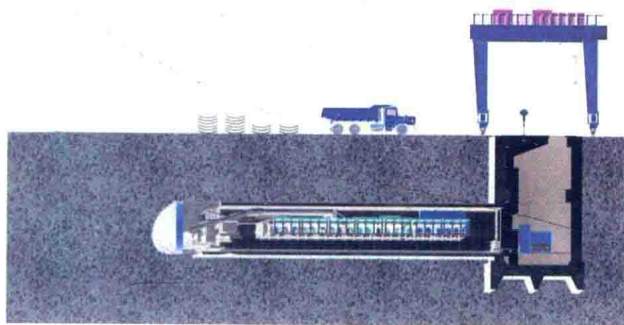


图 5.27 盾构施工法的示意图

5.4.3 水底隧道

水底隧道具有不占地、不妨碍航行、不影响生态环境、隐蔽性好、抗自然灾害能力强等优点,但其造价较高。

水下铁路隧道的修建始于英国,1873—1886年,英国修建了塞文河水下铁路隧道。在水下公路隧道修建方面,1927年,美国在纽约市建成穿越哈德逊河的荷兰公路隧道。1934年,英国在利物浦市建成穿越默西河的公路隧道。1941年,荷兰在鹿特丹市修建穿越马斯河的公路隧道。1970年,中国建成穿



5.4.3 盾构法施工视频

新关角隧道: 新关角隧道为最长铁路隧道、世界高海拔第一长隧道。位于青藏铁路西(宁)格(尔木)段的青海天峻县境内,全长 32.645 km,平均海拔超过 3 600 m,施工现场地质条件极端复杂。隧道开通后将使火车翻越关角山的时间缩短近 2 h,大大提高青藏铁路的运力。2007 年动工,2014 年建成。



5.4.4 顶管法施工视频



青函隧道

世界上最长的海底隧道是日本的青函隧道,它连接本州与北海道这两个岛屿。隧道于 1988 年建成,长度 54 km。

中国铁路隧道长度排名

- ① 新关角隧道: 32.645 km, 西格铁路二线;
- ② 西秦岭隧道: 28.238 km, 兰渝铁路;
- ③ 太行山隧道: 27.848 km, 石太高铁;
- ④ 戴云山隧道: 27.558 km, 向莆铁路;
- ⑤ 中天山隧道: 22.450 km, 南疆铁路吐库二线;
- ⑥ 青云山隧道: 22.161 km, 向莆铁路;
- ⑦ 高盖山隧道: 21.104 km, 向莆铁路;
- ⑧ 吕梁山隧道: 20.738 km, 太中银铁路;
- ⑨ 乌鞘岭隧道: 20.050 km, 兰新铁路复线;
- ⑩ 木寨岭隧道: 19.025 km, 兰渝铁路。

国内首条过江隧道: 黄浦江打浦路隧道, 于 1971 年 6 月建成通车。

越黄浦江的单管双车道公路隧道。1980 年, 埃及建成穿越苏伊士运河的公路隧道。目前世界上最长的铁路隧道是在海底穿越津轻海峡的日本青函隧道, 全长 54 km, 采用矿山法施工技术。软土中水底隧道则多用沉管法和盾构法施工。

1. 水底隧道的埋置深度

水底隧道的埋置深度是指隧道在河床下的岩土覆盖厚度。埋深的大小, 关系到隧道长短、工程造价和工期的确定。尤其重要的是覆盖层厚度关系到水下施工的安全问题。设计水底隧道的埋置深度需考虑以下几个主要因素:

(1) 地质及水文地质条件

隧道穿越河床的地质特征、河床的冲刷和疏浚状况。

(2) 施工方法要求

不同的隧道施工方法, 对其顶部的覆盖厚度有不同的要求。

矿山法施工, 埋深的经验数据依围岩的强弱程度取毛洞跨径的 1.5~3 倍。沉管法施工, 只要满足船舶的抛锚要求即可, 约 1.5 m 左右。盾构法施工, 经国内外专家多年研究, 认为最小覆盖层厚度应为盾构直径的 1 倍。但不少成功的施工实例并未满足该数值要求。

(3) 抗浮稳定的需要

埋在流砂、淤泥中的隧道, 受到地下水的浮力作用。此浮力该由隧道自重和隧道上部覆盖土体的重量加以平衡。为保险起见, 该平衡力应是浮力的 1.10 ~ 1.15 倍。检验抗浮稳定时, 为偏于安全不计摩擦力的作用。

(4) 防护要求

水底隧道应具备一定的抵御常规武器和核武器的破坏能力。根据在常规武器攻击中非直接命中、减少损失和早期核辐射的防护要求, 覆盖层应有适当的厚度。

2. 水底隧道的断面形式

(1) 圆形断面

国内外水底隧道, 特别是河底段, 多采用沉管法和盾构法施工, 其断面多为圆形, 如图 5.28 所示。

(2) 拱形断面

采用矿山法施工时, 一般用拱形断面。采用拱形断面形式, 受力与断面利用率均好。

三大海底隧道工程：

1. 英法海峡隧道

1993 年建成，全长 48.5 km，海底段 37.5 km，隧道最大埋深 100 m。海峡隧道由 2 条外径 8.6 m 的铁路隧道和 1 条外径 5.6 m 的服务隧道组成。

2. 丹麦斯多贝尔特大海峡隧道

长 7.9 km，由 2 条外径 8.5 m 的铁路隧道组成，隧道最大埋深 75 m，采用 4 台直径 8.78 m 的混合型土压平衡盾构掘进机施工。由于隧道穿越的地层为冰碛和泥灰岩，均为含水层，渗透水量大，因而比英法海峡隧道的掘施工更为困难。

3. 日本东京湾横断公路隧道

长 9.4 km，由 2 条外径 13.9 m 的单向公路隧道组成，最大埋深 50 m，采用 8 台直径 14.14 m 的泥水平衡盾构掘进机施工。盾构设计采用最先进的自动掘进管理系统、自动测量管理系统和管片自动拼装系统，8 台盾构在海底实现了对接，体现了高新技术在隧道工程中的应用。

水抗水的效果。

(2) 壁后回填

壁后回填是对隧道与围岩之间的空隙进行充填灌浆，以使衬砌与围岩紧密结合，减少围岩变形，使衬砌均匀受压，提高衬砌的防水能力。

(3) 围岩注浆

为使水底隧道围岩提高承载力、减少透水性，可以在围岩中进行预注浆。特别是采用钻眼爆破作业的隧道，通过注浆可以固结隧道周边的块状岩石，以形成一定厚度的止水带，并且填塞块状岩石的裂缝和裂隙，进而消除和减少水压力对衬砌的作用。

(4) 双层衬砌

水下隧道采用双层衬砌可以达到两个目的。其一是防护上的需要，在爆炸载荷作用下，围岩可能开裂破坏，只要衬砌防水层完好，隧道内就不致大量涌水、影响交通。其二是防范高水压力，有时虽采用了防水混凝土回填注浆、在高水压下仍难免发生衬砌渗水。在此情况下，双层衬砌可作为水底隧道过河段的防水措施。

4. 海底隧道

全世界已建成的海底隧道有 20 多条，主要分布在日本、美国、西欧和中国香港。从工程规模和现代化程度上看，当今世界最有代表性的跨海隧道工程有英法海底隧道、青函隧道和日本对马海峡隧道，以及中国厦门翔安隧道、青岛海底隧道和厦门海沧海底隧道。

学习与思考

1. 我国第一条高速公路沪嘉高速公路的建成，对我国高速公路的发展有什么意义？
2. 什么是 SMA 路面？有什么特征？可以解决道路的哪些问题？
3. 彩色路面发展面临的困难有哪些？
4. 高速铁路与一般铁路采用的技术有何不同？
5. 隧道工程的施工方法有哪些？各有什么优缺点？





第6章 桥梁工程

- 6.1 桥梁的分类
- 6.2 桥梁工程的总体规划和设计要点
- 6.3 桥梁的结构形式
- 6.4 桥墩与桥台
- 6.5 桥梁基础
- 6.6 桥梁技术的发展方向



法国米洛大桥
(Millau bridge)

坐落在法国南部塔恩河谷,采用斜拉桥结构形式,全长达2.46 km,采用7个桥墩支撑,其中2、3号桥墩分别高达245 m和220 m,是世界上最高的两个桥墩。如果算上桥墩上方用于支撑斜拉索的桥塔,最高的桥墩达到343 m,超过埃菲尔铁塔23 m。桥面的高速公路成为连接巴黎和地中海地区的重要纽带,行驶在其上宛如行走在云端。



法国卡奥尔的瓦朗特桥
(Le Pont Valentre)

建于1308—1350年。该桥跨越洛特河,全长138 m,宽5 m,共有六个尖拱,跨度各为16.5 m,高高地耸出水面。桥上有三座设防严密且高耸的箭楼,另外还有一道桥门。由于其在军事工程上的完整性和它的高直式建筑的整齐美,给人以雄伟英武的印象。

假如没有桥梁,人们往来河岸的两地,就必须依靠船只来过河;遇到峡谷时,又须绕道而行,这样就要多走很多路。如果建有桥梁接通两岸与峡谷,则方便多了。因此,桥梁是人类生活和生产活动中,为克服天然沟壑的阻碍而建造的建筑物,也是有史以来人类所建造的最古老、最壮观和最美丽的建筑工程。同时,它的发展,也体现着现代文明的不断进步。

桥梁工程在土木工程中属于结构工程的一个分支学科,它与建筑工程一样,也是用砖石、木、混凝土、钢筋混凝土和各种金属材料建造的结构工程。

桥梁既是一种功能性的结构物,又是一座立体的造型艺术工程,也是具有时代特征的景观工程。桥梁具有一种凌空宏伟的魅力。

发展交通运输事业,建立四通八达的现代交通网,也离不开建设桥梁。道路、铁路、桥梁建设的突飞猛进,对创造良好的投资环境,促进地域性的经济腾飞,起到关键的作用。

6.1 桥梁的分类

按使用功能分为公路桥、公铁两用桥、人行桥、机耕桥、过水桥等。

按跨径大小和多跨总长分为小桥、中桥、大桥、特大桥,具体如下表所示。

桥梁分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_0/m
特大桥	$L \geq 500$	$L_0 \geq 100$
大桥	$L \geq 100$	$L_0 \geq 40$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_0 < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 < L_0 < 20$
涵洞	$L < 8$	$L_0 < 5$

按行车道位置分为上承式桥、中承式桥、下承式桥。

按承重构件受力情况可分为梁式桥、拱式桥、刚架桥、斜拉桥、悬索桥、组合体系桥梁。

按使用年限可分为永久性桥、半永久性桥、临时桥。

按材料类型分为木桥、圬工桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥(图6.1)、钢桥(图6.2)。



荷兰东斯海尔德桥

图 6.1 预应力混凝土桥



(a)



(b)

图6.2 钢桥

(a) 钢结构桥 (美国圣路易斯钢拱桥); (b) 钢架桥 (英国福斯湾桥, 钢悬臂桁架梁桥)

6.2 桥梁工程的总体规划和设计要点

6.2.1 桥梁工程总体规划的任务和重点

桥梁工程总体规划的基本内容包括: 桥位选定; 桥梁总跨径及分孔方案的确定; 选定桥型; 决定桥梁的纵、横断面布置等。桥梁总体规划的原则是: 根据其使用任务、性质和将来发展的需要, 全面贯彻安全、经济、适用和美观的方针。一般需考虑下述各项要求:

1. 使用上的要求

桥上的行车道和人行道应保证车辆和行人安全畅通, 满足将来交通发展的需要。桥型、跨度大小和桥下净空还应满足泄洪、安全通航和其他通行要求。



赵州桥

又称安济桥, 坐落在河北省赵县洺河上。建于隋朝年间公元 595—605 年, 由著名匠师李春设计建造, 距今已有 1 400 年的历史。桥长 50.82 m, 跨径 37.02 m, 是当今世界现存最早、保存最完整的古代敞肩石拱桥。赵州桥凝聚了古代中国劳动人民的智慧与结晶, 开创了中国桥梁建造的崭新局面。约 1397 年 (也有资料显示大约 700 年) 后, 欧洲才建成类似的石拱桥。

1991 年被美国土木工程师学会 (ASCE) 评为“国际土木工程历史古迹”。

2. 经济上的要求

桥梁的建造应体现经济合理。桥梁方案的选择要充分考虑因地制宜和当地取材及施工水平等物质条件,力求在满足功能要求的基础上,使总造价和材料等消耗量最少,工期最短,提早投入使用。

3. 结构上的要求

整个桥梁结构及其部件,在制造、运输、安装和使用过程中应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性。

4. 美观和环保的要求

桥梁应具有优美的外形,应与周围环境与景色协调。同时也要体现绿色环保的理念,使用时对周边环境和生态不造成影响或者破坏。

6.2.2 桥梁工程设计要点

1. 选择桥位

桥位在服从路线总方向的前提下,选在河道顺直、河床稳定、水面较窄、水流平稳的河段。中小桥的桥位服从路线要求,而路线的选择服从大桥的桥位要求。

2. 确定桥梁总跨径与分孔数

总跨径的长度要保证桥下有足够的过水断面,可以顺利地宣泄洪水、通过流冰。根据河床的地质条件,确定允许冲刷深度,以便适当压缩总跨径长度,节省费用。分孔数目及跨径大小要考虑桥的通航需要、工程地质条件的优劣、工程总造价的高低等因素。一般是跨径越大,总造价越大,施工亦困难。桥道标高也在确定总跨径、分孔数的同时予以确定。设计通航水位及通航净空高度是决定桥道标高的主要因素,一般在满足这些条件的前提下,尽可能地取低值,以节约工程造价。

3. 桥梁的纵横断面布置

桥梁的纵断面布置是在桥的总跨度与桥道标高确定以后,来考虑路与桥的连接线形与连接的纵向坡度。连接线形一般应根据两端桥头的地形和线路要求而定。纵向坡度是为了桥面排水,一般控制在 $3\% \sim 5\%$ 。桥梁横断面布置包括桥面宽度、横向坡度、桥跨结构的横断面布置等。桥面宽度含车行道与人行

道的宽度及构造尺寸等,按照道路等级,国家有统一规定可循。

4. 桥型的选择

桥型选择是指选择什么类型的桥梁,是梁式桥,还是拱桥;是刚架桥,还是斜拉桥;是多孔桥,还是单跨桥等。一般应从安全实用与经济合理等方面综合考虑,选出最优的桥型方案。实际操作中,往往需要准备多套可能的桥型方案,综合比较分析以后,才能找出符合要求的最优方案。

6.3 桥梁的结构形式

6.3.1 梁式桥



6.3.1 桥梁案例精选

梁式桥是最常见而又最基本的桥梁。梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构,在梁内会产生很大弯矩。多孔桥梁在桥墩上不连续的称为简支梁桥;在桥墩上连续的称为连续梁桥;在桥墩上连续,在桥孔内中断,线路在桥孔内过渡到另一根梁上的称为悬臂梁桥,其受力如图 6.3 所示。支承在悬臂上的简支架称为挂梁,伸出有悬臂的梁称为锚梁。架式桥的梁身可以做成实腹的,也可以做成空腹的(称为桁梁)。目前应用最广的是简支梁结构形式的梁桥,这种结构形式简单,施工方便,对地基承载的要求也不高。梁式桥的组成如图 6.4 所示。



6.3.2 桥梁的典型截面形式

梁的截面结构形式,一般有实心板梁、矮肋板梁、空心板梁和箱形梁等。

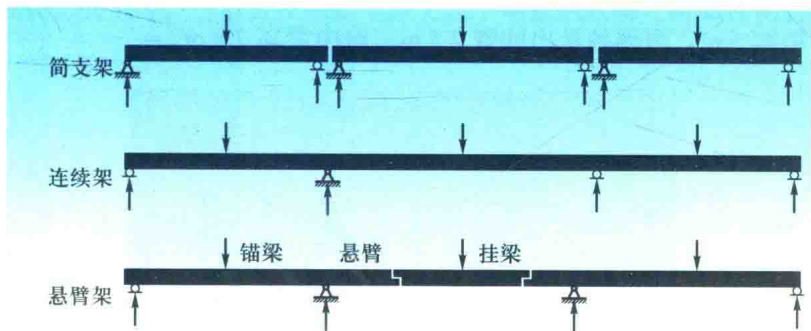


图6.3 梁式桥受力示意



6.3.3 著名的梁式桥



四川三堆子金沙江桥位于中国四川省攀枝花市，是在成昆铁路三堆子车站与金江车站之间跨越金沙江的单线铁路桥。桥的施工分两个阶段：下部结构于1965年9月开工，1966年4月竣工；上部结构于1967年6月开工，1969年10月竣工。桥全长390.4 m，主跨为192 m 简支铰接下承钢桁梁，采用菱形桁式铰接梁，桁高24 m，桁宽10 m，节间长8 m。



6.3.4 著名的混凝土拱式桥

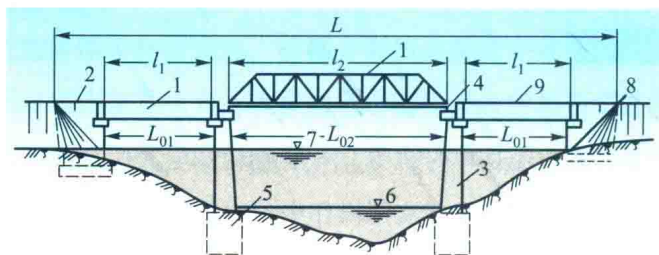


图 6.4 梁式桥的组成

1—上部结构；2—桥台；3—桥墩；4—支座；5—基础；6—低水位；
7—设计水位；8—锥体填方；9—桥面

1988年建成的飞云江桥是一座预应力混凝土简支梁桥（图 6.5）。该桥位于浙江瑞安，全长1 718 m，最大跨度62 m，主梁高2.85 m，高跨比1/21.75，间距2.5 m，桥面宽13 m，混凝土强度等级C60。



图6.5 飞云江桥

六库怒江桥（图 6.6）是一座预应力混凝土连续梁桥，位于云南省傈僳族自治州州府六库，跨越怒江，该桥采用3跨变截面箱形梁，其中箱形梁为单箱形截面，箱宽5 m，两侧各悬出伸臂2.5 m，跨中梁高2.8 m。



图6.6 六库怒江桥

6.3.2 拱式桥

与梁式桥不同,拱式桥在竖向荷载作用下,拱脚除了受竖向反力作用外,还会受到水平推力作用,其受力如图 6.7 所示。拱圈或拱肋是拱式桥的主要承载结构。拱的弯矩和变形都比较小,主要承受压力,故拱式桥可采用砖、石、混凝土和钢筋混凝土材料建造的比较多。

跨越能力大,外形也较美观,因此一般修建拱式桥是经济的。但是由于在桥墩或桥台处承受很大的水平推力,因此对桥的下部结构和基础的要求比较高。另外拱式桥的施工比梁式桥要困难些。

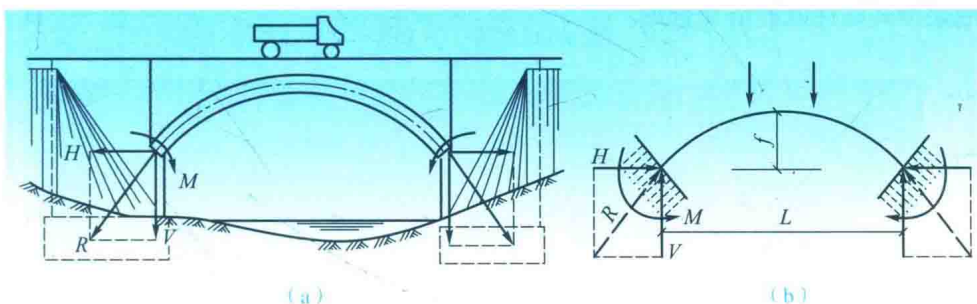


图6.7 拱式桥受力示意

(a) 桥跨给两侧桥台的反力(竖向力和水平推力);

(b) 移动荷载作用下的计算简图

L —拱式桥跨度; f —拱式桥矢高

图 6.8 分别表示上承式拱式桥(桥面在拱肋的上方)、中承式拱式桥(桥面一部分在拱肋上方,一部分在拱肋下方)与下承式拱式桥(桥面在拱肋下方)。

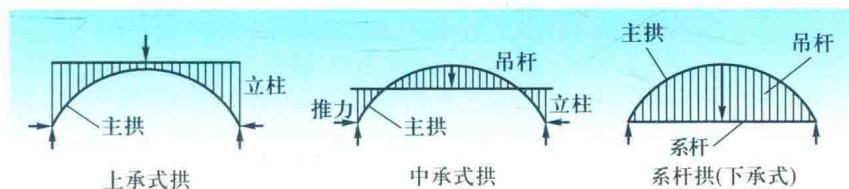
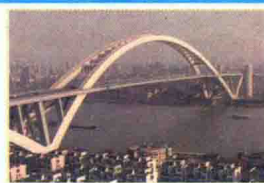


图6.8 拱式桥的组成

下承式拱式桥可做成系杆拱,即在拱脚处用一组称为系杆的纵向水平受拉杆件将两拱脚连接起来。此时作用于支座上的水平推力就由系杆来承受,支座不再承受水平方向的力。这样做可以减轻地基承受的荷载,特别是在地质状况不良时。



上海卢浦大桥

主跨 550 m, 全长 8 722 m。大桥主桥为全钢结构,建成时居世界同类桥梁之首,入选世界纪录协会世界最大跨度钢拱桥。主桥按 6 车道设计,引桥按六车道、四车道设计,设计航道净空为 46 m,通航净宽为 340 m。主拱截面世界最大,为 9 m 高,5 m 宽,桥下可通过 7 万吨级的轮船。它也是世界上首座完全采用焊接工艺连接的大型拱式桥。工程总投资 20 多亿元,2003 年 6 月 28 日建成通车。

6.3.3 刚架桥

刚架桥的外形与梁式桥相似。不过,与梁式桥不同的是,刚架桥是梁和立柱或竖墙完全刚结在一起的结构型式。在竖向荷载作用下,梁主要受弯,柱脚处有水平推力,受力状态介于梁式桥和拱式桥之间,其受力如图 6.9 所示。刚架桥一般可采用 T 形刚架桥、连续刚架桥、斜腿刚架桥三种类型。T 形刚架便于施加预应力,在两个伸臂端上挂梁后可做成很大跨度的刚架,在要跨越深水、深谷、大河急流的大跨桥梁中常被应用。连续刚架桥有较好的抗震性能。斜腿刚架造型轻巧美观,当建造跨越陡峭河岸和深邃峡谷的桥梁时,采用这类刚架型式往往既经济又合理。

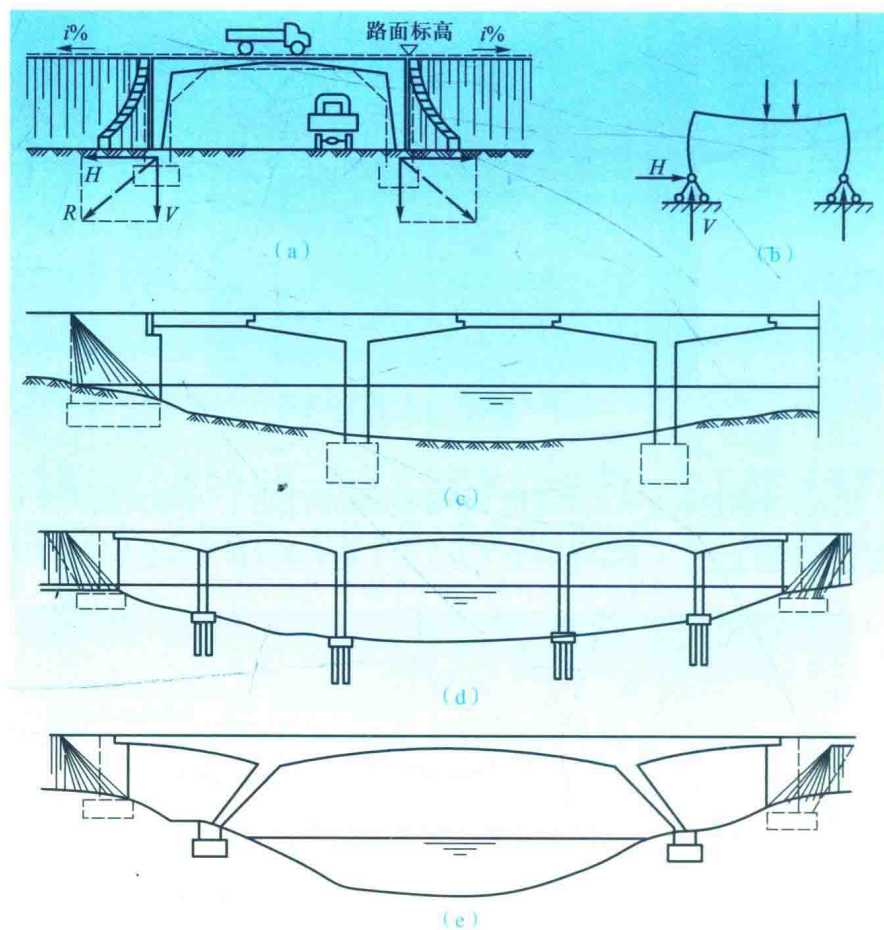


图6.9 刚架桥受力示意及其类型

(a) 受力示意; (b) 计算简图; (c) T形刚架桥; (d) 连续刚架桥; (e) 斜腿刚架桥

对于同样的跨径,在相同的外力作用下,刚架桥的跨中正弯矩比一般梁式桥要小。根据这一特点,刚架桥跨中的建筑高度就可以做得较小。这在城市中当遇到线路立体交叉或需要跨越通航江河时,采用这种桥型能尽量降低线路标高以改善桥的纵坡,当桥面标高已确定时,它能增加桥下净空。对刚架桥,通常是采用预应力混凝土结构。如图 6.10、图 6.11 所示。



图6.10 挪威Stolma桥

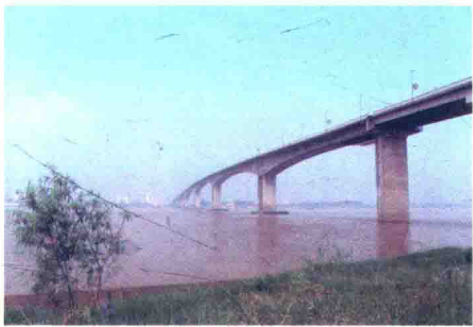


图 6.11 黄石长江大桥

6.3.4 斜拉桥

斜拉桥由斜拉索、塔柱和主梁组成。用高强钢材制成的斜拉索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和车辆荷载传至塔柱,再通过塔柱基础传至地基。与多孔梁桥对照起来看,一根斜拉索就是代替一个桥墩的(弹性)支点,从而增大了桥梁的跨度。斜拉桥这种结构型式古已有之。但是由于斜拉索中所受的力很难计算和控制,所以一直没有得到发展和广泛应用。直到 20 世纪中,由于电子计算机的出现,解决了索力计算难的问题,以及调整装置的完善,解决了索力的控制问题,使得斜拉桥在近 50 年内得到了大量应用。它是一种桥面体系(加劲主梁)受压弯,支承体系(斜拉索)受拉的结构。这样既可以充分利用



6.3.5 著名的斜拉桥

拉索的高强度钢材的抗拉性能,又可以显著减小主梁的截面面积,使得结构自重大大减轻,从而能建造大跨度的桥梁。斜拉桥的主梁和塔柱可以采用钢筋混凝土或型钢来建造。

斜拉桥根据跨度大小的要求及经济上的考虑,可以建成单塔式、双塔式或多塔式的不同类型。通常的对称断面及桥下净空要求较大时,多采用双塔式斜拉桥。斜拉桥根据纵向斜缆布置有辐射式、扇形、竖琴形、星形等多种形式,如图 6.12 所示。

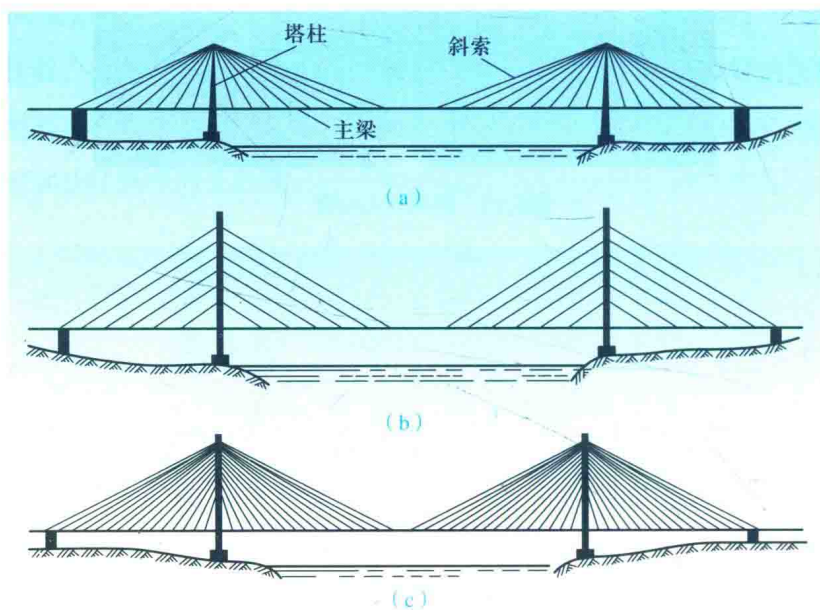


图6.12 斜拉桥的索型

(a) 辐射式; (b) 竖琴形; (c) 扇形

斜拉桥是 20 世纪 50 年代以来最富于想象力和构思内涵最丰富而引人注目的桥型,它具有广泛的适应性。斜拉桥作为一种拉索体系,比梁式桥有更大的跨越能力。由于拉索的自锚特性而不需要悬索桥那样巨大锚碇,加之斜拉桥有良好的力学性能和经济指标,已成为大跨度桥梁最主要桥型,在跨径 200 ~ 800 m 的范围内占据着优势,在跨径为 800 ~ 1 100 m 的特大跨径桥梁角逐竞争中,斜拉桥将扮演重要角色。

这里必须注意的是,斜拉桥的斜拉索是桥的生命线,至今国内外已发生过几起通车仅几年就因斜拉索腐蚀严重而导致全部换索的不幸工程实例。因此,如何保护斜拉索,确保其使用寿命,仍是当今桥梁工程界关注的课题。

我国自 1975 年四川云阳建成第一座主跨为 76 m 的斜拉桥,40 年过去了,



6.3.6 斜拉索风、雨激振视频

这种在第二次世界大战后复兴的桥型,在中国改革开放的形势下,得到了充分的发展和推广,至今已建成各种类型斜拉桥 100 多座,其中跨径大于 200 m 的有 52 座。多年来,我国在斜拉桥设计、施工技术、施工控制、斜拉索的防风、雨激振等方面,积累了丰富的经验。20 世纪 80 年代末,我国在总结加拿大安那西斯桥的经验基础上,于 1991 年建成了上海南浦大桥(主跨为 423 m,结合梁斜拉桥),开创了我国修建 400 m 以上大跨度斜拉桥的先河,大跨径斜拉桥如雨后春笋般地发展起来。

目前,我国已建成的香港昂船洲大桥和江苏苏通长江大桥,其主跨均达到 1 000 m 以上,斜拉桥建设技术有了新的突破,如图 6.13、图 6.14 所示。整体来说,我国斜拉桥设计施工水平已迈入国际先进行列,部分成果达到国际领先水平。

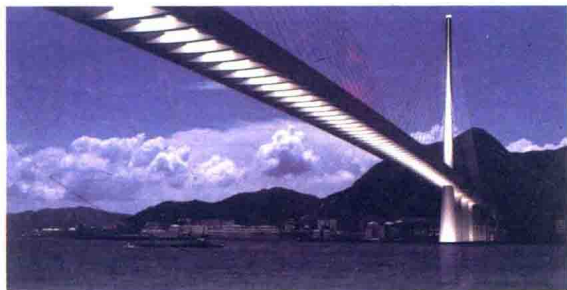


图6.13 香港昂船洲大桥



图6.14 苏通长江大桥



6.3.7 苏通长江大桥

6.3.5 悬索桥

悬索桥(也称吊桥)以悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构,如图 6.15 所示。和拱式桥的拱肋相反,缆索主要承受拉力作用。为了避免在



6.3.8 著名的悬索桥

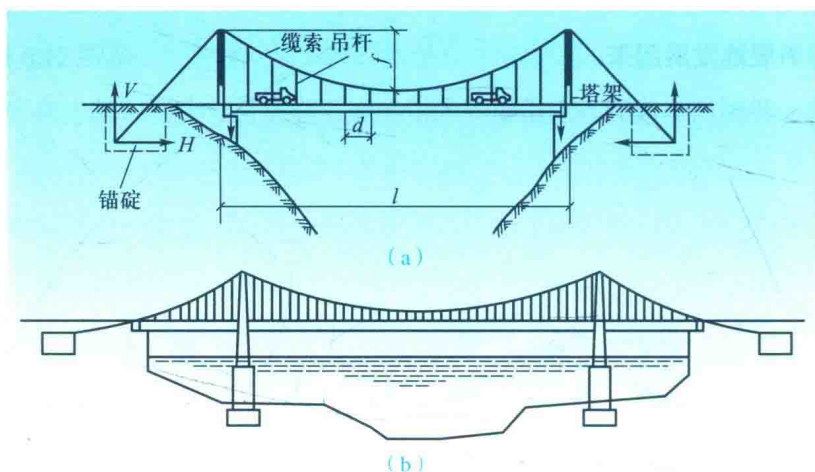


图6.15 悬索桥受力示意图

由于悬索桥可以充分利用材料的强度,并具有用料省、自重轻的特点,悬索桥在各种体系桥梁中的跨越能力最大,跨径可以达到 1 000 m 以上。当跨径大于 800 m,悬索桥方案具有很大的竞争力。

现代悬索桥从 1883 年美国建成布鲁克林桥(主跨 486 m)开始,至今已有 120 年历史。20 世纪 30 年代,相继建成的美国乔治华·盛顿桥(主跨 1 067 m)和旧金山金门大桥(主跨 1 280 m)使悬索桥的跨度超过了 1 000 m。1964 年英国塞文桥(主跨 988 m)首先选用流线型扁平钢箱梁,增大了桥梁抗风性能和抗扭刚度,且用钢量少、维护了方便,得到了推广。

随着世界经济快速发展,悬索桥的建造到了鼎盛时期。20 世纪 60 年代前后,美国相继建成的麦基纳克桥(主跨 1 158 m)、韦拉扎诺桥(主跨 1 298 m);20 世纪 80 年代,英国建成了亨伯桥(主跨 1 410 m);20 世纪 90 年代,丹麦建成了大海带桥(主跨 1 624 m)、瑞典建成了滨海高大桥(主跨 1 210 m);日本于 1998 年建成了世界最大跨度的明石海峡大桥(主跨 1 991 m),将悬索桥跨径从 20 世纪 30 年代的 1 000 m,历经 70 年,最大跨径已达到近 2 000 m,如图 6.16 所示。



6.3.9 塔科马桥风毁视频



图6.16 日本明石海峡大桥

我国在悬索桥建设方面犹如异军突起, 1995 年在国内率先建成汕头海湾大桥 (主跨 452 m) 后, 又相继建成西陵长江大桥 (主跨 900 m)、虎门大桥 (主跨 888 m)、宜昌长江大桥 (主跨 960 m)、江阴长江大桥 (主跨 1 385 m)、香港青马大桥 (主跨 1 377 m) 等大跨度悬索桥, 2009 年建成的舟山西堠门大桥的主跨已达到 1 650 m, 如图 6.17 所示。



图6.17 舟山西堠门大桥



西堠门大桥是连接舟山本岛与宁波的舟山连岛工程的一部分, 是五座跨海大桥中技术要求最高的特大型跨海桥梁, 主桥为两跨连续钢箱梁悬索桥, 主跨 1 650 m, 目前位居悬索桥世界第二、中国第一, 其中钢箱梁全长在悬索桥中居世界第一。设计通航等级 3 万吨、使用年限 100 年。2009 年 12 月 25 日, 西堠门大桥正式通车。

舟山是台风多发区, 西堠门大桥位于受台风影响频繁的海域。为了保证大桥的抗风稳定性, 西堠门大桥采用了分体式双箱梁。这不仅在中国是首次, 也是世界上第一座采用分体式双箱断面钢箱梁的悬索桥。

6.3.6 组合体系桥

除了以上这些基本桥型外, 工程中还常采用这几种基本桥型的组合结构, 如梁和拱的组合体系, 斜拉索和悬索的组合体系等。采用组合体系桥的目的在于充分利用各种形式桥梁的受力特点, 发挥其优越性, 建造出符合要求、外观美丽的桥梁来。

6.4 桥墩与桥台

桥梁的支承结构为桥墩与桥台。桥墩是多跨桥的中间支承结构，桥台是桥梁两端桥头的支承结构，是道路与桥梁的连接点。桥墩和桥台都是由台（墩）帽、台（墩）身和基础组成。

6.4.1 桥墩的类型

桥墩的作用是支承上部结构通过支座传来的竖向力和水平力。由于桥墩建筑在江河之中，因此它还要承受流水压力，水面以上的风力和可能出现的冰压力，船只等的撞击力。所以桥墩在结构上必须有足够的强度和稳定性，在布设上要考虑桥墩与河流的相互影响，即水流冲刷桥墩和桥墩壅水的问题。在空间上应满足通航和通车的要求。

一般公路桥梁常采用的桥墩类型根据其结构形式可分为实体式（重力式）桥墩、空心式桥墩和桩（柱）式桥墩，如图 6.18 所示。



6.4.1 桥墩类型

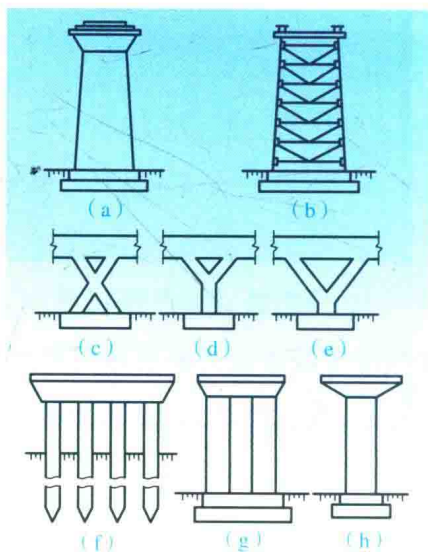


图 6.18 桥墩示例

(a) 重力式；(b) 构架式；(c) X形；(d) Y形；(e) V形；
(f) 柱式；(g) 双柱式；(h) 单柱式

6.4.2 桥台的类型

桥台是两端桥头的支承结构物，它是连接两岸道路的路桥衔接构造物。它既要承受支座传递来的竖向力和水平力，还要挡土护岸，承受台后填土及填土上荷载产生的侧向土压力。因此，桥台必须有足够的强度，并能避免在荷载作用下发生过大的水平位移、转动和沉降，这在超静定结构桥梁中尤为重要。当前，我国公路桥梁的桥台有实体式桥台和埋置式桥台等形式，如图 6.19 所示。

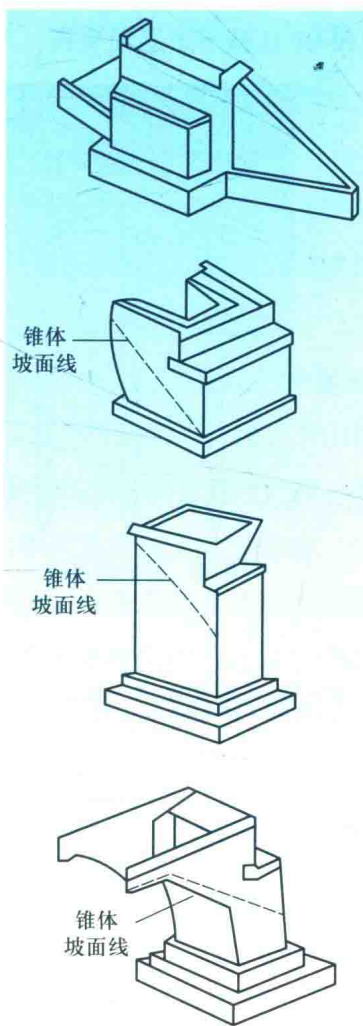
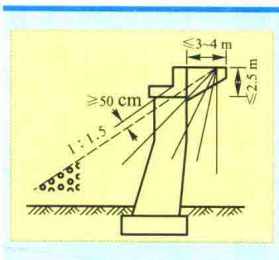


图6.19 桥台示例



6.4.2 桥台类型

6.5 桥梁基础

桥梁的基础承担着桥墩（台）、桥跨结构（桥身）的全部重量及桥上的可变荷载。桥梁基础往往修建于江河的流水之中，遭受水流的冲刷。所以，桥梁基础一般比房屋基础的规模大，需要考虑的问题多，施工条件也困难。

桥梁基础的类型有刚性扩大基础、桩基础（图 6.20）和沉井基础等。在特殊情况下，也用气压沉箱基础。

具体内容可见第 3 章。

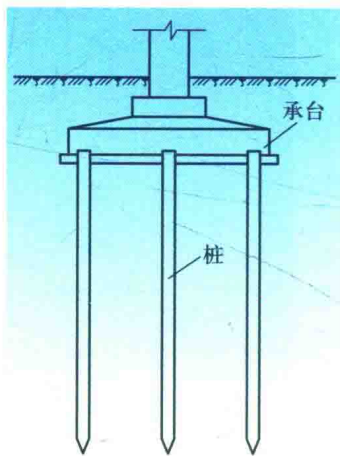


图6.20 桥的桩基础

6.6 桥梁技术的发展方向

1. 大跨度桥梁向更长、更大、更柔的方向发展

研究大跨度桥梁在风、地震和行车动力作用下的结构安全性，研究适应空气动力学要求的各种流线型加劲梁。

采用以斜缆为主的空间网状承重体系。

采用悬索加斜拉的混合体系。

采用轻型而刚度大的复合材料做加劲梁，采用自重轻、强度高的碳纤维材料做主缆。

2. 新材料的开发和应用

新材料应具有高强、高弹模、轻质的特点,研究超高强硅酸盐和聚合物混凝土、高强双相钢丝钢纤维增强混凝土、纤维塑料等一系列材料取代目前桥梁用的钢和混凝土。

3. 设计阶段的发展

提升桥梁设计理念,完善公路桥梁抗风、抗震等减灾防灾设计方法,建立健全公路桥梁全寿命周期设计理论,研究基于BIM(建筑信息模型)技术的桥梁设计。

4. 大型深水基础工程

针对超大跨越建设需求,需要研发水深超过70 m的大型深水基础工程,以提高桥梁的跨越能力、支撑超大跨度结构体系的创新。

5. 自动监测和管理

研究高精度、长寿命、智能化传感器,发展桥梁关键性能指标长期跟踪监测技术,构建桥梁健康诊断及性能和抗力衰变监测技术体系与标准。

6. 重视桥梁美学及环境保护,注重功能拓展

桥梁是人类最杰出的建筑之一,闻名遐迩的美国旧金山金门大桥、澳大利亚悉尼港桥、英国伦敦桥、日本明石海峡大桥、舟山西堠门大桥、苏通长江大桥、江阴长江大桥、上海杨浦大桥、南京长江二桥、香港青马大桥等,这些著名大桥都是一件件宝贵的空间艺术品,成为陆地、江河、海洋和天空的景观,成为城市标志性建筑。因此,未来的桥梁结构必将更加重视建筑艺术造型,重视桥梁美学和景观设计,重视环境保护,达到人文景观同环境景观的完美结合。



厄勒海峡大桥

厄勒海峡大桥连接丹麦和瑞典,是一座由桥梁、人工岛、海底隧道构成的世间罕见的大桥,全长16 km。获国际桥梁与结构工程协会颁发的“杰出结构工程奖”。



6.6.1 拓展阅读的参考文献

学习与思考

1. 桥梁结构的基本体系及其受力特点是什么?
2. 桥梁设计有哪些要点?
3. 哪种桥型的跨越能力最强,为什么?
4. 桥墩和桥台在受力上有何异同之处?



第7章

港口工程

- 7.1 港口的定义
- 7.2 港口的分类
- 7.3 港口的主要特征指标
- 7.4 港址的选择
- 7.5 港口的组成
- 7.6 港口的布置
- 7.7 码头建筑
- 7.8 防波堤
- 7.9 港口仓库与货场
- 7.10 我国港口工程未来的发展前景

(1) 港湾

具有天然掩护的自然港湾(有时也辅以人工措施),可供船只停泊或临时避风的地方。如广州湾、洋浦港、龙门港等。



广州湾

(2) 避风港

供船舶在航行途中,或海上作业过程中躲避风浪的港口。一般是为小型船、渔船和各种海上作业船设置。

(3) 海港

自然地理条件和水文气象方面具有海洋性质的港口。又可分为:

① 海岸港:位于有掩护或平直的海岸上。属于前者大多位于海湾中或海岸前,有沙洲掩护。如旅顺军港、湛江港等。若天然掩护不够,则需加筑外堤防护,如烟台港。位于平直海岸上的港一般都需要筑外堤掩护,如塘沽新港。

② 河口港:位于入海河流河口段,或河流下游潮区界内。历史悠久的著名大港多属此类。如我国的黄埔港。国外的鹿特丹港、纽约港、伦敦港和汉堡港均属于河口港。

(4) 河港

位于河流沿岸,且有河流水文特征的港口称为河港。如我国的南京港、武汉港和重庆港均属于此类。它可供内河运输船舶编解队、装卸作业、旅客上下和补给燃物料等。

7.1 港口的定义

港口是综合运输系统中水陆联运的重要枢纽。港口有一定面积的水域和陆地供船舶出入和停泊,是货物和旅客集散并变换运输方式的场地,是为船舶提供安全停靠、作业的设施,并为船舶提供补给、修理等技术服务和生活服务的场地。

7.2 港口的分类

港口可按多种方法分类:按所在位置可分为海岸港、河口港、内河港、水庫港,海岸港和河口港统称为海港;按用途可分为商港、军港、渔港、工业港和避风港;按成因可分为天然港和人工港;按港口水域在寒冷季节是否冻结可分为冻港和不冻港;按潮汐关系、潮差大小,是否修建船闸控制进港,可分为闭口港和开口港。

7.3 港口的主要特征指标

港口的主要特征指标主要有港口水深、码头泊位数、码头线长度及货物吞吐量。

1. 港口水深

港口水深是港口的重要标志之一,表明港口条件和可供船舶使用的基本界限。增大水深可接纳吃水更大的船舶,但会增加挖泥量,增加港口水工建筑物的造价和维护费用。

2. 码头泊位数

码头泊位数根据货种分布确定。除提供装卸货物和上下旅客所需的泊位数,在港内还要有辅助船舶和修船码头的泊位。

3. 码头线长度

码头线长度根据可能同时停靠码头的船长和船舶间的安全间距确定。

4. 货物吞吐量

指在一定时期内由水运进出港区范围,并经过装卸的货物数量。它是衡量港口生产任务的主要指标,是进行港口规划建设的依据。

港口的规模一般按年吞吐量划分,年吞吐量大于 3 000 万吨的为特大型港口,年吞吐量在 1 000 至 3 000 万吨之间的为大型港口,小于 1 000 万吨的为中小型港口。

7.4 港址的选择

港址选择是一项重要而复杂的工作,好的港址是一个港口合理发展的基础,将直接影响港口各发展阶段的建设投资大小、建设速度、营运效益和船舶安全运行,对城市发展也会产生影响。一个成功的港口选址工作应至少满足以下基本要求:

- ① 有广阔的经济腹地,并保证与腹地有方便的交通运输联系;
- ② 有发展空间,一般至少考虑未来 30 年的发展;
- ③ 满足船舶航行和停泊要求;
- ④ 有足够的岸线长度、水域及陆域面积;
- ⑤ 港口水域宜选在有天然掩护、浪和流作用小以及泥沙运动较弱的地区;
- ⑥ 港址宜选在地质条件较好及对抗震相对有利的地段;
- ⑦ 尽量利用荒地,并对附近水域的生态环境不产生不利影响。

7.5 港口的组成

港口由水域和陆域两大部分组成(图 7.1)。水域包括进港航道、港池和锚地。天然掩护条件较差的海港须建造防波堤。港口陆域岸边建有码头,岸上设港口仓库、堆场、港区铁路和道路,并配有装卸和运输机械,以及其他各种辅

(5) 水库港

建于大型水库沿岸的港口。水库港受风浪影响较大,常建于有天然掩护的地区。水位受工农业用水和河道流量调节等的影响,变化较大。

(6) 湖港

位于湖泊沿岸或江河入湖口处的港口。一般水位落差不大,水面较平稳,水域宽阔,水深较大,是内河、湖泊运输和湖上各种活动的基地。



纽约港

美国最大的海港,世界最大海港之一。位于美国东北部哈得孙河口,东临大西洋。



大连港

建于 1898 年,位于辽宁省辽东半岛的南端,是天然不冻的良港,亦是中国南北水陆交通运输枢纽和重要国际贸易港口之一,在国际贸易和国内物资交流方面起着重要作用。大连港现有 7 个专业装卸作业区,48 个泊位,最大水深为 17.5 m,港口水域面积为 310 多 km^2 ,陆地面积为 4.7 km^2 ,仓库 40 座,面积 $27 \times 10^4 \text{ m}^2$,货场 $86 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。



7.5.1 纽约港



7.5.2 大连港

转头水域：又称回旋水域。船舶在靠离码头、进出港口需要转头或改换航向时而专设的水域。其大小与船舶尺度、转头方式、水流和风速风向有关。船舶凭借拖轮协助进行转头时，旋转内接圆直径一般为最大船舶总长度。船在流水区转头（如内河），其回转轨迹呈椭圆形，长径随流速大小而不同，最大可达2~3倍船长。转头水域一般可以与港内航行水域合并在一起布置。

转头水域的深度，在海港和河口港，最小水深一般按大型船舶乘潮进出港口的原则考虑；在内河港，最小水深一般不大于航道控制段最小通航水深。

助设施和生活设施。

水域是供船舶航行、运转、锚泊和停泊装卸之用，要求有适当的深度和面积，水流平缓，水面稳静。陆域是供旅客上下船、货物装卸、货物堆存和转载之用，要求有适当的高程、岸线长度和纵深。

港口水域可分为港外水域和港内水域。

港外水域包括进港航道和港外锚地。有防波堤掩护的海港，在口门以外的航道称为港外航道。港外锚地供船舶抛锚停泊，等待检查及引水。

港内水域包括港内航道、转头水域、港内锚地和码头前水域或港池。

为了克服船舶航行惯性，要求港内航道有一个最低长度，一般不小于3~4倍船长。船舶由港内航道驶向码头或者由码头驶向航道，要求有能够进行回转的水域，称为转头水域。在内河港口，为便于控制，船舶逆流靠离岸（图7.2 a）。当船舶从上游驶向顺岸码头时，先调头，再靠岸；当船舶离开码头驶往下游时，要逆流离岸，然后再调头行驶（图7.2 b）。为此，要求顺岸码头前水域有足够宽度。

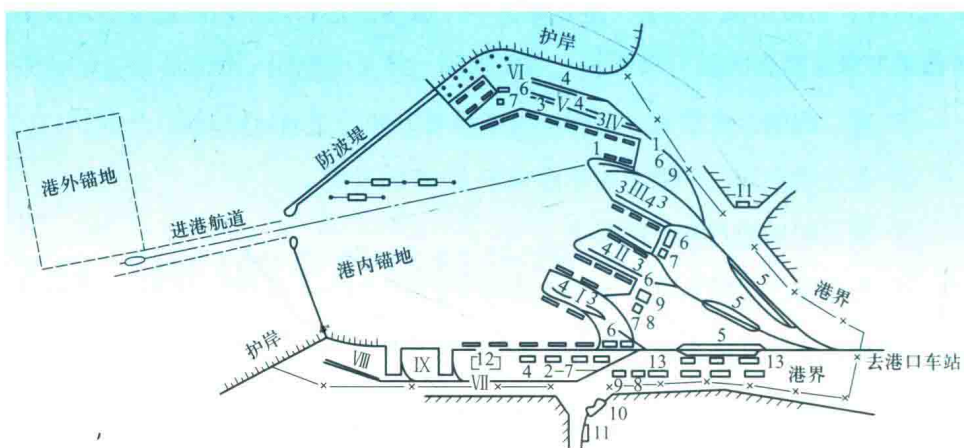


图7.1 海港平面布置图

- I—件杂货码头；II—木材码头；III—矿石码头；IV—煤炭码头；V—矿物建筑材料码头；
VI—石油码头；VII—客运码头；VIII—工作船码头及航修站；IX—工程维修基地；
1—导航标志；2—港口仓库；3—露天货场；4—铁路装卸线；5—铁路分区调车场；
6—作业区办公室；7—作业区工人休息室；8—工具库房；9—车库；10—港口管理局；
11—警卫室；12—客运站；13—储存仓库

供船舶停靠和装卸货物用的毗邻码头水域，称为码头前水域或港池。它必须有足够的深度和宽度，使船舶能方便地靠岸和离岸，并进行必要的水上装卸

作业。有突堤码头间的港池和顺岸码头前的港池（图 7.3），后者不应占用航道。

海港港内锚地（图 7.1）供船舶避风停泊，等候靠岸及离港，进行水上由船转船的货物装卸。河港锚地供船舶解队及编队，等候靠岸及离港，进行水上装卸。在河口港及内河港，水上装卸的货物常构成港口吞吐量的重要组成部分。

为了保证船舶安全停泊及装卸，港内水域要求稳静。在天然掩护不足的地點修建海港，需建造防波堤，以满足泊稳要求。

港口陆域则由码头、港口仓库及货场、铁路及道路、装卸及运输机械、港口辅助生产设备等组成。

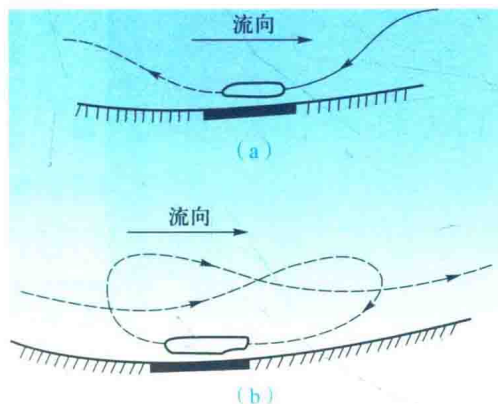


图7.2 逆流（顺流）靠离岸

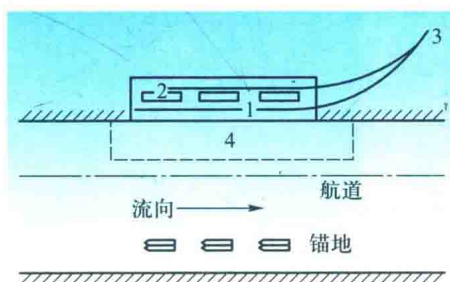


图7.3 河口港

1—码头；2—仓库；3—铁路；4—港池

7.6 港口的布置

港口布置必须遵循统筹安排、合理布局、远近结合、分期建设等原则，图 7.4 为开敞海岸上的港口平面示意图，其特点是水域广阔，具有二个口门，能使船舶适应更多的风浪方向而安全顺利地进入港内。

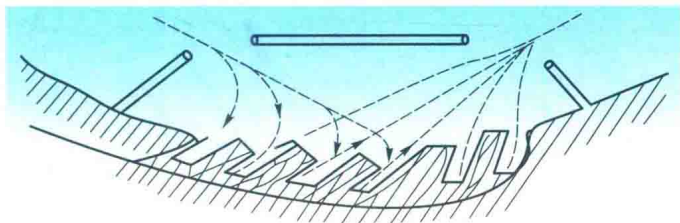


图7.4 开敞海港平面示意图



7.5.3 维多利亚港



7.5.4 新加坡港



迪拜棕榈岛工程

由 300 多个人工小岛组成，这些岛上将设有酒店以及各种休闲旅游设施，整个工程项目的规模堪称现代“世界第八大奇迹”。

港口腹地：指港口吞吐货物和旅客集散所涉及的范围。

吞吐量不平衡系数：是测定港口建设规模和通过能力的一个重要参数。是反映港口吞吐量不平衡的一种指数，通常应用最多的是吞吐量月不平衡系数。是最大月吞吐量与全年平均月吞吐量之比。

泊位能力：指一个泊位在一年中能够装卸货物的最大吞吐量。它是确定港口通过能力的主要组成部分。确定了泊位能力，港口规划中根据港口吞吐任务，可计算所需要的码头泊位数和码头线长度。

库(场)通过能力：指港区仓库或货场在一年中能够通过的最大货物数量。

港口通过能力：指在港口一定设备条件下，在一定的时间(年、月、日)内装卸船舶所能完成的货物最大数量，港口通过能力是港口所有泊位通过能力的总和，须在分货类计算的基础上进行。港口通过能力主要由泊位、库场、铁路装卸线、道路等部分组成。

港口不同的布置方案在许多方面会影响到国家或地区发展的整个进程。如图 7.5 所示的是一些港口布置的形式，这些形式可分为三种基本类型：自然地形的布置(图 7.5 中的 f、g、h)，也可称为天然港；挖入内陆的布置(图 7.5 中的 b、c、d)；填筑式的布置(图 7.5 中 a、e)。

挖入内陆的布置形式，一般说，为合理利用土地提供了可能性。在泥沙质海岸，当有大片不能耕种的土地时，宜采用这种建港形式。但这种布置(图 7.5 b)，狭长的航道可能使侵入港内的波高增加，因此必须进行模型研究。

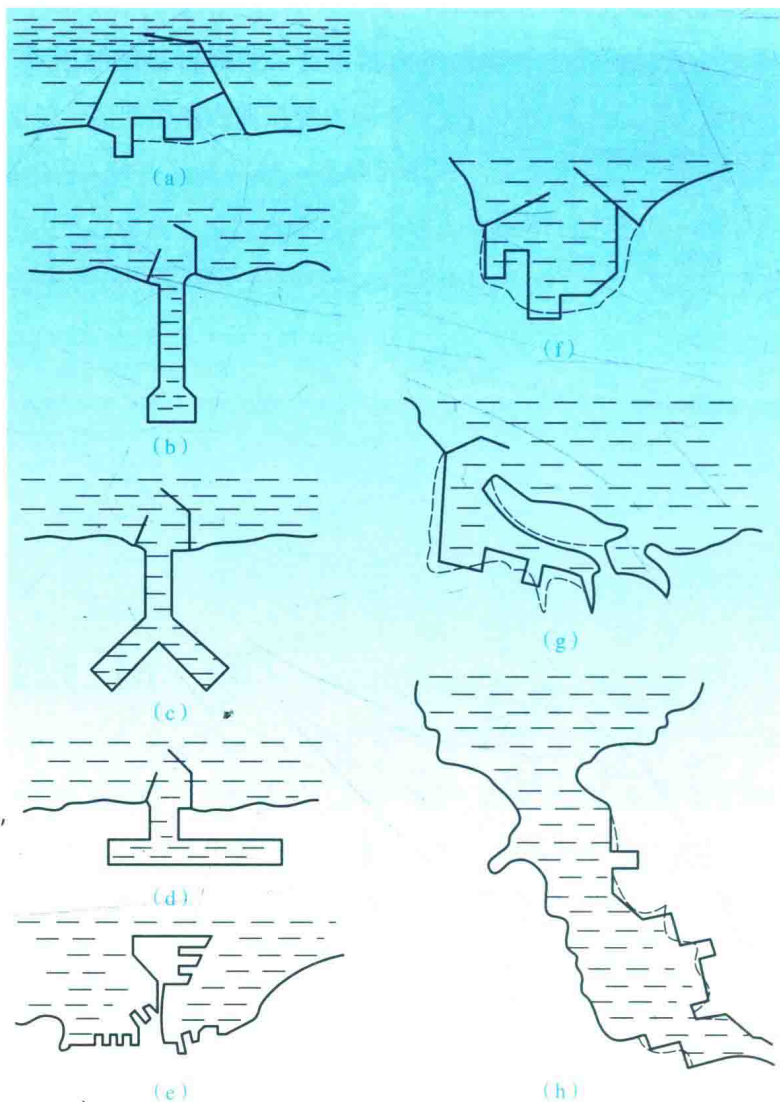


图7.5 港口布置的基本类型

(a)突出式(虚线表示原海岸线)；(b)挖入式航道和调头地；(c)Y形挖入式航道；(d)平行的挖入式航道；(e)老港口增加人工港岛；(f)天然港的建设；(g)天然离岸岛的建设；(h)河口港的建设

如果港口岸线已充分利用,泊位长度已无法延伸,但仍未能满足增加泊位数的要求,这时,只要水域条件适宜,便可采用图 7.5 e 的解决方法,即在水域中填筑一个人工岛。近年来,日本常采用这种办法扩建深水码头和在海中填筑临港工业用地。

在天然港的情况下,如果疏浚费用不太高,则图 7.5 h 所示的河口港可能是单位造价最低而泊位数最多的一种形式。

7.7 码头建筑

码头是供船舶系靠、装卸货物或上下旅客的建筑物的总称,它是港口中主要水工建筑物之一。

7.7.1 码头的布置形式

码头的平面布置形式根据岸线自然条件及作业条件等可分为以下常见的五种布置形式:

1. 顺岸式

码头的前沿线与自然岸线大体平行,在河港、河口港及部分中小型海港中较为常用。其优点是陆域宽阔、疏运交通布置方便,工程量较小。图 7.6 表示了顺岸码头几种常见的布置形式。

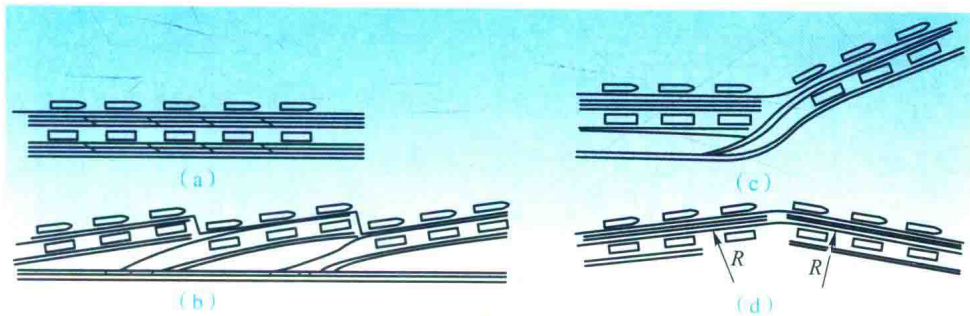


图7.6 顺岸码头的布置形式

2. 突堤式

码头的前沿线布置成与自然岸线有较大的角度,如大连、天津、青岛等港



鹿特丹港

是世界上最大的港口,是一个完备的综合性港口,它包括河港和海港、外港、约 50 个船渠和碇泊场等。



7.7.1 鹿特丹港

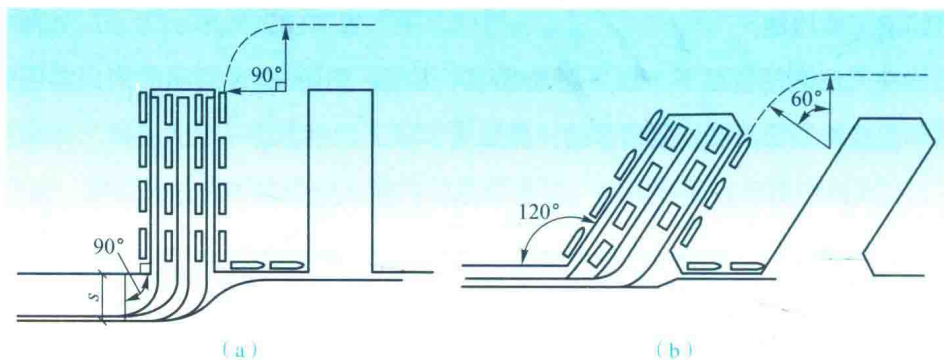


图7.7 突堤与顺岸结合部位的布置

(a) 直突堤; (b) 斜突堤

3. 挖入式

港池由人工开挖形成, 在大型的河港及河口港中较为常见, 如德国汉堡港、荷兰的鹿特丹港等。挖入式港池布置, 也适用于泻湖及沿岸低洼地建港, 利用挖方填筑陆域, 有条件的码头可采用陆上施工。近年来日本建设的鹿岛港、中国的唐山港均属这一类型。

4. 开敞式

该类码头一般布置在离岸较远的深水区, 无防波堤或其他天然屏障掩护。随着船舶大型化和高效率装卸设备的发展, 外海开敞式码头已被逐步推广使用, 并且已被应用于大型散货码头, 我国石臼港煤码头和北仑港矿石码头均属这种类型。

5. 岛式港

此外, 在岸线有限制或沿岸浅水区较宽的港口以及某些特殊要求的企业(如石化厂), 岛式港方案已在开始发展, 日本建成的神户岛港属于这一类型。



北仑港

是我国第一座 10 万吨级的矿石转运码头。



7.7.2 金山港

7.7.2 码头型式

码头按其前沿的横断面外形有直立式、斜坡式、半直立式和半斜坡式(图 7.8)。

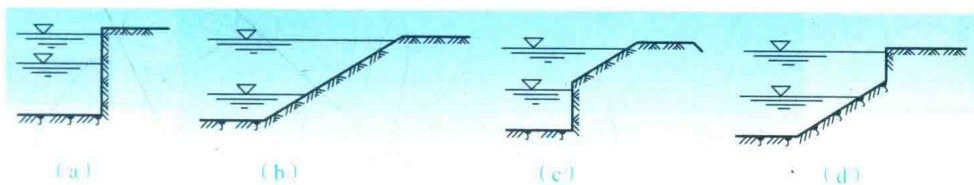
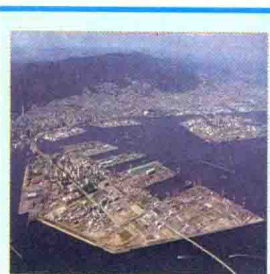
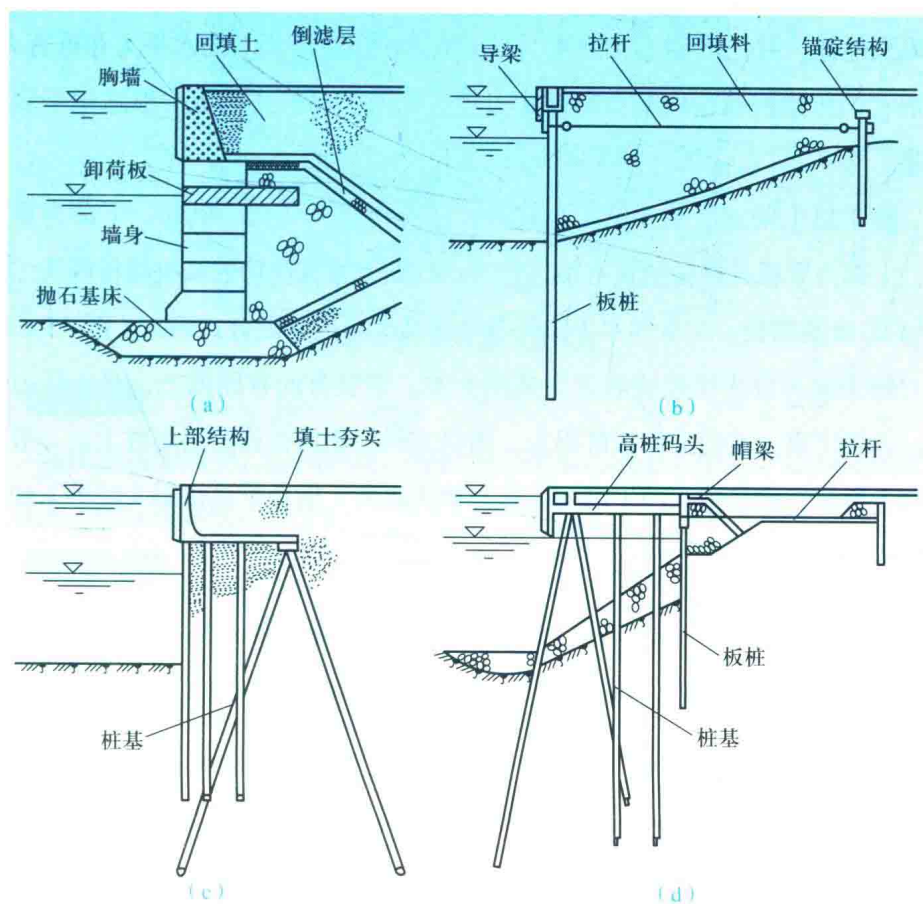


图7.8 码头断面形式

(a) 直立式; (b) 斜坡式; (c) 半直立式; (d) 半斜坡式

直立式码头岸边有较大的水深、便于大船系泊和作业,不仅在海港中广泛采用,在水位差不太大的河港也常采用;斜坡式适用于水位变化较大的情况,如天然河流的上游和中游港口;半直立式适用于高水时间较长而低水时间较短的情况,如水库港;半斜坡式适用于枯水时间较长而高水时间较短的情况,如天然河流上游的港口。

码头按结构形式可分为重力式、板桩式、高桩式和混合式(图7.9)。重力式码头(图7.9 a)是靠自重(包括结构重量和结构范围内的填料重量)来抵抗滑动和倾覆的。这种结构一般适用于较好的地基。



7.7.3 日本的神户岛港

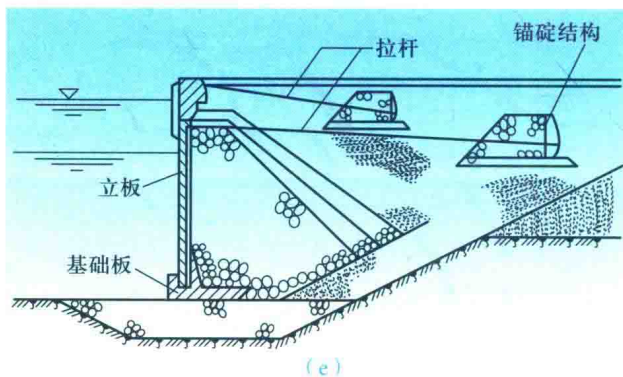


图7.9 码头的结构形式

(a) 重力式码头; (b) 板桩式码头; (c) 高桩式码头; (d) 混合式码头; (e) 混合式码头

板桩式码头(图 7.9 b)是靠打入土中的板桩来挡土的,它受到较大的土压力。为了减小板桩的上部位移和跨中弯矩,上部一般用拉杆拉住,拉杆力传给后面的锚碇结构。由于板桩是一较薄的构件,又承受较大的土压力,所以板桩式码头目前只用于墙高不大的情况,一般在 10 m 以下。

高桩式码头(图 7.9 c)主要由上部结构和桩基两部分组成。上部结构构成码头地面,并把桩基连成整体,直接承受作用在码头上的水平力和垂直力,并把它们传给桩基,桩基再把这些力传给地基。高桩式码头一般适用于软土地基。

除了以上阐述的主要结构形式外,还有混合式结构。例如,下部为重力墩,上部为梁板式结构的重力墩式码头,后面为板桩结构的高桩栈桥码头(图 7.9 d),由基础板、立板和水平拉杆及锚碇结构组成的混合式码头(图 7.9 e)。

码头又可分为岸壁式和透空式两大类。岸壁背面有回填土,受土压力作用,如顺岸重力式码头和板桩码头。透空式码头建筑在稳定的岸坡上,一般没有挡土部分,或有独立挡土结构,如高桩式码头(前板桩高桩码头除外)和墩式栈桥码头等。

7.8 防波堤

防波堤的主要功能是为港口提供掩护条件,阻止波浪和漂沙进入港内,保持港内水面的平稳和所需要的水深,并兼有防沙、防冰的作用。



防波堤

为防御波浪、泥沙、冰凌入侵,形成一个掩护水域所需要的水工建筑物或其他设施。它是在建港的自然条件不能满足其掩护水域的需要时建造的,使掩护水域有足够的水深和平稳的水面,既能保证船舶的系泊、装卸和航行的安全,又能保护海港的各种装备与设施,是海港工程的重要组成部分。一般规定港内的容许波高在 0.5~1.0 m



7.8.1 防波堤的平面布置

防波堤的平面布置,因地形、风浪等自然条件及建港规模要求等而异,一般可分有四大类型(图 7.10)。

1. 单突堤

单突堤系在海岸适当地点筑堤一条,伸入海中,使堤端达适当深水处。

2. 双突堤

双突堤系自海岸两边适当地点,各筑突堤一道伸入海中,遥相对峙,而达深水线,两堤末端形成一突出深水的口门,以围成较大水域,保持港内航道水深。

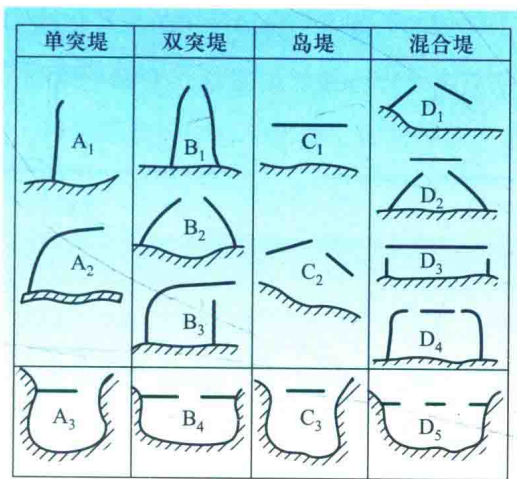


图7.10 防波堤布置形式

3. 岛堤

岛堤系筑堤海中,形同海岛,专拦迎面袭来的波浪与漂沙。堤身轴线可以是直线、折线或曲线。

4. 组合堤

组合堤亦称混合堤,系由突堤与岛堤混合应用而成。大型海港多用此类堤式。

7.8.2 防波堤的类型

防波堤按其构造形式(或断面形状)及对波浪的影响有斜坡式、直立式、

之间,具体按水域的不同部位、船舶的不同类型与吨位的需要确定。防波堤常由一、二道与岸连接的突堤或不连接的岛堤组成,或由突堤和岛堤共同组成。防波堤掩护的水域常有一个或几个口门供船只进出。

当波浪频率比较集中在某一方位,泥沙运动方向单一,或港区一侧已有天然屏障时可采用 A_1 或 A_2 式, A_3 式适用于海岸已有天然湾澳,其水域已足以满足港区使用的情况。

B_1 式双突堤用于海底平坦的开敞海岸,形成狭长而突出的港内水域, B_2 式用于海底坡度较陡,希望形成较宽港区的中型海港, B_3 式多建于迎面风浪特大,海底坡度较陡而水深之海岸, B_4 式为海岸已有天然湾澳,湾口中央为深水的情况。

C_1 式岛堤适用于海岸平直、水深足够、风浪迎面而方向变化范围不大的情况, C_2 式适用于港址海岸稍具湾形而水深的情况, C_3 式用于已有足够宽的水域之湾澳,两岸水较深而湾口有暗礁或沙洲。

D_1 式系因突堤端有回浪而必须再建岛堤以阻挡, D_2 式系岛堤建于双突堤口外,以阻挡强波侵入港内, D_3 式适合于岸边水深大,海底坡度甚陡的地形, D_4 式适用于岸边水深不大,海底坡度平缓,须借防浪堤在海中围成大片港区的情况, D_5 式适用于已有良好掩护并足够开阔的天然湾澳,可建成大型海港。

(1) 斜坡式防波堤

在我国使用最广泛,对地基沉降不甚敏感,易于修复,对地基承载力的要求较低,施工较简单。但需要的材料较多,堤的内侧不能用作靠船码头。

(2) 直立式防波堤

适用于海底土质坚实、地基承载能力较好和水深大于波浪破碎水深的情况。它有材料省,内侧可靠船的优点。但有消波效果较差,地基应力较大的缺点。

(3) 混合式防波堤

是直立式上部结构和斜坡式堤基的综合体。可减少直立墙高度和地基压力,斜坡式堤基断面不必过大,所以,比较经济合理。

(4) 透空式防波堤

材料节省经济,特别适用于水深较大、波浪较小的条件。但透空式堤不能阻止泥沙入港,也不能减小水流对港内水域的干扰。

(5) 浮式防波堤

不受地基基础的影响,可随水位的变化而上下,适合于波浪较陡和水位变化幅度较大的场合,由于易于拆迁,因而可以用作临时工程的防浪措施。

(6) 喷气消波设备

是利用水下管中喷出的空气与水掺和所形成的空气帘幕来削减波浪的。但需要的费用较高。

新式防波设备还有塑料帘幕和浮毯等形式。帘幕破坏波浪水质点的轨道运动,浮毯的原理与浮式防波堤类似。

混合式、透空式和浮式,以及喷气消波设备和喷水消波设备等多种类型,如图7.11所示。

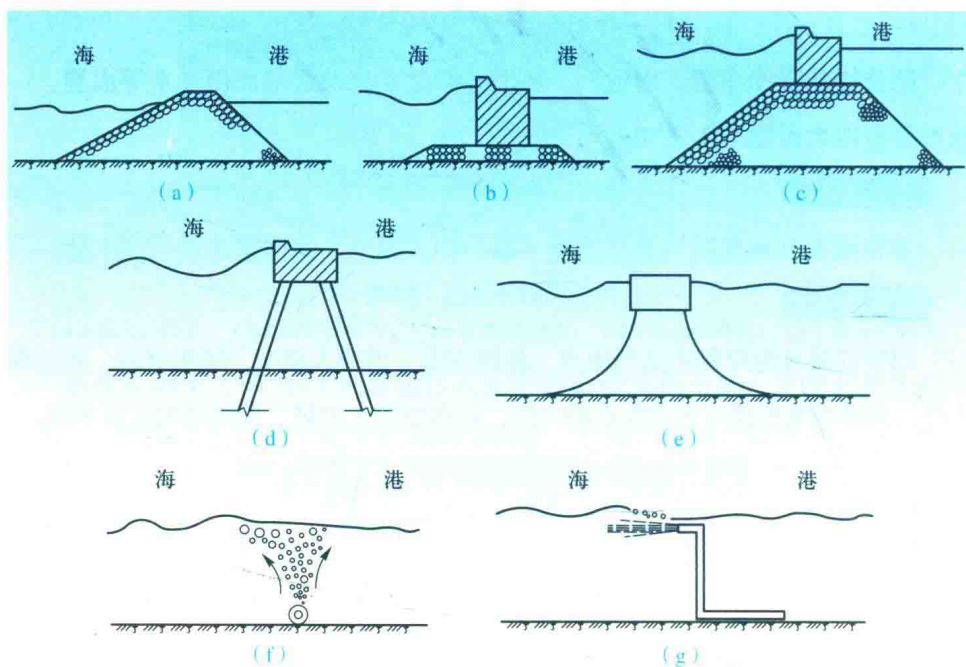


图7.11 防波堤类型

(a) 斜坡式; (b) 直立式; (c) 混合式; (d) 透空式;
(e) 浮式; (f) 喷气消波设备; (g) 喷水消波设备

防波堤型式的选用,应根据当地情况,如海底土质、水深大小、波浪状况、建筑材料、施工条件等,以及使用上的不同要求,经方案比较决定。

7.9 港口仓库与货场

港口是货物的集散点,也是车船换装的地方。仓库、货场是港口的储存系统,其主要作用是加速车船周转,提高港口吞吐能力。出口的货物通常是分批陆续到港,需在港口聚集成批,等待装船;进口货物由于种类繁多,收货人及收发地点也各不相同,一般需在港口进行检查、分类,有时还需进行包装整理等,因此港口必须建有足够数量的仓库和货场,并实现设计的要求。

港口的仓库与货场应满足的要求:

① 仓库、货场的容积和通过能力必须与码头线的通过能力相适应:

② 库场的位置必须与货物装卸工艺流程、铁路和道路布置统一考虑,港

口的仓库通常与码头平行布置；

③ 仓库的构造和性质必须适应货物性质，能保护货物，方便库内运输及货物的收发，并满足防火、防潮和通风等要求；

④ 仓库结构应经济耐用。

7.10 我国港口工程未来的发展前景

改革开放以来，中国的港口建设与港口经济，成为全国经济发展的一颗明珠，必将在推动中国经济发展中起到愈来愈重要的作用，港口已成为我国对外开放的门户和窗口，对外开放的港口已有 140 多个，中国已与 50 多个国家签订了海运协定，已有 30 多个国家近百家境外航运公司获准在中国港口开辟集装箱班轮航线。我国上海国际航运中心深水港工程是国际先进、国内领先的第一个海岛港口，见图 7.12。



图7.12 洋山深水港

中国加入 WTO 以后，许多领域将逐步开放，而港口物流是竞争十分激烈的一个场所，对港口的控制权在某种意义上讲也就取得了对某种经济的控制权。加入 WTO，既给港口的发展带来了极大的机遇与空间，也带来了巨大的压力与挑战，主要反映在以下几个方面：

① 国际集装箱运输中港口的竞争与合作进入新阶段，中国港口成为世界集装箱运输港口中发展最快、建设规模最大的港口群；

② 港口码头专业化、大型化，航道深水化的发展更加迅速；

③ 港口腹地进一步拓展，交叉腹地大量增加，并出现了“虚拟腹地”，港口的服务质量和效率有了显著提高；



7.10.1 交通运输部

洋山深水港址选于杭州湾口，长江口外的浙江省嵊泗崎岖列岛，由大小洋山数十个岛屿组成的海域。是中国首个在海岛建设的港口。到 2020 年，洋山港将布置集装箱深水泊位 50 多个，设计年吞吐能力 1 500 万标准箱以上；通过跨海大桥与上海交通运输网络连接，充分发挥上海经济腹地广阔、货源充足的优势。港口前沿水深 17.5 m，其结构形式为高桩码头。



7.10.2 洋山港



7.10.3 全国沿海港口布局规划



7.10.4 拓展的参考资源

④ 综合物流和集装箱多式联运成为现代港口经营的重要内容，港口功能和区域有了很大拓展；

⑤ 大宗散货煤、油、矿、粮和液化气的运输更加大规模化、专业化，中国的亿吨港口激增，建设规模宏大；

⑥ 管理现代化（高效、高科技化、信息及网络化）成为中国现代港口建设和经营追求的重要目标；

⑦ 港口经营的投资多元化和市场化，在法制的轨道上步伐加快，政府职责转变和港口政企分开取得了历史性进展；

⑧ 人才和环境越发成为现代港口竞争的决定性因素。

中国的港口发展任重而道远，前程似锦，一定能成为中国物流业的一个亮点，也一定能成为中国经济发展的一个亮点。

学习与思考

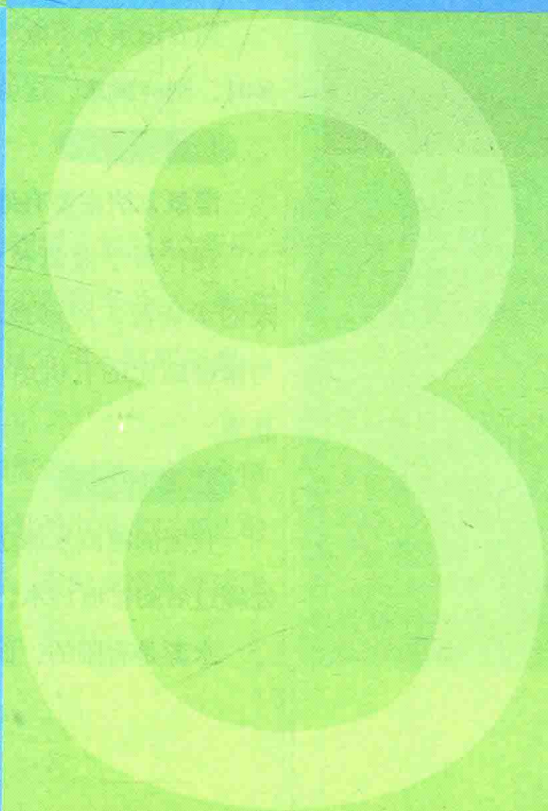
1. 港口的主要功能有哪些？
2. 港口有哪几部分组成？它的主要作用是什么？
3. 港口的主要技术指标有哪些？
4. 码头的结构类型有哪些？
5. 简述港口工程与国民经济发展之间的关系。



第8章

水利水电工程

- 8.1 农田水利工程
- 8.2 水利枢纽工程
- 8.3 水电工程
- 8.4 防洪工程
- 8.5 前景展望

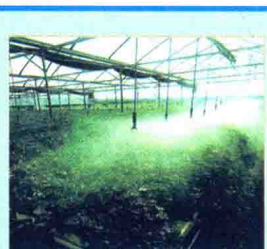




喷灌，目前多用固定式、半固定式和移动式三种形式，主要由管道和喷头组成。当需要灌溉时，打开管道上的阀门，压力水自喷头洒出，形成均匀的水滴洒布在农田里，所以也称为人工降雨灌溉。



8.1.1 喷灌



微喷，是利用折射式、旋转式或辐射式微型喷头将水喷洒到作物枝叶等区域的灌水形式（属于微灌范畴）。

水是人类赖以生存和社会发展不可缺少的宝贵自然资源之一，但另一方面，水的泛滥也能给人类带来灾害，洪水能破坏河堤和房屋，冲走地表的肥沃土地，造成重大生命财产损失。因此，从古到今人类为了生存和发展的需要，采取各种措施，对自然界的水进行调控，以防治水旱及水涝灾害，开发利用和保护水资源。研究这类活动及其对象的技术理论和方法的知识体系称水利科学。用于调控自然界的地表水和地下水，以达到除害兴利目的而兴建的工程称为水利工程。水电工程主要是水力发电，水力发电是指在河流或沿海适当地点，利用水力资源产生电能的过程。大型水利水电工程投资大、工期长，对社会、经济和环境都有很大影响。

8.1 农田水利工程

农田水利工程主要包括灌溉工程和排涝工程，解决农田的灌溉和排涝，以及土壤改良工作。

8.1.1 灌溉与排水

当农田水分不能满足作物需要时，则应增加水分，这就是灌溉；当水分过多时，则应减水，这就是排水。

1. 灌溉方法

灌溉方法主要有地面灌溉、喷灌、滴灌和微喷。

现代科学灌溉技术（如喷灌、滴灌、微灌技术）不仅可以有效利用有限的水资源，缓解地下水开采过量、地壳下沉的严峻局面，同时能够通过与精确施肥的有机结合，改善农作物、果树等的生长条件，提高单产和果实品质。

2. 灌溉水源

我国的灌溉水源主要有天然河水，水库、湖泊、池塘、洼地蓄水，经净化处理过后的排放污水，高山融雪和地下水。

水源是有限的，而不是取之不竭的，应统一规划并合理开采使用。

3. 农田排水

主要目的是排除地面积水和降低地下水位。因而,要求排水沟都必须挖到一定的深度并有适当的纵坡,以便将水排入河流、湖泊或海洋。如果排水系统的出口高于河、湖、海的水位,则可自流排水,否则须借助水泵扬水排出。我国一些平原地区,特别是低洼地带,农田内涝多发生在汛期,这时正是河水上涨时期,依靠自流排水几乎不可能,必须扬水入河。

8.1.2 取水工程

取水工程的作用是将河水引入渠道,以满足农田灌溉、水力发电、工业及生活供水等需要。因取水工程位于渠道的首部,所以也称渠首工程(图8.1)。

取水工程分为无坝取水、有坝(低坝)取水、抽水取水及水库取水。

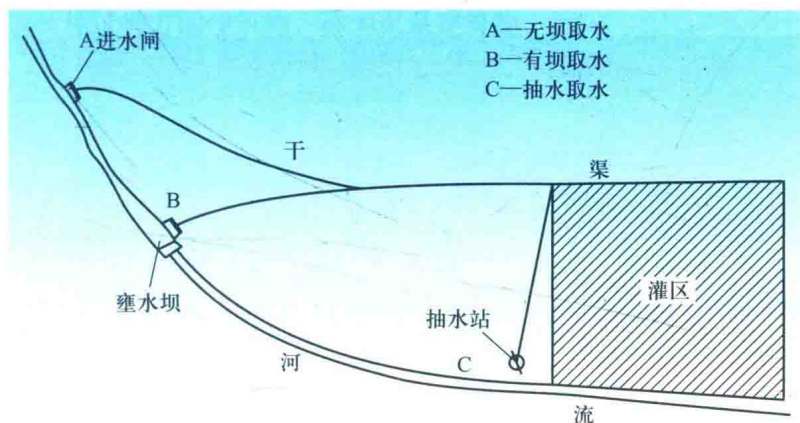


图8.1 灌溉取水方式示意图

1. 无坝取水

无坝取水渠首一般由进水闸、冲沙闸和导流堤三部分组成,如图8.2所示。为了便于引水和防止泥沙进入渠道,进水闸一般应设在河道的凹岸处。一般说来,设计取水流量不超过河流流量的30%,否则难以保证各用水时期都能引取足够的流量。

无坝取水工程虽然简单,但由于没有调节河流水位和流量的能力,完全依靠河流水位高于渠道的进口高程而自流引水,因此引水流量受河流水位变化的影响很大。必要时,可在渠首前修顺坝,以增加引水流量。有时也需要修建渠首护岸工程。



8.1.2 滴灌



李冰是战国时期著名的水利专家,大约在秦昭王五十一年(公元前256年)被任命为蜀郡守。主持修建都江堰工程。



中国古代典型的水利工程——都江堰

都江堰水利工程(公元前256年秦蜀郡守李冰修建)位于四川都江堰市城西,是全世界至今为止年代最久、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程。工程主要由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分构成,科学地解决了江水自动分流、自动排沙、控制进水量等问题,消除了水患,使川西平原成为“水旱从人”的“天府之国”。目前灌溉面积已达40余县、超过一千万亩农田。

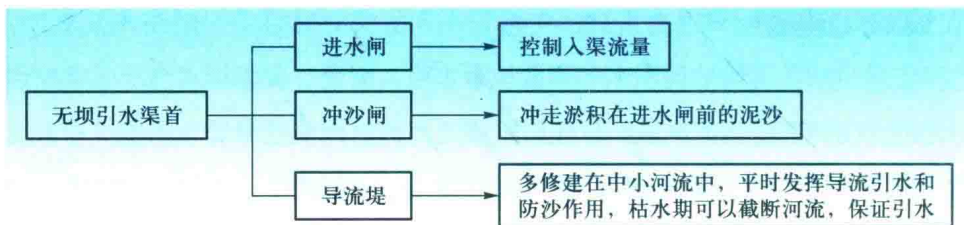


8.1.3 都江堰水利工程

壅水坝，是有坝渠首中的主要建筑物，非汛期时能抬高河道水位，满足自流引水所需要的高程，即正常壅水位。壅水坝不但能挡水，而且可从坝顶溢流、宣泄河道多余的水（包括汛期洪水）。因为壅水坝不起调节流量作用，所以坝的高度较低。



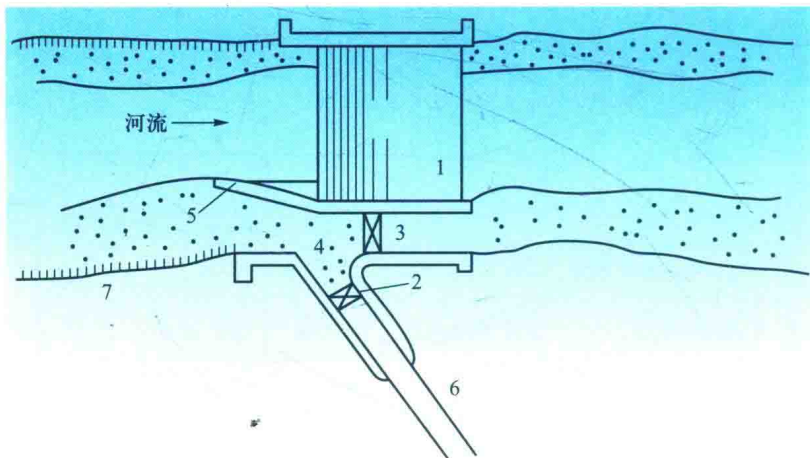
8.1.4 世界高坝



2. 有坝（低坝）取水

修建壅水坝或拦河节制闸是能调节河道水位，而不能调节大流量的一种取水方式。当河流水源虽较丰富，但水位较低时，可在河道上修建壅水建筑物（坝或闸），抬高水位，自流引水灌溉，形成有坝引水的方式。壅水坝或拦河闸的高程应当依据灌区引入流量时所要求的水位而定。

有坝取水枢纽的建筑物（壅水坝（闸）、进水闸、排沙闸、沉沙池及防洪堤等）组成如图 8.3 所示。



1—壅水坝；2—进水闸；3—排沙闸；4—沉沙池；5—导水墙；6—干渠；7—堤防

3. 抽水取水

当河流水量比较丰富，但灌区位置较高，修建其他自流引水工程困难或不经济时，可就近采取抽水取水方式。这样，干渠工程量小，但增加了机电设备及年管理费用，引水流量依机电设备能力而定。

4. 水库取水

当河流的流量、水位均不能满足灌溉要求时，就须在河流的适当地点修建水库进行径流调节，解决来水和用水之间的矛盾。采用水库取水，必须修建大

坝、溢洪道和进水闸等建筑物,工程较大,且有相应的库区淹没损失,但水库能充分利用河流水资源,这是优于其他取水方式之处。

8.1.3 灌溉泵站与排水泵站

当灌区的位置比较高,水源的水不可能进行自流灌溉时,一般都根据当地的具体情况,在水库上游或下游、或河边、或渠道上设置水泵站,进行抽水灌溉。反之,当排水处的位置比较高,水不可能进行自行排水时,一般需设置排水泵站。

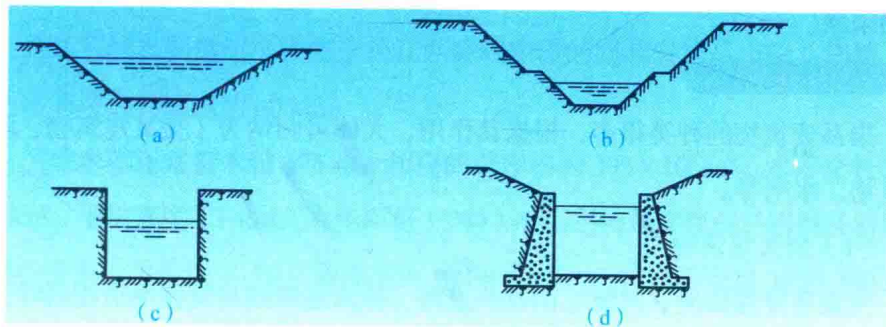
8.1.4 渠道工程与渠系建筑物

渠道所经过地方的建筑物,称为渠系建筑物。

为了渲泄洪水,排除渍水,降低地下水位,常需要在灌区修建各级排水沟道,排水沟道应与灌溉渠道相适应。各级灌溉渠道、各级排水沟道、各种渠系建筑物和田间工程等统称为灌溉排水系统。

1. 渠道断面

渠道断面形式取决于水流、地形、地质以及施工等条件。最常采用的是梯形断面。渠道深度较大,或渠道经过不同的土壤时,可采用复式断面,随深度采用不同边坡。在坚固岩石中,为减少挖方,采用矩形断面。在平原地区断面大的渠道常采用半填半挖断面,既可减少土方,又可利用弃土,渠道断面形式如下图 8.4 所示。



8.1.5 阿斯旺水坝



北京密云潮白河的密云水库,控制流域面积 $15\,788\text{ km}^2$, 多年平均流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$, 设计洪水流量 $16\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 总库容 $43.75 \times 10^8\text{ m}^3$, 设计灌溉面积 400 万亩, 装机容量 8.8 万千瓦。主坝坝型为粘土斜墙土坝, 最大坝高 66 m, 坝顶长度 960 m。

水力最优断面: 是指当渠道底坡、糙率及面积大小一定时,通过最大流量时的断面形式。

过水断面: 垂直于河流的主流方向,某一特定时刻的水面的水面线与河底包围的面积。



林县红旗渠渡槽

常用的交叉建筑物包括隧洞、渡槽、倒虹吸管、涵洞等。

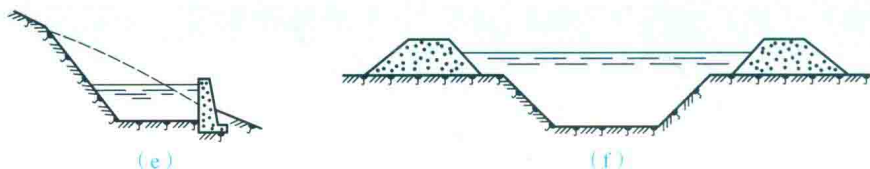


图8.4 渠道断面示意图

(a) 梯形断面；(b) 复式断面；(c) 矩形断面；(d) 有挡土墙矩形断面；
(e) 盘山断面；(f) 半填半挖断面

在渠道断面设计中,采用水力最优断面,即最经济的断面,在同等过水断面的情况下,通过的流量最大。这就要求渠道底宽、水深和边坡有适当的比例。

2. 渠道的流速与流量

一条渠道的两端底部高差与坡底的长度比,叫做底坡降。在一般情况下灌溉渠道的水流是恒定流(即水深和流速都不变),因而水面坡降与渠底坡降大致相等。根据水力学内容,流速大小主要取决于底坡降的大小。渠道中水的流速要适当,过大会引起冲刷,过小容易淤积,并可能使渠道生长杂草。不致引起渠道冲刷的最大允许流速称为不冲流速,不致引起渠道淤积的最小流速称为不淤流速。在设计时,应使渠道流速介于上述两者之间。

3. 渠道的渗透损失及防渗措施

渠道的水量损失,主要是渗透,其次是蒸发。在灌溉渠道中,有时渗透损失可达渠道流量 50% ~ 60%。这不仅造成水量的消耗,还会引起地下水位的升高,以至促使附近农田盐碱化。

渠道的渗透流量随着时间的增长而逐渐减少,这是因为渗透使土壤细颗粒移动,细颗粒填充了土壤中的孔隙;另一方面水流中的悬移质和溶解盐进入渠床的土壤中,渠床周边形成透水性小的铺盖。

一般防止渗透的方法有两种:一种是提高渠床土壤的不透水性;另一种是衬砌渠床。

4. 渠系建筑物

渠系建筑物的种类很多,根据其作用,大体可归纳为:交叉建筑物、联接建筑物、水闸等。

(1) 交叉建筑物

当渠道穿越山岗、河流、山谷、道路、低洼地带或与其他渠道相遇时,必须修建交叉建筑物。

(2) 联接建筑物

渠道上联接建筑物, 主要有跌水和陡坡两种。

(3) 水闸

水闸是渠系上应用最广泛的一种建筑物, 如图 8.5 所示。按其在渠系上的作用, 可分为: 进水闸、分水闸、节制闸、泄水闸、排沙闸。

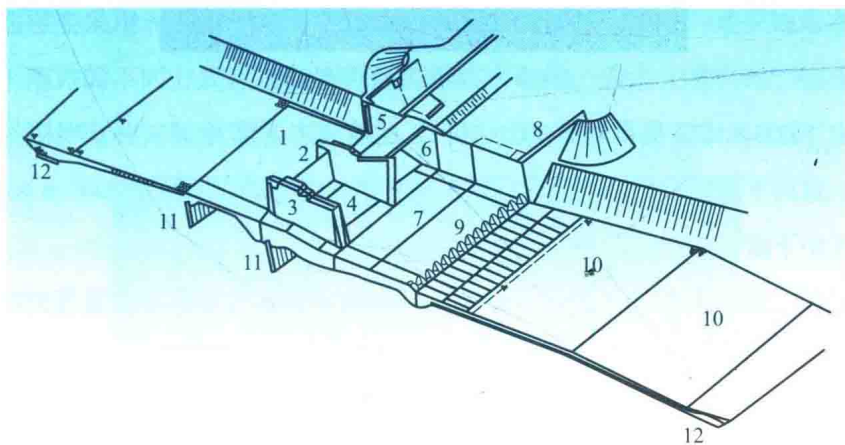


图8.5 水闸立体示意图

1—铺盖; 2—闸门; 3—闸墩; 4—闸底板; 5—边墩; 6—桥; 7—护坦; 8—翼墙;
9—尾坎; 10—海漫; 11—板桩; 12—防冲槽

当渠道垂直于地面等高线时, 往往遇到地面坡度大于渠道纵坡的情况。如果保持渠道纵坡不变, 渠道便会高出地面。若加大渠道纵坡, 又会促成对渠道的冲刷, 这种情况下, 可将渠道分段, 使相邻段之间形成集中落差, 把上下两段渠道联接起来的建筑物, 叫联接建筑物。使渠水铅直下落的建筑物, 叫跌水。当渠道经过地形急剧变化的地段时, 也可利用地形变陡处修建联接建筑物, 称为陡坡。

8.2 水利枢纽工程

水利枢纽指在江、河、渠、湖或沿海的适当地点, 为了有效地利用水利资源, 达到防洪、灌溉、发电、供水、航运等目的, 集中兴建各种水工建筑, 以控制和支配水流, 这些建筑物既发挥各自作用, 又彼此协调的综合体。

三峡水利枢纽是中国、也是世界上最大的综合水利枢纽工程, 见图 8.6。

长江三峡水利枢纽工程位于长江西陵峡中段的湖北省宜昌市三斗坪镇, 距下游葛洲坝水利枢纽约 40 km。

三峡水库正常蓄水位 175 m, 相应的总库容为 $393 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。水库全长超过 600 km, 平均宽度 1.1 km, 水库面积 1 084 km²。三峡水库建成后将荆江河段的防洪标准由过去的约 10 年一遇提高到 100 年一遇。三峡电站安装 26 台 700 MW 水轮发电机组, 总装机容量 18 200 MW, 多年平均发电 $874 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。水库形成后可改善长江重庆至宜昌间航运里程 570 ~ 650 km, 将库区航道单向通过



8.2.1 长江三峡水利枢纽工程



长江三峡水利枢纽工程位于长江西陵峡中段的湖北省宜昌市三斗坪镇，距下游葛洲坝水利枢纽约 40 km，是葛洲坝的梯级。

拦河大坝为混凝土重力坝，坝顶高程 185 m，坝长 2 309.47 m，防洪库容为 $221.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。水库调洪可消减洪峰流量达每秒 $2.7 \sim 3.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，枢纽最大泄洪能力达 $12.06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。溢流坝坝段居中、位于河床中部，前沿总长 483 m。

电站为坝后式，共设左右岸两组厂房，共安装 26 台水轮发电机组。左岸厂房全长 643.7 m，安装 14 台水轮发电机组；右岸厂房全长 584.2 m，安装 12 台水轮发电机组。

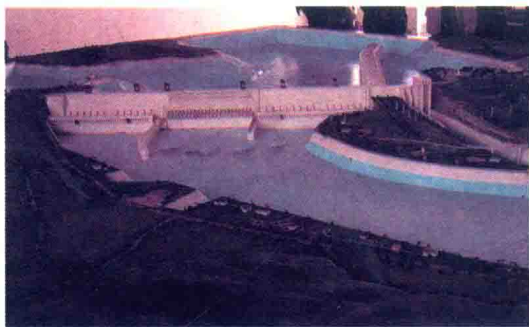


图8.6 三峡水利枢纽俯视图

能力由 $1\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 提高到 $5\,000 \times 10^4 \text{ t}$ ，运输成本可降低 35% ~ 37%。经水库调节，宜昌下游枯水季最小流量，可从现在的 $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 提高到 $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上，使长江中下游枯水季航运条件得到较大改善。

长江三峡水利枢纽工程是一个防洪、发电、航运效益都非常显著的综合水利枢纽工程。

三峡工程由蓄水大坝、水电站厂房、通航建筑物船闸及升船机等主要建筑物组成。泄流坝段位于河床中部，即原主河槽部位，两侧为电站坝段及非泄流坝段（亦称非泄洪、非溢流、非溢洪坝段）；水电站厂房位于电站坝段坝后，另在右岸留有将来扩机的地下厂房位置；通航建筑物均位于左岸，设有双线 5 级连续梯级船闸、巨型升船机。

8.3 水电工程

我国水能资源理论蕴藏量为 6.76 亿千瓦，其中可开发量 3.78 亿千瓦，年发电量 19 200 亿千瓦时，占全世界可开发水能资源总量的 16.7%，居世界第一位。水电资源在我国能源结构中占有重要的地位，经济可开发水电能源折合 507 亿吨标准煤，是中国现有能源中唯一可以大规模开发的可再生能源。

水力发电突出的优点是以水为能源，水可周而复始地循环供应，是永不会枯竭的能源。更重要的是水力发电不会污染环境，成本要比火力发电的成本低得多。世界各国都尽量开发本国的水能资源。



8.3.1 水电站开发方式和主要类型

水力发电除了需要流量之外,还需要集中落差(水头)。而天然的集中落差只有在个别地方才有,那就是瀑布。但毕竟可以利用的瀑布是很少的。所以,通常要采用人工的方法集中落差,根据河道的水流条件、地质地形条件以及集中落差的不同方式,水电站可分为坝式水电站、引水式水电站、抽水蓄能电站、潮汐电站,其中坝式(图 8.7)和引水式是水电站最基本的开发方式。

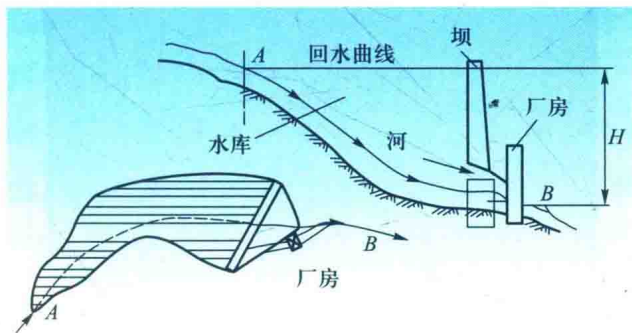


图8.7 坝式水电站示意图

1. 坝式水电站

根据坝式开发方式的水电站厂房与拦河坝或溢流坝的相对位置,可分为河床式、坝后式、溢流式或混合式等四种。

(1) 河床式水电站

特点是只建有低坝,水库容量和调节能力均较小,主要依靠河流的天然流量发电,所以又称径流式水电站。

(2) 坝后式水电站

其特点是水力发电站的厂房紧靠挡水大坝下游,发电引水压力钢管通过坝体进入水电站厂房内的水轮机室。因此厂房结构不受水头所限,水头取决于坝高。

(3) 溢流式水电站

我国水能资源大部分位于高山峡谷地区,厂房与溢洪道往往无法同时布置。设法把溢流坝与厂房结合起来,从厂房顶上溢流或从厂房泄水,即溢流式或泄水式厂房。



坝后水电站形式的厂房比较普遍采用,例如黄河上的刘家峡和三门峡水电站厂房、湖北丹江口水电站厂房等。



8.3.2 三峡电站视频



8.3.3 葛洲坝水电站

由于地下施工技术的发展,在很多引水式水电站中,愈来愈多地兴建地下水电站厂房。水电站地下厂房可以有三种布置方式:首部式地下厂房、尾部式地下厂房、中部式地下厂房。

河床式水电站,在大流量、低水头的河段修建水电站有利于提高水资源的利用率,增大发电量,同时厂房本身既是发电建筑物也是挡水建筑物。

坝后式水电站,水力发电站的厂房紧靠挡水大坝下游,发电引水压力钢管通过坝体进入水电站厂房内的水轮机室,这样布置的水电站。

引水式水电站,自河流坡降较陡、落差比较集中的河段,以及河湾或相邻两河河床高程相差较大的地方,利用坡降平缓的引水道引水而与天然水面形成符合要求的落差(水头)发电的水电站。

2. 引水式水电站

引水式开发主要或全部用引水道来集中水头。但严格地从集中水头的方式来说,大多数水电站是混合式开发,即部分水头由坝集中,部分水头由引水道集中。

青海省门源县大通河段的山地峡谷区的仙米水电站(图8.8),是一座引水式水电站,多年平均流量 $61.5 \text{ m}^3/\text{s}$,该电站装机容量 $12\,000 \text{ kW}$,年利用小时 $5\,000 \text{ h}$,年平均发电量为 $6\,360$ 万千瓦。



图8.8 仙米水电站

3. 抽水蓄能电站

抽水蓄能电站可以说是一种特殊作用的水电站,是在时间上把能量重新分配,一般在后半夜当电力系统负荷处于低谷时,利用火电站,特别是原子能电站富裕(多余)的电能,以抽水蓄能的方式把能量蓄存在水库中,即机组以水泵方式运行,将水自下游抽入水库。在电力系统高峰负荷时将蓄存的水量进行发电,即机组以水轮机方式运行,将蓄存的水能转化为电能。由于能量转换有损耗,大体上用4度电抽水可发出3度电。

4. 潮汐电站

潮汐发电是利用潮水涨、落产生的水位差所具有的势能来发电。据计算,世界海洋潮汐能蕴藏量约为27亿千瓦,若全部转换成电能,每年发电量大约为1.2万亿度。

比起其他可再生能源,潮汐能的一个突出优势就是它具有不间断地发电的潜力,潮流可以连续12h向一个方向运动,在经过短暂的停顿后再向另一个方向运动。

8.3.2 水电站建筑物

1. 水电站建筑物的布置

(1) 河床式水电站建筑物的布置

这种布置适用于较低水头,一般在 30~40 m 以下,多修建在河流的中下游河床坡降较平缓的地段或灌溉渠道上。其特点是厂房与坝并列建造于河床中,厂房成为挡水结构的一部分。

我国最大的低水头水电站是长江葛洲坝水电站,属于河床式水电站类型。水电站厂房是挡水建筑物的一部分。

(2) 坝后式水电站建筑物的布置

当水头较高,一般超过 30~40 m 时,由于压力大,厂房本身的重量不足以维持其稳定。因此,厂房位于拦河坝的下游侧,不受上游水压力。

(3) 引水式水电站建筑物的布置

由于地形、地质条件,坝后不能布置电站或无坝引水,则采用这种布置方式。水流通过进水口进入有压隧洞,通过调压室到压力水管,然后引向厂房内的水轮机。

2. 水电站建筑物的作用

水电站通常具有下列几类建筑物,其作用如下:

(1) 挡水建筑物

一般为坝或闸,用以截断河流,集中落差,形成水库。

(2) 泄水建筑物

用来下泄多余的洪水或放水以降低水库水位,如溢洪道、泄洪隧洞、放水孔或泄水孔等。

(3) 水电站进水建筑物

又称进水口或取水口,是将水引入引水道的进口。

(4) 水电站引水建筑物

用来把水库的水引入水轮机。根据水电站地形、地质、水文气象等条件和水电站类型的不同,可以采用明渠、隧洞、管道。有时引水道中还包括沉沙池、渡槽、涵洞、倒虹吸管和桥梁等交叉建筑物及将水流自水轮机泄向下游的

河床式水电站由于弃水较多,水能利用受到较大限制,综合效益相对较小,但淹没损失和移民安置的困难也较小,适于建造在平原或丘陵地区,河道坡度较缓,而抬高水位会显著增加,两岸城乡淹没损失的河段上。



富春江水电站是浙江第一座大型低水头河床式水电站。富春江枢纽主要建筑物有大坝、厂房、船闸、鱼道、灌溉渠首及升压站、开关站等。拦江大坝为混凝土实体重力式溢流坝,最大坝高 47.7 m,溢流坝段全长 287.3 m。河床式发电厂,位于溢流坝段左侧,是挡水建筑物的一部分,全长 189.15 m,主厂房最大高度 57.4 m,净宽 19.2 m,安装 5 台单机容量 6 万千瓦转叶式水轮发电机组。



8.3.4 锦屏一级水电站

① 挡:主要是运用工程措施挡住洪水对保护对象的侵袭。如用河堤、湖堤防御河、湖的洪水泛滥;用海堤和挡潮闸防御海潮;用围堤保护低洼地区不受洪水侵袭等。

② 泄：主要是增加泄洪能力。常用的措施有修筑河堤、整治河道（如扩大河槽、裁弯取直）、开辟分洪道等，是平原地区河道较为广泛采用的措施。

③ 蓄（滞）：主要作用是拦蓄（滞）调节洪水，削减洪峰，减轻下游防洪负担。如利用水库、分洪区（含改造利用湖、洼、淀等）工程等。开辟分洪区，分蓄（滞）河道超额洪水，一般都是利用人口较少的地区，也是很多河流防洪系统中的重要组成部分。

尾水建筑物。

（5）水电站平水建筑物

当水电站负荷变化时，用来平衡引水建筑物（引水道或尾水道）中的压力和流速的变化，如有压引水道中的调压室及无压引水道中的压力前池等。

（6）发电、变电和配电建筑物

包括安装水轮发电机组及其控制设备的厂房，安装变压器的变压器场和安装高压开关的开关站。它们集中在一起，常称为厂房枢纽。

8.4 防洪工程

防洪区是指洪水泛滥可能淹没的地区，分为洪泛区、蓄滞洪区和防洪保护区。洪泛区是指尚无工程设施保护的洪水泛滥所及的地区。蓄滞洪区是指包括分洪口在内的河堤背水面以外临时贮存洪水的低洼地区及湖泊等。防洪保护区是指在防洪标准内受防洪工程设施保护的地区。

8.4.1 防洪工程措施

防洪工程是控制、防御洪水以减免洪灾损失所修建的工程。主要的工程措施有堤、河道整治工程、分洪工程和水库等。按功能和兴建目的可分为挡、泄（排）和蓄（滞）几类。

一条河流或一个地区的防洪任务，通常由多种措施相结合构成的工程系统来承担。一般是在上中游干支流山谷区修建水库拦蓄洪水，调节径流；山丘地区广泛开展水土保持，蓄水保土，发展农林牧业，改善生态环境；在中下游平原地区，修筑堤防，整治河道，治理河口，并因地制宜修建分蓄（滞）洪工程，以达到减免洪灾的目的。

1. 堤坝

堤坝是沿河、渠、湖、海岸边或行洪区、分洪区（蓄洪区）、围垦区边缘修筑的挡水建筑物。



8.4.1 南水北调工程

2. 河道整治

按照河道演变规律,因势利导,调整、稳定河道主流位置,改善水流、泥沙运动和河床冲淤部位,以适应防洪、航运、供水、排水等国民经济建设要求的工程措施。河道整治包括控制和调整河势,裁弯取直,河道展宽和疏浚等。

对于重要的工程,在方案比较选定时,需进行数学模型计算和物理模型试验。

3. 分洪工程

分洪是当河道洪水水位将超过保证水位或流量将超过安全泄量时,为保障保护区安全,而采取的分泄超额洪水的措施。分洪工程是牺牲局部,保存全局的措施。

4. 水库

水库是用坝、堤、水闸、堰等工程,于山谷、河道或低洼地区形成的人工水域。水库的作用有防洪、水力发电、灌溉、航运、城镇供水、水产养殖、旅游、改善环境等。同时要防止水库的淤积、渗漏、塌岸、浸没。水质变化和对当地气候的影响。

水库防洪是利用水库的防洪库容调蓄洪水,以减免下游洪灾损失。水库防洪一般用于拦蓄洪峰或错峰,常与堤防、分洪工程、分洪非工程措施等配合组成防洪系统,通过统一的防洪调度共同承担其下游的防洪任务。



河南信阳市浉河上先进的橡胶坝工程



千岛湖,又叫新安江水库,位于浙江淳安境内(部分位于安徽歙县),是世界上岛屿最多的湖。

千岛湖的湖泊面积 567.40 km^2 , 最大深度 108 m , 平均深度 34 m , 容积 $178.4 \times 10^8 \text{ m}^3$; 是在距浙江建德市新安江镇以上 4 km 处建坝蓄水而成的人工湖。水库上游具有明显的“湖泊效应”且有大大小小的岛屿,因此称“千岛湖”。

8.4.2 防洪非工程措施

防洪非工程措施是指通过法令、政策、经济手段和工程以外的其他技术手段,以减少洪灾损失的措施。采用防洪非工程措施是由于只靠工程措施既不能解决全部防洪问题,又受费用制约。

防洪非工程措施的基本内容为:洪泛区管理;行洪道清障;洪水保险;洪水预报警报系统;超标准洪水紧急措施;救灾。

从世界各国的实践来看,用防洪工程措施控制洪水是有限度的。因此防洪非工程措施作为减少洪灾的综合措施,越来越受到重视并将继续发展完善。



8.4.2 拓展的参考资料

8.5 前景展望

水是人类生存之源。但据报道到 2025 年,水资源的逐渐缺乏将威胁到全球将近 30 亿人的粮食供应以及世界各地沼泽地和其他生态系统的健康与生产力。包括中国大陆在内的 29 个国家和地区的大约 4.5 亿人已面临缺水问题。

为了解决农业生产与环境保护之间的两难问题,全世界最具有影响力的天然保护、灌溉和粮食安全组织已设立了一个国际科学与政策联盟——水、粮食与环境对话会,希望尽可能使更多人和组织参与寻求解决之道。

我国是一个干旱、缺水严重的国家。淡水资源总量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全球水资源的 6%, 仅次于巴西、俄罗斯和加拿大, 居世界第四位, 但人均不足 $2\,200 \text{ m}^3$, 仅为世界平均水平的 1/4, 为世界第 109 位, 是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。全国有 9 个省(市、区)的人均占有水量仅为 500 m^3 , 有近 400 个城市缺水, 其中 108 个为严重缺水。2003 年, 我国万元 GDP 用水量为 465 m^3 , 是世界平均水平的 4 倍。我国在污水处理回用, 海水、雨水利用方面还处于较低水平, 粗放型的水资源利用方式存在严重的结构型、生产型和消费型浪费, 用水效率不高, 故而节水潜力巨大, 创新节水工作模式、建设节水型社会是必然的选择。

南水北调(图 8.9、图 8.10)总体规划为东线、中线和西线三条调水线路, 通过三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系, 构成以“四横三纵”为主体的总体布局, 以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局。南水北调工程对中国社会进步和经济持续发展的意义堪比三峡工程。它对于我们提高资源综合利用效率、合理配置资源、增强环境意识和社会公益责任感, 都提出了更高的要求。

世界上很多国家都有浩大的调水工程。如: 以色列历时 11 年的北水南调工程, 缓解了制约南部地区发展的严酷的生态环境条件, 把大片不毛之地的荒漠变为绿洲, 从而带动南部经济社会的发展。美国于 19 世纪 70 年代开始的北水南调奏响了其西部开发进行曲。但是, 调水工程是要综合考虑多方面因素的庞大复杂的工程, 稍有不慎会造成很大的损失。



图8.9 南水北调规划图



图8.10 南水北调中线工程

2004 年的波恩世界可再生能源会议确定了加强开发可再生能源（太阳能、风能、水电和生物能）的行动计划。中国被认为是“杰出的典范”，在因经济迅速增长而呈现出巨大能源需求的中国，可再生能源的增长超过了整体能源消耗的增长。我国约有 1/3 的县依靠小水电作为主要供电来源，到 2030 年，全国小水电资源开发量为 1.25 亿千瓦，届时将占全国电力装机的 10%。这为改善我国的能源结构、保护环境和国家的可持续发展做出重要的贡献。

目前，我国无论旧城改造还是新城开发，“水”真正置于了核心位置，为城市营造出了人水共处的新天地，凸现出了人水相亲的城市新品位。河变美

了，水变清了，河边沿岸也成了房地产开发的热点，给城市带来了勃勃生机。希望大家珍惜每一滴水，从我做起，为水环保做出自己的每一点努力。

学习与思考

1. 水利水电工程由哪几部分组成？水利水电工程的分支是什么？
2. 农田水利工程主要涵盖哪些方面？
3. 简述综合水利枢纽工程主要由哪些建筑物组成？它们各自的功能是什么？
4. 与其他发电方式相比较，水力发电有何优势？
5. 简要说明水利水电工程与人类生存和社会经济发展的关系。



第9章

土木工程施工与建设项目管理

- 9.1 基础工程施工
- 9.2 结构工程施工
- 9.3 特殊施工技术
- 9.4 施工组织
- 9.5 工程项目管理



9.0.1 施工技术与施工组织 的含义



9.0.2 我国最早的建设项目 管理实践

改革开放以来,我国的土木工程有了跨越式的发展。工程的高度、跨度、体量、难度和水准位居世界前列的施工项目大量涌现,全国各地新建的工厂、楼宇、桥梁、公路、铁路、港口、机场、隧道等建筑物和构筑物,数量之多,类型之广,技术含量之高有目共睹。我国的施工技术总体上达到发达国家水平,有些还领先于世界。

土木工程施工就是在施工图设计完成后,在选定的施工现场,按照施工图完成建筑产品建造的工作。

土木工程施工一般可分为施工技术与施工组织两大部分。由于土木工程体量大,施工过程复杂,技术要求高,所以要以施工组织设计为先导,以施工技术为后盾,实现工程项目的质量、安全、成本和进度四方面的科学要求。

现存的许多规模宏大、结构复杂的古代建筑,当年它们是怎么按部就班,有条不紊地建造的呢?在如此复杂的建设项目中必然有相当高的项目管理水平相配套,否则将难以完成建设任务。

建设项目管理是指在资源约束条件下,为最优地实现工程项目的目标和达到规定的工程质量标准,运用现代管理理论与方法,对建设项目从策划到竣工全过程进行计划、组织、协调和控制,进行系统化管理的过程。

土木工程施工与建设项目管理和土木工程材料、材料力学、结构力学、土力学、水力学、混凝土结构、钢结构以及经济学、管理学等课程均有密切的关联,在学习这些知识的基础上才能更好地学习施工与管理。土木工程施工与建设项目管理又是实践性很强的课程,有些结论直接来自实际工程的经验。我们还要对国内外最新施工技术和组织、先进的管理方法始终关注、不断学习。

9.1 基础工程施工

万丈高楼平地起,平地下面有基础。

为了承载上部建筑物的重量,也考虑到建成使用后的活荷载(如住宅内的

人群、工厂里的设备、桥梁上的汽车),就需要牢靠的地下基础。建造地下基础往往先要开挖土石方,所以基础工程主要包括土石方工程和建筑物、构筑物底部的基础工程。

土石方工程简称为土方工程。土方工程施工大多为露天作业、施工条件复杂,施工易受地区气候条件、工程地质和水文地质条件影响。

一般低矮的建筑物、道路等多采用天然浅基础,它造价低、施工简便。如果天然浅土层质地软弱,可采用机械压实、堆载预压、砂桩挤密等方法进行人工加固,形成人工地基浅基础。对于高大建筑物、桥墩、码头等上部荷载很大的情况,采用浅基础不能安全承载时,则需要经过技术经济比较后采用深基础。

深基础是指桩、墩、沉井、沉箱和地下连续墙等基础,深基础不但可利用持力较好的深部土层承载力,还可利用深基础周壁的摩阻力来共同承受上部荷载,因而其承载力高、稳定性好,但施工复杂、造价高、工期长。

9.1.1 坑槽土方施工

深基础施工往往先要开挖土石方,形成基坑基槽,才能进行下一步基础工程施工。

1. 土方边坡与土壁支撑

基坑(槽)土方施工中,挖成上口大、下口小、形成一定的坡度,靠土的自稳保证土壁稳定(防止塌方塌坡)的方法称放坡,如图9.1所示。

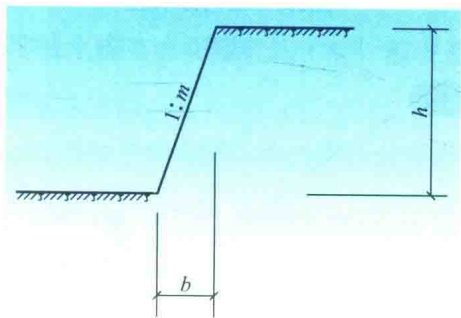


图9.1 土方边坡 ($m=b/h$, 称坡度系数)

放坡开挖比较经济,在场地狭小不允许放坡时,就要采用支撑护坡,常用的坑壁支撑形式如图9.2所示。

土石方工程的工作内容:土(石)的挖、推、填、筑、运、弃;场地平整;基坑开挖;路基填筑;隧道开通和基坑回填。

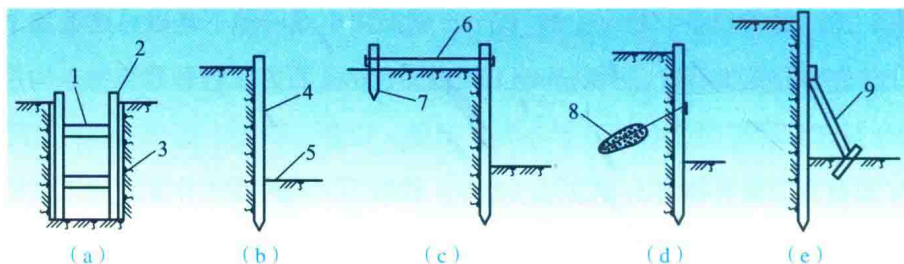


图9.2 坑壁支撑形式

(a) 衬板式; (b) 悬臂式; (c) 拉锚式; (d) 锚杆式; (e) 斜撑式

1—横撑; 2—立木; 3—衬板; 4—桩; 5—坑底; 6—拉条; 7—锚固桩; 8—锚杆; 9—斜撑

2. 基坑排水与降水

在地下水位以下开挖基坑(槽)时,要排除地下水和基坑中的积水,使土体较干燥,便于开挖。土方工程施工中,多采用明沟集水井抽水、井点降水或两者相结合的办法排除地下水。图9.3为明沟排水法。

井点降水是在基坑开挖前,先在基坑四周埋设一定数量的井点管,土方开挖过程中利用抽水设备,通过井点管抽出地下水,使地下水位在施工期始终降至坑底以下,避免产生坑内涌水、边坡塌方现象,保证土方开挖正常进行。

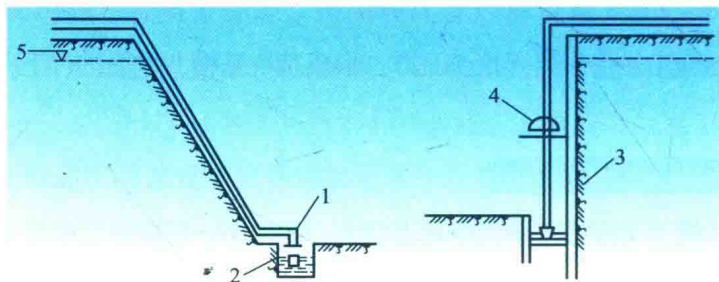


图9.3 明沟排水法

1—水泵; 2—集水井; 3—板桩; 4—水泵; 5—地下水位

3. 基础土方的开挖

基础土方的开挖方法分两类,人工挖方和机械挖方。

机械挖方通常采用挖掘机,挖掘机利用土斗直接挖土,因此也称为单斗挖土机。常用的有正铲、反铲、抓铲、拉铲(图9.4)等。

土方机械常用的还有推土机、铲运机等。铲运机是一种能综合完成全部土方施工工序(挖土、装土、运土、卸土和平土)的机械。



9.1.1 井点降水施工动画



9.1.2 反铲挖土机施工动画

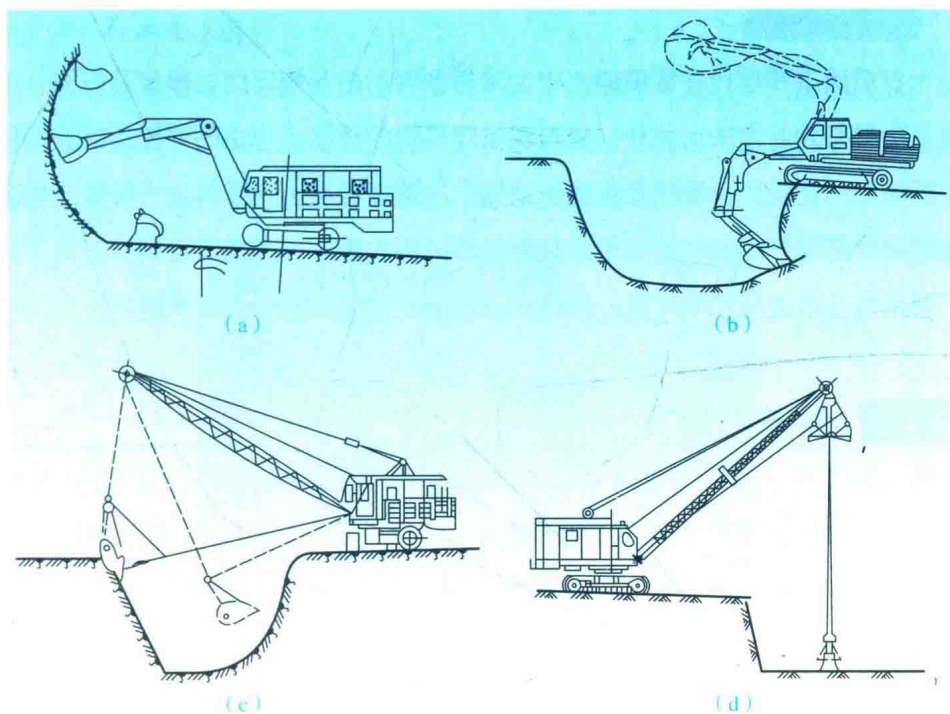


图9.4 单斗挖土机

(a) 正铲; (b) 反铲; (c) 拉铲; (d) 抓铲

9.1.2 路基工程与石方爆破

1. 路基工程

路基是公路与铁路工程的基础,路基按挖填方式不同分为路堤、路堑和填挖结合三种类型。路堤是指全部用岩土填筑而成的路基(图9.5),路堑是指全部在原地面开挖而成的路基,当需一侧开挖而另一侧填筑时,为填挖结合路基。路基施工可采用机械化施工法和爆破施工法,前者适用于一般土方工程,后者是石质路基开挖的基本方法。

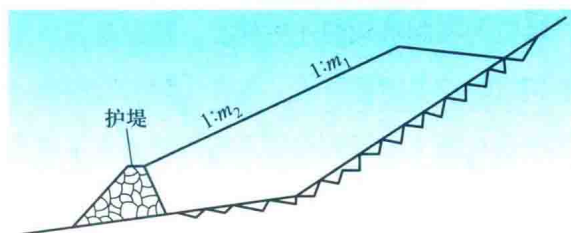


图9.5 路堤坡脚护堤

2. 石方爆破

石质路基开挖或在隧道施工中,常遇到岩石的开挖问题,爆破是石方开挖施工中最有效的方法。此外,施工现场障碍物的清除,冻土的开挖,改建工程中拆除旧的建筑物,拆除基坑支护结构中的钢筋混凝土支撑等也用爆破。爆破是利用炸药爆炸时产生的大量的热和极高的压力破坏岩石或其他物体。由于施工费用低及爆破技术的发展,爆破作业在土木工程中的应用越来越广。

9.1.3 深基础施工

深基础工程是由地面向下开挖的一个地下空间(图9.6),基坑周围一般为垂直的挡土结构。深基础开挖是基础和地下工程施工中的岩土工程综合性难题,在土与支护结构的共同作用下,既涉及强度与稳定问题,又涉及变形问题。对这些问题的认识及对策研究,进入20世纪90年代后已逐步完善,下面我们来了解几种深基础工程的施工方式。



图9.6 深基坑施工

1. 桩基础

桩基础(图9.7)是一种常用的深基础形式,它由桩和桩顶的承台组成。按桩的施工方法,桩分为预制桩和灌注桩两类。预制桩是在工厂或施工现场预制而成的桩,而后用沉桩设备将桩打入、压入、旋入或振入(有时还兼用高压水冲)土中。灌注桩是在施工现场的桩位上用机械或人工成孔,然后在孔内灌注混凝土或钢筋混凝土而成。

桥梁、港口、码头、水闸、大坝电站及其他水域构筑物或建筑物,常把钻孔桩作为水域地基加固和基础的结构型式之一。与陆地施工相比较,水域施工

难度大,技术要求高。

水域施工场地,依据其建造方法的不同分为两种类型:一类是用围堰筑岛法修筑的水域岛、半岛或长堤,统称为围堰筑岛施工场地(图9.8);另一类是用船或支架拼装建造的水域施工平台,统称为水域工作平台。



图9.7 桩基础施工

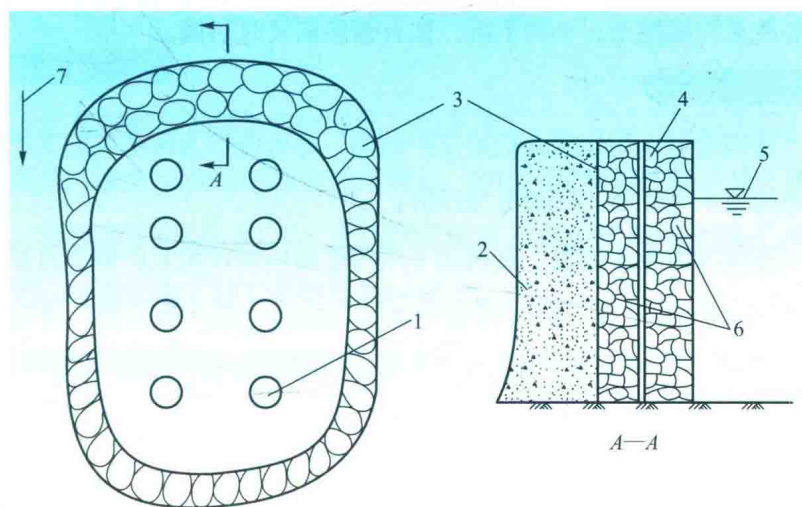


图9.8 竹笼围堰筑岛示意图

1—桩孔; 2—填心沙土; 3—竹笼及其围堰; 4—石块; 5—常水位; 6—铁丝拉索; 7—水流方向

2. 墩基础

墩基础是在人工或机械成孔的大直径孔中浇筑混凝土(钢筋混凝土)而成,我国多用人工开挖,亦称大直径人工挖孔桩。直径在1~5 m之间。墩身直径大,有很大的强度和刚度,多穿过深厚的软土层直接支承在岩石或密实土层上。

人工开挖为防止塌方造成事故,需制作护圈,每开挖一段则浇筑一段护圈,护圈多为钢筋混凝土现浇。或者采用对每一墩身事先进行施工围护,然后

才能开挖。人工开挖还需注意通风、照明和排水。

3. 沉井基础

沉井是由刃脚、井筒、内隔墙等组成的呈圆形或矩形的筒状钢筋混凝土结构,多用于重型设备基础、桥墩、水泵站、取水结构、超高层建筑物基础等。

沉井施工时,先在地面上铺设砂垫层,设置枕木,制作钢板或角钢刃脚后浇筑第一节沉井,待其达到一定重量和强度后,抽去枕木,在井筒内边挖土(或水力吸泥)使其下沉,然后加高沉井,分段浇筑,多次下沉,下沉到设计标高后,用混凝土封底,浇筑钢筋混凝土底板则构成沉井结构。

刃脚在井筒最下端,形如刀刃,在沉井下沉时起切入土中的作用。井筒是沉井的外壁,在下沉过程中起挡土作用,同时还需有足够的重量克服筒壁与土之间的摩阻力和刃脚底部的土阻力,使沉井能在自重作用下逐步下沉。在施工沉井时要注意均衡挖土,平稳下沉,如有偏斜则及时纠偏。

4. 地下连续墙

地下连续墙可以用作深基坑的支护结构,亦可既作为深基坑的支护,又用作建筑物的地下室外墙,后者更为经济。

地下连续墙的施工过程,是利用专用的挖槽机械在泥浆护壁下开挖一定长度(一个单元槽段),挖至设计深度并清除沉渣后,插入接头管,再将在地面上加工好的钢筋笼用起重机吊入充满泥浆的沟槽内,最后用导管浇筑混凝土,待混凝土初凝后拔出接头管,一个单元槽段即施工完毕(图9.9)。如此逐段施工,即形成地下连续的钢筋混凝土墙。



9.1.3 地下连续墙施工动画

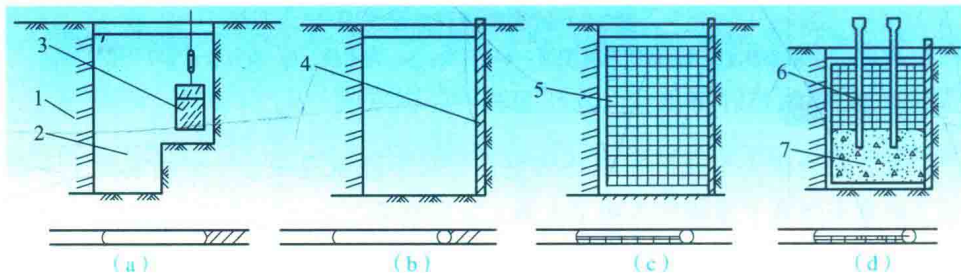


图9.9 地下连续墙施工过程示意图

(a) 成槽; (b) 插入接头管; (c) 放入钢筋笼; (d) 浇筑混凝土

1—已完成的单元槽段; 2—泥浆; 3—成槽机; 4—接头管; 5—钢筋笼; 6—导管; 7—浇筑的混凝土

5. 大体积混凝土基础

土木工程构件三个方向的最小尺寸超过 800 mm 的混凝土施工,称为大体积混凝土施工(图 9.10)。



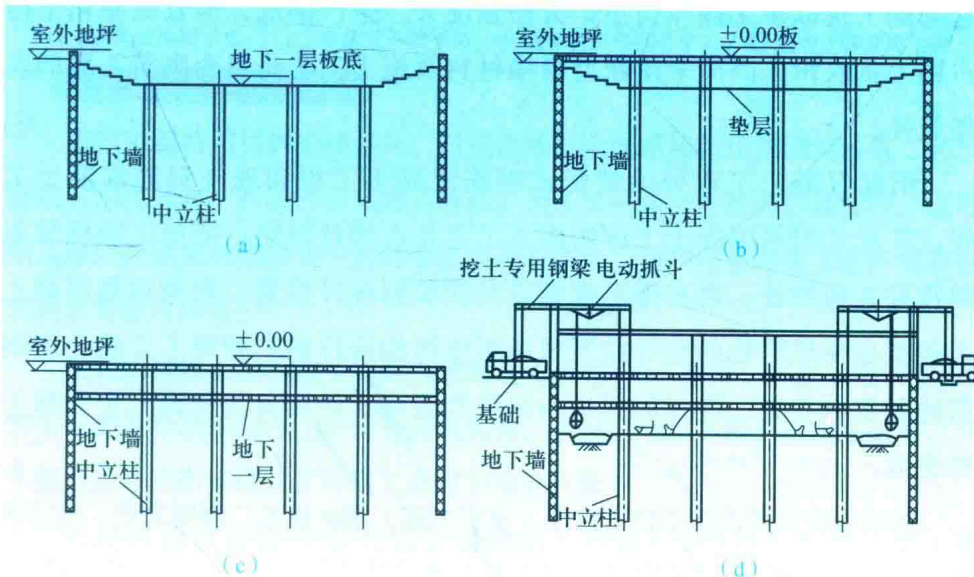
图9.10 大体积混凝土基础

6. 逆作法施工

逆作法是基础与上部结构同时施工的先进工艺,有减少和取消临时支护措施,降低成本及大大加快施工速度等优点,20 世纪 70 年代前后被一些发达国家采用。我国于 20 世纪 80 年代进行研究试验,20 世纪 90 年代在广州、上海等地应用。逆作法施工的工序如图 9.11 所示。



地基基坑围护钢支撑



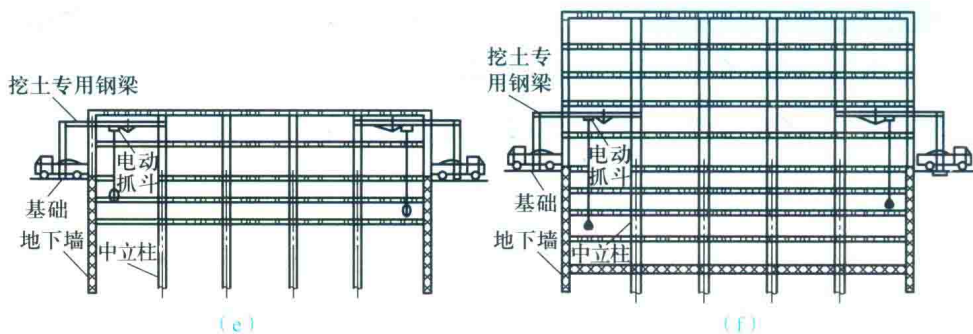


图9.11 逆作法施工工序

- (a) 做围护和支撑柱，盆式开挖一层土；(b) 施工 ± 0.00 楼面；
 (c) 施工地下一层楼板；(d) 施工上部一层结构，地下二层挖土；
 (e) 上部三层结构施工，地下二层浇楼板（重复上述施工步骤）；(f) 底板浇捣

9.2 结构工程施工

结构工程主要包括砌筑工程、钢筋混凝土工程、结构安装工程等。

砌筑工程是指普通粘土砖、硅酸盐类砖、石块和各种砌块的施工。砌筑工程是一个综合的施工过程，它包括砂浆制备、材料运输、脚手架搭设和墙体砌筑等。砖石建筑在我国有悠久的历史，目前在土木工程中仍占有相当的比重。这种结构虽然取材方便、施工简单、成本低廉，但它的施工仍以手工操作为主，劳动强度大、生产率低，而且烧制粘土砖占用大量农田，因而采用新型墙体材料及施工工艺是当今砌筑工程的发展趋势。

钢筋混凝土工程分为装配式钢筋混凝土工程和现浇钢筋混凝土工程。装配式钢筋混凝土工程的施工工艺是在构件预制厂或施工现场预先制作好结构构件，再在施工现场将其安装到设计位置。现浇钢筋混凝土工程则是在结构物的设计位置现场制作结构构件的一种施工方法，由钢筋的制备与安装、模板的制备与组装和混凝土的制备与浇捣三个分部工程组成。

将结构设计成许多单独的构件，分别在施工现场或工厂预制成型，然后在现场用起重机械将各种预制构件吊起并安装到设计位置上去的全部施工过程，称为结构安装工程。用这种施工方式完成的结构，叫做装配式结构。结构安装

工程包括起重机械的选用与配置,混凝土结构安装,钢结构制作、安装,特殊结构安装等。

9.2.1 砌筑工程施工

1. 砌体施工与砌筑脚手架

砌体施工的基本要求是:横平竖直、砂浆饱满、灰缝均匀、上下错缝、内外搭砌、接槎牢固。

砌筑用脚手架是砌筑过程中堆放材料和工人进行操作的临时性设施。按其搭设位置分为外脚手架和里脚手架两大类,按其所用材料分为木脚手架、竹脚手架与金属脚手架。图 9.12 是外脚手架常用的四种基本形式。

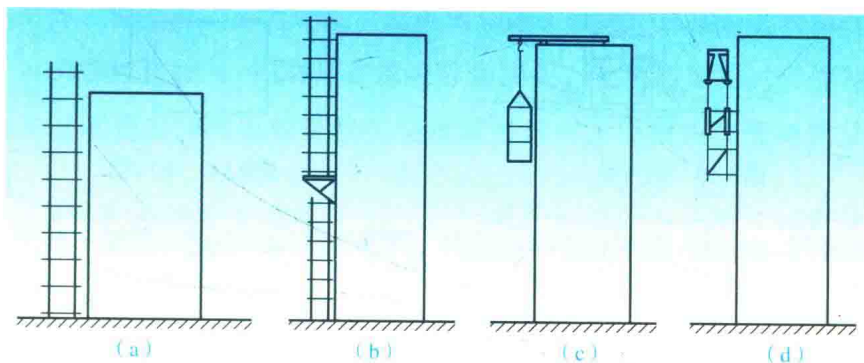


图9.12 外脚手架的四种基本形式

(a) 落地式外脚手架; (b) 悬挑式外脚手架; (c) 吊挂式外脚手架; (d) 附着升降外脚手架

2. 砌筑材料与材料运输

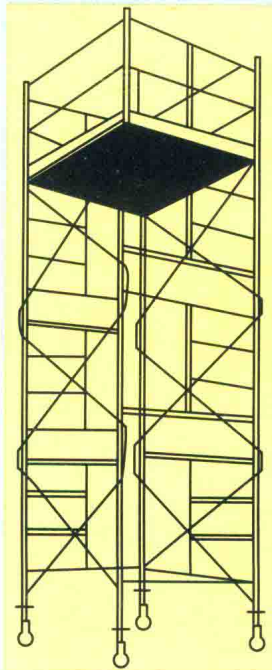
砌筑工程所用材料主要是砖、石或砌块以及起粘接作用的砌筑砂浆。砌筑砂浆有水泥砂浆、石灰砂浆和混合砂浆。为了节约水泥和改善砂浆性能,也可用适量的粉煤灰取代砂浆中的部分水泥和石灰膏,而制成粉煤灰水泥砂浆和粉煤灰水泥混合砂浆。

砌筑工程施工中不仅要运输大量的砖(或砌块)、砂浆,还要运输脚手架、脚手板和各种预制构件。不仅有垂直运输,而且有地面和楼面的水平运输。其中垂直运输是影响砌筑工程施工速度的重要因素。

常用的垂直运输设备有塔式起重机、井架(图 9.13)及龙门架(图 9.14)。



9.2.1 “三顺一丁”砌筑法的施工动画



移动式里脚手架,用于室内顶棚装修等工程。

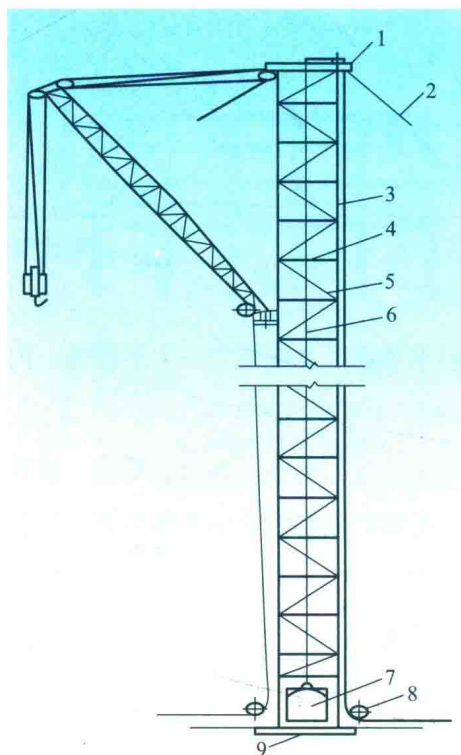


图9.13 钢井架

1、8—滑轮；2—缆风；3—立柱；4—平撑；
5—斜撑；6—钢丝绳；7—内吊盘；9—垫木

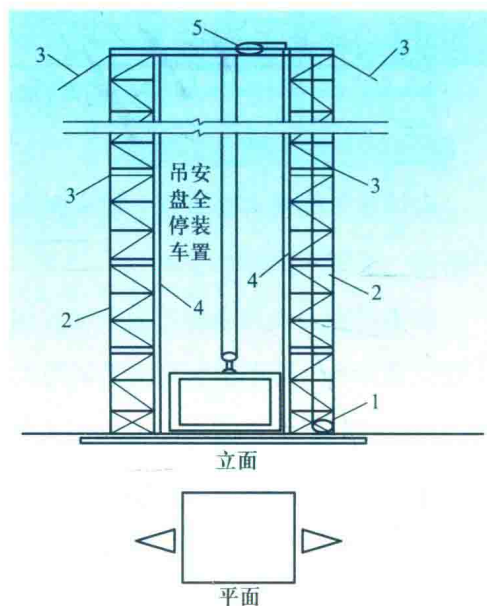


图9.14 龙门架

1—地轮；2—立柱；3—缆风绳；
4—导航；5—天轮

9.2.2 钢筋混凝土工程施工

钢筋混凝土工程的一般施工程序如图 9.15 所示。

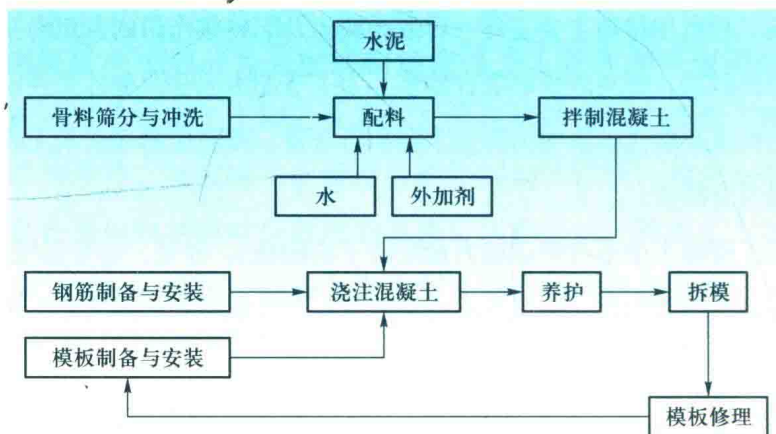


图9.15 钢筋混凝土施工程序

1. 钢筋工程

混凝土构件中布置钢筋可以加强构件的强度,防止构件的裂缝展开。

钢筋工程主要包括:钢筋的进场检验、加工成型和绑扎安装等施工过程。

(1) 钢筋检验

钢筋出厂时应有出厂质量证明书或试验报告单,每捆(盘)钢筋均应有标牌,现场堆放钢筋应分批验收,分别堆放。对钢筋的验收包括外观检查和按批次取样进行机械性能检验,合格后方可使用。

(2) 钢筋连接

直条钢筋的长度,通常只有9~12 m。如构件长度大于12 m时就需要连接钢筋。钢筋连接的方法有三种:绑扎搭接连接、焊接连接(绑条焊接、对焊、电渣焊、压力焊接)及机械连接(套筒冷压接、套筒斜螺纹连接、可调螺纹连接)。特别是直螺纹等强接头,它利用加工过程使钢筋螺纹接头强度提高,可以保证接头强度超过母材,使接头位置与数量不受限制。

此外,钢筋工程还有钢筋的配料、代换、调直、除锈、拉伸、切断和弯曲成型等工作。

2. 模板工程

从搅拌机中拌和出的混凝土呈流动态,需要浇注在与构件形状尺寸相同的模型内凝结硬化,才能形成所需要的结构构件。模板就是能拼接成各类构件模型的临时性结构并能拆除的模型板。

钢筋混凝土结构的模板系统由两部分组成,其一是形成混凝土构件形状和设计尺寸的模板;其二是保证模板形状、尺寸及空间位置的支撑系统。

(1) 模板

模板工程材料的种类很多,木、钢、复合材、塑料、铝,甚至混凝土本身都可作为模板工程材料。

组合钢模板是施工企业拥有量最大的一种钢模板。组合钢模板由平面模板、阳角模板、阴角模板、连接角板等四种(图9.16)组成。



钢筋工程施工现场



模板工程施工现场

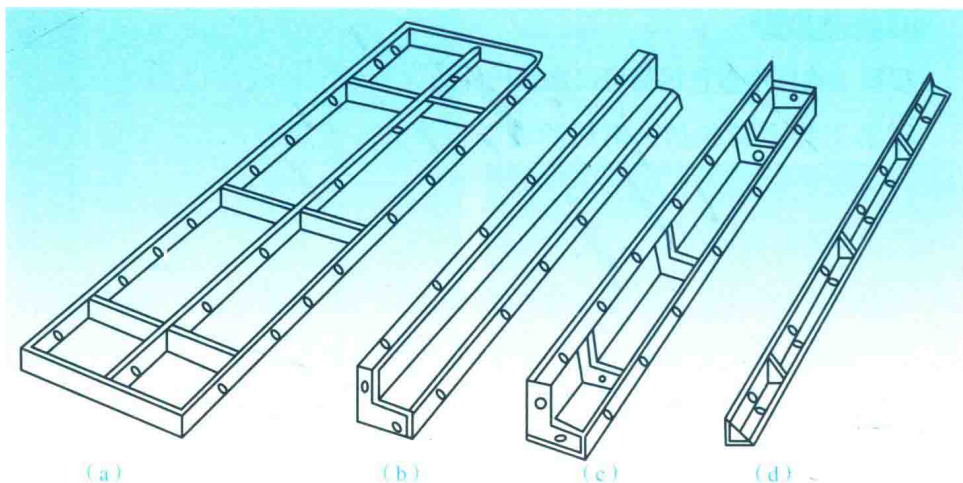


图9.16 组合钢模板

(a) 平面模板; (b) 阳角模板; (c) 阴角模板; (d) 连接角板

木模板最早被人们用作模板工程材料。木模板的主要优点是制作拼装方便,尤其适用于浇筑外形复杂、数量不多的混凝土结构或构件。此外,因木材导热系数低,混凝土冬季施工时,木模板有一定的保温养护作用。

胶合板模板有木胶合板和竹胶合板两种。近几年又开发出竹芯木面胶合板来替代木胶合板。胶合板可以在一定范围内弯曲,因此还可以做成不同弧度的曲面模板。胶合板是国际上用量较大的一种模板材料,也是我国今后具有发展前途的一种新型模板。

此外,还有塑料模壳板、玻璃钢模壳板、预制混凝土薄板模板(永久性模板)、压型钢板模板、装饰衬模等。

(2) 支撑系统

模板的垂直支撑主要有钢管支架、可独立使用并带有高度可调装置的钢支柱及门型架等。

可调钢支柱在建筑、隧道、涵洞、桥梁及煤矿坑道等工程上都可使用,具有能自由调节高度、承载能力稳定可靠、可重复多次使用以及重量轻、便于操作等优点。

(3) 模板体系

① 爬模体系。直爬模板已大量推广应用于高层建筑。斜爬模板为上海黄浦江上三座大桥的桥塔及武汉、广东几座斜拉桥所采用。

② 滑模体系。滑模是相对成熟的施工技术,在烟囱等筒体上早有应用,以后又在高层建筑的剪力墙、框架上应用。

③ 液压整体提升模板体系。在原滑模技术的基础上进行改进,原滑模动力体系仅作为提升设备,并加强支柱的力量,将模板做成整体,从而使模板可

爬模的原理是利用模板与爬架交替支承在结构上,并用简易起重设备交替上升安装支架与模板。

每层一次整体提升到位,混凝土分层浇筑。

④ 分块提升式大模板。模板体系支承在已完成的结构上,由专用液压机进行自升,马来西亚吉隆坡双塔大厦工程就应用了该项技术。

⑤ 升板机整体式提升模板脚手体系。利用升板机较大的提升能力,借助结构自身强度,提升钢制平台,而模板与脚手架就悬挂在钢平台上,随结构的上升而上升,是一种比较经济高效的模板体系。曾在上海东方明珠电视塔、金茂大厦等工程上采用,最高速度达一个月 13 层。

3. 混凝土工程施工

混凝土工程包括制备、运输、浇筑、养护等施工过程。

(1) 混凝土制备

混凝土的制备指混凝土的配料和搅拌。

混凝土的配料,是指将黄砂、水泥、石子、水按照一定的比例配置,以满足设计的混凝土强度的要求。

混凝土的搅拌按规定的搅拌制度在搅拌机中实现,如图 9.17 所示。

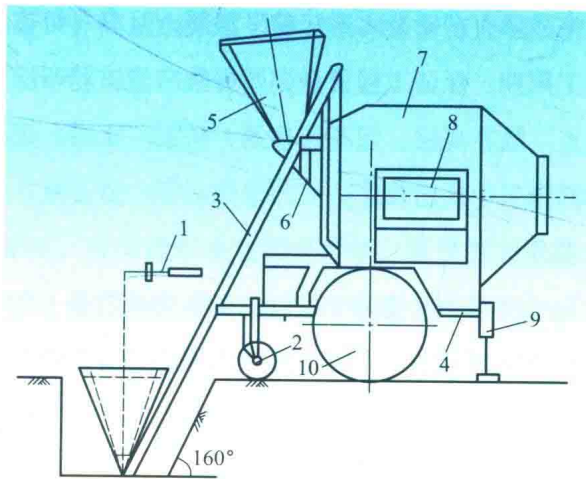


图9.17 双锥反转出料式搅拌机

1—牵引架; 2—前支轮; 3—上料架; 4—底盘; 5—料斗; 6—中间料斗;
7—锥形搅拌筒; 8—电器箱; 9—支腿; 10—行走轮

目前推广使用的商品混凝土是工厂化生产的混凝土制备模式。混凝土的制备在施工现场通过搅拌机和小型搅拌站实现了机械化;在工厂,大型搅拌站已实现了微机控制自动化。

(2) 混凝土运输

混凝土自搅拌机中卸出后,应及时送到浇筑地点,混凝土运输分水平运输



9.2.2 早拆模板体系

和垂直运输两种情况。常用水平运输机具主要有搅拌运输车、自卸汽车、机动翻斗车、皮带运输机、双轮手推车。常用垂直运输机具有塔式起重机、井架运输机。

混凝土搅拌运输车(图9.18)兼输送和搅拌混凝土的双重功能,可以根据运输距离、混凝土的质量要求等不同情况,采用不同的工作方式。混凝土搅拌运输车到达现场后,搅拌筒反转即可卸出拌合物。

水下混凝土的应用范围很广,如沉井封底、钻孔灌注桩浇注、地下连续墙浇注、水中浇注基础结构以及桥墩、水工和海工结构的施工等。

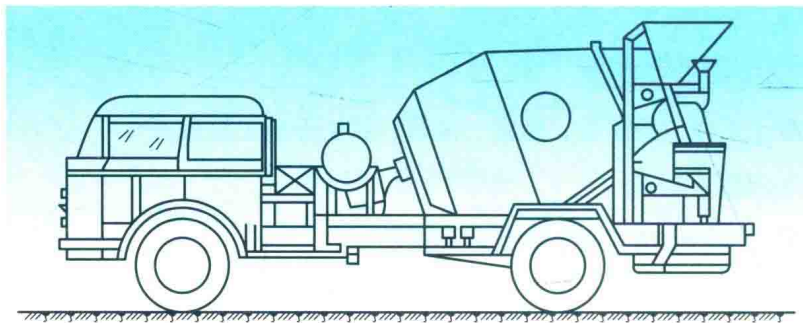


图9.18 混凝土搅拌运输车

使用混凝土泵输送混凝土,是将混凝土在泵体的压力下,通过管路输送到浇注地点,一次完成垂直运输及水平运输。混凝土泵具有可连续浇筑、加快施工进度、缩短施工周期、保证工程质量,适合狭窄施工场所施工,有较高的技术经济效益等优点。故在高层、超高层建筑、桥梁、水塔、烟囱、隧道和各种大型混凝土结构的施工中应用较广。

(3) 混凝土浇筑

混凝土浇筑包括浇灌和振捣两个过程。保证浇灌混凝土的匀质性和振捣的密实性是确保工程质量的关键。混凝土浇注应分层进行以使混凝土能够振捣密实。在下层混凝土凝结之前,上层混凝土应浇注振捣完毕。

在干地拌制而在水下浇注和硬化的混凝土,叫做水下浇筑混凝土,简称水下混凝土(图9.19)。

混凝土浇灌在模板内呈松散状态,其中含有占混凝土体积5%~20%的空洞和气泡。只有通过很好的振捣,才能使混凝土充满模板的各个边角,并把混凝土内部的气泡和部分游离水排挤出来,使混凝土密实,使强度符合设计要求。用于振实混凝土的工具称为混凝土振动器。

(4) 混凝土养护

混凝土浇筑成型后,应及时进行养护。养护的目的是为混凝土硬化创造必

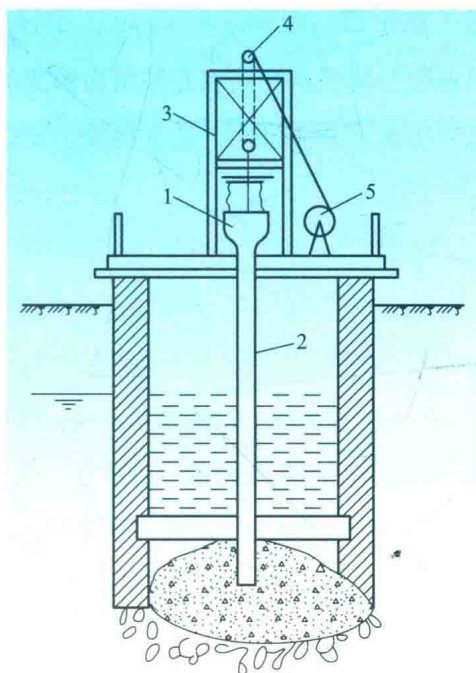


图9.19 水下浇注混凝土

1—漏斗；2—导管；3—支架；4—滑轮组；5—绞车

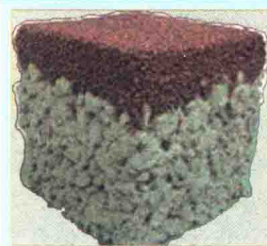
需的湿度、温度条件，防止水分过早蒸发或冻结，防止混凝土强度降低和出现收缩裂缝、剥皮起砂等现象，确保混凝土质量。

(5) 商品混凝土及泵送混凝土

商品混凝土发展很快，发达国家的一些大城市几乎都采用商品混凝土，占总量的 60% ~ 80%。我国近年来发展也很快。泵送混凝土技术是与商品混凝土一起发展起来的，如上海一次泵送 C60 混凝土达到 350 m 高度，已在东方明珠电视塔与金茂大厦工程上成功实践。

(6) 高性能混凝土及其发展

国际上提出高性能混凝土 (HPC) 这个名词尚不过 20 余年，为实现符合多种要求的特殊功能，如高强、耐久、耐油、抗裂，目前世界各国都有许多研究与实施计划。如在日本明石海峡大桥的两个桥墩上分别实现 $24 \times 10^4 \text{ m}^3$ 与 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 不用振捣的自密实混凝土；英国北海油田海上平台的混凝土 28 d 抗压强度达 100 MPa，可在海水中耐久 100 年；法国也提出了“混凝土新法”，着重解决混凝土的耐久性问题。由于国外高性能混凝土取得了突破，混凝土施工也打破了传统习惯，20 m 高的混凝土墙体可以一次浇捣。



透水混凝土



透水混凝土路面

(7) 透水混凝土

是由粗骨料表面包覆一薄层水泥浆相互粘结而形成的孔穴均匀分布的蜂窝状结构,作为环境负荷减少型混凝土,透水混凝土的研究开发越来越受到重视。

透水混凝土具有与普通混凝土所不同的特点:容重小、重量轻、水的毛细现象不显著、透气、透水、水泥用量小、施工简单等,因此这种新型的建筑材料优越性不断为人所知,并在道路领域逐渐得到应用。

透水混凝土能使雨水迅速渗入地下,还原地下水,保持土壤湿度;防止路面积水,夜间不反光,增加路面安全性和通行舒适性;调节城市空间的温度和湿度,改善城市热循环,缓解热岛效应;大孔隙率能降低车辆行驶时的路面噪音,创造舒适的交通环境;大量的空隙能吸附城市污染物(如粉尘),减少扬尘污染;易于维护,空隙不会破损、不易堵塞;可以根据需要设计图案,充分与周围环境相结合。



9.2.3 预应力混凝土的广泛应用

9.2.3 预应力混凝土工程施工

预应力混凝土是最近几十年发展起来的一项技术,在世界各国都得到了广泛应用。预应力混凝土的主要作用是能充分发挥钢筋和混凝土各自的性能,能提高钢筋混凝土构件的刚度、抗裂性和耐久性。

1. 先张法施工

先张法是在浇筑混凝土构件之前,张拉预应力筋,将其临时锚固在台座或钢模上,然后浇筑混凝土构件,待混凝土达到一定强度(一般不低于混凝土强度标准值的75%),预应力筋与混凝土间有足够粘结力时,放松预应力,预应力筋弹性回缩,借助于混凝土与预应力筋间的粘结,对混凝土产生预压应力。

先张法多用于预制构件厂生产定型的小型构件。

2. 后张法施工

构件或块体制作时,在放置钢筋的部位预先留有孔道,待混凝土达到规定强度后,孔道内穿入钢筋,并用张拉机具夹持钢筋将其张拉至设计规定的控制应力,然后借助锚具将预应力筋锚固在构件端部,最后进行孔道灌浆



9.2.4 先张法施工



9.2.5 后张法施工

(亦有不灌浆者), 这种施工方法称为后张法。图 9.20 为预应力后张法构件生产的示意图。

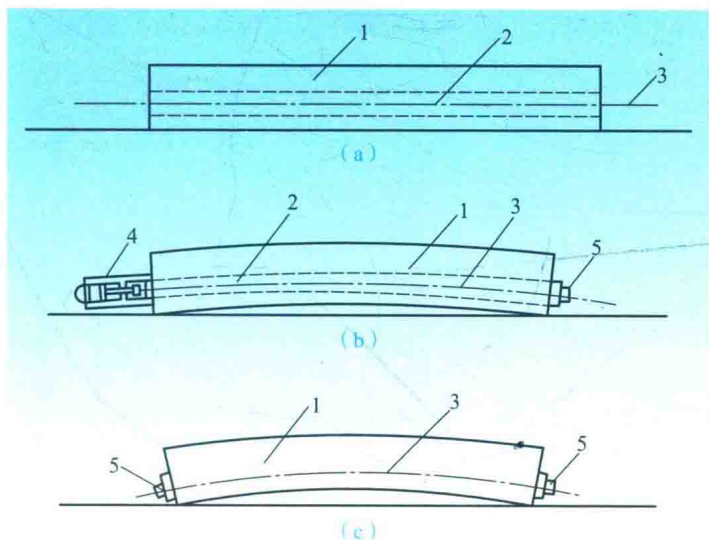


图9.20 预应力混凝土后张法生产示意图

(a) 制作混凝土构件; (b) 张拉钢筋; (c) 锚固和孔道灌浆
1—混凝土构件; 2—预留孔道; 3—预应力筋; 4—千斤顶; 5—锚具

后张法宜用于现场生产大型预应力构件、特种结构和构筑物, 亦可作为一种预制构件的拼装手段。

3. 无粘结预应力混凝土施工

无粘结预应力混凝土结构在张拉后容许预应力筋对周围混凝土发生纵向相对滑动。所以在施工中不需要预留孔道、穿筋及灌浆等复杂工序, 且易弯成多跨曲线形状, 特别适用于建造复杂的连续曲线配筋的大跨度结构。

19 世纪 80 年代以来, 无粘结预应力混凝土已用来建造多层工业厂房、住宅、办公楼、宾馆、停车库、商场、报告厅、储仓以及地面板、大型基础、板式桥梁和工程加固等。

9.2.4 结构安装工程施工

1. 起重机械

为了要将预制构件安装到设计位置上去, 就需要用起重设备。起重设备可分为起重机械和索具设备两类。

结构安装工程中常用的起重机械有: 桅杆起重机、自行式起重机(履带

1925 年, 美国提出了无粘结预应力筋的设想, 法国在预应力混凝土桥梁的初期实践中, 也曾试用过涂以沥青并缠绕纸带的无粘结钢筋, 但在当时没有受到重视。大约到 1970 年以后, 无粘结筋才在施工中得到了大量应用。

式、汽车式和轮胎式)和塔式起重机等。索具设备有:钢丝绳、吊具(卡环、横吊梁)、滑轮组、卷扬机及锚碇等。在特殊安装工程中,各种千斤顶、提升机等也是常用的起重设备。图 9.21 为各种塔式起重机的示意图。

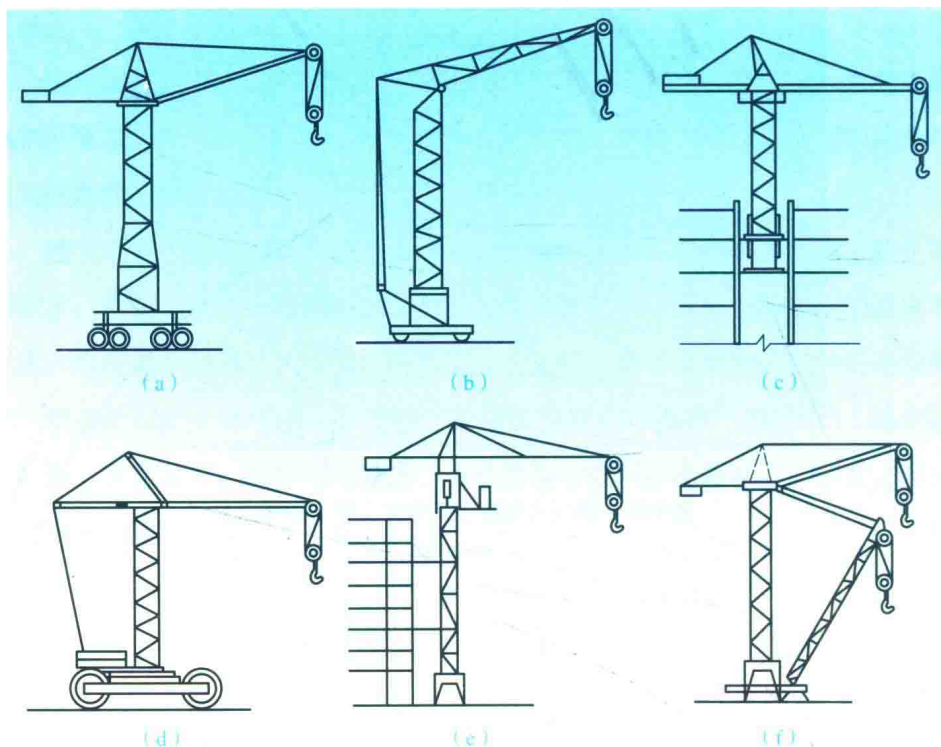


图9.21 塔式起重机的类型

(a) 上旋转式; (b) 下旋转式; (c) 上旋转爬升式;
(d) 下旋转轮胎式; (e) 上旋转附着式; (f) 塔桅式

2. 结构安装

结构安装可以分为按单个构件吊装,吊至安装位置后组拼成整体结构;地面拼装后整体吊装;特殊安装法施工三类。

(1) 单件吊装

单件吊装可采用各类起重机来吊装柱、梁、板、屋架等预制构件。预制构件的吊装过程,一般包括绑扎、吊升、对位、临时固定、校正、最后固定等工序。

单件吊装方法一般分为分件流水吊装法和综合吊装法两种。

在海上和深水大河上修建桥梁时,用可回转的伸臂式浮吊吊装构件比较方便(图 9.22 a)。这种架设方法,高空作业少、施工比较安全、吊装能力大、工效高,但需要大型浮吊。在缺乏大型伸臂式浮吊时,也可用刚制万能杆件或贝雷钢架拼装固定式的悬臂浮吊进行架设(图 9.22 b)。



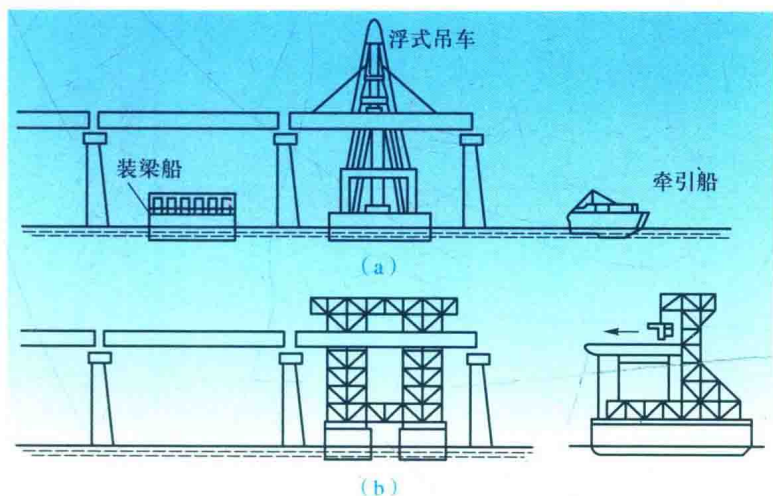


图9.22 浮吊架设法

(2) 整体吊装

整体吊装就是先将构件在地面拼装成整体,然后用起重设备吊到设计标高进行固定。图9.23所示为某网球馆网架屋盖结构采用多机抬吊法吊装的情况。

(3) 特殊安装法

对于某些土木工程,由于所处场地特别狭窄(如城市改造工程或远郊山区),大型起重机无法进入施工现场;或者由于结构构件重量特别重,体积特别大的工程,用一般安装方法难以解决时,则可采用特殊安装方法。常用的方法有:提升(升板)法、顶升法和滑移法等几种施工方法。

① 升板法施工

升板法施工是指楼板用提升法施工的板柱框架结构工程。升板法施工的方法是利用柱子作为导杆,配备相应的提升设备,将预制在地面上的各层楼板,提升到设计标高,然后加以固定(图9.24)。

② 顶升法施工

顶升法就是将屋盖结构在地面上就位拼装或现浇后,利用千斤顶的作用与柱块的轮番填塞,将其顶升到设计标高的一种垂直运输方法。这种吊装方法所需的设备简单,容易掌握,顶升能力大。

根据千斤顶放置位置的不同,顶升法可以分为上顶升法和下顶升法两种。上顶升法(图9.25)的特点是千斤顶倒挂在柱帽下,随着整个屋盖的上升千斤顶也随之上升。



9.2.7 整体吊装



9.2.8 升板法施工动画



9.2.9 顶升法施工动画



9.2.10 多机抬吊动画



9.2.11 屋面吊装动画

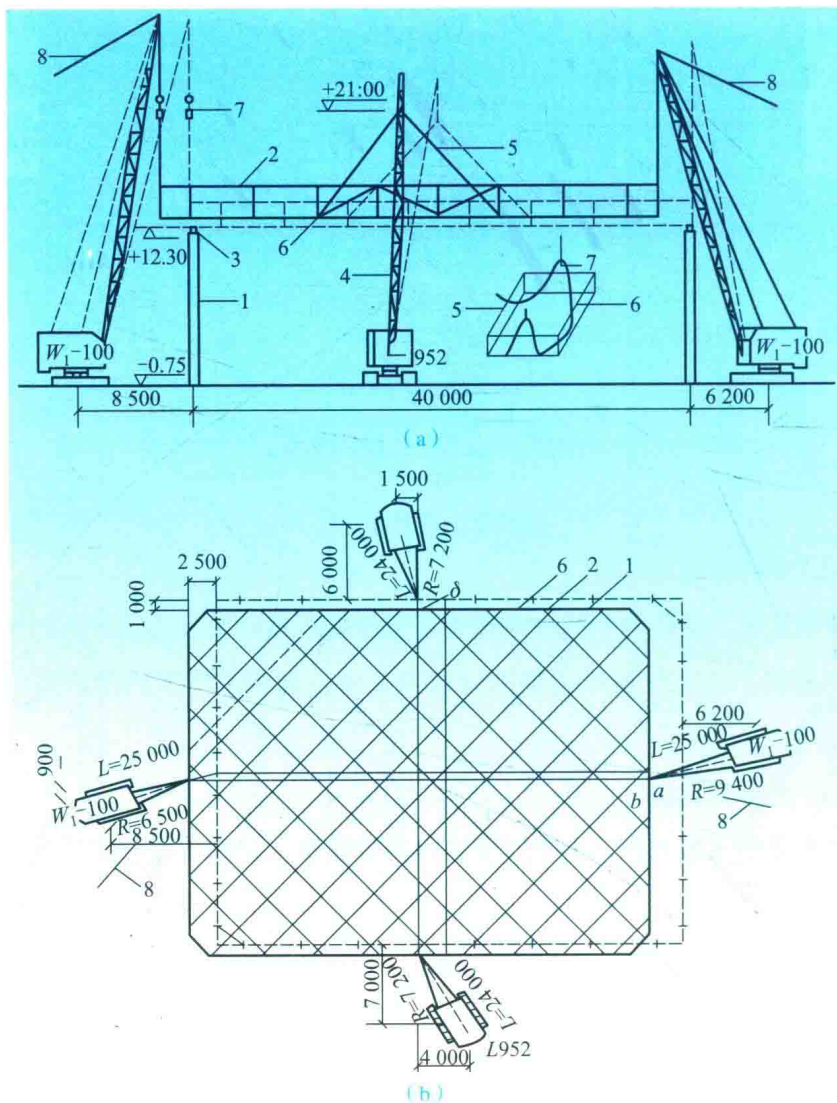


图9.23 多机台吊网架(单位: mm)

(a) 网架吊装示意图; (b) 网架吊装平面布置图

1—柱; 2—网架; 3—弧形铰支座; 4—履带式起重机; 5—吊索; 6—吊点; 7—滑轮; 8—缆风绳

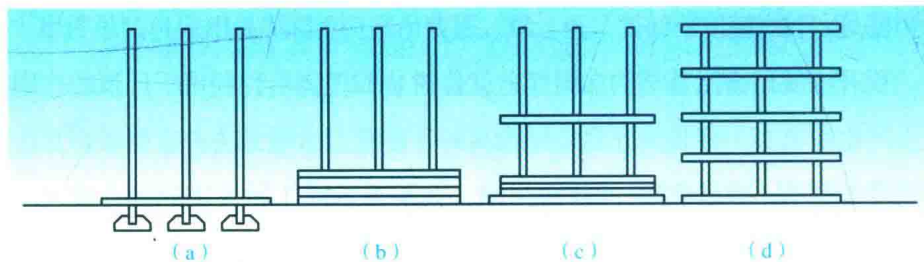


图9.24 升板工程提升程序简图

(a) 立柱浇地坪; (b) 叠浇板; (c) 提升板; (d) 就位固定

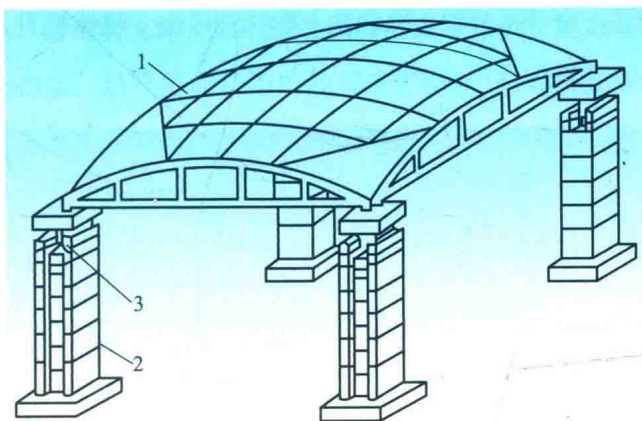


图9.25 双曲扁壳屋盖顶升法示意

1—壳体；2—柱块；3—千斤顶

下顶升法的特点是千斤顶在顶升过程中始终位于柱基上，每次顶升循环即在千斤顶上面填筑一个柱块。

9.2.5 钢结构工程施工

1. 空间网格结构施工 (图 9.26)



图9.26 网架施工

(1) 网架结构的施工原则

把网架根据实际情况合理地分割成各种单元体，尽可能多地争取在工厂或预制场地焊接拼成整个网架，尽量减少高空作业量。

(2) 网架安装

网架安装一般分为如下五种方法：



9.2.12 网架安装的五种方法

高空散装法；分条（分块）吊装法；高空滑移法；整体提升及整体顶升法（图 9.27）；整体吊装法。



图9.27 网架施工（整体提升及整体顶升法）

2. 网壳结构施工

网壳结构节点和杆件制作精度比网架高。安装方法可沿用网架施工的各种方法，但可根据某种网壳的特点而选用特殊的安装方法，从而达到经济合理的要求。

除了与网架以上几种安装方法相同以外，网壳结构的安装还有外扩法、内扩法、“攀达穹顶”结构体系的施工方法等。

9.3 特殊施工技术

在现代土木工程施工中，有大量的特殊施工技术，如水利工程的定向控制爆破、隧道工程的顶管施工等，下面仅简要介绍几例特殊施工技术。

9.3.1 地下长距离管沟、隧道施工技术

1. 盾构法

盾构法是一种在地下进行机械化暗挖作业的隧道施工方法，它靠盾构头部



掘土,或用大刀盘切削土体,然后拼装预制的混凝土管片建成隧道环。边前进边建环,环环相接,最终形成长距离的隧道(图 9.28)。在上海繁华闹市地段南京路、西藏路地下施工时,没有影响地面上的交通与市民生活。可以说,我国的盾构法施工技术达到了国际先进水平。

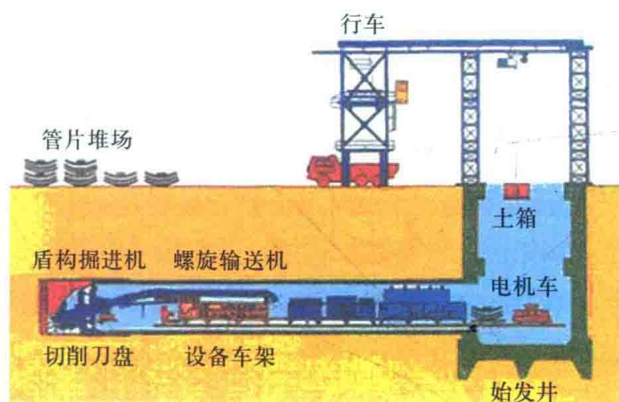


图9.28 盾构作业示意图

2. 顶管法施工技术

顶管法是用千斤顶将预制的钢筋混凝土管道分节顶进,并利用最前面的工具头进行挖土的一项地下掘进技术。以往对地下直径较小的管道可采用顶管法施工,目前随着技术进步,直径较大的管道也可以用顶管法施工,甚至可与盾构法媲美。在上海黄浦江上游引水工程中,将直径 3.5 m 的钢管一次顶进 1 743 m,创世界之最。目前,国外顶管技术最先进的国家是德国。

3. 沉管法施工技术

沉管法是在干船坞内或大型驳船上先预制钢筋混凝土管段或全钢管段,将其两头密封,然后浮运到指定的水域,再进水沉埋到设计位置固定,建成需要的过江管道或大型水下空间。珠江隧道工程为我国大型沉管工程开创了成功的先例。

4. 冻结法施工

冻结法是在含水土层内先钻孔打入钢管,导入循环的液氮,使周边的地层冻结,形成坚硬的冻土壳。它不仅能保证地层稳定,还能起隔水作用,可以进行深基坑的挖土。我国一些煤矿井筒工程中用此法施工,最长达 500 m。近年来,此法已推广到其他土木工程中。



9.3.2 悬索桥施工

9.3.2 桥梁施工技术

斜拉桥是新型的桥梁形式,这种形式大桥的主桥分两大部分:桥塔及索拉桥面。桥塔的施工与建筑工程相同,但有的呈斜面,施工有一定困难。在采用斜爬模施工技术后,取得了比较经济和快速的效果。由于斜拉桥桥面材料有不同的组合,可分为钢桥、钢与混凝土叠合桥及钢筋混凝土桥。

东海大桥是我国第一座外海超长桥梁,是连接洋山港区和大陆的唯一通道,全长 32.5 km,标准桥宽 31.5 m,设计使用寿命为 100 年。东海大桥地处外海无遮挡海域,海况、地质条件恶劣,年可操作天数少于 50%,工程风险大,难度极高。

东海大桥七项关键技术(国家科学技术进步奖一等奖)的运用是成功建设大桥的保障。这七项关键技术成果分别为:外海超长桥梁精确测量定位技术、蜂窝式自浮钢套箱施工技术、外海超大型整体箱梁预制安装技术、外海桥墩承台混凝土套箱施工技术、海上大跨度钢-混凝土箱形结合梁斜拉桥建造技术、外海浑水环境下大规模水下湿法焊接技术和适用于外海超大型桥梁的防灾防损技术。

9.3.3 房屋工厂的设想与实践

由于房屋建筑的固定与庞大的特性,建筑工人露天作业的状况沿袭至今。设想改变这种状况的方案是:在建造高层建筑时,先建一个带各种机具与控制设备的顶盖,在往上进行房屋结构施工的同时,大屋盖也跟着往上提升,成为一个全天候建筑施工的工厂。如图 9.29 所示是一幢地下 2 层、地上 20 层的商住大楼,高 85 m,钢结构、内部大部分采用装配式的构配件。

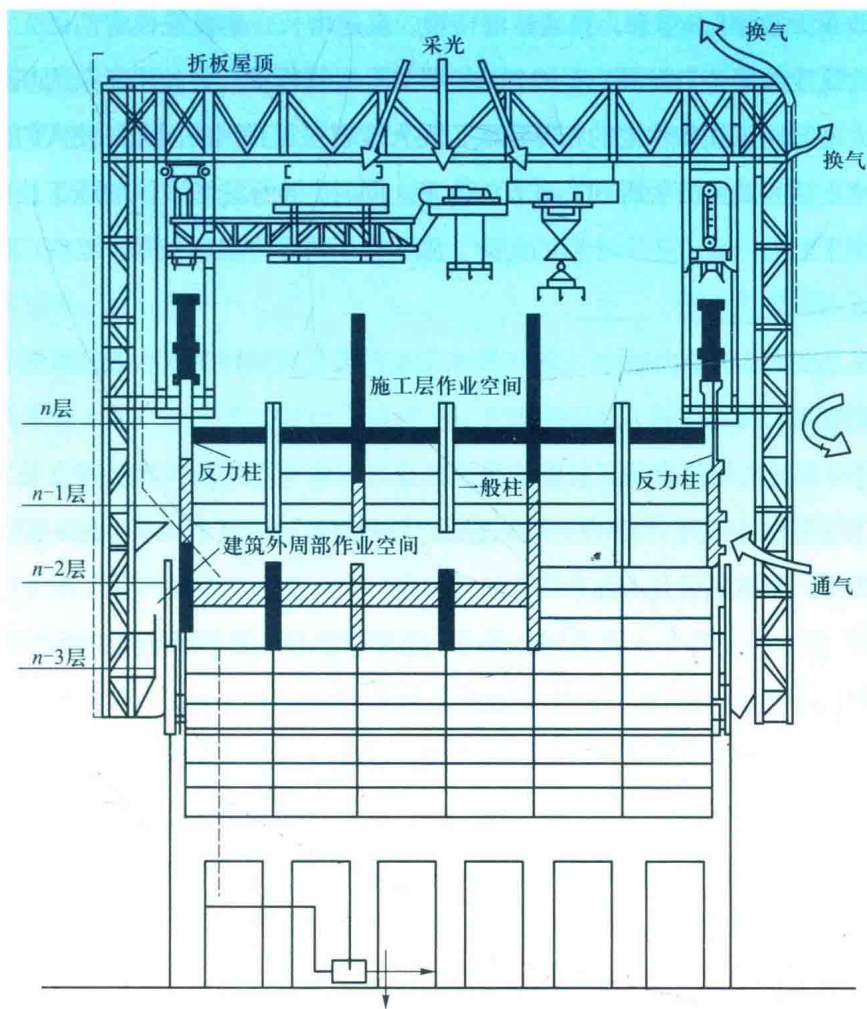


图9.29 房屋工厂施工方法示意

9.3.4 土木工程施工的发展

建国初期，我国经济趋于恢复发展阶段，建设规模不大，建筑施工企业技术与管理水平低，装备落后，施工主要依靠手工，仅能建造一般的工业与民用建筑。“一五”期间，通过 156 项重点工程建设，建筑施工企业的技术和管理水平有了一定的提高。

随后 20 年间，我国经济起伏，发展缓慢，建筑安装工作量虽有增长，但施工企业的技术水平、管理能力和机械装备仍很低下，与经济发达国家相比，差距很大。

改革开放 30 多年来,我国经济持续、高速增长,建设规模空前巨大,促进了建筑业的繁荣与发展。全国各地一批又一批规模宏大、技术复杂的基础设施、大型公用工程和住宅的相继建成,大大地增强了我国的国力,使人们的物质文化生活和城乡面貌得到了显著的改善。同时,也标志着我国的施工技术水平 and 施工能力,又上了一个新的台阶。施工中采用了许多新技术,有些已达到或接近国际先进水平。

从历史与发展的视角看,施工技术定会随着工程规模的扩大及现代科技的发展而发展,与时俱进,不断创新。

① 充分利用现有施工技术成果,如推广国家推荐的新技术,建立技术总结与工法制度,以充分利用经实践证明的行之有效的新技术成果,进一步扩大技术积累,促进其转化为生产力。

② 建立与完善专业技术分包公司,使专项技术得到不断优化,精益求精,并与现代新科技相结合。

③ 按照国家有关技术政策,开发新一轮的专项技术,尤其是大型施工企业及国家工程研究中心,应当加大科技投入,要针对我国土木工程技术总的发展思路,相对集中人力、物力与财力,不断开发新的施工技术。如开发大规模的地下空间逆作法技术、施工机器人技术、复合材料技术、信息自动化,以及地下、水下、高空作业安全技术等。

④ 设计与施工一体化,尤其在特殊结构或特大型结构工程中,设计与施工要紧密结合,共同开发,以期在施工技术上有新的突破。

⑤ 大力发展与运用集合技术,使现代管理与现代施工技术有机结合起来,创造出土木工程技术发展的新模式,最终实现我国土木工程的现代化。

9.4 施工组织

土木工程产品与工业产品相比具有迥然不同的特殊性。工业生产产品总是可以组成若干类型后再统一规格大批量组织生产,唯独土木工程产品各有造型与风格要求,有的还成为地标性象征和历史的丰碑。土木工程产品的差异为一切产品之最,其单一性决定了土木工程施工没有固定不变的模式。



工业产品一般都是在固定的生产地点生产或组装成产品后运输销售给使用者的,唯独土木工程产品是固定不动的。土木工程施工不能自己设计一个理想空间,选定一套稳定工艺组织生产,而是服从产品设定地点的需要,不断地按工程要求,组织流动设备与人员,使自己的生产最有效地适应工程特定的空间,包括环境、交通、气象、地质等。因此,因地制宜,是土木工程施工的基本原则。

没有一种工业产品可与土木工程产品比体量。一幢大楼几百米高,一座桥几百米长,生产一个产品要动用成百上千台设备与成千上万名员工,从开工到竣工,少则数年,多则数十年。其生产过程是通过不断变换的人流将物资有机地凝聚成逐步扩大的产品,而最终产品是一个需要符合一系列功能的统一体,所以土木工程产品的生产是一个“多维”的系统工程。土木工程施工必须把握施工方案多样性的特点,经过科学论证选取最佳方案。

由于土木工程产品单一、固定与庞大的特性,决定了土木工程施工的复杂性,没有统一的模式。充分认识施工的主客观条件,选用最合适的方法,经过科学组织来实现施工。

建筑工程施工组织设计,是指导施工全过程的技术经济文件。它根据建筑产品及其生产的特点,按照产品生产规律,运用先进合理的施工技术和流水施工基本理论与方法,使建筑工程的施工得以实现有组织、有计划地连续均衡生产,从而达到工期短、质量好、成本低的效益目的。

9.4.1 施工组织设计的内容

施工组织设计的内容,要结合工程对象的实际,一般包括以下基本内容。

1. 工程概况

包括本建设工程的性质、内容、建设地点、建设总期限、建设面积、分批交付生产或使用的期限、施工条件、地质气象条件、资源条件、建设单位的要求等。

2. 施工方案选择

根据工程情况,结合人力、材料、机械设备、资金、施工方法等条件,全面安排施工顺序,对拟建工程可能采用的几个施工方案,选择最佳方案。

施工组织设计编制审批后,各项施工活动必须符合组织设计要求;施工各管理部门都要按照施工组织设计规定内容安排工作。

3. 施工进度计划

施工进度计划反映了最佳施工方案在时间上的安排,采用先进的计划理论和计算方法,综合平衡进度计划,使工期、成本、资源等通过优化调整达到既定目标。在此基础上,编制相应的人力和时间安排计划、资源需要计划、施工准备计划。

4. 施工平面图

施工平面图是施工方案和进度在空间上的全面安排,它把投入的各项资源、材料、构件、机械、运输、工人的生产、生活活动场地及各种临时工程设施合理地布置在施工现场,使整个现场能有组织地进行文明施工。

5. 主要技术经济指标

技术经济指标用以衡量组织施工的水平,它是对施工组织设计文件中的技术经济效益进行的全面评价。

6. 质量、安全保证体系

质量、安全保证体系是从组织、技术上采取切实可行的措施,确保施工顺利进行。

9.4.2 施工组织设计的分类

根据工程的特点、规模大小及施工条件的不同,编制由于深度和广度上的差异而形成的不同种类的施工组织设计,包括:

- ① 施工组织总设计;
- ② 单位工程施工组织设计;
- ③ 分部(分项)工程施工组织设计。

9.4.3 网络计划技术

网络计划技术是用网络图解模型表达计划管理的一种方法。其原理是应用网络图表达一项计划中各项工作的先后次序和相互关系;估计每项工作的持续时间和资源需要量;通过计算找出关键工作和关键路线,从而选择出最合理的方案并付诸实施,然后在计划执行过程中进行控制和监督,保证最合理地使用

人力、物力、财力和时间。

网络图（图 9.30）是由箭头和节点组成的，用来表示工作流程有向、有序的网状图。在网络上加注工作时间参数而编成的进度计划，称为网络计划。

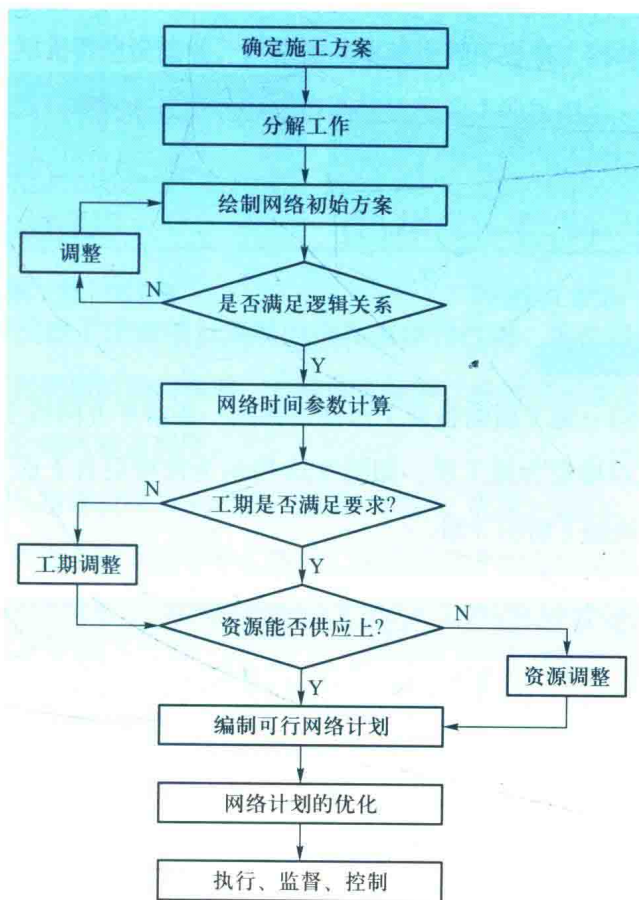


图9.30 网络计划管理程序示意图

9.4.4 建筑工程施工进度网络计划的排列方法

网络计划应灵活排列，简化层次，各工作之间在工艺上和组织上的逻辑关系清晰、简明，以便于使用和调整。常用的网络计划排列方法有以下几种。

1. 按施工段排列

该法是把同一施工段上各项工作排在同一条水平方向线上的方法。它能直观地反映出工程分段施工特点，突出表现工作面的连续作业情况，这是施工现场惯用的一种表示方法，如图 9.31 所示。

2. 按工种排列法

该法是把同一种的各项工作在一条水平方向线上的方法。可突出表现不同工种的连续作业情况,该法便于检查工种的工作,与横道图画法接近,也是工地常用的一种方法,如图 9.32 所示。

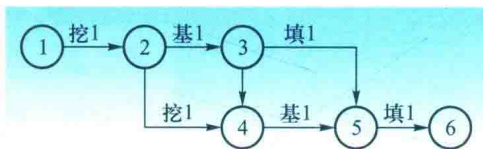


图9.31 按施工段排列

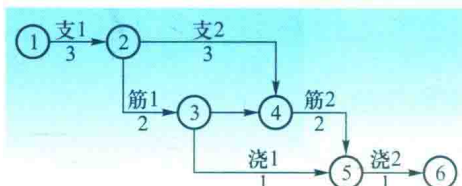


图9.32 按工种排列

3. 按楼层排列法

该法是将同一施工层的各项工作排列在同一条水平方向线上的一种方法,内装修工程常以楼层为施工层,如图 9.33 所示为按楼层自上而下进行室内装修的三层房屋的施工组织计划。

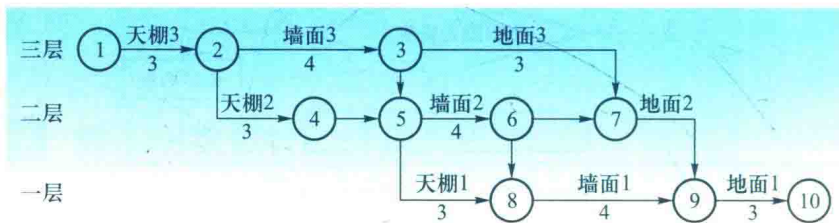


图9.33 按楼层排列

此外,还有按施工专业或单位排列法、按栋号排列法、按分部工程排列法等。

9.5 工程项目管理

有工程项目就必然要进行工程项目管理。我国古代的许多规模宏大、结构复杂的工程,如长城、都江堰、大运河、故宫等,尽管人们从史书上看不到当时工程项目管理的具体情况,但可以肯定在这些工程建设中各工作之间必然有统筹的安排,必然有一套严密的组织和管理,必然有工期上的计划和控制,必

然有经费上的测算和审核,必然有质量上的要求和检查。必然有“运筹帷幄”和“神机妙算”。

我国的基本建设实践告诉我们,违反建设程序,疏于管理,工程就会出乱子,甚至会带来不可挽回的重大损失。土木工程建设的复杂性和特殊性,更要求我们建立和完善建设法规,严格按基本建设程序办事,科学统筹,严格管理,在国家宏观调控的前提下,形成市场化运作为主的机制。

9.5.1 建设程序

建设程序反映了建设项目发展的内在规律和过程。建设程序分为若干阶段,这些阶段有严格的先后次序,不能任意颠倒,必须共同遵守,这个先后次序就是我们通常说的建设程序。

建设程序是指建设项目从设想、选择、评估、决策、设计、施工到竣工验收,投入生产的整个建设过程中,各项工作必须遵守的先后次序的法则。这个法则是人们在认识客观规律的基础上指定出来的,是建设项目科学决策和顺利进行的重要保证。

项目的建设程序并非我国独有。世界各国包括世界银行在内,在进行项目建设时,都有各自的建设程序。

在我国按现行规定,一般大中型和限额以上的项目从建设前期工作到建设、投产要经历以下几个阶段的工作(图9.34):

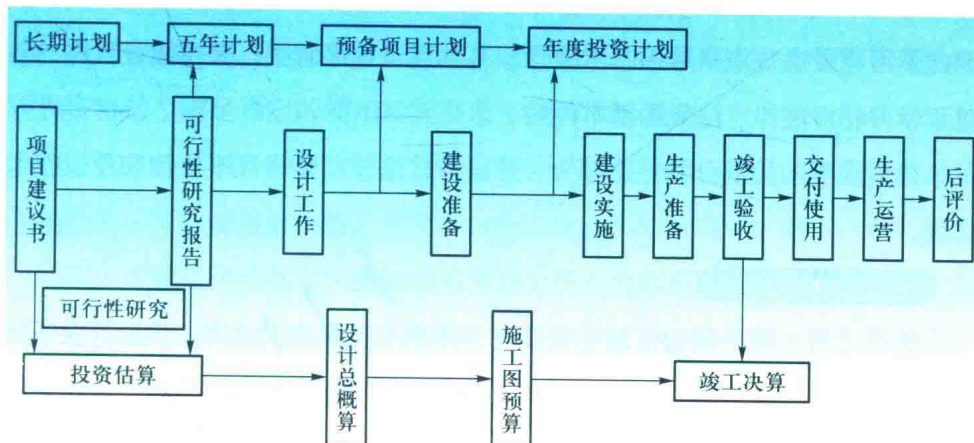


图9.34 基本建设程序示意图



9.5.1 世界银行对建筑项目的贷款管理

- ① 根据国民经济和社会发展规划,结合行业和地区发展规划的要求,提出项目建议书;
- ② 在勘察、试验、调查研究及详细技术经济论证的基础上编制可行性研究报告;
- ③ 根据项目的咨询评估情况,对建设项目进行决策,再根据可行性研究报告编制设计文件;
- ④ 初步设计经批准后,做好施工前的各项准备工作;
- ⑤ 建设实施,根据工程进度,做好生产准备;
- ⑥ 项目按批准的设计内容建成,竣工验收合格后,正式投产,交付生产使用;
- ⑦ 生产运营一段时间后(一般为两年),进行项目后评价。

9.5.2 建设法规

建设法规是指国家权力机关或其授权的行政机关制定的,旨在调整国家及其有关机构、企事业单位、社会团体、公民之间在建设活动中或建设行政管理活动中发生的各种社会关系的法律、法规的总称。简而言之,建设法规是在建设活动中国家权力机关或其授权的行政机关制定的用以调整各种社会关系的法律、法规的总称。

建设法规所研究的内容涉及各类建设部门,如城市规划、市区公用事业、村镇建筑、工程建筑、房地产以及相关的环境保护、土地资源、矿产资源等。因此学习建设法规应从掌握基本概念、基本建设程序着手,并按建设程序的各过程学习相应法律、法规的基本内容。

建设法规的构成分为三个部分:建设行政法律、建设民事法律和建设技术法规。

1. 建设行政法律

建设行政法律是指国家制定或认可,体现人民意志,由国家强制力保证实施的并由国家建设管理机构从宏观上、全局上管理建筑业的法律规范。它在建设法规中居主要地位。如《中华人民共和国建筑法》(以下简称《建筑法》)就是我国工程建设和建筑业的一部大法,是建筑活动的基本法。又如《城市规划



9.5.2 建设法规的调整对象

法》、《工程设计法》、《税法》等。

2. 建设民事法律

建设民事法律是指国家制定或认可的,体现人民意志的,由国家强制力保证其实施的调整平等主体的公民之间、法人之间、公民与法人之间的建设关系的行为准则。如《建设合同法》、《建设企业法》等。

3. 建设技术法规

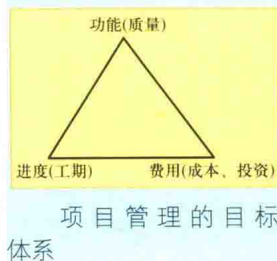
建设技术法规是指国家制定或认可的,由国家强制力保证其实施的工程建设勘察、规划、施工、安装、检测、验收等技术规程、规则、规范、条例、办法、定额、指标等规范性文件。如施工验收规范、建设定额等。

9.5.3 工程项目管理的基本目标

工程项目管理是指从事工程项目管理的企业(以下简称工程项目管理企业)受业主委托,照合同约定,代表业主对工程项目的组织实施进行全过程或若干阶段的管理和服务。工程项目管理企业不直接与该工程项目的总承包企业或勘察、设计、供货、施工等企业签订合同,但可以合同约定,协助业主与工程项目的总承包企业或勘察、设计、供货、施工等企业签订合同,并受业主委托监督合同的履行。

在工程项目管理过程中,人们的一切工作都是围绕着一个目的——为了取得一个成功的项目而进行的。那么怎样才算是一个成功的项目?时间、条件、视角不同,就会有不同的标准,通常一个成功项目至少必须实现这样的预期目标:在预定的时间内完成项目的建设,达到预定的项目要求;在预算费用内实现投资目的;满足预定的使用功能要求;能为使用者(用户)接受和认可;能合理、有效地利用各种资源;项目实施按计划、有秩序地进行,不发生事故或其他损失;与环境协调一致。

以工程建设作为基本任务的项目管理的核心内容可概括为“三控制、二管理、一协调”,即进度控制、质量控制、费用控制,合同管理、信息管理和组织协调。在有限的资源条件下,运用系统工程的观点、理论和方法,对项目的全过程进行管理。所以项目管理基本目标有三个最主要的方面:专业目标(功能、质量、生产能力等),工期目标和费用(成本、投资)目标,它们共同构



成项目管理的目标体系。

要取得完全符合上述每一个条件的项目几乎不可能,因为这些条件之间有许多矛盾,常常相悖。在一个具体的项目中常常需要确定它们的重要性(优先级),有的必须保证,有的尽可能照顾,有的又不能保证。这就属于项目目标的优化。

9.5.4 工程项目管理的基本特点

现代化的项目管理是在 20 世纪 50 年代以后发展起来的。

20 世纪 50 年代,人们将网络技术应用于工程项目的工期计划和控制,取得了很大成功。最重要的是美国 1957 年的北极星导弹研制和后来的登月计划。当时以及后来很长一段时间,人们一谈起项目管理便是网络,一举例便是上述两个项目。

20 世纪 60 年代,利用大型计算机进行网络计划的分析计算已经成熟,人们可以用计算机进行项目工期的计划和控制。但当时计算机还不普及,一般的项目不可能使用计算机进行管理。而且当时有许多人对网络技术接受迟缓,所以网络技术尚不十分普及。

20 世纪 70 年代,计算机网络分析程序已十分成熟,人们将信息系统方法引入项目管理中,提出项目管理信息系统。这使人们对网络技术有更深入的理解,扩大了项目管理的研究深度和广度,同时扩大了网络技术的作用和应用范围,在工期计划的基础上实现用计算机进行资源和成本计划、优化和控制。

20 世纪 80 年代,微机得到了普及,这使项目管理理论和方法的应用走向了更广阔的领域。由于计算机及软件价格降低,数据获得更加方便,计算时间缩短,调整容易,程序与用户友好等优点,使寻常的项目管理公司和企业都可以使用现代化的项目管理方法和手段。这使项目管理工作大为简化和高效,收到了显著的经济和社会效果。

20 世纪 90 年代,人们扩大了项目管理的研究领域,包括合同管理、项目形象管理、项目风险管理、项目组织行为。在计算机应用上则加强了决策支持系统和专家系统的研究。



9.5.3 工程项目管理国际惯例

如今计算机技术尤其是网络技术的发展为解决建设项目信息管理的上述问题提供了新的机遇。利用互联网促进建设项目参与各方的联系,突破了时间和距离的限制,及时、有效地进行信息的交流与共享。

工程项目管理具有如下特点:

(1) 项目管理理论、方法、手段的科学化

这是现代化项目管理最显著的特点。现代管理理论的应用,例如系统论、信息论、控制论、行为科学等在项目管理中的应用。现代管理方法的应用,如预测技术、决策技术、数学分析方法、数理统计方法、模糊数学、线性规划、网络技术、图论、排队论等。管理手段的现代化,最显著的是计算机的应用,以及现代图文处理技术、精密仪器的使用,多媒体的使用等。

(2) 项目的社会化专业化

以往人们进行工程建设要组织起管理班子,一旦工程结束这套班子便解散或赋闲。因此管理人员的经验得不到积累,只有一次教训,没有二次经验。在现代社会中,需要专业化的项目管理公司,项目管理今天不仅是学科,而且成为一门职业。专门承接项目管理业务,提供全套的专业化咨询和管理服务,这是世界性的潮流。现在不仅发达国家,甚至发展中国家上马大型的工程项目都聘请或委托项目管理(咨询)公司进行项目管理,这样能取得高效益,达到投资省、进度快、质量好的目标。

(3) 项目管理的标准化和规范化

项目管理是一项技术性非常强的工作,要符合社会化大生产的需要,项目管理必须标准化、规范化。这样项目管理工作才有通用性,才能专业化、社会化,才能提高管理水平和经济效益。这使得项目管理成为人们通用的管理技术,逐渐摆脱经验型管理以及管理工作“软”的特征,而逐渐硬化。

(4) 项目管理国际化

项目管理的国际化趋势不仅在中国而且在全世界越来越明显。项目管理的国际化,即按国际惯例进行项目管理。国际惯例能把不同文化背景的人包罗进来,提供一套通用的程序,通行的准则和方法,这样统一的文件就使得项目中的协调有一个统一的基础。

9.5.5 工程项目招投标



9.5.4 招标与投标的一般理解

建筑工程采用招标投标方式决定承建者是市场经济、自由竞争发展的必然结果。招标投标实际就是建筑产品的交换方式,这种方式已成为国际建筑市场中广泛采用的主要交易方式。

我国社会主义制度下的建筑工程招标投标制,是在国家宏观指导和调控下,自觉运用价值规律和市场竞争规律,从而提高建筑产品供求双方的社会效益的一种手段。其竞争目的是满足社会不断增长的需求;其竞争手段,必须为国家法规与社会主义精神文明和职业道德规范所允许。

工程项目招标投标中的所谓“招标”是指项目建设单位(业主)将建设项目的内容和要求以文件形式标明,招引项目承包单位(承包商)来报价(投标),经比较,选择理想承包单位并达成协议的活动。对于业主来说,招标就是择优。由于工程的性质和业主的评价标准不同,择优可能有不同的侧重面,但一般包含如下四个主要方面:较低的价格、先进的技术、优良的质量和较短的工期。业主通过招标,从众多的投标者中进行评选,既要从其突出的侧重面进行衡量,又要综合考虑上述四个方面的因素,最后确定中标者。

所谓“投标”是指承包商向招标单位提出承包该工程项目的价格和条件,供招标单位选择以获得承包权的活动。对于承包商来说,参加投标就如同参加一场赛事竞争。因为,它关系到企业的兴衰存亡。这场赛事不仅比报价的高低,而且比技术、经验、实力和信誉。特别是当前国际承包市场上,工程越来越多的的是技术密集型项目,势必给承包商带来两方面的挑战。一方面是技术上的挑战,要求承包商具有先进的科学技术,能够完成高、新、尖、难工程;另一方面是管理上的挑战,要求承包商具有现代先进的组织管理水平,能够以较低价中标,靠管理和索赔获利。

招投标的适用范围包括工程项目的前期阶段(可行性研究、项目评估等),以及建设阶段的勘测设计、工程施工、技术培训、试生产等各阶段的工作。由于这两个阶段的工作性质有很大差异,实际工作中往往分别进行招投标,也有实行全过程招投标的。

招标单位又叫发标单位,中标单位又叫承包单位。

“标”指发标单位标明的项目的内容、条件、工程量、质量、工期、标准等的要求，以及不公开的工程价格（标底）。

标底是建设项目造价的表现形式之一。其由招标单位自行编制或委托经建设行政主管部门批准具有编制标底资格和能力的中介机构代理编制，并经当地工程造价管理部门（招投标办公室）核准审定最终形成发包价格，是招标者对招标工程所需费用的自我测算和预期，也是判断投标报价合理性的依据。

建设项目投标报价是指施工单位、设计单位或监理单位根据招标文件及有关计算工程造价的资料，按一定的计算程序计算工程造价或服务费用，在此基础上，考虑投标策略以及各种影响工程造价的因素，然后提出投标报价。

项目招标方式主要有公开招标、邀请招标和协商议标三种。

建筑工程招投标的主要程序如图 9.35 所示。

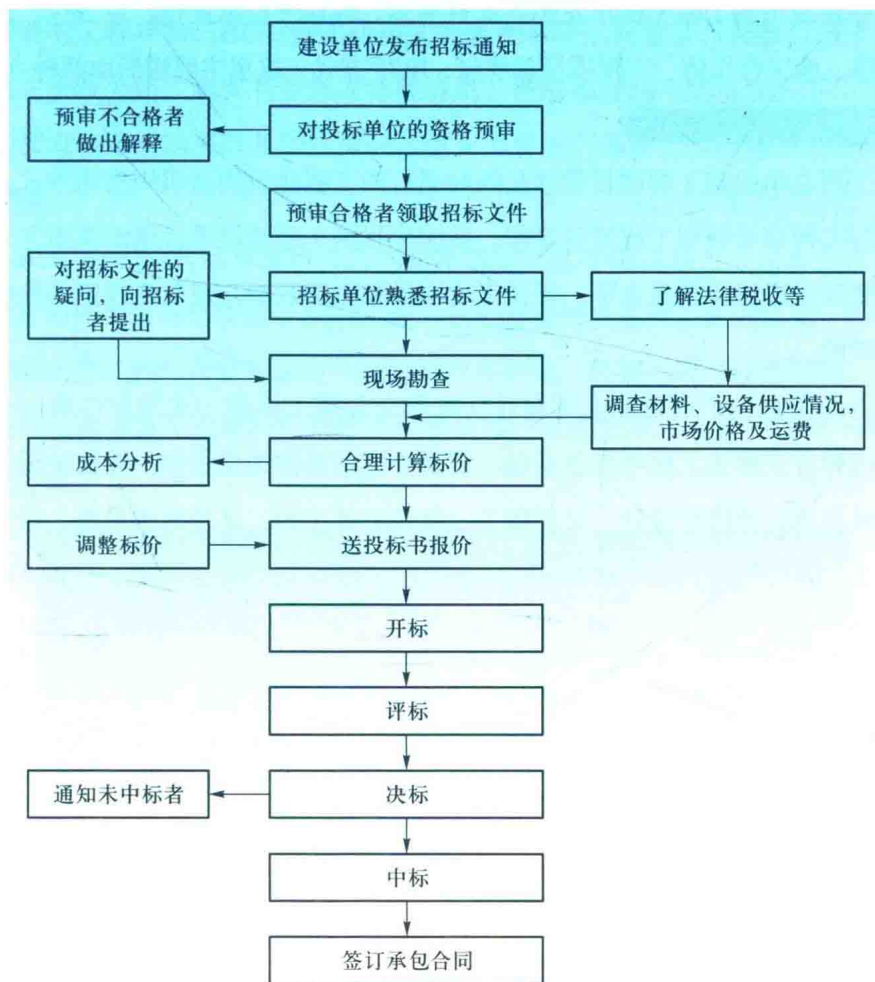


图9.35 建筑工程招投标的程序

9.5.6 土木工程的承发包



9.5.5 承包与发包

工程项目承发包关系是业主委托设计单位或施工单位完成拟建土木工程项目相应任务而形成的相互关系,它反映土木工程产品所有者与生产者之间的经济关系。业主作为土木工程产品的所有者向设计单位或施工单位发包,而设计单位或施工单位则作为土木工程产品的生产者向业主承包,并在经济上直接对业主负责。招标投标是实现工程承发包关系的主要途径,即业主通过招标进行发包,设计单位或施工单位通过投标进行承包。这样所形成的承发包关系才能真正符合市场经济发展的客观规律。在我国,经常把招标投标与承发包合称为招标投标制。

在建筑市场上常见的承发包方式有很多,包括平行承发包、总分包、施工联合体、施工合作体、工程项目总承包、BOT方式,这里主要讲后面两种方式。

1. 工程项目总承包

工程总承包和工程项目管理是国际通行的工程建设项目组织实施方式。积极推行工程总承包和工程项目管理,是深化我国工程建设项目组织实施方式改革,提高工程建设管理水平,保证工程质量和投资效益,规范建筑市场秩序的重要措施。

若业主把一个项目的全部设计任务和全部施工任务一次性发包给一个单位,这种方式称为工程项目总承包,实践中通常简称为总承包。笼统地说,工程项目总承包要既包设计,又包施工;既包主体工程,又包外围设施;既包土建施工,又包设备安装;还可能包括与工程建设有关的设备订货、材料采购以及其他工作。

工程项目总承包的具体方式、工作内容和责任等,由业主与工程总承包企业在合同中约定。工程项目总承包主要有如下方式:

(1) 设计采购施工/交钥匙总承包

设计采购施工总承包是指工程总承包企业按照合同约定,承担工程项目的的设计、采购、施工、试运行服务等工作,并对承包工程的质量、安全、工期、造价全面负责(图9.36)。交钥匙总承包是设计采购施工总承包业务和责任的延伸,最终是向业主提交一个满足使用功能、具备使用条件的工程项目。

(2) 设计—施工总承包

设计—施工总承包是指工程总承包企业按照合同约定, 承担工程项目设计和施工, 并对承包工程的质量、安全、工期、造价全面负责。

根据工程项目的不同规模、类型和业主要求, 工程总承包还可采用设计—采购总承包、采购—施工总承包等方式。

2. BOT 方式

采用 BOT 方式营建土木工程是 20 世纪 80 年代中期出现的, 主要用于基础设施和公共工程项目, 如隧道、公路、发电厂等。按常规, 这些项目应当由政府发起、组织和投资。但是, 发展中国家常常面临着基础设施薄弱和资金不足的双重困难, 即使发达国家, 在兴建大型基础设施项目时也往往暴露出政府资金不足的矛盾。这客观上需要采用一种新的方式来兴建这些社会经济发展迫切需要的工程项目, BOT 方式即在这种条件下应运而生了。例如, 马来西亚的南北干线公路、澳大利亚悉尼海底隧道、香港东区海底隧道和大老山隧道、英吉利海峡海底隧道以及我国深圳沙角火力发电厂等项目, 都是采用 BOT 方式营建。

BOT 方式与其他承发包方式的根本区别, 在于建设项目是由承包商和银行投资团体负责筹措资金、组织实施以及经营管理。这种方式的实质, 是将国家的基础建设和经营管理权在一定时期内私有化。在到达特许权期限时, 该财团应当把该项目无偿地转交给政府经营管理, 从而完成“建设—经营—转让”的全过程。

BOT 是英文 Build Operate Transfer 三词的缩写, 字面意思是建设、经营和转让。由于我国目前对此尚无定译, 故暂直接用英文缩写表达。

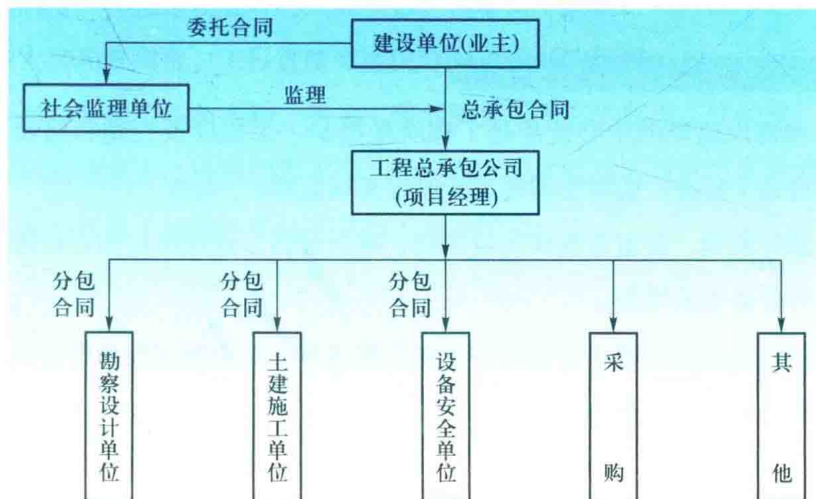


图9.36 一体化承包组织系统图

9.5.7 建设监理

国际上统称的建设监理是一个由多学科、多专业构成的技术密集智能型组织，它在土木工程实施建设监理制中起着举足轻重的作用。这一有上百年的历史的建设管理制度在建筑立法化、工作程序化、技术规范化管理科学化和组织现代化等方面与时俱进，被世界上许多国家和地区推崇。

我国建设监理制始自1988年，理论与实践的发展较快，初步形成新的工程项目管理格局框架，促进了工程建设项目管理体制和管理水准的提高。随之兴起的我国监理业在队伍建设、建章立制和业务实践等方面均创佳绩。实践证明：大力推行建设监理制，有利于工程质量、工期与成本控制；能实现建设速度与效益并举；有利于提高数量与质量的结合，是一条多快好省进行基本建设的途径。

监理工作是一个庞大且复杂的系统工程，它涉及面广、持续时间长、技术难度大、技术含量高，既有阶段性又有连续性、工作条件十分复杂。由于合同文件不可能预料到项目实施过程中可能出现的所有问题，因此，大量的监督、控制、协调、协商、变更及反索赔等管理工作都有待于监理工程师去完成。监理实施过程是项目合同不断补充、完善的过程。因此，现场监理工作的好坏直接影响到项目管理的成败和业主、承包商的利益。

1. 工程建设监理的内容与作用

工程建设监理的中心任务是工程质量控制、工程投资控制和建设工期控制，围绕这个任务，应对工程建设全过程实施监理。

在设计前期，应着重投资决策咨询、项目评估，建设项目的可行性研究和参与设计任务书的编制。

在设计阶段应重点审查设计方案和工程概算，并协助建设单位选择勘察设计单位和签订勘察设计合同。

在施工准备阶段和施工阶段，应协助业主编制招标文件和组织招标投标，审查施工图设计和预算，监督施工合同的签订与实施，调解合同双方的争议，



9.5.6 工程建设监理的特点

检查工程的质量和进度,参与竣工工程验收和审查结算。

工程建设监理的作用是代表建设单位,对工程建设项目用严密的监理制度,特殊的管理方式,按合同规范要求,进行全过程跟踪和全面监督与管理,促使工程建设项目的投资、工期、质量按计划实现,最终达到工程建设项目合法、合理、科学、经济。

2. 工程建设监理的范围

根据《工程建设监理规定》,建筑工程实施强制监理的范围包括:

- ① 国家重点工程,大、中型工程项目;
- ② 市政、公用工程项目;
- ③ 政府投资兴建和开发建设的社会发展事业项目和住宅工程项目;
- ④ 外资、中外合资、国外贷款、赠款、捐款建设的工程项目。

3. 工程建设监理的依据

根据《建筑法》和建设监理的有关规定,建设监理的依据有以下几个:

- ① 国家法律、行政法规;
- ② 国家现行的技术规范、技术标准;
- ③ 建设文件、设计文件和设计图纸;
- ④ 依法签订的各类工程合同文件等。

4. 我国建设监理工作现状

目前,我国建设监理法规体系已基本形成。建设部颁布了监理单位资质管理办法、监理工程师考试与注册办法,逐步形成了一套监理队伍的资质管理与培训制度。实施建设监理的工程项目,都取得了比较明显的效果,减少了建设管理人员和管理费,工程进度和造价得到了较好的控制。

通过监理工作的实践,土木工程界积累了丰富的监理工作经验,一些监理单位的监理能力已达到世界水平。经过数十年的监理实践锻炼和经验积累,现在我国已具备了监理各类技术复杂工程的能力。

学习与思考

1. 评价“任何一项施工技术都有其局限性”的观点,并予以论证。

2. 工程施工的质量、安全、成本和进度是通过哪几方面的协同合作实现的?
3. 工程施工的先后顺序要考虑哪些因素, 最终由“谁”来决定?
4. 建设单位、施工单位、监理单位的职责和分工是什么?



第10章

土木工程防灾与减灾

- 10.1 灾害的范围及危害
- 10.2 工程灾害的类型与防治
- 10.3 工程结构检测鉴定与加固

10.1 灾害的范围及危害

从古至今,人类文明的发展史就是不断与各种灾害抗争的历史。在与灾害的斗争中,人们不断研究总结,形成一门新的科学——防灾减灾学。防灾减灾学是以防止灾情为目的,综合运用自然科学、工程科学、经济学、社会科学等多种科学理论和技术,为社会安定与经济可持续发展提供可靠保障的一门交叉的新兴学科。

世界卫生组织对“灾害”的定义:任何引起社会破坏、经济严重受损、人员伤亡、健康状况及卫生条件恶化的事件,如其规模已超出事件发生社区的承受能力而不得不向社区外部寻求专门援助时,就可称其为灾害。

自然灾害主要包括地质灾害、气象灾害、生物灾害、海洋灾害等。人为灾害主要有火灾、爆炸、海难、空难、人口失控、“三废”污染、工程事故、战争、恐怖活动等。

10.1.1 灾害的含义和类型

尽管“灾害”一词在人们日常生活中经常使用,但若认真地追根问底,则尚未有一个统一的定义。对灾害的含义有多种解释,其中联合国“国际减轻自然灾害十年”专家组对灾害定义为:灾害是指自然发生或人为发生的,对人类和人类社会具有危害后果的事件与现象。值得指出的是,“灾害”是从人类的角度来定义的,灾害必须以造成人类生命、财产损失后果为前提。例如,一次山体崩塌发生在荒无人烟的冰雪深山,并无人员伤亡,甚至无人知晓,则不会称作灾害。但是如果山体崩塌、滑坡发生在人员聚居的城镇,导致人员伤亡、房屋倒塌、道路受阻、农田被淹等,这就构成灾害事件。

灾害的种类繁多,分类方法也不同,从灾害发生的原因来分,可以分为自然灾害和人为灾害两大类。自然灾害是自然界中物质变化、运动造成的灾害。人为灾害是由于人的过错或某些丧失理性的失控行为给人类自身造成的损害。

10.1.2 灾害对人类社会造成的危害

自然灾害对人类社会的危害主要体现在以下三个方面。

- ① 危及人类生命和健康,造成人口大量死亡。
- ② 破坏公益设施和公私财产,造成巨大经济损失。
- ③ 破坏环境资源,影响城市可持续发展。如干旱、风沙、洪水会破坏土



10.1.1 世界十大自然灾害死亡人数

地资源和水资源,森林火灾、生物病虫害直接破坏生物资源等,而资源是人类生产、生活所必需的,因而,自然灾害直接制约国民经济的可持续发展。因此,坚持不懈地推进全人类的减灾事业,不仅可以有效地保护当代人的生命安全,而且可以全面提高人类的可持续发展能力。

人为灾害对人类社会的破坏作用也十分巨大。如美国用原子弹轰炸日本广岛和长崎,制造战争灾害;2001年美国世贸大厦遭恐怖分子袭击,造成近5 000人死亡或失踪。

10.2 工程灾害的类型与防治

10.2.1 土木工程防灾减灾的主要内容

灾害之所以造成人员伤亡和财产损失,与土建工程确有很大关系。如唐山地震时死伤的绝大部分人并非“震死”,而是房屋倒塌后砸死,而财产损失有一大半集中于损毁的房间中,因而土木工程对防灾减灾有巨大责任。

土木工程防灾减灾是综合防灾减灾的重要组成部分和最有效的对策和措施,主要由灾害监测、灾害预报、防灾、抗灾、救灾、灾后重建与恢复生产等多个环节组成,每个环节又包括若干个相互联系的子系统。其主要内容包括:土建工程防灾规划,土木工程结构抗灾理论及应用,土木工程防灾、抗灾技术及应用,土木工程减灾技术,土木工程在灾后的检测与加固,高新技术在土木工程防灾减灾中的应用。

鉴于灾害对现代文明的巨大破坏作用和越来越长久的后遗症,20世纪的最后10年联合国将其命名为“国际减灾十年”,并规定每年10月的第二个星期三为“国际减灾日”,旨在唤起全世界对灾害问题的关注。

对土木工程产生直接危害的自然灾害有地震灾害、火灾、风灾、地质灾害等;人为灾害有恐怖爆炸、工程事故等。下面对不同种类的工程灾害与防灾分别进行阐述。

自然灾害对人类造成的经济损失:如1981年我国四川盆地特大洪水造成57个县以上城镇和776个小城镇不同程度被淹;2011年非洲东北部的“非洲之角”发生60年不遇的干旱,位于这一地区的埃塞俄比亚、吉布提、肯尼亚和索马里共有超过1 100万人受灾。



10.2.1 工程灾害与防灾

国际减灾十年: 1987年第42届联合国大会通过了第169号决议,决议确定1990~2000年即20世纪最后十年在全世界范围内开展一个“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction简称IDNDR)的国际活动。其宗旨是通过国际上的一致努力,将当前世界上各种自然灾害造成的损失,特别是发展中国家因自然灾害造成的损失减轻到最低程度。

自2009年起,每年5月12日为中华人民共和国法定“防灾减灾日”。

10.2.2 地震灾害及抗震

地震是一种严重危及人们生命财产的自然灾害。它是由地壳破坏引发的地面运动,这种地面运动具有突发性和不可预测性,对土木工程结构可以造成严重破坏(图 10.1、图 10.2),并引发火灾、水灾、山体滑坡、泥石流、海啸等次生灾害。



图10.1 地震造成的房屋倒塌

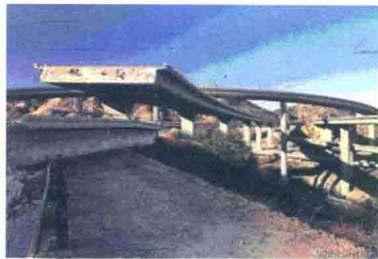


图10.2 地震造成的立交桥发生落梁

北京地震局对我国各种灾害中人员死亡情况进行了对比,地震灾害严重威胁人类生命安全。



10.2.2 地震次生灾害

1994 年美国的 Northridge 地震和 1995 年的日本神户地震,这两次地震烈度虽然不很强烈,但由于发生在大型城市附近,地震虽然没有造成大规模的建筑破坏,却使整个城市在 1 个多月的时间里陷入没有水、没有煤气的瘫痪和半瘫痪状态,其造成的损失远远超过地震直接破坏损失。



10.2.3 地震分类、地震带、地震震级与烈度

我国地处世界上两个最活跃的地震带,即环太平洋地震带和欧亚地震带之间,以占世界 7% 的国土承受了全球 33% 的大陆强震,成为世界上发生地震多且震害严重的国家之一,其中 1920 年的海原地震和 1976 年的唐山地震,是世界上死亡人数最多的两次大地震。进入 21 世纪,我国又发生 7 级以上地震 8 次,其中 2008 年 5 月 12 日的汶川地震,是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次大地震。

我国对地震灾害的重视始于 1966 年邢台地震。1976 年唐山地震以后,我国加强了地震监测和预报,在全国建立了地震监测预报网。20 世纪 80 年代起我国就相继建立了许多大型振动台试验室,不仅为我国结构抗震研究提供了试验手段,而且对一批典型结构和重要建筑进行了抗震试验,为工程设计提供可靠的技术支持。如上海东方明珠电视塔、上海世贸国际购物中心(图 10.3)、

上海环球国际金融中心(图10.4)等。



图10.3 上海世贸国际购物中心建筑模型



图10.4 上海环球国际金融中心建筑模型

在工程抗震方面,通过重新修订各地区的抗震设防烈度,明确提出抗震设防目标,提高了工程抗震设计和检验的标准。结构振动控制在工程抗震领域也得到广泛的研究和应用。传统结构抗震设计方法是依靠增加结构自身强度、变形能力来抗震,而减震控制方法则是采用隔震、耗能、施加外力、调整结构动力特性等方法来消减结构地震反应,具有安全可靠、更加有效、经济节省和适用范围广的优点,是土木工程防灾减灾积极有效的方法和技术。

隔震及耗能减震是目前土木工程中技术较成熟且应用较广的方法。结构隔震是通过某种隔离装置,将地震动与结构隔开,以达到减小结构振动的目的。隔震装置广泛应用于建筑物的基础和桥梁墩台处,形式丰富,如橡胶垫隔震、滚珠隔震、铅心隔震、钢隔震等。结构耗能减震是通过采用一定的耗能装置或附加子结构,吸收或消耗地震传递给主体结构能量,从而减轻结构的振动。消能部件或附加子结构的设置,不改变主体承载结构体系,可同时减少结构的水平和竖向的地震作用,不受结构类型和高度的限制,在新建和建筑抗震加固中均可采用,所以运用较广。耗能减震体系适用于高层建筑、超高层建筑和高耸构筑物。耗能装置包括各种耗能支撑、耗能剪力墙、摩擦阻尼器、粘弹性阻尼器和粘滞阻尼器等。



10.2.4 我国20世纪以来的重大地震



2008年5月12日14时28分04秒,中国四川汶川县发生里氏8.0级、最大烈度为11度的强烈地震。地震影响范围波及全国二十几个省市,遇难人数达到69 227人,失踪17 923人,受伤374 643人;倒塌房屋、严重损毁不能再居住和损毁房屋涉及近450万户,1 000余万人无家可归;重灾区面积达十多万平方公里。汶川大地震造成直接经济损失8 452亿元人民币。

1975年的海城地震是世界范围内的一次成功地震预报实例。虽地震达7.3级,震中烈度达9级,且发生在人员密集的城市地区,但由于震前做出了准确预报,并采取了一系列应急防震措施,拯救了10万余人的生命,避免了数十亿元的经济损失。

我国 GB50011—2001《建筑抗震设计规范》明确提出的设防要求：“小震不坏，中震可修，大震不倒”。



10.2.5 日本建筑“震而不倒”的真相



10.2.6 隔震技术



10.2.7 有、无隔震建筑物振动台试验视频



北京通用国际中心整栋采用全钢结构，在全国首家采用国际领先的“防屈曲耗能”斜支撑技术。在地震来临之时，斜支撑可以首先受力从而缓解地震力，尽可能地保护梁、柱等重要部位不受损坏。

10.2.3 风灾及抗风

风灾主要有台风（图 10.5）、龙卷风（图 10.6）等。台风为急速旋转的暖湿气团，直径可达 600~1 000 km，气旋中心风速达 12 级（即风速为 32.6 m/s）以上，由中心到台风边缘风速逐渐减弱。龙卷风是一股急速上升的旋转气流，呈漏斗状，其中心风速在 50~150 m/s，最大可达 300 m/s 或超过声速。龙卷风是所有风力中最具破坏性的风，其经过的地方，常会卷走房屋、树木等带往他处。发生在海上，犹如“龙吸水”。



图 10.5 台风卫星照片



图10.6 龙卷风

在台风和龙卷风发生的同时一般会引发风暴潮、巨浪、强暴雨、传播病虫害、扩散污染等次生灾害。在植被保护不好的坡地和山区，暴风雨又会造成滑坡和泥石流等地质灾害。台风—洪水—地质灾害一旦形成灾害链对受灾区内的建筑和生命线工程系统会造成毁灭性破坏。

有时非沿海地区中等强度的风也会造成严重后果。原因是风对结构的作用不仅与风压、风速、结构受风面积等因素有关，还受结构体形、所处环境的影响。如大跨度柔性桥梁在风中的颤振和驰振及风雨激振都可能对桥梁造成严重破坏，如 1940 年美国华盛顿州 Tacoma 悬索桥风毁失事。在一些高楼云集地区，易形成人造风口，风力在此大大加强。另外，在大风中玻璃幕墙和广告牌风毁伤人事件也屡见不鲜。

为了减少台风、龙卷风的破坏，在经常受风灾危害的地区，建立预报、预警体制；在北方大陆内地建造防风固沙林，在沿海地区建造防风护岸植被；加强工程结构抗风设计，针对生命线工程及时加固并进行防风设计等。

对于高层建筑、大跨结构、柔性大跨桥梁、输电塔和渡槽等受风面积大

的柔性结构, 抗风设计与抗震设计具有同等的重要意义。对于重要建筑, 为研究在风荷载下的响应, 在设计阶段进行风洞试验(图 10.7)。同样结构振动控制技术也是结构抗风的新方法和新途径, 即在结构上附设控制装置(图 10.8), 结构振动时可以减小或抑制结构的动力位移, 以满足结构的安全性、使用性和舒适度的要求。



图 10.7 刘家峡大桥的风洞试验



图 10.8 上海环球金融中心的风阻阻尼器

10.2.4 火灾及防火

火灾是指失去控制的火在蔓延过程中给人类生命财产造成损失的一种灾害。它可以是天灾, 也可以是人祸。火灾是各种灾害中最危险、最常见、最具毁灭性的灾种之一。

火灾灾害的属性按照产生燃烧的不同条件可以分为自然火灾和建筑物火灾。自然火灾是指在森林、草场等一些自然地区发生的火灾。如火山喷发、干旱高温的自燃等。这类火灾发生的次数不多, 但一般火势都较大, 难以扑灭, 如森林、煤矿火灾等。建筑物火灾是指发生于各种人为建造的物体内的火灾, 事实证明, 建筑物火灾不仅会引起巨大的财产损失, 还会造成重大的人员伤亡。据联合国“世界火灾统计中心”近年来不完全统计, 全球每年约发生 600 万至 700 万起火灾, 约有 6.5 万到 7.5 万人死于火灾中, 每年的火灾经济损失可达整个社会生产总值的 0.2%, 而这些火灾损失大多数是建筑火灾造成的, 因此, 如何防止建筑火灾的发生、减少建筑火灾损失已成为人们认真研究的重大课题。

对建筑火灾的防范可以从多方面入手。首先在设计阶段要做好建筑防火设计。如在建筑总平面设计中考虑建筑物防火间距、消防通道和防火分区等; 在

2006 年 8 月 10 日, 在我国东南沿海登陆的台风“桑美”, 是近 60 年来登陆我国大陆最强的一个台风, 登陆前后 17 级风圈半径达 45 km。浙江、福建、江西、湖北 4 省共有 665.65 万人受灾, 因灾死亡 483 人, 紧急转移安置 180.16 万人, 农作物受灾面积 29.0 万公顷, 绝收面积 3.6 万公顷, 倒塌房屋 13.63 万间, 直接经济损失 196.58 亿元。



10.2.8 20 世纪特大风灾情况



工程领域中最著名的风灾破坏当属 1940 年美国 Tacoma 悬索桥的风毁事件。在一场风速不到 20 m/s 的灾害下, 由于风振频率与 Tacoma 悬索桥的自振频率一致, 形成了结构共振, 桥梁在风中的振幅越来越大, 最终吊杆逐根拉断导致桥面钢梁折断而倒塌。



台北 101 大厦是中国第一个安装风阻尼器的超高层，它在 88—92 楼层挂置一个重达 680 公吨的巨大钢球，利用摆动来减缓建筑物的晃幅。



10.2.9 世界各国死亡人数超过百人的特大建筑火灾案例

新疆阜康煤田从清代一直延烧到 2001 年才扑灭；1987 年我国黑龙江大兴安岭特大火灾造成 130 余万公顷森林被毁，损失约人民币 50 亿元。

1994 年 12 月 8 日，新疆克拉玛依市友谊馆举办文艺演出活动，全市 15 所中小学的师生共 796 人参加。在演出过程中，舞台纱幕被光柱灯烤燃，火势迅速蔓延至剧厅，各种易燃材料燃烧后产生大量有害气体，由于友谊馆内很多安全门紧锁，人员来不及疏散，酿成 325 人死亡、132 人受伤的惨剧。

建筑构造设计中设置防火墙、排烟道、卷帘门以及紧急疏散通道等；在建筑物内部装修设计中选用耐火性好的材料；同时按照消防设计，配备消防系统。在建筑日常使用中，落实防火责任制度，防患于未然。

10.2.5 地质灾害及防护

地质灾害是指由于自然的变异或人为的作用而导致地质环境或地质体发生变化，当这种变化达到一定程度，其产生的后果给人类和社会造成的危害。常见的地质灾害主要有滑坡（图 10.9）、泥石流（图 10.10），其他还有崩塌、地面沉降、砂土液化、地裂缝等。



图10.9 山体滑坡堵塞道路



图10.10 泥石流涌入村庄

滑坡是指斜坡上的岩土体，受河流冲刷、地下水活动、地震等因素，在重力作用下沿一定软弱面整体向下滑动的现象。大规模的滑坡可以阻塞河道、摧毁公路、破坏厂矿、掩埋村庄，对山区建设和交通设施危害很大。

滑坡的防治原则是以防为主、整治为辅；查明影响因素，采取综合整治；一次根治，不留后患。如对于滑坡地带的建筑，一般均应考虑绕避原则，对于无法绕避的滑坡地区工程，在技术合理和经济可能的情况下，可对滑坡工程进行整治。防治滑坡的工程措施大致可分为三类：一是排除地表水、地下水及河水对滑坡体的影响；二是在滑坡体的下部修筑抗滑石垛、抗滑挡土墙、抗滑桩等以增加滑坡下部的抗滑力或削坡减荷以减小滑坡滑动力；三是采用爆破灌浆法、焙烧法等增加滑动面的抗剪强度，以改善滑动面或滑动带的岩土性质，达到整治滑坡要求。

泥石流是带有大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流,具有突然爆发、流速快、流量大和破坏力强的特点。泥石流爆发时,短时间内冲进村镇、摧毁房屋、淹没农田、冲毁铁路和公路等交通设施,造成灾害。

防治泥石流的主要工程措施包括:一是在泥石流地段的铁路、公路线路,采用桥梁、涵洞、隧道等方式跨越泥石流;二是修筑排导沟、急流槽等工程,使泥石流顺利排走;三是在泥石流的沟中修筑一系列的低矮小坝,以拦截部分泥流石块;四是修筑拦淤库和储淤场,将泥石流固体物质在指定地段停淤。

地质灾害的发生发展,是环境退化、生态失衡、地表结构破坏、地质环境恶化的产物,避免地质灾害发生的根本措施主要还在于维持生态平衡、保护植被、合理耕牧,使山体坡面得到充分保护,从而控制地质灾害发生。

10.2.6 其他灾害

除了自然灾害,一些人为灾害给人类造成的损失也非常惨重,如由于勘察、设计、施工和使用过程中存在管理失误造成工程倒塌(或失效)的工程事故灾难。2001年美国“9.11”事件后,全球安全格局起了新变化,城市灾情必须包括恐怖事件在内的诸项灾害源;2003年在中国及东南亚地区肆虐的SARS疫情,让我们聚焦环境灾害及生物灾害。另外建筑物附近或内部发生的破坏性爆炸,也会对建筑结构产生重大的危害。

因此如何防灾、减灾、救灾及灾害损失评价,成为近年来备受土木工程界关注和重点研究的课题。工程抗震、抗风和抗火已成为三个深度拓展的研究领域。

10.3 工程结构检测鉴定与加固

不论是对工程结构由于地震、风灾、火灾、水灾、环境侵蚀和施工不当而进行的灾后修复,或者为适应新的使用要求而对建筑物实施的改造,或者对建筑进入中老年期正常诊断处理,都需要对建筑物进行检测和鉴定,以期对结构



10.2.10 2015年天津港8.12特别重大火灾爆炸事故

成昆铁路铁西车站内1980年7月3日发生的滑坡,是迄今为止发生在我国铁路史上最严重的滑坡灾害,被称为“铁西滑坡”。该滑坡堆积在路基上的滑坡体厚达14 m,体积为 $220 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。掩埋铁路长160 m,中断行车40天,造成的经济损失仅工程治理费就达2300万元。



2010年8月7日22时左右,甘南藏族自治州舟曲县突降特大暴雨,引发三眼峪、罗家峪等四条沟系特大山洪地质灾害,泥石流长约5 km,平均宽度300 m,平均厚度5 m,总体积 $750 \times 10^4 \text{ m}^3$,流经区域被夷为平地,县城一半被淹,城区停电,部分街道出现1 m多厚的淤泥。此次灾害造成1481人遇难,284人失踪。



美国东部时间 2001 年 9 月 11 日上午, 恐怖分子劫持 4 架民航客机撞击美国纽约世界贸易中心和华盛顿五角大楼, 包括美国纽约地标性建筑世界贸易中心双塔在内的 6 座建筑被完全摧毁, 其他 23 座高层建筑遭到破坏, 美国国防部总部所在地五角大楼也遭到袭击。这次事件中共有 2 998 人罹难, 是人类历史上迄今为止最严重的恐怖袭击事件。



10.3.1 工程结构检测鉴定与加固

目前美、英等发达国家新建工程数量较少, 既有建筑物的检测、鉴定及加固的费用约占其土建投资的 50% (如丹麦用于维修加固改造与新建工程投资比例为 6:1)。美国劳工部门在 20 世纪末的一项产业预测报告曾经预言: 建筑维修加固和改造行业将是 21 世纪最为热门的行业之一。

可靠性作出科学的评估, 从而对建筑物实施准确的管理维护、加固和改造, 以保证建筑物的安全和正常使用。

10.3.1 工程结构的检测与鉴定

工程结构检测与鉴定是采用各种检测方法对工程结构及部件的材料质量和工作性能所存在的缺损状况进行详细检测、试验、判断和评价的过程, 并对其可靠性进行鉴定, 得出其鉴定等级和是否需要加固的结论。

工程结构的检测就是依据现行标准对现存结构的损伤情况进行诊断, 一般建立在现场调查和检测的基础上, 由于被检测结构在检测后均要求能够继续使用, 所以目前多采用非破损检测方法。常见的检测内容主要有混凝土结构检测、砌体结构检测和钢结构检测。

工程结构的鉴定就是根据检测结果, 对实际结构进行验算、分析, 找出薄弱环节, 评价其安全性、适用性和耐久性, 为工程改造或加固维修提供依据。建筑结构鉴定的内容包括结构整体性能、功能状况的鉴定, 结构承载能力 (强度、刚度和稳定性等) 的鉴定等。建筑结构目前常采用的方法是传统经验法、实用鉴定法和概率鉴定法, 其中实用鉴定法应用最广。

建筑结构的检测与鉴定应以国家及有关部门颁布的标准、规范或规程为依据, 按照其规定的方法、步骤进行检测、鉴定和计算, 在此基础上对结构的可靠性作出科学的评判。

10.3.2 结构健康监测

随着经济的发展和科学技术的进步, 许多大型复杂工程结构得以兴建, 如超大跨桥梁、大型体育场馆、超高层建筑、大型水利工程、海洋平台结构以及核电站建筑等, 这些工程结构在当地国民生产中占据着重要地位, 一旦出现事故必将给该国家和地区造成巨大的财产损失。因此, 在结构的服役期内对这些大型结构的健康状况进行必要的监测工作, 随时掌握它们的健康状况, 能够有效地避免突发事件, 保证其安全运营。结构健康监测已成为当前土木工程领域中的热点研究课题。

结构的健康监测不只是传统结构检测技术的简单改进,而是运用现代化传感设备与光电通信及计算机技术对结构的物理力学性能进行无损监测,实时监控结构的整体行为,对结构的损伤位置和程度进行诊断,对结构的服役情况、可靠性、耐久性和承载能力进行评估,为结构在突发事件下或使用状况严重异常时触发预警信号,为结构的维修、养护与管理决策提供依据和指导。

作为一门新兴交叉学科,土木工程结构健康监测技术涉及建筑、结构、计算机、通信、信息、传感器、材料等众多学科(更多内容可参阅本书“12.5.2 智慧运维中的结构健康监测”)。一般大型结构健康监测系统主要监测以下内容:

- ① 正常荷载作用下的结构响应和力学状态;
- ② 结构在突发事件(如地震、大风等)之后的损伤情况;
- ③ 结构的耐久性,主要监控构件疲劳状况的真实情况;
- ④ 结构中重要非结构构件和附属设施的工作状态;
- ⑤ 结构所处的环境条件,如风速、温度、地面运动等。考虑以上监测内容,结构健康监测系统主要由四个子系统组成:

- ① 传感器系统;
- ② 信息采集、处理与传输系统;
- ③ 损伤识别和安全评估系统;
- ④ 数据管理系统。

在土木工程领域,结构健康监测最初始于20世纪50年代,主要对桥梁的安全进行检测,20世纪70年代,开始了海洋平台结构的研究,到了20世纪80年代初,国外开始对高层建筑长期在线监测进行研究。我国结构健康监测工作始于20世纪90年代,起步相对较晚,但许多大型基础设施的建设和投入的迅速增加使得健康监测的研究与应用备受关注和重视,目前也已处于国际先进水平。因结构健康监测不但可以延长结构使用寿命,减小因忽视微小缺陷而导致结构失效的风险,还可以降低结构的维护检修次数,节约大量资金,具有良好的社会效益和经济效益,应用前景十分广泛。

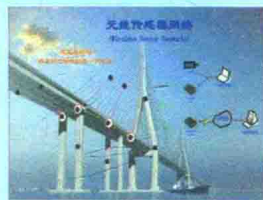
钢筋混凝土结构的检测项目主要有混凝土强度等级、裂缝分布、构件尺寸偏差、钢筋配置等。

砌体结构检测项目主要有砌筑质量、裂缝走向、构造措施等。

钢结构工程主要的检测内容有材料缺陷、节点连接、焊接质量等。



10.3.2 工程结构检测鉴定相关概念



曼谷的 RamaIX 桥于1995年安装了结构整体性与安全性在线警报系统。美国威斯康星州 Michigan Street Bridge 桥,安装了世界上第一套全桥远程监测系统。2002年加利福尼亚理工学院米利肯图书馆大楼内建立了第一个真正的实时监测系统。我国自20世纪90年代起也在一些大型桥梁上建立了结构监测系统,如香港的青马大桥、虎门大桥,上海的徐浦大桥、东海大桥等。另北京的鸟巢、水立方和上海的金茂大厦、上海中心等重要建筑也都安装了结构健康监测系统。

2008年以后,中国建筑的维护、加固和改造需求量年增长近50%。据有关部门统计,截至2012年年底,我国既有建筑存量在 $500 \times 10^8 \text{ m}^2$ 以上,全国有大约1/3的住宅安全储备不足,且城市的住宅结构逐渐进入老龄化阶段。全国有近1万座大中型公路桥梁不符合安全行车标准,需要维修加固。



2007年8月,始建于1961年的北京工人体育馆加固改造工程竣工。加固后的工人体育馆针对之前建筑强梁弱柱的特点,按照8级抗震要求进行结构加固,柱子截面边长增加30 cm,圆柱子变成了方柱子,板厚度增加3 cm,加固后增加了10 t的梁板承载力,完全满足各类体育赛事活动的需要。



10.3.3 土木在线建筑结构加固改造专题

10.3.3 工程结构的维修与加固

工程结构的维修与加固是一门研究使受损的工程结构重新恢复使用功能或适应新的使用功能的学科。建筑维修加固业已经形成一个完整的体系,在发达国家和地区,工程维修加固已成为建筑业的重要组成部分,我国建筑业已开始由大规模新建时期迈向了新建与维修并重时期。

建筑物需要加固和改造的原因通常有以下几种:

- ① 使用功能改变。如建筑物进行改建、扩建、加层等。
- ② 抗震加固。现有结构达不到抗震设防指标,对结构进行加固改造,增加抗震能力。
- ③ 结构损害。建筑物年久失修或由于各种灾害影响导致结构损伤或破坏,不能满足目前的使用要求或安全度不足。

④ 纠正设计或施工失误。如设计存在缺陷或施工偷工减料等。

⑤ 历史性建筑的保护。如上海美术馆(原上海跑马场)。

基于上述各种原因,往往需要对土建工程结构进行加固。

建筑物的加固方法很多,分别适用不同工程结构。

(1) 混凝土结构主要加固方法

① 扩大截面法。扩大截面法最简单易行,通过加大混凝土梁柱截面,提高梁柱承载能力。其缺点是建筑净空有一定的减小。

② 粘钢或外贴碳纤维加固。通过在混凝土构件的表面(一般在受拉区)粘贴薄钢板或碳纤维,使其与混凝土协同工作,以提高构件承载能力,但需要专门的防火处理。

③ 外包钢加固法。外包钢加固法是在构件(如混凝土柱)的四角或两面包以型钢,构件截面尺寸增加不多,但混凝土柱的承载力可大幅度提高。

④ 预应力加固法。通过对建筑构件施加预应力,能够抵消部分外加荷载,起到卸载作用。尤其适用于大跨度结构。

(2) 砌体结构主要加固方法

增设扶壁柱法和钢筋网水泥砂浆面层加固法。另外对砖柱还有加大截面法和外包角钢加固法等。

(3) 钢结构加固方法

- ① 改变结构计算图形；
- ② 加大构件截面；
- ③ 加强焊缝连接。

土木工程学科的发展，很大程度上依赖于性能优异的新材料新技术的应用和发展。复合材料以其优异的力学性能和良好的加固效果，成为国内外研究和应用的热点。与钢相比，用复合材料对结构进行加固具有如下优点：轻质高强、高弹模、抗疲劳、耐腐蚀、耐久性能好、厚度薄、可自由裁剪、施工简便、与混凝土结合密实等。其中碳纤维材料应用最广。

10.3.4 工程结构的平移与改造

随着大规模城市改造和房地产开发，由于一些保护性的文物建筑和近代优秀建筑的特殊性及其在地块中的重要位置，常常影响到城市规划的总体布局，而对建筑物整体平移可以很好地解决这一问题。

所谓建筑物整体平移，是指在保持房屋整体性和可用性不变的前提下，将其从原址移到新址，它包括纵横向移动（如图 10.11），转向或者移动加转向（如图 10.12）。建筑物平移是一项技术含量颇高并具有一定风险性的工程，其主要的技术处理为：将建筑物在某一水平面切断，使其与基础分离变成一个可搬动的“重物”；在建筑物切断处设置托换梁，形成一个可移动托梁；在就位处设置新基础；在新旧基础间设置行走轨道梁；安装行走机构，施加外加动力将建筑物移动；就位后拆除行走机构进行上下结构连接，至此平移完成。在移动过程中，对一些重要的结构（如地基）所造成的损伤，应给予补强和加固。



图10.11 古建筑横向平移



图10.12 综合楼圆弧平移

建筑物的整体平移技术在国外最早发端于 20 世纪的 20 年代，我国使用



10.3.4 工程改造加固实例——意大利比萨斜塔加固



复合材料主要有碳纤维、芳纶纤维及玻璃纤维等，其材料形式主要有片材、棒材和型材。其中碳纤维材料的比重为钢的 1/100，抗拉强度约为钢材的 10 倍，厚度仅为 0.1~0.2 mm。上图图为碳纤维加固梁板柱。



2003 年 4 月 15 日，始建于 1930 年重达 5 850 t 的上海音乐厅在 59 台千斤顶的作用下缓缓上升，后经 14 d 的蹒跚“行走”后向东南方向平移了 66.4 m，经历“顶升 1.5 m、平移、再顶升 1.88 m”的工程三部曲。这是上海历史上规模最大的一次文物保护建筑平移工程，其结构类型、施工难度及顶升高度当时均堪称国内之最、世属罕见。

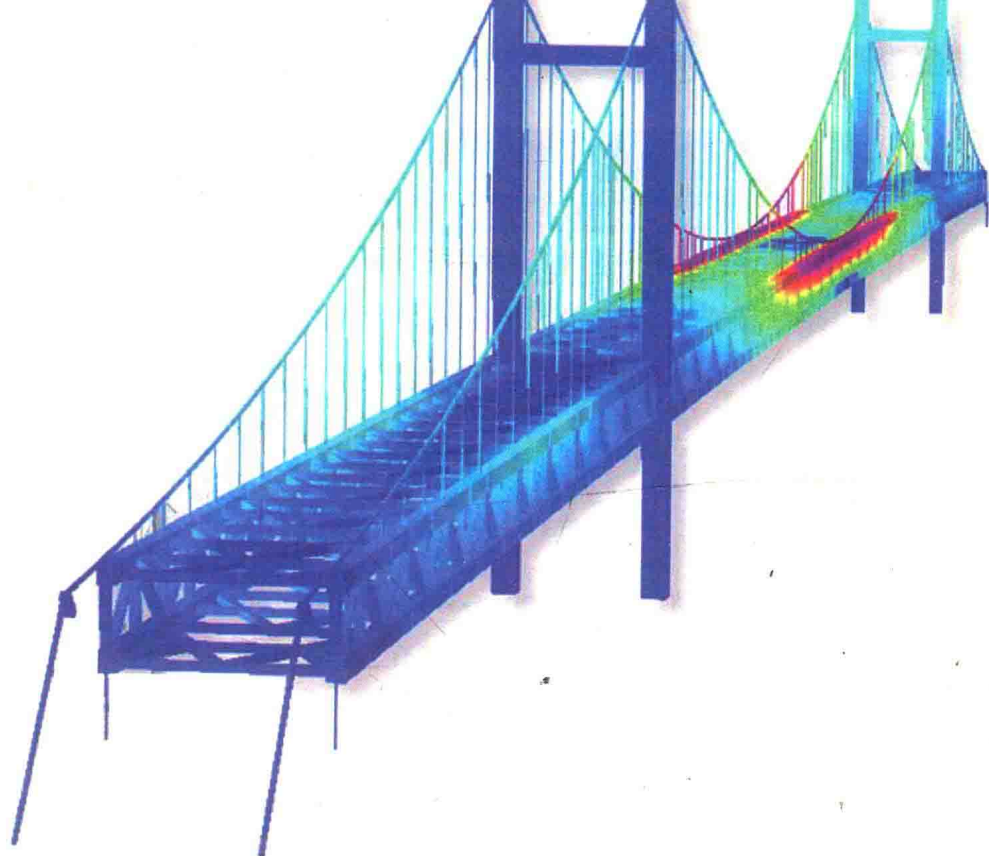


10.3.5 拓展阅读的参考文献

建筑物移位技术晚于国外 60 年，但发展迅速，移位的建筑物超过国外之和，已达 100 多栋。此项技术在中国发展日臻成熟，并使中国的建筑物平移技术在世界处于领先地位。

学习与思考

1. 灾害的含义及其分类？
2. 工程灾害有哪些类型？如何防止？
3. 建筑物需要加固和改造的原因及加固方法通常有哪几种？
4. 作为一门新兴交叉学科，结构健康监测的应用会有怎样的发展趋势？实施过程中还会遇到哪些挑战？

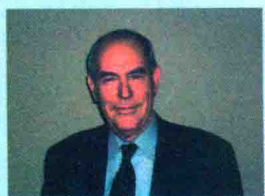


第11章

数字化技术在土木工程中的应用

- 11.1 计算机辅助设计 (CAD)
- 11.2 计算机结构设计计算与模拟仿真
- 11.3 BIM

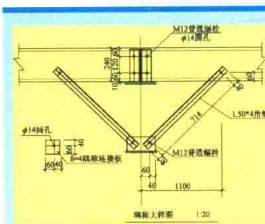
数字化技术 (digital technology): 就是以数字电子计算机硬软件、周边设备、协议和网络为基础的信息离散化表述、定量、感知、传递、存贮、处理、控制、联网的集成技术。



Ivan Sutherland (1938—), 被人们尊称为当代计算机辅助设计 (CAD) 之父, 以其在计算机图形学领域的先驱性和远见性的贡献获得 1988 年图灵奖。



11.1.1 Ivan Sutherland



CAD 图纸样式

数字化技术越来越多地应用到各个领域, 小到产品的策划、设计、制造、销售; 大到医疗、教育、军事等都在探索使用数字化技术。在土木工程领域, 数字化技术已应用到土木工程的方方面面。无论是结构设计、绘图, 还是施工的管理、预算造价、土木工程的规划与管理, 均已得到计算机的广泛应用。

11.1 计算机辅助设计 (CAD)

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 是指使用计算机及其图形设备帮助设计人员完成设计工作。CAD 技术最初的发展可追溯到 20 世纪 60 年代, 美国麻省理工学院 (MIT) 的 Ivan Sutherland 首先提出了人机交互图形通信系统, 并在 1963 年的计算机联合会议上展出, 引起了人们的极大兴趣。在整个 20 世纪 60 年代, 人们对计算机图形学进行了大量的研究, 为 CAD 技术奠定了很好的基础。

设计人员可以使用 CAD 技术快速绘制图形, 并且可以进行图形的编辑、放大、缩小、平移、复制和旋转等编辑工作。CAD 技术的应用, 将设计人员从手工绘图中解放了出来, 不仅节省了绘图时间, 而且修改方便。正是由于 CAD 技术的强大优点, 其在世界上得到了迅速与广泛的应用。在国内, 随着 20 世纪 90 年代国家对 CAD 技术在工程设计领域应用的大力推广, 以及设计人员对 CAD 软件的不断熟悉与 CAD 技术优越性的体现, 目前已完全实现了施工图纸的计算机化。

国际上应用最广泛的土木工程 CAD 软件为 AutoCAD。AutoCAD 是美国欧特克 (Autodesk) 公司推出的通用计算机辅助设计绘图软件, 现广泛应用于土木建筑、装饰装潢、工业制图、电子行业、服装加工等多方面领域。通过使用 AutoCAD 软件, 可以绘制二维制图和基本的三维设计, 实现绘制、编辑、删除等图纸设计工作, 可绘制目前所有的土木工程设计图纸。

AutoCAD 具有良好的用户界面 (图 11.1), 可以通过交互式菜单, 也可使用快捷键方式, 快速方便地进行图形的绘制与修改。

同时, AutoCAD 具有功能强大的程序开发接口, 可在其基础上进行二次开发。

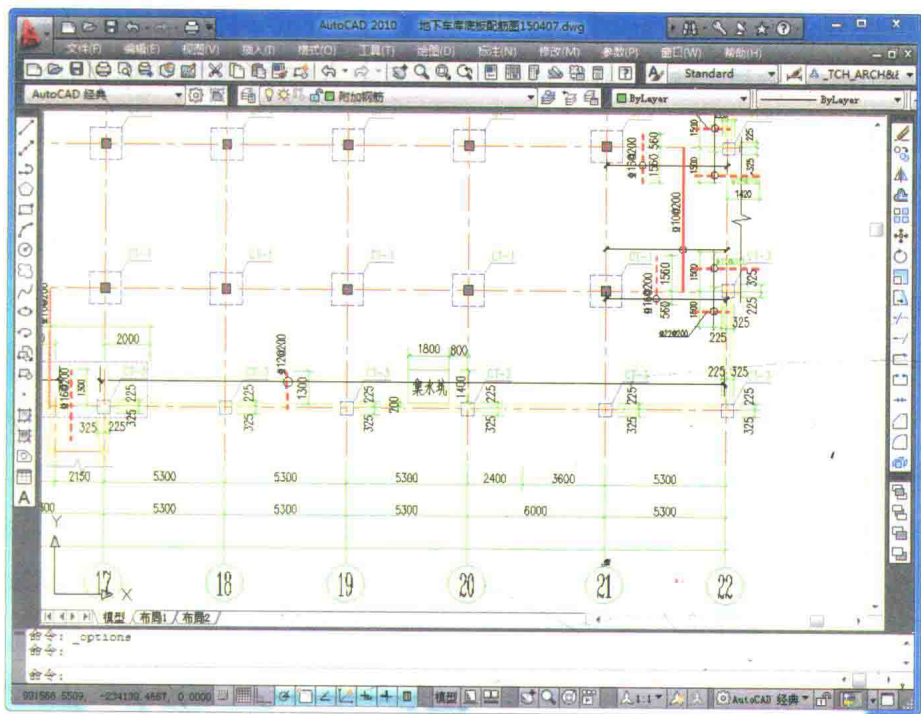


图11.1 AutoCAD界面

鉴于CAD软件市场的庞大,国内开发了不少具有自己产权的CAD软件,其中比较典型的有中望CAD、浩辰CAD等。同时,也产生了在AutoCAD软件基础上进行二次开发的软件,以使其更适应国内规范与设计习惯,其中应用比较普遍的为天正、探索者等软件。

11.2 计算机结构设计计算与模拟仿真

11.2.1 结构设计计算软件

为最大限度地简化结构工程师的工作,国内外均开发了集成设计、结构分析、施工图绘制的软件。该类软件不仅实现了结构的布置、整体结构的受力分析、构件的受力计算,且可按各国规范自动计算构件配筋,验算构件的强度、稳定、变形等,同时能够依据计算分析结果,绘制结构施工图。

在该类集成化的结构设计软件中,国内主要有PKPM系列、盈建科、广厦、理正、桥梁博士等软件,国外主要有ETABS、Staad Pro、Midas、SAFE等软件。



11.1.2 CAD (计算机辅助设计)



11.1.3 Autodesk公司官网



11.2.1 PKPM官网



11.2.2 Staad Pro



11.2.3 ETABS

PKPM 是面向钢筋混凝土结构的框架、排架、框剪、剪力墙结构、砖混结构等的设计、分析、计算、施工图绘制软件系统,可用于多层建筑,也可于高层建筑结构。它包含多个软件包,如 PK、PMCAD、TAT、SAT、SATWE 等。PKPMCAD 软件界面如图 11.2 所示。

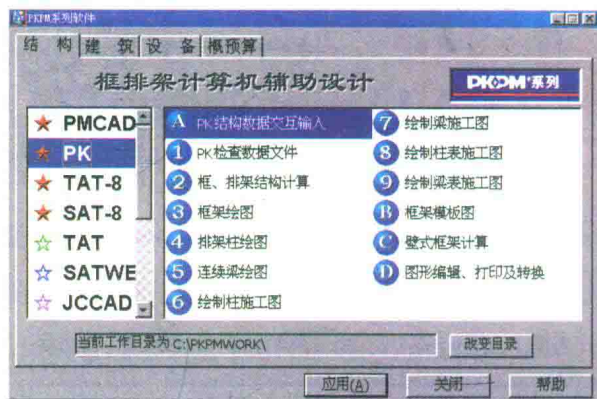


图11.2 PK软件界面

11.2.2 结构有限元分析软件

集成化的结构设计软件,一般只能分析设计典型的土木工程结构。而土木工程是庞大而复杂的,特别是随着土木工程向着更高、更深、更大跨度目标的不断发展,以及设计体型的多样化、各种新材料、新工艺的应用、复杂的工况与地理环境等,这些都需要性能更加强大的有限元分析软件进行分析设计。

有限元分析 (Finite Element Analysis, 简称 FEA) 或有限元方法 (Finite Element Method, 简称 FEM) 是一种用于求解微分方程组或积分方程组数值解的数值模拟方法,其起源于 20 世纪 50 年代航空工程中的飞机结构的矩阵分析,并经过几十年的发展,不断应用于新的领域。

有限元方法的思想最早可追溯到古人的“化圆为直”的做法。我国古代数学家刘徽利用割圆法来对圆周长进行计算,实际上已经体现了有限元离散逼近的思想,即采用大量的简单小物体来“充填”出复杂的大物体。

有限元方法是以力学理论、数学理论、计算机理论为基础的一种方法,它的基本求解思想是将一个整体结构剖分为有限个离散的单元,再对单元进行详细、精确的计算,得到单元的位移、应力和应变的关系,然后整合所有单元的



11.2.4 ANSYS

刚度矩阵, 引入边界条件, 就可得到一组以节点位移为未知量的线性代数方程组。求解这个方程组, 就可获得节点位移, 得到结构分析结果。

因为有限元方法是基于“离散逼近”的基本策略, 可以采用较多数量的简单函数的组合来“近似”代替非常复杂的原函数, 因此有限元方法可以针对具有任意复杂几何形状的结构进行分析, 并能够得到准确的结果。

借助于计算机技术的飞速发展, 基于有限元方法原理的软件大量涌现。在土木工程领域中, 主要的有限元分析软件有 ANSYS、SAP2000、ADINA、ABAQUS、MIDAS、MSC/NASTRAN、ALGOR 等。

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析软件, 是多用途的有限元法计算机设计程序, 可以用来求解结构、流体、电力、电磁场及碰撞等问题, 在核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 功能强大, 操作简单方便, 现在已成为国际最流行的有限元分析软件, 其界面如图 11.3 所示。

SAP2000 是美国 CSI 公司开发的通用结构分析设计软件, 适用范围很广, 主要适用于模型比较复杂的结构, 如桥梁、体育场、大坝、海洋平台、工业建筑、发电站、输电塔、网架等结构形式, 当然高层等民用建筑也能很方便地使用 SAP2000 建模、分析和设计。



11.2.5 ABAQUS



11.2.6 SAP2000

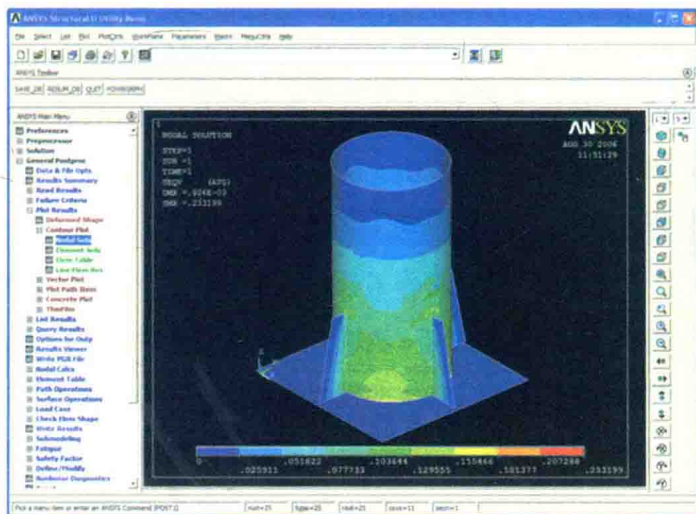


图11.3 ANSYS软件界面

11.2.3 计算机模拟仿真

许多工程结构是毁于台风、地震、火灾、洪水等灾害作用。对这种小概率、大荷载作用下的工程结构性能很难一一去做试验去验证,一是参数变化条件不可能全模拟;二是实体试验成本过高;三是破坏试验有危险性,设备难以跟上。而计算机仿真技术可以在计算机上模拟原型大小的土木工程构筑物在灾害荷载作用下变形到倒塌的全过程,从而揭示结构不安全的环节和因素,用此指导设计可大大提高土木工程的可靠性。

计算机模拟仿真技术随着计算机硬件的发展而得到迅速发展。计算机仿真是利用计算机对自然现象、系统功能以及人脑思维等客观世界进行逼真的模拟。这种模拟仿真是数值模拟的进一步发展。

真正的模拟仿真将涉及较多的计算机软件知识。这里我们仅仅就土木工程专业中涉及的模拟仿真作一简单介绍,以使读者能有一些初步的了解。

1. 计算机模拟仿真在结构工程中的应用

工程结构在各种外加荷载作用下的反应,特别是破坏过程和极限承载力,是工程师们关心的课题。当结构形式特殊、荷载及材料特性十分复杂时,人们常常借助于结构的模型试验来测得其受力性能。但是,当结构参数发生变化时,这种试验有时就会受到场地和设备的限制。利用计算机仿真技术,在计算机上做模拟试验就方便多了。这类技术非常成熟,而且世界上也有许多商用软件。

结构工程的计算机还用于事故的反演,寻找事故的原因,如核电站、海洋平台、高坝等大型结构,一旦发生事故,损失巨大,又不可能做真实试验来重演事故。计算机仿真则可用于反演,从而确切地分析事故原因。

2. 计算机模拟仿真在防灾工程中的应用

人类与自然灾害或人为灾害作了长期的斗争。由于灾害的重复试验几乎是不可能的,因而计算机仿真在这一领域的应用就更具意义。

目前,已有不少关于抗灾防灾的模拟仿真软件被研制成功。例如,洪水灾害方面,已有洪水泛滥淹没区发展过程的显示软件。该软件预先存储了洪水泛滥区域的地形、地貌和地物,并有高程数据,确定了等高线。这样只要输入洪水标准(如50年一遇还是100年一遇),计算机就可以根据水量、流速及区域面积和高程数据,计算出不同时刻淹没的区域及高程,并在图上显示出来。人

们可从计算机屏幕上看到洪水的涌入,并从地势低处向高处逐渐淹没的全过程,这样可为防灾措施提供生动而可靠的资料。又如火灾、地震等,均可以进行模拟演示。

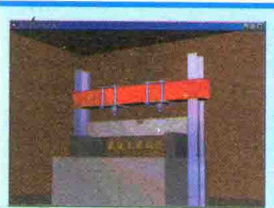
3. 计算机模拟仿真在岩土工程中的应用

岩土处于地下,往往难于直接观察,而计算机仿真则可以把内部过程展示出来,具有很大的实用价值。

例如,美国斯坦福大学研制了一个河口三角洲泥沙沉积模拟软件,当给定河口条件后,可以显示出不同粒径泥沙的沉积区域及相应的厚度,这对港口设计及河道疏通均有指导意义。

4. 计算机模拟仿真在教学中的应用

例如,结构构件的试验是土建类专业学生在学习期间必修的课程。但是,利用计算机模拟仿真,同样可以获得试验的效果。在土木工程专业的“钢筋混凝土”课程的教学,钢筋混凝土构件试验是一个很重要的环节。它帮助学生更好地理解钢筋混凝土构件的性能,增加感性认识。但是,真实的构件破坏试验不仅需要庞大的试验室,还要花费很大的人力、物力、财力和准备时间。采用计算机模拟的方法,利用计算机图形系统构成一个模拟的试验环境,学生向计算机输入构件数据后,就可以在屏幕上观察到构件破坏的全过程及其内外部各种变化。而且,这比单纯让学生看教学试验更能调动学生的积极性,使学生能有动手参与的机会,能在计算机上操作“破坏”和“修复”。这样做可以节省大量的人力、物力、财力和时间。



模拟仿真在教学中的应用

11.3 BIM

11.3.1 BIM的定义

BIM (Building Information Modeling) 的中文名称为“建筑信息模型”,是基于数字化三维建筑模型的建设工程信息集成和管理技术。

该技术是使用 BIM 建模软件构建三维建筑模型,模型包含建筑所有构件、设备等几何和非几何信息以及之间的关系信息,模型信息随着建设项目的进



11.3.1 Building Information Modeling

行,不断深化和增加。建设、设计、施工、运营和咨询等单位使用一系列应用软件,利用统一的建筑信息模型进行设计和施工,实现项目协同管理,减少错误、节约成本、提高质量和效益。工程竣工后,利用三维建筑模型实施建筑运营管理,提高运维效率。

BIM 中的信息的范围是非常广泛的,不仅包含建筑的尺寸、材质、种类,而且可以包含材质的物理性能,更可以包含材料的供应商、各构件的施工时间、施工进度等。BIM 通过将整个建设项目的工程信息集成到一个统一的建筑信息模型,从而实现数字化的工程设计、施工、运维全寿命的集成化管理。

BIM 虽然中文名称中仅包含建筑,但其不仅仅针对建筑领域,对于土木工程的其他领域,如桥梁、隧道、地下、道路等,国内外均使用 BIM 这一概念。

BIM 实现了建筑 CAD 技术从基于点线面的二维表达向基于对象的三维形体与属性信息表达的转变。BIM 中的图形是赋予了建筑构件属性的实体(图 11.4)。

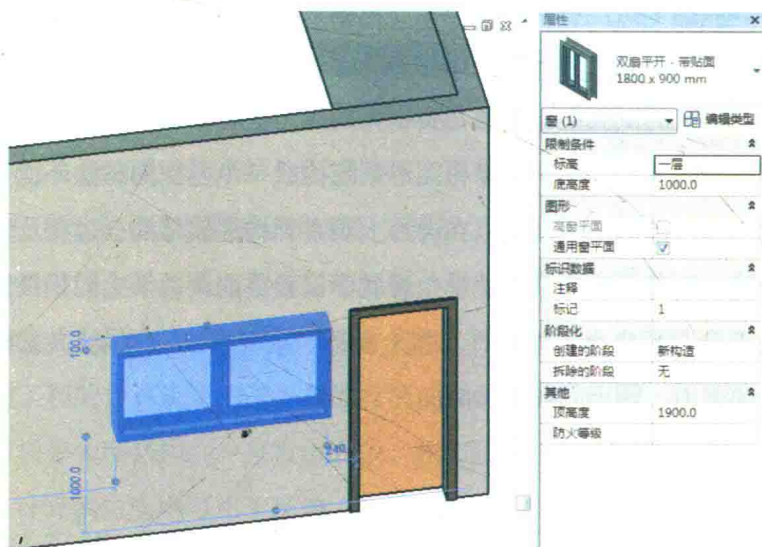


图11.4 BIM模型中窗的属性

BIM 被定义成由完全和充足信息构成以支持生命周期管理,并可由计算机应用程序直接解释的建筑或建筑工程信息模型。简言之,即数字技术支撑的对建筑环境的生命周期管理。

依据创造 BIM 概念的 Autodesk 所赋予的定义, BIM 是指建筑物在设计和建造过程中,创建和使用的“可计算数字信息”。而这些数字信息能够被程序系统自动管理,使得经过这些数字信息所计算出来的各种文件,自动地具有彼

此吻合、一致的特性。美国建筑师学会进一步定义 BIM 为一种“结合工程专案信息数据库的模型技术”，它反映了该项技术是以结构化的数据库为基础。

BIM 涵盖了几何学、空间关系、地理信息系统、各种建筑组件的性质及数量（例如供应商的详细信息）等。BIM 可以用来展示整个建筑生命周期，包括了兴建过程及营运过程。其提取建筑内的信息十分方便，建筑内各个部分、各个系统都可以呈现出来。

11.3.2 BIM的起源

美国佐治亚理工学院教授 Charles Eastman 于 1975 年以 Chuck Eastman 之名提出了 BIM 理论的基本内容，以便于实现建筑工程的可视化和量化分析，提高工程建设效率。

2002 年，Autodesk 公司发表了题为“Building Information Modeling”的白皮书，创造性地提出了“Building Information Modeling”这个词汇。而美国行业分析家 Jerry Laiserin 分别于 2002 年、2003 年对该词汇进行了标准化定义，阐述了这是对下一代设计软件的描述，是建筑过程的数字展示方式，并得到了各 CAD 软件商的认可，将 BIM 概念推向了普及之路。

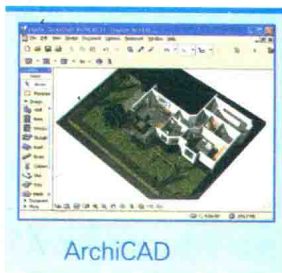
但 BIM 这项技术本身，早在 1987 年 Graphisoft 公司的 ArchiCAD 软件中已第一次得到实现，只不过当时的概念叫做“虚拟建筑”。Bentley 公司则称之为“一体化项目建模”。而随着 Autodesk 公司的 Revit 软件的成熟与推广，BIM 逐渐成为当前土木工程领域的热门技术，并得到广泛应用与推广。

11.3.3 BIM的应用

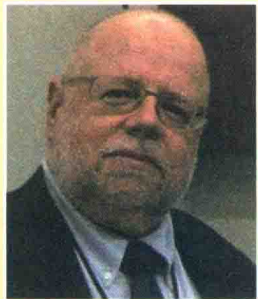
CAD 技术是设计领域的革命，而 BIM 技术则将是土木工程领域的革命。通过高度集成化、数字化、精准化的 BIM 模型，可以将设计、施工企业，材料供应商，房地产商等全部整合到一个数字化管理的平台，实现精准的管理与控制，实现土木工程全寿命、全方位的计算机化管理。BIM 可以广泛应用于土木工程的各个阶段，如设计、施工、运维等。



11.3.2 History of Building Information Modeling



11.3.3 ArchiCAD



Jerry Laiserin 美国建筑师协会资深建筑师 (FAIA) 及全美董事会成员, 国际设施管理协会全美董事会成员, 卡内基梅隆大学校长咨询委员会成员,《BIM 执行导则》、《建筑实录》等杂志特约技术编辑、专栏作家,《建筑信息模型和建设信息学研究的国际通用手册: 概念和技术》编辑咨询委员会委员,《三维信息建模》国际期刊编辑审查委员会委员。

1. 设计

在设计方面, BIM 的应用将使二维绘图改成三维绘图, 并以此三维数字模型为基础, 推动设计的进一步深化, 使得其所搭建的 BIM 模型, 在工程的整个周期中, 指导并应用于土木工程的各个阶段。

在方案设计阶段, 可以利用 BIM 软件, 对项目所处的场地环境进行必要的分析。利用 BIM 软件建立建筑模型, 结合场地环境信息、建筑物的物理环境 (如气候、采光、通风等) 等, 对建筑进行性能模拟分析, 选择最优的工程设计方案。

在施工图阶段, 由于 BIM 可以实现多专业集成于统一模型, 因此, 在多专业合作上, 有着巨大的优势, 特别是对于多专业之间的冲突监测与三维管线综合 (图 11.5), 可以实现在设计阶段, 即可进行碰撞检查, 发现土建与机电、机电各专业之间的碰撞, 并进行即时修改, 将原来只能在施工期间发现的碰撞, 在设计阶段得到解决。另外, 通过三维模型的虚拟仿真漫游, 可以得到身临其境的感受, 及时发现不易察觉的设计缺陷与问题。

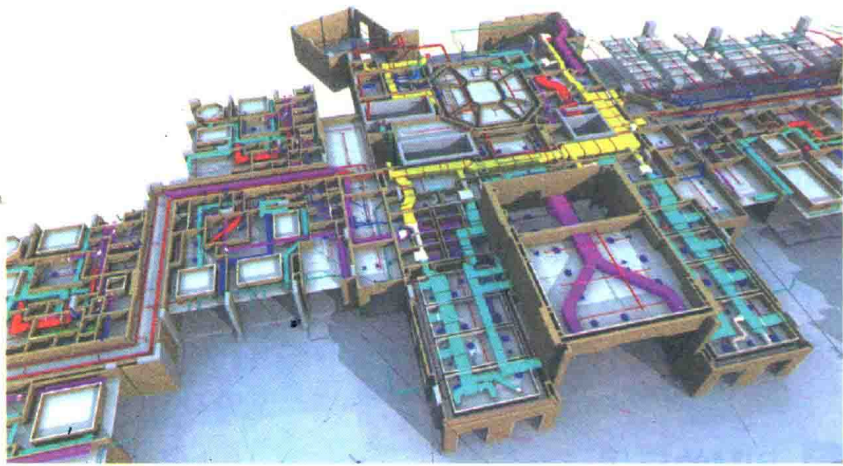


图11.5 BIM模型的三维管线综合

2. 施工

在施工阶段, 施工方和甲方可使用 BIM 技术进行施工进度模拟。同时, 由于 BIM 模型可以集成工程所需的各项工程信息, 对各个施工阶段的工料机进行统计与安排, 大大提高施工管理的准确性, 并可以进行三维进度监控。

在施工模型的基础上, 可以附加建造过程、施工顺序等信息, 进行施工过程的可视化管理, 并对施工方案进行优化, 保证方案施工的准确性与可行性。

BIM 模型中集成的工程信息,为工程量的统计、设备与材料的管理,均提供了基础数据,不仅计算准确,而且可以根据工程进度与工程实际施工情况,得到实时的数据。

3. 运维

借助于工程信息的完整性,可对工程项目进行全寿命的管理,不仅在设计、施工阶段,而且可以在项目完工之后,对项目进行后期维护与管理。

运维阶段是建筑生命周期中最长的阶段,基于 BIM 的工程运维管理,将更具有直观性、空间性和集成度,能够有效帮助建设方和物业方管理建筑设施和资产,进而降低运营成本,提高用户的满意度。

例如,当大厦管理员发现一些渗漏事件,首先可能不是探索整栋大厦,而是转向在建筑信息模型查找位于嫌疑地点的阀门,获得阀门的规格、制造商、零件号码和其他在过去曾被研究过的信息,针对可能的原因进行维护。

11.3.4 BIM软件

目前,BIM 软件中应用最普遍的是 Autodesk 公司出品的 Revit 与 Navisworks 所组成的 BIM 系列软件。其中的 Revit (图 11.6) 主要用于建模,

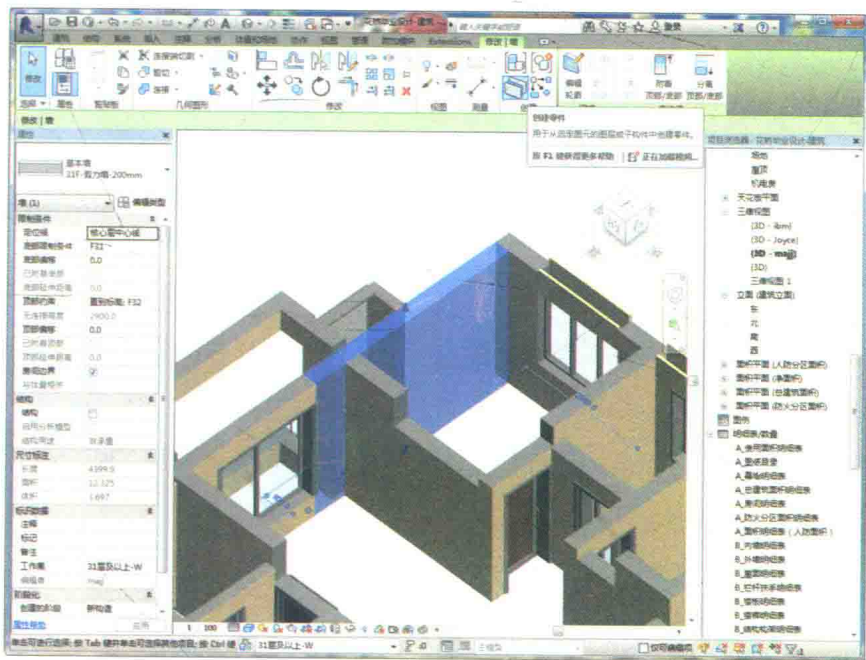


图11.6 Revit软件界面



11.3.4 参考资源

可分别对建筑、结构、设备进行模型的创建。而 Navisworks (图 11.7) 则可将 Revit、CAD 图纸等整合为一体, 可进行施工模拟、三维浏览、碰撞检查等功能。其他相类似的软件有 Graphisoft 公司的 ArchiCAD、Bentley 公司的系列软件、Tekla、VectorWorks 等。

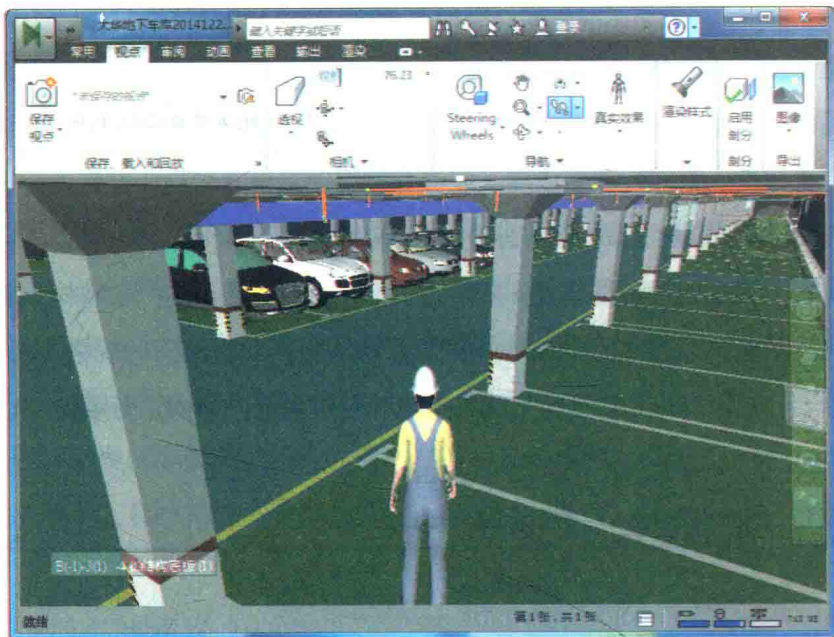


图 11.7 NavisWorks 软件界面

学习与思考

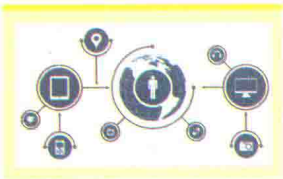
1. CAD、CAE、CAM 和 CAI 分别表示什么? 其英文全称、相互之间的联系与区别是什么?
2. 上网搜索国内外的结构设计软件与有限元分析软件的分析文章, 分别就各个软件的应用范围、功能、用户数量、特点等写一篇文献综述。
3. 依据 BIM 的特点, 分析其在建筑、桥梁、道路、水利、地下等各土木工程领域的应用前景。



第12章

智慧城市和土木工程

- 12.1 智慧城市
- 12.2 智慧建筑
- 12.3 智慧交通
- 12.4 智慧建造
- 12.5 智慧运维



12.1 智慧城市

12.1.1 智慧城市的定义和内容

所谓“智慧城市”，就是借助物联网、云计算、BIM、GIS、大数据分析等新兴技术，将城市运行的建筑、交通、电力、通信、医疗、教育等核心系统整合到一个大平台上，植入智慧的理念，从而更好地理解和控制城市运营，优化城市的资源使用，实现更美好的生活。

智慧城市的建设内容包括两方面，一方面是加强城市基础通信网络的建设，提高通信网络带宽和覆盖率；另一方面是在云计算平台上提供智慧应用服务，如智慧建筑、智慧交通、智慧医疗、智慧电网和智慧环境等。

12.1.2 智慧城市的发展

IBM 公司于 2008 年首先提出“智慧城市”概念。此后，智慧城市成为许多国家政府施政的愿景和目标。美国、欧盟、日本、韩国、新加坡等国积极投入智慧城市的规划和实践，智慧城市成为经济转型、产业升级、城市提升的新引擎，以达到提高民众生活幸福感、提高企业竞争力、实现城市可持续发展等目的。2010 年以来，我国将智慧城市作为国家推进战略性新兴产业和城市信息化进程中的前沿理念和探索实践。2013 年我国公布了 193 个智慧城市试点城市，2014 年国务院发布的《国家新型城镇化规划（2014—2020 年）》，这标志着智慧城市建设已上升为国家级战略规划，成为加快推进新型城镇化的重要一环。

12.1.3 智慧城市的支撑技术

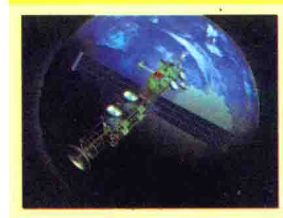
数字城市、物联网、云计算、移动互联网、大数据分析等技术的兴起，为智慧城市的建设提供了必要的支撑技术。数字城市存在于网络空间中，是现实



12.1.1 物联网



12.1.2 云计算



12.1.3 GIS技术

生活的物理城市在网络世界中的一个数字再现。智慧城市是以数字城市为基础,通过无所不在的物联网和移动互联网将虚拟的数字城市与现实城市关联起来,将海量大数据交由云计算平台进行存储、分析和决策,并按照分析决策结果对各种设施进行自动化的控制,为人类活动、经济发展、社会交往等提供各种智能化的服务。

智慧城市的总体架构主要由获取数据的感知层、对信息进行传输交互的网络层、提供海量数据存储和分析的服务层,以及面向最终用户的应用层组成,如图 12.1 所示。

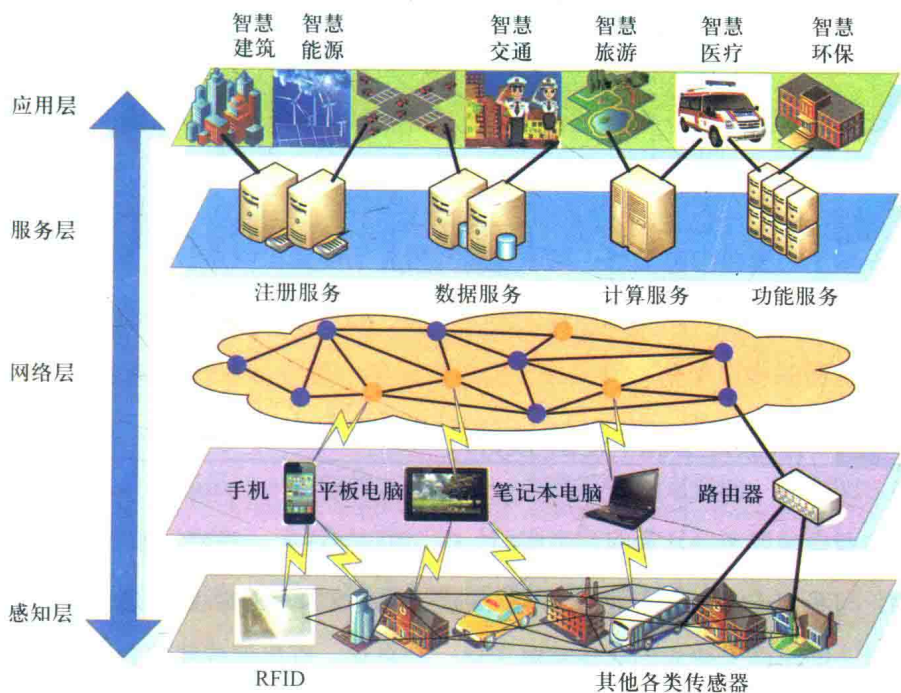


图12.1 智慧城市的总体框架

12.2 智慧建筑

12.2.1 智慧建筑的内涵和性质

为了适应信息社会对建筑物的功能、环境和高效率管理的要求,1984年美国联合科技集团首次提出“智能建筑”的概念。人们对建筑在信息交换、安



12.1.4 大数据分析



12.1.5 数字城市



12.2.1 智能建筑

全性、舒适性、便利性和节能生态等方面提出了更多更高的需求,推动了建筑从智能化走向智慧化。

智慧建筑是以物联网、BIM、云计算等先进技术为保障,在建筑智能化的基础上,更加开放地融入智慧城市网络中,从而满足个性需求与节能生态的现代建筑。智慧建筑应具备人性化、可持续化、智能化和开放化四个特性,见图 12.2。

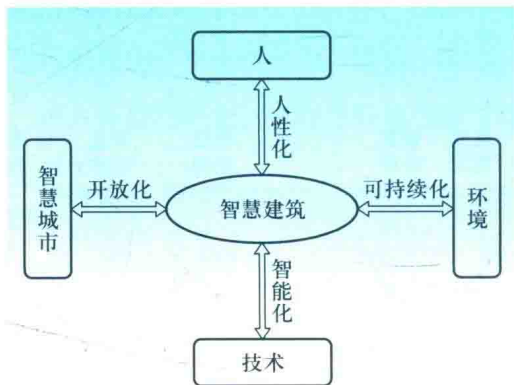


图12.2 智慧建筑的特性

12.2.2 智慧建筑的关键技术

智慧建筑的关键技术包括 BIM 技术、物联网技术、通信技术和云计算等。其中,与我们土木工程专业息息相关的是 BIM 技术。BIM 的理念是从策划设计阶段,即将尚未建成的建筑物电子化、信息化,直接形成建筑物及附属设施的三维模型,并将各类信息链接至该模型中,用于建设项目全过程管理,促进建筑物与设施的规划、设计、建设、监理和运维等全生命周期业务的协同应用模式的发展,见图 12.3 所示。

12.2.3 基于BIM的智慧建筑

BIM 被誉为建筑业的革命性技术,不仅对于建筑业的生产方式、协作方式会有大的变革,对于建成后建筑的运维也有着巨大的价值。

在建筑项目的运营维护过程中,建筑内各系统的位置数据十分重要,什么

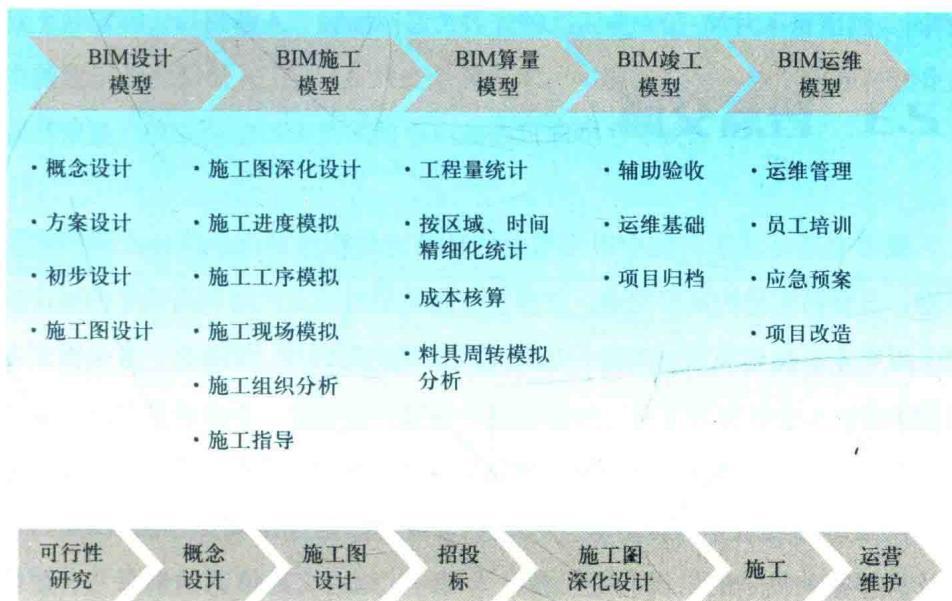


图12.3 建设项目全生命周期的BIM应用

地方水管爆了,什么地方发生了火情,需要在第一时间确定位置,了解周边情况。但目前的智能建筑的定位能力弱,无法实现这些要求。

而通过 BIM 技术,把整个建筑虚拟化、数字化,模型当中的信息不仅仅是可视化的几何信息,还包含大量设备信息、材料信息、构件信息等,所有信息与构件或设备都是一一对应的,构成了一个建筑物的完整的、全面的、丰富的、相互关联的信息库。结合物联网和云计算等新兴技术,使智能建筑向智慧建筑的转变成为可能。图 12.4 为典型智慧建筑的构成系统。



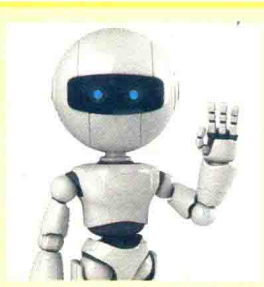
图12.4 智慧建筑的构成系统



12.3.1 智能交通系统



12.3.2 智慧交通建设内容



12.4.1 工业4.0

12.3 智慧交通

城市交通是城市活动中极为重要的环节,是衡量城市现代化水平的重要标准,没有高质量的城市交通,就谈不上高质量的城市生活和高效率的城市进程。近年来,构建高效、安全、现代化的智能交通系统(ITS)一直是国家发展的中心。

但随着城市交通的不断发展,仅仅依靠智能交通已经难以支撑,提高既有交通设施的运营效率,打造新一代智能交通网络迫在眉睫。伴随着物联网、云计算等相关技术的出现,人们提出了新一代综合交通体系的概念——智慧交通。

智慧交通是将物联网、云计算为代表的新技术运用到整个交通系统中,建立一个更大的时空范围的综合交通体系,以提高交通系统的运行效率,减少交通事故,降低环境污染,促进交通管理及出行服务系统的信息化、智能化、社会化、人性化水平。2010年年底,我国交通部的“十二五”规划提出把智慧交通作为交通规划的重要组成部分,启动了新一代智慧交通系统发展战略研究以及应用物联网技术推进现代交通运输策略研究两个重大研究项目。

12.4 智慧建造

12.4.1 工业4.0

2013年,德国政府提出“工业4.0”概念,即提出继蒸汽机的应用、规模化生产和电子信息技术等三次工业革命后,人类将迎来以信息物理融合系统为基础,以生产高度数字化、网络化、机器自组织为标志的第四次工业革命。

我国在2015年提出了中国版的“工业4.0”规划——“中国制造2025”。长期以来,中国制造业“大而不强”,随着我国人口红利的逐步消失,传统制造业的低成本竞争优势逐渐丧失,因此制造业自动化程度提高将是大势所趋

且十分迫切,以机器人、智能制造为代表的“工业 4.0”时代不可阻挡。同样,中国建筑业也需引入工业 4.0 的概念和技术,实现智能化、数字化和自动化的智慧建造,改变劳动密集型的简单粗放落后的建造方式。

12.4.2 智慧建造的内涵

在土木工程领域,为了提高工程项目的安全 and 质量水平、降低人工和劳动强度、加快建造速度、实现绿色建造和精益建造,在工程项目建造过程中逐步引入了制造业的数字化技术和管理方法,形成了数字化建造的理念。

随着 BIM 技术的推广和应用,促使数字化建造向智慧建造的进一步发展。智慧建造是建立在 BIM、GIS、物联网、移动互联网、云计算和大数据等信息技术之上的工程信息化建造平台,是一种实现信息融合、全面物联、协同运作、激励创新的工程建造模式。

智慧建造与建筑绿色化(绿色建筑、绿色施工)、建筑产业化互为补充、相互支撑,共同构筑建筑产业现代化。智慧建造可以克服传统建筑业无法发挥工业化大生产的规模效应的缺点,实现小批量、单件高精度建造、实现精益建造,实现“互联网+”在建筑业的叠加效应和网络效应。智慧建筑有助于实现建筑工程生命周期管理、参与各方的协同和共享,使业主和承包商之间、总包和分包之间形成合作共赢的关系。



12.4.2 建筑产业化

12.4.3 智慧建造的关键技术

在智慧建造的框架中,BIM、GIS、物联网、移动互联网、云计算和大数据是智慧建造平台的核心支撑技术,见图 12.5。其中,BIM 模型是工程建造全过程信息的传递载体,集成了工程项目的各种相关信息,是对工程项目实施实体与功能特性的数字化表达,是实现智慧建造的数据支撑。一个完善的信息模型,能够连接工程项目全生命周期不同阶段的数据、过程和资源,是对工程对象的完整描述,可被建筑项目各参与方普遍使用。BIM 的可视化、参数化、数据化、可模拟化、可优化的特性让工程项目的管理和交付更加高效和精益。

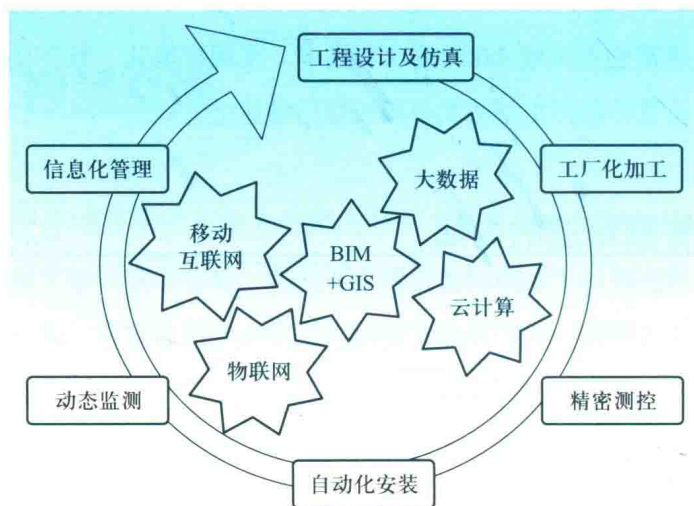


图12.5 智慧建造的模型框架

12.4.4 智慧建造典型应用

在 BIM、物联网等信息技术的支撑下，智慧建造平台可实现工程设计及仿真、工厂化加工、自动化安装、精密测控、动态监测、信息化管理等典型数字化建造应用，如图 12.6 所示。其中工程设计及仿真可以实现 BIM 信息建模、碰撞检测、施工方案模拟、性能分析等；工厂化加工可以实现混凝土预制构件、钢结构构建、玻璃幕墙、机电管线等工程化制作；精密测控可以实现施工

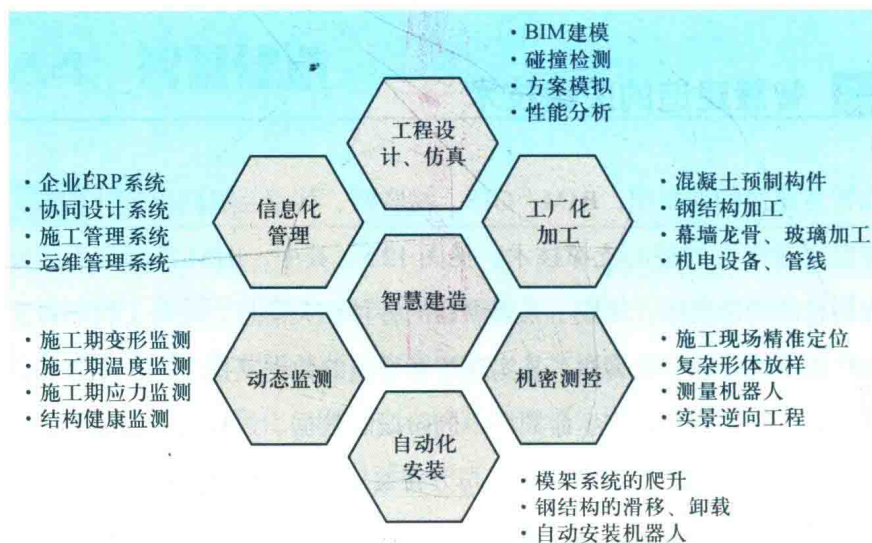


图12.6 智慧建造的典型应用场景

现场精确定位、复杂形体放样和实景逆向工程等；自动化安装可以实现模架系统爬升、钢结构滑移和卸载等；信息化管理包括企业 ERP 系统、协同设计系统、施工项目管理系统等。

12.5 智慧运维

12.5.1 智慧运维的内涵

从整个建筑生命周期来看，相对于设计、施工阶段的周期，工程项目的运营维护（运维）阶段往往需要进行几十年甚至上百年，是建筑生命周期中最长的过程。传统的运维过程仅关心物业本身的建筑、设施维护。随着专业化分工及精细化管理的提高，从 20 世纪 80 年代开始，运维的理念逐步转向一种现代化的物业管理模式——设施管理 (FM, Facility Management)。根据国际设施管理协会对其的定义：FM 是运用多学科专业，集成人、场地、流程和技术来确保建筑物良好运行的活动，其活动包括建筑物的空间管理、运营管理、资产管理、维护管理、健康监测管理等内容。

在 BIM 还未提出之前，FM 通常的实施模式是从二维的纸质或者 CAD 图中导入创建建筑信息。而随着 BIM 技术在建筑的设计、施工阶段的应用，使 BIM 覆盖建筑的全生命周期成为可能。在建筑竣工以后通过继承设计、施工阶段所生成的 BIM 竣工模型，利用 BIM 模型优越的可视化 3D 空间展现能力，将建筑运维阶段所需的各种建筑参数、结构参数、设备参数等进行一体化整合，实现基于 BIM 模型的建筑运维管理。

除了 BIM 技术外，物联网在建筑物的智慧运维中将发挥更大作用。通过把各种感应器等芯片嵌入和装备到建筑、桥梁、隧道、铁路、大坝、供水系统、电网、钢筋混凝土和管线中，将物联网与现有的互联网整合为统一的基础设施，从而实现对整合网络内的人员、场地、设备和基础设施进行实时管理和控制，实现建筑物的智慧运维管理。

12.5.2 智慧运维中的结构健康监测

建筑物在使用期内,环境侵蚀、材料老化、荷载的长期效应、疲劳效应与突变效应等灾害因素的耦合作用将不可避免地导致结构的损伤积累和抗力衰减,极端情况下引发灾难性的突发事故。为了保障结构的安全性、完整性、适用性与耐久性,把握结构的健康状况,往往在大型或复杂结构上安装健康监测系统。

健康监测系统能够记录和分析结构的荷载及其响应,把握工程结构的健康安全状态。近年来,随着智能材料的出现、计算机科学和通信技术的飞速发展,为研究和应用高性能和耐久性好的智能传感器以及高度集成和网络化的智能健康监测系统奠定了基础。

下文以桥梁结构为例,介绍健康监测系统桥梁上的应用。桥梁结构监测系统主要包括传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据管理子系统、结构状态识别与综合评估子系统,上述各个子系统分别涉及不同的硬件和软件,需要通过系统集成技术将它们集成为一个协调共同工作的大系统。

监测系统的内容主要包括荷载监测和结构响应监测。荷载主要有风、雨、温度、湿度、车辆、船撞和地震等;结构响应主要有索力、位移、支座反力、加速度、应力以及腐蚀程度等。图 12.7 为香港青马大桥的健康监测系统的传感器布置图。

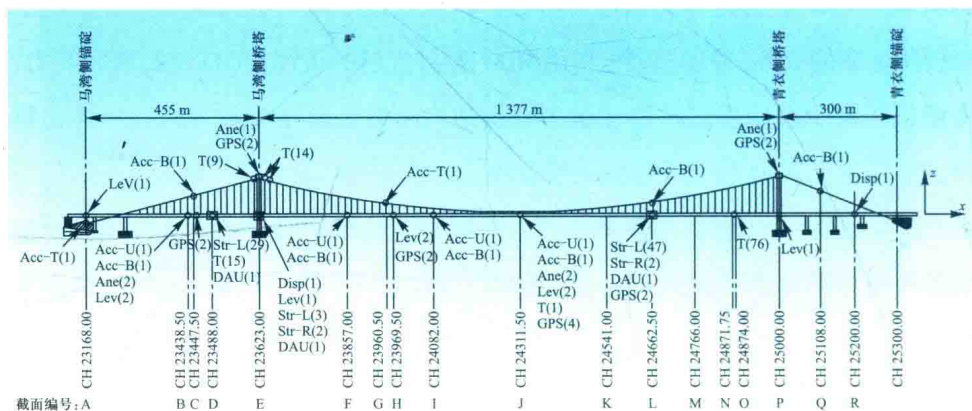


图12.7 香港青马大桥的健康监测系统

注: 图中括号内的数字为传感器的数量; Lev为水平传感器; Ane为风速计; Acc-U为单向加速度计; Acc-B为双向加速度计; Acc-T为三向加速度计; Str-L为线性应变计; Str-R为三向应变计; T为温度计; Disp为位移传感器; DAU为数据采集单元。在两个桥头还安装了车辆动态称重系统。

通过各种传感器捕捉桥梁荷载和响应信息,通过数据采集与传输子系统完成信号调理、模数转换和数据的远程传输,通过数据管理子系统实现海量数据的处理、存储、展示、查询和组织管理等,通过结构状态识别和综合评估子系统识别桥梁结构的内力状态和损伤状态、对桥梁的安全状态进行评价。



12.5.1 拓展阅读的参考文献

学习与思考

1. 什么是智慧建筑?其关键技术是什么?
2. BIM 在建设项目全生命周期管理中的应用?
3. 如何在工程中实现智慧建造的理念?
4. 结合设施管理,如何实现智慧运维?

[General Information]

书名=土木工程概论（第4版）

作者=叶志明主编

页数=221

SS号=14063798

DX号=

出版日期=2016.02

出版社=高等教育出版社