

北京市高校学生宿舍人均用水量分析及 线性回归研究

黄天意¹, 王 昊¹, 李文涛^{1,2}, 唐 颖³, 马 乐⁴, 周晋军^{1*}

(1. 北京工业大学 城市建设学部, 北京 100124; 2. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广州 510000;

3. 北京城市学院 城市建设学部, 北京 100083; 4. 北京市供水管理事务中心, 北京 101119)

摘 要: 随着教育的普及和发展, 高校的人数比例迅速增加, 学生宿舍作为高校重要的生活用水单元, 其用水规划在高校的水资源管理中不可忽视。以北京市 3 所高校学生宿舍为例, 各高校人均用水量均低于相应规范的推荐值, 在不同生源的宿舍楼和特殊年份中表现出差异性。选取 a 高校的用水数据进行线性回归分析, 结果表明以用水人数、房间数和建筑面积作为自变量对总用水量进行多元线性回归的拟合方程相比仅以用水人数进行一元线性回归的拟合方程的 R^2 高, 且 R^2 在 0.98 以上, 具有较好的回归效果; 线性回归前进行分类或聚类能取得更好的拟合效果, 在多元线性回归中根据有无独立卫浴分类优于聚类; 不同集合的回归方程的系数具有差异性。

关键词: 高校; 学生宿舍; 人均用水量; 聚类分析; 线性回归

中图分类号: TU 991.31

文献标志码: A

Analysis and Linear Regression of Water Consumption Per Capita of University Dormitories in Beijing

Huang Tianyi¹, Wang Hao¹, Li Wentao^{1,2}, Tang Ying³, Ma Le⁴, Zhou Jinjun^{1*}

(1. Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, China; 3. Urban Construction School, Beijing City University, Beijing 100083, China; 4. Water Supply Management Affairs Center in Beijing, Beijing 101119, China)

Abstract: With the popularization and development of education, proportion of universities has increased rapidly. Being important water unit of universities, water use planning (WUP) of student dormitory is important. Taking the dormitories of three universities in Beijing as examples, water consumption per capita is lower than the recommended value of the corresponding codes in each university and is different in the dormitories with different student sources or in special years. The linear regression analysis of water data in a university is carried out. The conclusions are that R^2 of the fitting equation of the multiple linear regression with the number of water users, the number of rooms and the building area as independent variables for the total water consumption is higher than that of the linear regression equation only with the number of water users. The R^2 are above 0.98 which has a good regression effect; Classification or clustering before linear regression can achieve better fitting results. Classification according to the presence or ab-

收稿日期: 2022-08-20

基金项目: 北京市自然科学基金青年项目(8214046); 北京市教育委员会科技计划一般项目(KM202210005017); 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 清华大学——宁夏银川水联网数字治水联合研究院专项统筹重点项目(SKI-IOW-2019TC1905)

作者简介: 黄天意, 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为给水排水预测与模拟。

通讯作者: 周晋军, 男, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为城市水文循环。

引文格式: 黄天意, 王昊, 李文涛, 等. 北京市高校学生宿舍人均用水量分析及线性回归研究[J]. 市政技术, 2022, 40(10): 150-157. (HUANG T Y, WANG H, LI W T, et al. Analysis and linear regression of water consumption per capita of university dormitories in Beijing [J]. Journal of municipal technology, 2022, 40(10): 150-157. (in Chinese))

sence of independent toilets in multiple linear regression is better than clustering; The coefficients of the regression equations of different sets are different.

Key words: *university; student dormitories; water consumption per capita; clustering analysis; linear regression*

随着城市化的快速发展,我国城市用水总量迅速增长,其中城市生活用水量随着城市人口数量的增加在持续增加^[1]。学校是城市中的重要用水单元,学生是城市生活用水的重要主体^[2]。2021 年全国共有各级各类学校 52.93 万所,在校学生 2.91 亿人,专任教师 1 844.37 万人,学校用水量是城市生活用水量的重要组成部分^[3]。调查数据显示,北京市某高校 1 年的用水量约为 450 万 m³,相当于北京市 1 d 的生活用水量。伴随义务教育的普及和高等教育的发展,我国大学生人数迅速增加,高校用水量也迅速增加^[4]。高校学生宿舍的平均用水总量仅次于食堂用水量^[5],是高校生活用水的重要单元。宿舍用水类型包括饮用、冲厕、盥洗、淋浴、洗衣服等,用水特点是人员集中且用水量较大。由于设施设备落后、漏损严重、用水人数急增,高校用水量增长迅速^[6]。近年来北京市政府大力推进节水型校园建设工作,据央广网报道,2019 年北京市十余所高校试点“合同节水”。

鉴于高校学生宿舍用水调控的重要性的结构的复杂性,国内外学者对高校学生宿舍用水开展了许多相关研究。例如,葛学伟^[7]统计了天津某高校集体宿舍二次供水的水量变化、用水规模和用户类型等,提出了冲厕取水量的修订意见;杨琪^[8]统计了天津大学不同时间段的用水量变化情况,得到宿舍每天最大瞬时秒流量大于最大小时平均秒流量的概率约为 33%;王毅等^[9]统计了北京工业大学学生宿舍中不同用水器具的耗水情况,认为感应式小便槽的节水效果在学生宿舍中的效果较差;付婉霞等^[10]统计了北京交通大学学生宿舍在不同季度的用水量,发现夏季平均用水量是冬季平均用水量的 1.63 倍,不同季度的节假日和平日用水量均较相近;谢凡^[11]测试了节水器具对北京交通大学学生宿舍的节水效果,认为节水器具对学生宿舍用水情况影响较大,可降低 13.46 L/(人·d)的用水量;高成康等^[12]基于 SFA 法对东北大学的用水结构进行了分析,认为学生宿舍排出的废水中主要污染物为悬浮颗粒和氮磷化合物,处理难度较小,可加大废水回用力度;Berardi 等^[13]比较了美国 LEED(美国的一个绿色建筑评价体系)与非 LEED 宿舍的用水量,认为两者用水量

的差异主要在于洗澡时间;Valentukevičienė 等^[14]对 Vilnius Gediminas Technical University(维尔纽斯格迪米纳斯技术大学)学生宿舍中的中水回用系统进行了分析,发现中水回用系统中效益较佳的中水主要来自于淋浴废水;Gao 等^[15]通过对东北大学学生宿舍的管道系统进行改良,将洗涤间废水回用至厕所,实现了平均每人每年节约 2.13 m³ 水量的节水效果。

学生宿舍是高校重要的生活用水建筑,但是关于学生宿舍用水结构和用水规律的分析仍不够完善,目前缺乏有效的用水量计算方法。因此,笔者对北京市 3 所不同高校学生宿舍人均用水量进行比较以分析人均用水量的特异性,对高校用水量数据进行线性回归从而建立相关的用水量回归方程,通过剔除异常值、分类和聚类优化回归结果,旨在提高高校学生宿舍用水量预测精度,为城市建筑给水排水设计和水资源管理提供科学依据。

1 数据与分析方法

1.1 研究区域

北京市位于华北平原北部,属暖温带半湿润大陆性季风气候区,季风性特征明显,年平均降水量约为 600 mm,年平均气温约为 12.9℃。2007—2017 年,北京市的城镇化率均保持在 86%左右,而我国整体城镇化率仅为 60%^[16]。北京市拥有本科院校、高职院校、成人高校、军事院校等高等院校 122 所,在校大学生人数超 100 万人,在校研究生人数超 41 万人,位居全国第一^[17],因此选择北京市高校进行学生宿舍用水量研究具有较好的代表性。

1.2 研究数据

研究数据取自北京市的 3 所高校,分别以编号 a、b、c 表示,a 高校数据由笔者调查统计得到,b、c 高校数据取自相关文献,统计数据中的宿舍编号不代表该高校实际规定的宿舍编号。各高校的数据特征如下:

1)a 高校共收集到 2015 年 23 栋宿舍楼的年用水量、用水人数、建筑面积(指所有住人楼层的平面面积的总和)和房间数等数据,其中 1~13 号宿舍楼为本科生宿舍,14~16 号宿舍楼为硕士研究生宿舍,

17~19 号宿舍楼为继续教育学生宿舍,20~23 号宿舍楼为留学生宿舍;1~16 号宿舍楼有独立卫浴,17~23 号宿舍楼无独立卫浴。

2)b 高校^[9]共收集到 2008 年 4 栋宿舍楼在不同季节正常教学时间段的平均用水量和相应的用水人数,4 栋宿舍楼均无独立卫浴。

3)c 高校共收集到 5 栋宿舍楼的用水量、用水/设计人数,其中 1 号宿舍楼^[10]无独立卫浴,统计年份为 2002 年,统计水量数据为正常教学时间段的平均用水量,统计人数为用水人数;2~5 号宿舍楼^[11]中,2 号宿舍楼有独立卫浴,1、3、4、5 号宿舍楼无独立卫浴,统计年份为 2016—2020 年,统计水量数据为年用水量,统计人数为设计人数。

统计数据中,各用水量单位均为 m^3 。基于各高校的实际用水量数据,计算建筑物的人均日用水量^[18]:

$$D = \frac{1\ 000B}{NT} \quad (1)$$

式中: D 为人均日用水量, $\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$; B 为建筑物的用水量, m^3 ; N 为用水人数; T 为统计持续时间, d 。

1.3 数据回归分析方法

线性回归常使用相关性分析遴选参数,考虑到 b 高校数据年份较久远,不具有较好的回归价值,c 高校多数宿舍楼统计的是设计人数,不适合进行回归分析,a 高校统计的为用水人数,同时样本量较多,因此采用 a 高校的统计数据进行分析。直接使用线性回归计算的结果可能会不理想,因此笔者辅以分类或聚类提高数据的拟合精度或帮助结构化分析数据的关联性^[19],并对比和检验直接使用分类和聚类是否会对回归计算结果精度产生影响。数据回归分析的步骤如下:

1)通过相关性分析求得斯皮尔曼相关性系数,根据相关性系数选择适宜的变量参数参与线性回归。

2)分 2 种情景进行回归分析,一种是以用水人数作为自变量对用水量作一元线性回归,另一种是以用水人数和其他所选变量在不同集合对用水量作多元线性回归。

3)对于一元线性回归,分 2 次进行;第 1 次不进行分类,以所有宿舍楼数据进行回归;第 2 次根据有无独立卫浴进行分别回归。

4)对于多元线性回归,分 3 次进行;第 1 次不进行分类,以所有宿舍楼数据进行回归;第 2 次根据有无独立卫浴将数据集划分为 2 类进行回归,数据集与一元线性回归的分类保持相同;第 3 次通过 Ward

聚类分析,根据所选数据将其分为若干集合,对不同集合进行多元回归。

5)计算线性回归方程,统计决定系数 R^2 和显著性系数 P ,回归方程的形式为^[20]:

$$\hat{B} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (2)$$

式中: \hat{B} 为年用水量的计算值; β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 为回归系数; x_1 为用水人数; x_2 为房间数; x_3 为建筑面积。对于一元线性回归,式中不含 x_2 和 x_3 变量及相应的回归系数 β_2 、 β_3 。

6)通过计算回归值的时序残差分析数据的奇异点,剔除奇异点数据后重复步骤 5,直至无异常值,即得回归方程。

回归分析步骤中相应参数和名词的解释如下:

1)斯皮尔曼相关性系数

皮尔逊(Pearson)相关性系数和斯皮尔曼(Spearman)相关性系数是相关性分析常用的相关性系数^[21],考虑到公寓用水的影响因子波动性较强,笔者选择斯皮尔曼相关性系数进行相关性分析。计算该系数首先要对被分析的数据分别进行排序,记录每个数据的秩次 x_i 和 y_i ,而后代入式(3):

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

式中: r 为斯皮尔曼相关性系数; d_i 为第 i 个数据对的秩次之差,即 $x_i - y_i$; n 为总的观测样本数。

r 取值为 $-1 \sim 1$, r 越接近于 1,说明两个变量正相关性越好; r 越接近于 -1 ,说明两个变量负相关性越好; r 越接近于 0,说明两个变量不存在相关性。一般认为 $|r|$ 在 0.8 以上数据间有强的相关性, $|r|$ 在 0.3~0.8 之间数据间有弱的相关性, $|r|$ 在 0.3 以下数据间没有相关性。最后还应应对 r 进行显著性检验,为与线性回归中的显著性系数 P 做区分,相关性系数的显著性系数以 p 表示。一般认为显著性系数 $p < 0.01$ 时 r 的结果显著可信, $0.01 \leq p < 0.05$ 时 r 的结果比较可信, $p \geq 0.05$ 时 r 的结果不太可信,该定量方法对于 P 和 R^2 同样适用。

2)Ward 聚类法

Ward 聚类法认为当同类的样本离差平方和最小时,分类是合理和恰当的。假设有若干样本,欲将其划分为 m 类,记为 $G_1, G_2, \dots, G_{m-1}, G_m$,则 G_j 的离差平方和为:

$$W_j = \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^T (X_{ij} - \bar{X}_j) \quad (4)$$

式中: W_j 为 G_j 的离差平方和; n_j 为 G_j 中的样本数; \bar{X}_j 为 G_j 的重心; X_{ij} 为第 j 个分类样本中的第 i 个样本。

由式(4)可得到单类聚类集合的离差平方和,然后对所有离差平方和进行加和,通过改变聚类数,当取得最小离差平方和的加和时,即认为此为最佳的聚类数和聚类集合。

3) 根据残差剔除奇异点

残差是因变量的观测值 y_i 与回归方程求出的预测值 \hat{y}_i 之差,第 i 个数据的残差值为:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (5)$$

残差是线性回归模型中误差的估计值,为了比较残差值将残差除以独立于其值的标准差估计值,即将残差 Student 化,Student 化残差具有一定自由度的 t 分布,求得 t 分布在 95%置信区间外的数据区间,若区间偏离 0 点,即认为该数据是可能的异常值,通过对可能的异常值进一步分析,确定异常值并剔除。

2 宿舍人均用水量分析

用水定额是建筑物用水的重要统计指标,直接影响建筑的给水排水设计,在 GB 50015—2019《建筑给水排水设计标准》(以下简称标准)中已对宿舍用水定额的取值范围做出规定^[23]:居室内设卫生间的宿舍其平均日用水定额为 90~120 L/(人·d),设公用盥洗卫生间即居室内未设卫生间的宿舍其平均日用水定额为 130~160 L/(人·d)。但在实际情况中,宿舍楼之间差异较大,居住对象也不同,简单用统一的标准可能无法准确反映用水特征。将 3 所高校学生宿舍人均用水量绘制于图 1。

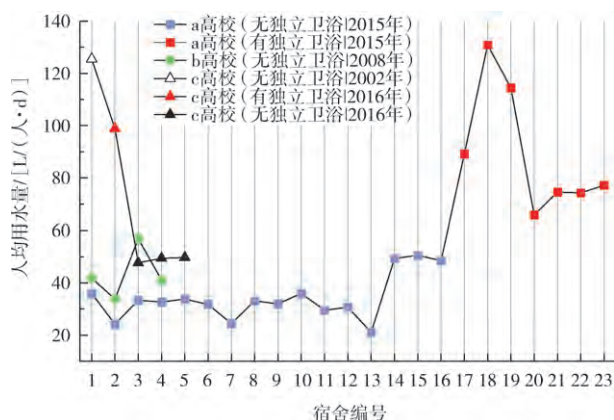


图 1 不同高校学生宿舍人均用水量

Fig. 1 Water consumption per capita in different university dormitories

从图 1 可以看出,除 c 高校的 1 号宿舍楼外,有独立卫浴宿舍的人均用水量均大于无独立卫浴宿舍,这一点与标准中的规定相契合,但多数宿舍楼的人均用水量低于标准定额的最低取值。陈浩^[23]运用概率测算法计算了公寓人均用水量,计算结果为含淋浴设施宿舍的人均用水量为 80~100 L/(人·d),而无淋浴设施宿舍的人均用水量为 20~40 L/(人·d),也小于标准所给定的平均日用水定额。

b 高校所有宿舍楼、c 高校 1 号宿舍楼无独立卫浴,统计时间为正常教学时间段,因此宿舍用水量并不受节假日和学生返乡的影响,理论上以教学时间段统计数据计算的人均用水量应大于相同环境条件下以全年时间段统计数据计算的人均用水量,但是 b 高校的人均用水量与 c 高校 3~5 号宿舍楼的人均用水量相近,且 c 高校 1 号宿舍楼的人均用水量远大于其他无独立卫浴的宿舍楼。c 高校 1 号宿舍楼的数据是在 2002 年统计的,当时的管道系统较老旧、用水设施落后、漏损现象较严重,因此该年的人均用水量较高。b 高校的数据是在 2008 年统计的,相比 c 高校 1 号宿舍楼,b 高校的人均用水量有了显著降低,说明北京市在该时间段内采取的节水措施较为成功,例如加快推广陶瓷磨片密闭式水龙头代替铸铁螺旋升降式水龙头,该措施可节约宿舍龙头出水量约 20%~30%^[24]。2008 年后随着北京市社会经济的快速发展,较多高校学生宿舍的管道进行了维护或采取了更节水的设备设施,并大力组织节水宣传工作,使得宿舍用水效率得到提高,但是公共洗衣机逐渐引入各个高校,一般洗衣机的用水量大于手洗,同时各高校更加追求宿舍生活质量的提高,清洁工作更加频繁,导致用水量增加,因此虽然 c 高校 3~5 号宿舍楼的统计时间为一年,且用水效率和节水意识得以提高,但是由于用水量增加,c 高校无独立卫浴宿舍 2016 年的人均用水量反而与 b 高校 2008 年的人均用水量接近。由于 b 高校的统计时间为正常教学时间段,若受节假日和学生返乡影响,折算全年得到的用水定额应更低,因此按年计算时,c 高校无独立卫浴宿舍的人均用水量可能高于 b 高校。该现象说明,以近年数据对比 2008 年左右的数据,高校人均用水量不降反增可能是正常现象,这是由于用水器具发生了改变且环境要求提高了,人均用水量在时间序列上的变化不能简单认为具有线性关系,建议分析宿舍人均用水量随年份变化情况时,将对比范围缩小至近期比较更具有合理性。

宿舍内学生类型可能影响人均用水量,a 高校不同类型生源宿舍人均用水量见图 2。

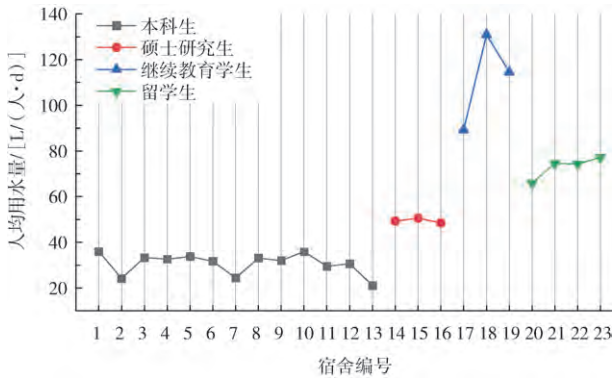


图 2 a 高校不同生源宿舍人均用水量
Fig. 2 Water consumption per capita of different student dormitories in a university

从图 2 可以看出,在无独立卫浴的情况下,硕士研究生的人均用水量大于本科生;在有独立卫浴的情况下,继续教育学生的人均用水量大于留学生;留学生的人均用水量与硕士研究生接近。硕士研究生人均用水量大于本科生的原因可能是硕士研究生课业相对较少,在宿舍的时间会多于本科生,因此会增加用水量。继续教育学生人均用水量较大的主要原因是学生大多是在职人员,有稳定的经济收入,生活品质较高,用水需求较大。

图 3 展示了 c 高校 2~5 号宿舍楼 2016 年至 2020 年的人均用水量。

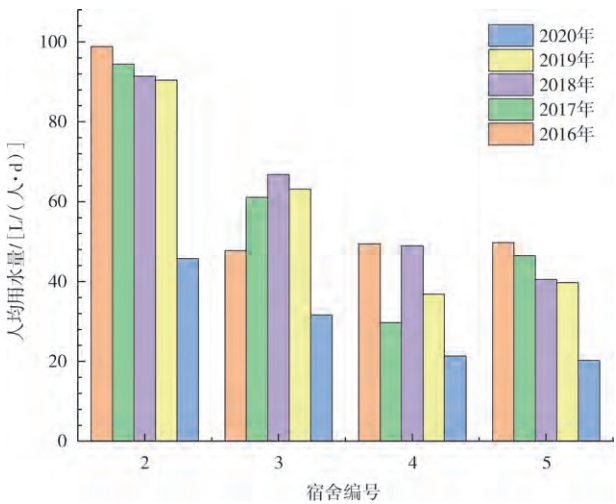


图 3 c 高校宿舍 2016—2020 年的人均用水量
Fig. 3 Water consumption per capita of student dormitories in c university from 2016 to 2020

从图 3 可以看出,4 号宿舍楼人均用水量在 2017 年突降,这是由于当年宿舍楼流量计运行不稳定出现数据回传失败情况导致的^[1],因此该校各宿舍楼人均用水量突降实际发生在 2020 年,该年受新冠肺炎疫情影响,上半学年多数学生无法返校,宿舍用水处于停摆或极低状态,直至下半学年才恢复正常,受实际用水时间的影响,总用水量迅速降低,又因 c 高校统计的是设计人数,故人均用水量也发生突降。受北京市 2022 年上半年新冠肺炎疫情影响,北京市高校学生宿舍的总用水量也可能会减少,建议统计分析时应斟酌考虑该时间段的用水数据,不能未经处理就将 2020 年和 2022 年的用水数据与邻近年用水数据简单地归入一个集合。

上述分析结果表明,除了受宿舍楼有无独立卫浴的影响,人均用水量还随多种因素而变化,如用水时间段、用水人员和特殊事件干扰等,在设计时仅考虑用水人数计算设计用水量可能会产生误差,用水定额估计过大会增加工程造价,用水定额估计过小有失安全性,因此应多角度、多因素综合考虑来确定和计算宿舍用水量。

3 线性回归结果和分析

对 a 高校做用水人数与相应总用水量的相关性分析,得到 $r=0.49$ 、 $p=0.02$;若将 a、b 高校的所有宿舍楼和 c 高校的 1 号宿舍楼作为一个集合进行相应相关性分析,得到 $r=0.54$ 、 $p=0.0014$ 。以上相关性结果的 p 均小于 0.05,表明该相关性结果比较可信。进一步分析 a 高校统计的房间数和建筑面积 2 个参数是否可以代入用水量的计算公式中,相关性分析结果见表 1。

表 1 不同参数与总用水量的相关性
Tab. 1 Correlation of different parameters with total water

相关性参数	房间数	建筑面积
r	0.84	0.88
p	6.76×10^{-7}	6.44×10^{-8}

从表 1 可以看出,房间数、建筑面积与总用水量的 r 在 0.8 以上,表明数据间具有很好的相关性, p 远小于 0.01,说明该相关性结果显著可信,因此房间数和建筑面积具有作为计算用水量的价值,计算用水量时应视情况考虑这 2 个参数的影响。房间数和建筑面积与总用水量有较好的相关性,可作为线性

回归的自变量参数,用水人数与总用水量的相关性虽较低,但其仍然是给水排水设计中的重要参数,因此本节将以用水人数作为自变量对用水量作一元线性回归,以用水人数、房间数和建筑面积作为自变量对用水量作多元线性回归。

以用水人数、房间数、建筑面积和总用水量作为聚类依据对 a 高校相关数据进行 Ward 法聚类,聚类系统图见图 4。由于统计数据样本较少,为防止过拟合现象发生,将所有宿舍划分为 2 类集合,集合 1 为 1~13 号宿舍楼,集合 2 为 14~23 号宿舍楼。

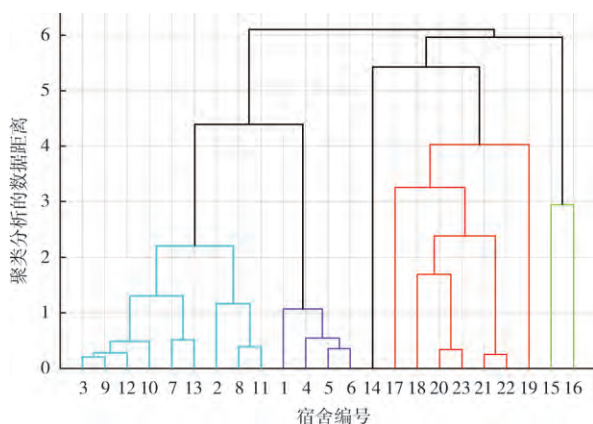


图 4 宿舍用水特征的聚类系统图

Fig. 4 Clustering system diagram of characteristics of water use in dormitories

从回归残差时序结果来看,一元线性回归中,无独立卫浴宿舍集合中异常值为 14 号宿舍楼和 15 号宿舍楼,这 2 个宿舍楼的人均用水量较大,在相似人均用水量的情况下,与 16 号宿舍楼相比用水量和用水人数较大,因此认定为异常值;有独立卫浴宿舍集合中无异常值。多元线性回归中,无独立卫浴宿舍集合中异常值为 2 号宿舍楼,有独立卫浴宿舍集合中异常值为 19 号宿舍楼,这 2 个宿舍楼的残差 t 分布范围与原点较远,因此认定为异常值;聚类分析的各集合中,集合 1 中异常值为 2 号宿舍楼,集合 2 中异常值为 19 号宿舍楼。2 号宿舍楼在用水人数、房间数和建筑面积相同情况下用水量过小,19 号宿舍楼在用水人数、房间数和建筑面积相同情况下用水量过大,因此二者被认定为异常值。

剔除异常值后,以有无独立卫浴进行分类进行一元线性回归分析的回归结果见图 5,以有无独立卫浴进行分类进行多元线性回归分析的回归结果见

图 6,以聚类分析的 2 类集合进行多元线性回归分析的回归结果见图 7。

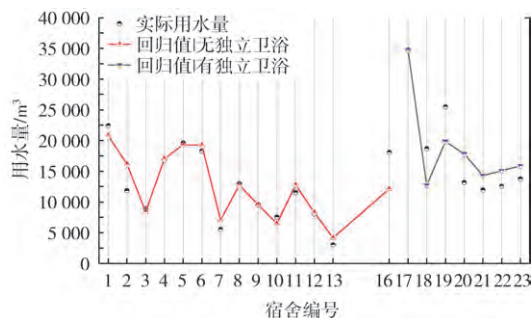


图 5 一元线性回归-在有无独立卫浴集合中

Fig. 5 Univariate Linear Regression – in sets with or without separate toilets

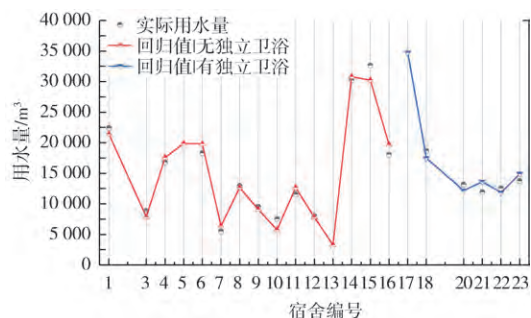


图 6 多元线性回归-在有无独立卫浴集合中

Fig. 6 Multiple Linear Regression – in sets with or without separate toilets

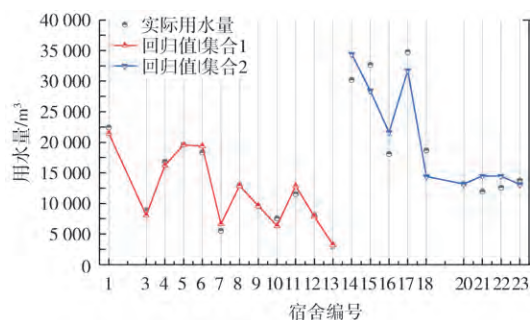


图 7 多元线性回归-在集合 1 和 2 中

Fig. 7 Multiple Linear Regression – in sets of [1] and [2]

上述回归分析的回归方程参数统计于表 2,该回归结果的 R^2 较高、 P 较低,表明回归结果较优,可为 a 高校学生宿舍用水量估算提供参考,为城市建筑给水排水设计和管理提供科学依据。

从表 2 可以看出:

1)剔除异常值后 R^2 增大、 P 值减小,说明回归

表 2 回归方程参数
Tab. 2 Regression equation parameters

回归类型	集合类型	β_0	[用水人数]	[房间数]	[建筑面积]	R^2	P	R^2	P
			系数 β_1	系数 β_2	系数 β_3	剔除后	剔除后	剔除前	剔除前
一元线性回归	不分类	5 896.13	10.48			0.54	1.40×10^{-4}	0.34	0.003
	无独立卫浴	-818.96	12.67			0.85	2.43×10^{-6}	0.81	2.90×10^{-6}
	有独立卫浴	-29.30	32.58					0.76	0.010
多元线性回归	不分类	1 496.11	0.30	3.94	0.86	0.90	2.96×10^{-9}	0.82	3.30×10^{-7}
	无独立卫浴	-2 286.12	8.37	6.00	0.39			0.96	6.20×10^{-9}
	有独立卫浴	6 881.59	-50.49	-23.87	3.53	0.98	0.027	0.78	0.161
	集合 1	-1 374.93	29.71	25.02	-2.20	0.98	2.97×10^{-7}	0.94	5.96×10^{-6}
	集合 2	3 313.10	-4.35	4.81	0.96	0.87	0.010	0.71	0.044

结果更优且更可信,可见剔除异常值有利于优化线性回归。

2)剔除异常值的各集合中,多元线性回归的 R^2 均大于一元线性回归,说明仅以用水人数对用水量进行回归的误差较大,增加适宜的额外参数可以提高回归结果的精确性。在进行宿舍用水量设计时,应该考虑房间数和建筑面积对设计的影响,这有助于科学计量宿舍用水定额,提高宿舍用水量设计的准确性。

3)一元线性回归的不分类集合中 R^2 较分类集合低,多元线性回归的不分类集合中 R^2 较无独立卫浴和集合 1 低,较有独立卫浴和集合 2 高,可能是由于有独立卫浴和集合 2 的样本量少使得回归结果较差,说明适当的分类或聚类有利于优化线性回归结果,但当样本量较少时,应对比分类或聚类前后的效果再决定是否需要进行分类或聚类。

4)一元线性回归中,有独立卫浴宿舍的 β_1 大于无独立卫浴宿舍,当 β_0 较小时, β_1 可近似看作该类宿舍楼的人均用水量, β_0 越小, β_1 与该集合的人均用水量越接近。 β_1 仅在多元线性回归的有独立卫浴和集合 2 中为负值, β_3 数值较大,集合 2 中的多数宿舍楼有独立卫浴,表明有独立卫浴的宿舍在多元线性回归方程中随着用水人数的增加,总用水量反而减少,可能的原因是对于有独立卫浴的宿舍,建筑面积是用水人数的函数,建筑面积随用水人数的增加而增加,a 学校有独立卫浴的宿舍楼为单人间或双人间,因此人均建筑面积较大,又因数值上建筑面积较用水人数大,导致 β_1 为负值,若要使 β_1 为正值,可对数据按类型进行归一化处理后再进行回归。

4 结 论

1)对 3 所高校的人均用水量进行计算和比较,其人均用水量低于现行国家标准给出的用水定额,这是由于学生返乡、节假日和用水结构发生变化导致的;相同建筑条件(有无独立卫浴)下,宿舍内的用水人员、不同时间的用水设施条件差异和特殊事件均会影响人均用水量。

2)房间数和建筑面积与总用水量的相关性较好,以 a 高校进行线性回归分析,多元线性回归优于一元线性回归,说明在设计用水量/用水定额时应加以考虑房间数和建筑面积对设计的影响。

3)按有无独立卫浴对宿舍楼进行分类或适当的聚类,可以有效提高回归拟合效果,但在样本量较少时,应对比分类或聚类前后的效果再决定是否需要进行分类或聚类。MET

[参考文献]

[1] 潘文祥. 城市家庭生活用水特征与过程精细化模拟研究[D]. 陕西:西北农林科技大学,2017. (PAN W X. The study on the characteristics and detailed modelling of household water use in urban residential community[D]. Shaanxi:Northwest A & F University,2017. (in Chinese))

[2] 田舒菡,魏昕,徐琳瑜. 基于生命周期的高校生活用水方案研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(Sup2):328-331. (TIAN S H,WEI X,XU L Y. Research on optimization of daily water usage in universities based on LCA[J]. China population,resources and environment,2014,24(Sup2):328-331. (in Chinese))

[3] 林人财,齐艳冰,范海燕,等. 北京市居民家庭生活用水现状及影响因素分析[J]. 中国农村水利水电,2021(5):160-164, 169. (LIN R C,QI Y B,FAN H Y,et al. An analysis of the present situation and influencing factors of household water consump-

- tion in Beijing[J]. China rural water and hydropower, 2021(5): 160-164, 169. (in Chinese))
- [4] 赵志刚,刘曦. 北京高校节水现状及合同节水探索与思考[J]. 北京水务, 2019(3):12-16. (ZHAO Z G, LIU X. An analysis of the present situation and influencing factors of household water consumption in Beijing[J]. Beijing water, 2019(3):12-16. (in Chinese))
- [5] YANG D, JIANG L H. Simulation study on the natural ventilation of college student' dormitory[J]. Procedia engineering, 2017, 205:1279-1285.
- [6] 杨梅. 北京市(高校)用水变化趋势及用水需求分析[D]. 北京:清华大学, 2017. (YANG M. Analysis on water demand and consumption of universities of Beijing[D]. Beijing: Tsinghua University, 2017. (in Chinese))
- [7] 葛学伟. 高校集体宿舍用水量变化规律及设计优化的研究[D]. 天津:天津大学, 2012. (GE X W. Research on law of water consumption and design optimization in college apartments[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012. (in Chinese))
- [8] 杨琪. 城市居民家庭生活用水过程中的能耗分析[D]. 兰州:西北师范大学, 2014. (YANG Q. An analysis of energy consumption in the process of urban household water use[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2014. (in Chinese))
- [9] 王毅, 龙晨程, 吕鑑, 等. 高校学生宿舍用水量标准与节水情况调查分析[J]. 给水排水, 2010, 46(6):74-77. (WANG Y, LONG C C, LYU J, et al. Investigation and analysis of water consumption standards and water saving in university student dormitories[J]. Water & wastewater engineering, 2010, 46(6):74-77. (in Chinese))
- [10] 付婉霞, 李海俊. 北京市高校学生宿舍用水量测试分析[J]. 北京建筑工程学院学报, 2004(2):34-37. (FU W X, LI H J. The measure and analysis of water consumption of university student dormitory in Beijing[J]. Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2004(2):34-37. (in Chinese))
- [11] 谢凡. 高校典型公共建筑用水规律及节水策略研究[D]. 北京:北京交通大学, 2021. (XIE F. Research on water consumption and water saving strategies of typical public buildings in campus[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021. (in Chinese))
- [12] 高成康, 唐寒梅, 邹宇明, 等. 新型大学校园用水系统的优化分析——以东北大学为例[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(4):593-596. (GAO C K, TANG H M, ZOU Y M, et al. Analysis and optimization of college's daily water system; case of NEU[J]. Journal of Northeastern University (natural science), 2014, 35(4):593-596. (in Chinese))
- [13] BERARDI U, ALBORZ FARD N. Water consumption in dormitories: insight from an analysis in the USA[M]. Cham: Springer International Publishing, 2014:45-63.
- [14] VALENTUKEVIČIENĖ M, RYNKUN G. Water reuse possibilities at students dormitories[J]. Rocznik ochrona środowiska, 2016, 18: 920-929.
- [15] GAO C, TANG H, ZHANG M, et al. Investigation and analysis of college's water system; the case of Northeastern University[J]. Water policy, 2015, 17(6):1224-1235.
- [16] 余英. 中国城镇化70年:进程与展望[J]. 徐州工程学院学报(社会科学版), 2019, 34(6):1-10. (YU Y. 70 years of urbanization in China: process and outlook[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (social sciences edition), 2019, 34(6):1-10. (in Chinese))
- [17] 王巍. 北京市大学毕业生就业政策研究[D]. 北京:首都经济贸易大学, 2012. (WANG W. Research on employment policy for university graduates in Beijing[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2012. (in Chinese))
- [18] 李琳, 左其享. 城市用水量预测方法及应用比较研究[J]. 水资源与水工程学报, 2005(3):6-10. (LI L, ZUO Q T. Comparative research on predicting method and application for city water consumption[J]. Journal of water resources & water engineering, 2005(3):6-10. (in Chinese))
- [19] 周敬富. 基于层次聚类的混凝土裂缝检测方法及应用[D]. 北京:北京化工大学, 2021. (ZHOU J F. Concrete crack detection method and application based on hierarchical clustering[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2021. (in Chinese))
- [20] HASSAN M A S, ASSAD U, FAROOQ U, et al. Dynamic price-based demand response through linear regression for microgrids with renewable energy resources[J]. Energies, 2022, 15(4):1385.
- [21] 窦森, 李金燕, 崔岚博, 等. 相关性分析-神经网络模型在宁夏用水量预测中的应用[J]. 人民珠江, 2022(8):1-8. (DOU M, LI J Y, CUI L B, et al. Application of correlation analysis-neural network model in water consumption prediction in Ningxia[J]. Pearl river, 2022(8):1-8. (in Chinese))
- [22] DIAS T F, KALBUSCH A, HENNING E. Factors influencing water consumption in buildings in southern Brazil[J]. Journal of cleaner production, 2018, 184:160-167.
- [23] 陈浩. 西北地区公共建筑用水量研究[D]. 济南:山东建筑大学, 2017. (Chen H. Study on water consumption of public buildings in Northwest China[D]. Ji'nan: Shandong Jianzhu University, 2017. (in Chinese))
- [24] 王琳娜. 高校节水途径与措施[J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版), 2007(2):32-34. (WANG L N. Ways and measures of water saving in colleges and universities[J]. Journal of Yili Normal University (natural science edition), 2007(2):32-34. (in Chinese))
- 其他作者: 王昊, 男, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为城市供排水管网模拟与城市洪涝。
李文涛, 男, 高级工程师, 在读博士研究生, 主要从事给排水设计工作。
唐颖, 女, 讲师, 博士, 主要从事城市管网建模与研究工作。
马乐, 女, 助理工程师, 学士, 主要从事城镇供水管理相关工作。