

薛帅宁, 孔卫奇, 蒲晓虎, 等. 基于气象要素的重庆市主城区日供水量预测模型[J]. 净水技术, 2025, 44(11): 157–164, 203.

XUE S N, KONG W Q, PU X H, et al. Prediction model of daily water supply capacity based on meteorological factors in main urban area of Chongqing City[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(11): 157–164, 203.

基于气象要素的重庆市主城区日供水量预测模型

薛帅宁¹, 孔卫奇^{2,*}, 蒲晓虎¹, 钟 美¹, 唐 婕³

(1. 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 2. 成都市气象局, 四川成都 611133; 3. 重庆市璧山区气象局, 重庆 402760)

摘 要 【目的】为了探索重庆主城区气象要素对日供水量的影响, 通过智慧气象服务缓解城市供水压力, 为超大城市治理中的合理供水调度提供气象方法。【方法】以 2020 年 1 月—2023 年 4 月重庆主城区逐日供水资料 and 对应时间的气象观测资料为研究对象, 从年、季、月、节假日等方面分析日供水量的变化特征, 并对长节假日受影响的日期进行日供水量误差补偿, 利用相关系数进行 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平显著性检验, 确定敏感气象要素, 采用多元线性逐步回归的方法建立了日供水量预测模型。【结果】重庆主城区日供水量夏季最大、秋季次之、冬季最低, 每年日供水量呈现单峰单谷的变化特征, 8 月达到最大, 2 月降至最低, 并且存在着明显的节假日效应, 特别是春节和国庆长假时, 节假日效应尤为明显; 夏半年日供水量与气象要素的相关性系数均高于冬半年, 且与气温相关的气象要素相关性更强。结合上述分析结果, 分别建立夏半年和冬半年日供水量预测模型, 得出夏半年和冬半年日供水量预测模型的平均绝对百分比误差分别为 2.69% 和 1.72%。【结论】建立的预测模型拟合度较高, 可以作为日供水量预测方程使用, 为城市供水合理调度提供技术支撑。

关键词 日供水量 气象要素 相关性分析 逐步回归 预测模型

中图分类号: TU991 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)11-0157-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.11.018

Prediction Model of Daily Water Supply Capacity Based on Meteorological Factors in Main Urban Area of Chongqing City

XUE Shuaining¹, KONG Weiqi^{2,*}, PU Xiaohu¹, ZHONG Mei¹, TANG Jie³

(1. Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China;

2. Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu 611133, China;

3. Chongqing Bishan District Meteorological Bureau, Chongqing 402760, China)

Abstract [Objective] In order to explore the impact of meteorological factors on daily water supply in the main urban area of Chongqing, alleviate urban water supply pressure through smart meteorological services, and provide meteorological method for reasonable water supply controlling in megacity management. [Methods] Taking the daily water supply data in the main urban area of Chongqing and the meteorological observation data at the corresponding time from January 2020 to April 2023 as the research object, the changing characteristics of daily water supply were analyzed from the aspects of year, season, month, and holidays, and the daily water supply error compensation was carried out on the days affected by long holidays. The correlation coefficient was used to conduct significance tests at $P=0.01$ and $P=0.05$ levels to identify sensitive meteorological elements, and a daily water supply prediction model was established using the method of multiple linear stepwise regression. [Results] The daily water supply in the main urban area of Chongqing is largest in summer, followed by autumn and lowest in winter. The annual daily water supply showed a single-peak and single-valley change characteristic, reaching the maximum in August and reaching the lowest in February. There was an obvious holiday effect, especially during the Spring Festival and National Day holidays. The correlation coefficient between daily water supply

[收稿日期] 2023-11-30

[基金项目] 重庆市气象部门青年基金项目(QNJJ-202302)

[作者简介] 薛帅宁(1990—), 男, 工程师, 主要从事气象信息化技术应用研究等工作, E-mail: 1143416068@qq.com。

[通信作者] 孔卫奇(1989—), 男, 工程师, 主要从事气象观测技术研究等工作, E-mail: 272774038@qq.com。

and meteorological elements were higher in the summer half of the year than in the winter half, and the correlation between meteorological elements related to temperature is stronger. Combining the above analysis result, we established daily water supply prediction models for the summer half of the year and winter half of the year, and found that the average absolute percentage errors of the daily water supply prediction models for the summer and winter half of the year were 2.69% and 1.72% respectively.

[**Conclusion**] The established prediction model has a high degree of fit and can be used as a daily water supply prediction equation to provide technical support for the rational dispatch of urban water supply.

Keywords daily water supply capacity meteorological factor correlation analysis stepwise regression prediction model

随着国民经济建设的快速发展,城市人口也随之快速增长,作为城市发展的重要基础设施,城市供水压力不断增大,城市生活、生产用水需求快速增长。并且,在当前全球变暖的大背景下,气象条件对城市供水的影响日益增大,对城市供水安全以及智慧水务建设等都有着十分重要的作用^[1-2]。目前,国内外有不少专家学者对城市供水与气象要素的关系及相关应用进行了研究:如符丽云等^[3]对广州市城市供水与气候因子的关系进行了研究;胡婉婷^[4]对银川市日供水量与气温的相关性进行了研究;许晨等^[5]对成都主城区日供水量的气象相关性进行了分析,并建立了简易的预测模型;鞠佳伟等^[6]建立了以温度、天气和假日为变量的多元线性回归预测模型,对苏州市吴江区日供水量进行预测;Zhou等^[7]根据气象要素对墨尔本市供水的影响建立了该市用水预测模型;Zhao等^[8]采用统计分析方法和成因分析方法探究了气候变化下新安江流域水文气象要素的演变机制及其交互影响;Rubio-Martin等^[9]通过气候变化对地中海地区水资源的影响,与西班牙瓦伦西亚水务公司共同研究形成了一个多尺度供水框架,用于评估水务公司对气候变化的脆弱性,对用水调度起到指导作用;Alamanos等^[10]设计了一个预测模型来模拟希腊沃洛斯市城市供水网络结构、供水系统和用水需求,并利用降雨量、温度、水价、用户收入等变量,对预测模型进行检验,结果表明,综合考虑多种因素测试出的预测模型对水资源合理管理和当地水务事业大有帮助。

重庆地处亚热带,夏季高温酷热,城市热岛效应不断加强,供水矛盾日益突出^[11-12]。特别是盛夏高温时期,城市供水量猛增,供水管网压力倍增,出现供不应求的现象,而在冬季则需水量明显减小,出现供大于求的现象,对相关部门供水调度有着重大影响^[13]。近年来,物联网、大数据及云计算等技术飞

速发展,重庆市气象局更是提出了“智慧气象”的服务方针,充分利用当前前沿科学技术让气象服务插上“智慧的翅膀”,为人民幸福生活提供坚强有力的保障^[14]。在此基础上,本研究对重庆主城区近3年来的日供水量与相关的气象要素进行相关性分析,找出对供水影响较大的气象要素,并根据不同季节气象要素对供水量的影响特征,建立日供水量气象预测模型,对下一步完善供水预测模型、开发供水专业气象服务产品提供研究基础,为城市供水调控提供有力的支撑。

1 资料与方法

重庆市位于长江上游(105°11′~110°11′E, 28°10′~32°13′N),四川盆地东部,是第二、三级阶梯的自然过渡地带,幅员面积为82 403 km²,主城区面积为5 472 km²,以“山城”地貌为主,是我国最大的工业城市之一^[15]。重庆市主城区常住人口为1 047.76万人,城镇化率达到92.42%,位于东部发达地区和西部资源富集区的过渡地带,具有承东启西的纽带作用。虽然重庆市年平均降水较为丰沛,但是降水时空分布不均,形成了东多西少、南多北少的空间分布,主城区位于重庆市西部地区,并且随着人口的逐年增多,对主城区供水调节能力的调控分析变得越来越重要。

本文收集了重庆主城区3年多的逐日供水数据,数据源自重庆市城市管理局,具体数据年限为2020年1月1日—2023年4月2日,数据资料总共1 188 d。气象资料来源于重庆市气象局,分别包括对应日期的:平均气温、最高气温、最低气温、平均地面温度、最高地面温度、平均气压、最高气压、水汽压、相对湿度、降水量、日照时数、最小能见度、最大风速、极大风速等气象资料。首先,对上述日供水数据按照年、季、月及节假日特点等进行特征分析;其次,对日供水量与各气象要素进行相关性分析;最后,在此分析的基础

上,找出影响日供水量较大的气象要素,以 2020 年 1 月 1 日—2022 年 4 月 20 日的数据作为样本建立日供水量预测模型,再利用 2022 年 4 月 21 日—2023 年 4 月 2 日的数据来验证所建立的预测模型的精度。

2 重庆主城区日供水量特征分析

2.1 日供水量的年特征分析

由图 1 中逐日供水量变化特征曲线可知,重庆主城区日供水量具有以下规律和特点:日供水量年变化趋势基本同步,但是随着生产生活用水需求的增加,供水总量在逐年增加,日供水量平均环比增长 350 t。每年的日供水量变化呈现出单峰单谷的变化特征,一般在夏季天气炎热时期达到最高,日供水量最高值超过了 400 万 t(集中表现在 2022 年的 8 月 14 日—8 月 28 日),最高值达到 410.5 万 t(2022 年 8 月 22 日),秋季日供水量次之,冬季天气寒冷时日供水量降至最低,最低值为 176.89 万 t(2020 年 1 月 26 日)。一年中日供水量总体分为 4 个阶段:上升期、高峰期、回落期、低谷期,与一年中的四季时间分布较为吻合;春节期间日供水量有明显跳变,有明显的节假日效应。

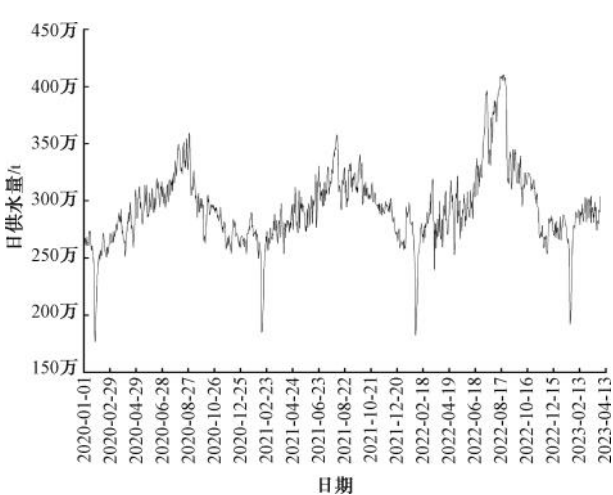


图 1 逐日供水量变化特征曲线
Fig. 1 Characteristic Curve of Daily Water Supply Capacity Variation

2.2 日供水量的季特征分析

气象业务中的季节划分广泛采用的是“候温法”,将连续 5 d 称为一候,这 5 d 的平均温度即为候温。各季节起止时间与各供水阶段的划分对应如表 1 所示,并计算出春夏秋冬各季节平均日供水量,绘出其变化特征曲线如图 2 所示。由图 2 可知,日供水量基本呈现出夏季最多、秋季次之、冬季最少的特点。

表 1 重庆主城区四季划分及各供水阶段的对应关系

Tab. 1 Four Seasons Division and Corresponding Relationships of Water Supply Stages in Main Urban Area of Chongqing

季节划分	起始时间划分标准	结束时间划分标准	供水阶段划分
春季	1 月下旬开始候温值 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	4 月中旬开始候温值 $> 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	上升期
夏季	4 月下旬开始候温值 $\geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	9 月下旬开始候温值 $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	高峰期
秋季	9 月下旬开始候温值 $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	12 月中旬开始候温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	回落期
冬季	12 月中旬开始候温值 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 月下旬开始候温值 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	低谷期

2.3 日供水量的月特征分析

日供水量的月变化特征如图 3 所示,8 月日供水量最大,均值达到 350.49 万 t,2 月日供水量最小,均值为 262.25 万 t。2 月—8 月,随着温度的不断升高,日供水量稳步增加,并且从 6 月开始增速明显加快,到 8 月到达峰值,然后到次年 2 月又逐渐下降,其中 8 月—11 月下降速度明显,11 月—次年 2 月降幅渐趋平缓,到 2 月降至最低,与前文不同供水阶段的描述趋势一致。

2.4 日供水量的节假日效应

由图 1 逐日供水量变化特征曲线可知,日供水量变化点集中有较多的突变节点,对相关突变节点

进行分析发现主要有两方面因素影响:一是由于客观因素,如 2022 年 8 月因为“超高温”引起的山火造成用水量激增等的影响;二是突变节点主要集中在相关的节假日附近,特别是春节、国庆节假期期间供水量跳变最大,分析是长假日期间,生产单位放假,人员外出旅游、返乡等导致日供水量明显减少,由此可知,重庆主城区日供水量存在着明显的节假日效应。

为保证后续日供水量预测模型的准确性,有必要对节假日期间的供水量进行订正。以春节和国庆节为例,排除不可控因素影响,提取节假日前后的日供水量数据,并对相应的日期进行编码处理,绘制出

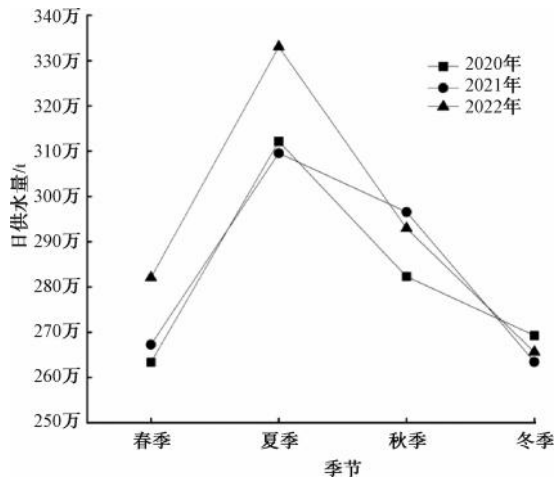


图2 日供水量的季节变化特征曲线

Fig. 2 Seasonal Variation Characteristic Curve of Daily Water Supply Capacity

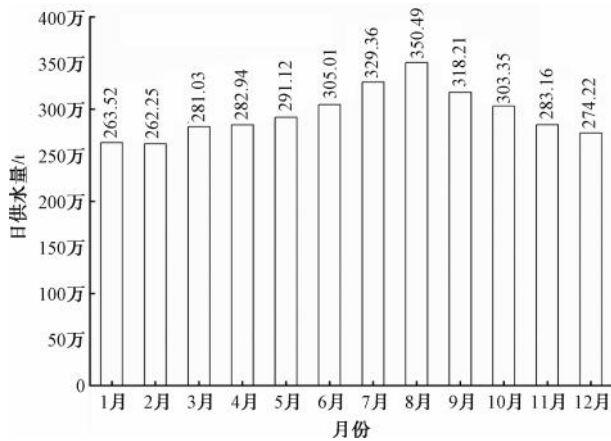
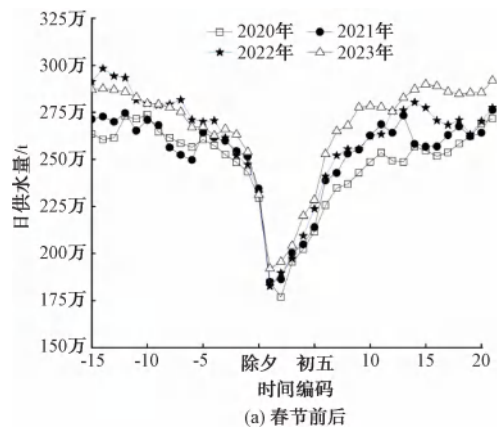


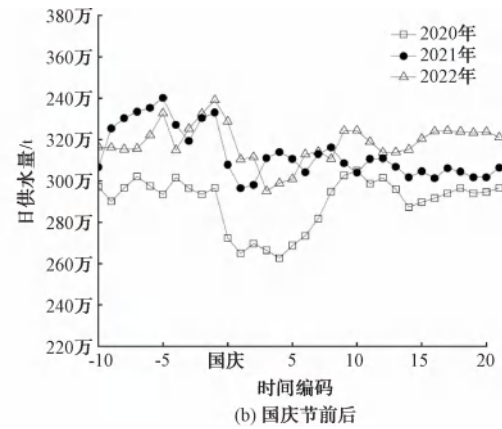
图3 各月平均日供水量

Fig. 3 Average Daily Water Supply Capacity per Month

春节和国庆节前后日供水量变化曲线,如图4所示。



(a) 春节前后



(b) 国庆节前后

图4 春节和国庆节前后日供水量变化曲线

Fig. 4 Daily Water Supply Capacity Variation Curve before and after the Spring Festival and the National Day

对图4(a)进行分析,春节前后各一周时间日供水量都受到较大影响,特别是春节假期期间日供水量跳变更加明显,将此受影响时间段称为B时段,共21 d。考虑到春节前后重庆主城区气候条件变化不大,因此,选取B时段前后各15 d的日供水量数据(称为C时段,共30 d数据),对其进行补偿。(其中 $i=2020,2021,2022,2023, j=1,2,3,\dots,21$),则可得式(1)。

$$W_{ij} = \begin{cases} \Delta x_1 \times \frac{\sum (|C_i - B_{ij}|)}{21} + B_{ij} & (j=1,2,3,4,5) \\ \Delta x_2 \times \frac{\sum (|C_i - B_{ij}|)}{21} + B_{ij} & (j=6,7,\dots,21) \end{cases} \quad (1)$$

其中: W_{ij} ——补偿后的B时段各天供水量,万 t ;

C_i ——2020年—2023年C时段日供水量的平均值,万 t ;

B_{ij} ——B时段内日供水量,万 t ;

$\Delta x_1, \Delta x_2$ ——系数变量,根据春节期间和春节前、后日供水量变化特征,分别取值为2、0.5。

再对图4(b)进行分析,发现与春节不同的是,只有国庆节期间日供水量受影响较大,国庆节前后基本不受影响,并且考虑到国庆节正值夏秋之交(根据“候温法”计算得出:重庆主城区2021年10月6日入秋,2022年10月4日入秋),温度变

化较大。因此,选取国庆节前后各一周的日供水
量数据(称为 E 时段,共 14 d 数据)对其进行补
偿。分别计算 2020 年、2021 年、2022 年 E 时段日
供水量的平均值,记作 E_a ,将国庆假期时间段称为
F 时段,共 7 d(可根据具体年份国庆假期天数对该
时段天数进行调整),并将 F 时段内日供水量的
记作 F_{ab} (其中 $a=2020, 2021, 2022, b=1, 2, 3, 4, 5,$
 $6, 7$),将补偿后的 F 时段各天供水量的记作 W_{ab} ,可
得式(2)。

$$W_{ab} = \frac{\sum (|E_a - F_{ab}|)}{7} + F_{ab} \quad (2)$$

其中: W_{ab} ——补偿后的 B 时段各天供水量的
万 t;

E_a ——2020 年—2023 年 E 时段日供水
量的平均值,万 t;

F_{ab} ——F 时段内日供水量的万 t。

补偿后春节期间和国庆节期间日供水量的变
化曲线如图 5 所示。

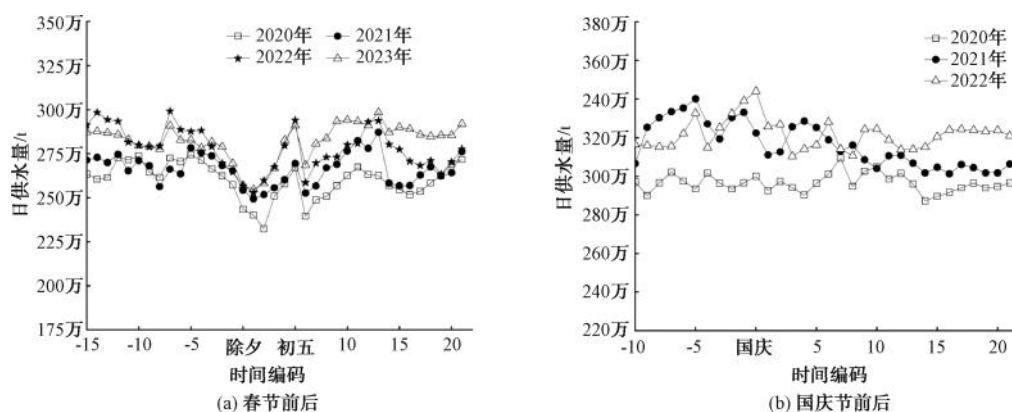


图 5 补偿后春节和国庆节前后日供水量的变化曲线

Fig. 5 Variation Curve of Daily Water Supply Capacity before and after the Spring Festival and the National Day after Compensation

3 日供水量与气象要素的相关性分析及预测模型的建立

3.1 日供水量与气象要素的相关性分析

在统计学中,皮尔逊相关系数被广泛应用于度量两个变量之间的相关性。现将日供水量的数据分别
与对应时间的气象要素及前 1、3 d 平均日供水量的进
行皮尔逊相关系数分析,分析结果如表 2 所示。日
供水量的除了与前 1、3 d 平均日供水量的相关性最大以
外,与气象要素的相关性分析中主要与气温类要素
相关性较强。此外,通过前文对重庆主城区日供水
量的特征分析,发现夏季及初秋期间日供水量的均处
于高位,而秋、冬、春三季日供水量的处于低谷,为了得
到更好的相关性,于是将一年四季按照此供水特点
划分为夏半年和冬半年,夏半年起止时间分别为入
夏当天开始和入秋半个月结束,而冬半年则从夏半
年结束的次日开始到次年的春季结束。

同样地,由表 2 相关性分析结果可知,夏半年与
冬半年日供水量的与各气象要素的相关系数差异较
大,夏半年各气象要素与日供水量的相关性系数均
通过了 $\alpha=0.01$ 级别(双尾)的显著性检验,且明显

高于冬半年。夏半年日供水量的与平均气温、最高气
温、最低气温、平均地面温度、最小能见度等气象要
素均呈现出较强的正相关,相关系数均超过了 0.7,
与平均气压、最高气压、相对湿度、降水量则呈现负
相关。冬半年各气象要素与日供水量的相关性系数均
小于 0.5,除气温要素外,其他多数气象要素与日供
水量相关性系数均小于 0.3,呈现出弱相关或者无相
关的特点。夏冬半年相关性系数也进一步体现出夏
季随着气温的升高,日供水量的逐渐增大,对气温的
响应极为敏感;而冬半年日供水量的对气温升高的敏
感性响应较弱,这也恰好印证了前文对日供水量的季
节特征分析。此外,当日供水量的与前 1 d 供水量的
相关性非常高,高于前 3 d 供水量的平均值。

3.2 预测模型的建立

结合以上相关性分析结果,将数据源分成两部
分:以 2020-04-28—2020-10-05 和 2021-04-27—
2021-10-20 的数据作为夏半年样本数据,以 2020-
01-01—2020-04-27、2020-10-06—2021-04-26
和 2021-10-21—2022-04-20 的数据作为冬半年样
本数据,分别建立夏半年和冬半年日供水量的预测模

表2 重庆主城区日供水量与各变量要素之间的相关系数
Tab. 2 Correlation Coefficient among Daily Water Supply Capacity and Various Variable Factors in Main Urban Area of Chongqing

变量要素	全年	夏半年	冬半年
平均气温	0.722 **	0.789 **	0.467 **
最高气温	0.708 **	0.735 **	0.461 **
最低气温	0.682 **	0.783 **	0.417 **
平均地面温度	0.726 **	0.794 **	0.466 **
最高地面温度	0.674 **	0.708 **	0.434 **
平均气压	-0.495 **	-0.407 **	-0.183 *
最高气压	-0.502 **	-0.398 **	-0.169 *
水汽压	0.424 **	0.283 **	0.367 **
相对湿度	-0.562 **	-0.726 **	-0.236 **
降水量	-0.070	-0.187 **	-0.072
蒸发量	0.590 **	0.690 **	0.272 **
日照时数	0.542 **	0.544 **	0.391 **
最小能见度	0.646 **	0.735 **	0.147 **
最大风速	0.324 **	0.322 **	-0.031
极大风速	0.370 **	0.374 **	-0.003
前3 d 供水量均值	0.917 **	0.914 **	0.847 **
前1 d 供水量	0.956 **	0.945 **	0.897 **

注: ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 级别(双尾)显著性检验, * 表示通过 $\alpha=0.05$ 级别(双尾)显著性检验。

型,再用 2022-04-21—2023-04-02 的日供水量数据来验证所建立模型的精度。

多元线性回归是常用的分析一个因变量与多个自变量相关性的回归分析模型,多元线性逐步回归是以多元线性回归为基础,逐个引入新变量,然后在引入新变量后对回归模型进行检验分析,并逐一删除影响不显著的变量,从而建立最优的回归方程的回归分析方法。利用 SPSS 软件,分别对夏半年和冬半年日供水量样本数据与对应时间各气象要素及前一日供水量进行多元线性逐步回归分析,其中夏半年分析结果如表 3 所示。

由表 3 逐步回归结果可知,所选 6 种预测变量组合拟合出的各个模型所对应的决定系数 R^2 值(调整后 R^2)都大于 0.75,说明拟合优度非常高;各模型的德宾-沃森值均接近于 2,说明残差间相互独立,满足独立性要求;除“前 1 d 供水量+全部气象要素”回归模型的系数共线性(variance inflation factor,

表3 夏半年逐步回归分析结果
Tab. 3 Results of Stepwise Regression Analysis in the Half Year of Summer

模型要素	调整后 R^2	德宾-沃森	VIF
前 1 d 供水量	0.776	1.839	< 5
前 1 d 供水量,最高气温	0.842	1.603	< 5
前 1 d 供水量,最高气温,最大风速	0.852	1.651	< 5
前 1 d 供水量,最高气温,最大风速,日照时数	0.859	1.692	< 5
前 1 d 供水量,最高气温,最大风速,日照时数,最小能见度	0.862	1.732	< 10
前 1 d 供水量,全部气象要素	0.869	1.740	> 100

VIF)值大于 100 不满足共线性要求以外,其他模型的 VIF 值均小于 10,满足变量系数共线性要求。综合考虑所选气象要素的数目与模型决定系数 R^2 值,采用第 4 种预测模型,分别选取最高气温、最大风速、日照时数 3 个气象要素值,结合前 1 d 供水量数据,得出夏半年日供水量预测方程如式(3)。

$$Q_d = 0.728Q_a + 0.786T_{\max} - 1.509W_{\max} + 0.501S + 62.4 \quad (3)$$

其中: Q_d ——预测日供水量,万 t;
 Q_a ——前 1 d 供水量,万 t;
 T_{\max} ——预测日最高气温,℃;
 W_{\max} ——预测日最大风速,m/s;
 S ——预测日日照时数,h。

利用 2022 年夏半年 2022-04-21—2022-10-18 的日供水量数据对上述预测方程进行验证,绘制出相应时间内实际供水量与方程预测值曲线,如图 6 所示。

由图 6 可知,2022 夏半年预测供水量与实际供水量曲线基本吻合,整体回归拟合度较高,并且计算得出预测值与实际值的平均绝对百分比误差为 2.69%,可作为夏半年日供水量预测方程使用。但是从图 6 也可以看出:7 月、8 月有小段时间的预测值与实际值误差较大,猜测为 2022 年夏季极端高温天气造成。从重庆市气象台得到的历史数据:2022 年 7 月、8 月重庆出现极端高温天气过程,高温影响范围广,持续时间长,极端性强,40℃以上高温天数

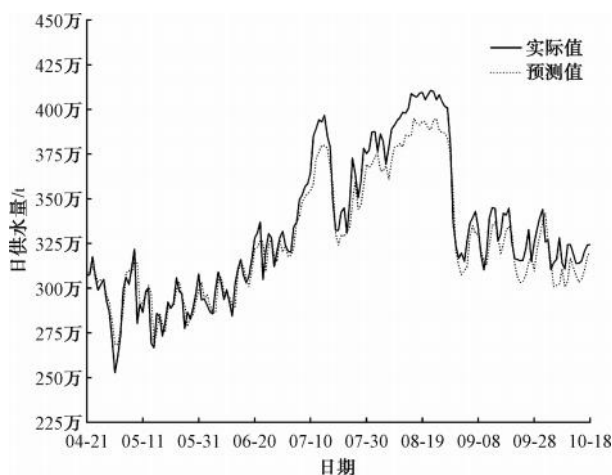


图 6 2022 夏半年(2022 年 4 月 21 日—2022 年 10 月 18 日)实际供水量与预测值曲线

Fig. 6 Actual Water Supply Capacity and Predicted Value Curve for the Half Year of Summer in 2022(from April 21, 2022 to October 18, 2022)

长达 15.8 d,较常年显著偏多 14 d。极端的高温天气导致人们生产生活用水量激增,并且极端高温天气导致山火频发,如位于主城区的北碚区虎头村凹儿坪山火持续一周时间,救火耗水量巨大,从而对夏半年预测模型的预测结果产生了一定的影响。

同样地,可得出冬半年逐步回归分析结果如表 4 所示。

表 4 冬半年逐步回归分析结果

Tab. 4 Results of Stepwise Regression Analysis in the Half Year of Winter

气象要素	调整后 R^2	德宾-沃森	VIF
前 1 d 供水量	0.796	2.002	<5
前 1 d 供水量,日照时数	0.813	1.906	<5
前 1 d 供水量,日照时数,最高气压	0.815	1.931	<5
前 1 d 供水量,日照时数,最高气压,最高气温	0.816	1.934	<5
前 1 d 供水量,全部气象要素	0.826	1.922	>100

由表 4 可知,调整后的模型决定系数 R^2 值同样都大于 0.75,拟合优度非常高;德宾沃森值整体都在 2 附近,说明残差间相互独立,满足独立性要求;除了“前 1 d 供水量+全部气象要素”模型的 VIF 值大于 100,不满足系数共线性要求,其他模型 VIF 值均小于 5,满足系数共线性要求。综合考虑所选气象要素的数目与模型决定系数 R^2 值,采用第 4 种预测模型,分别选取日照时数、最高气压、最高气温 3

个气象要素值,结合前 1 d 供水量数据,得出冬半年日供水量预测方程如式(4)。

$$Q_d = 0.867Q_a + 0.605S + 0.201P_{\max} + 0.187T_{\max} - 167.201 \quad (4)$$

其中: P_{\max} ——预测日最高气压,hPa。

利用 2022 冬半年 2022-10-19—2023-04-02 的日供水量数据对上述预测方程进行验证,绘制出相应时间内实际供水量与方程预测值曲线,如图 7 所示。

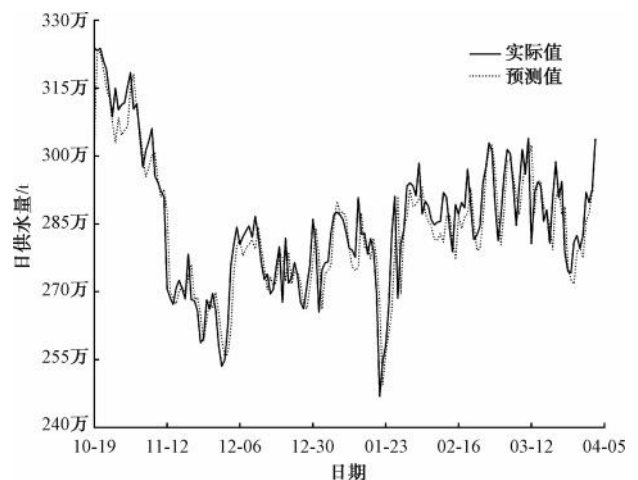


图 7 2022 冬半年(2022 年 10 月 19 日—2023 年 4 月 2 日)实际供水量与预测值曲线

Fig. 7 Actual Water Supply Capacity and Predicted Value Curve for the Half Year of Winter in 2022(from October 19, 2022 to April 2, 2023)

由图 7 可知,2022 冬半年预测供水量与实际供水量曲线吻合度较高,整体回归拟合效果较好,进一步计算得出预测值与实际值的平均绝对百分比误差为 1.72%,可用作冬半年日供水量预测方程使用。并且经过前文春节前后日供水量的处理,日供水量受春节影响减小,春节期间日供水量数据拟合效果较好。

4 结论与讨论

通过对近 3 年重庆主城区日供水量的特征进行分析,并且与对应时间的气象要素进行了相关性分析,主要得出以下结论。

(1)重庆主城区日供水量年变化趋势基本同步,但随着生产生活用水需求的增加,供水总量在逐年增加;从季节角度分析,夏季最大,秋季次之,冬季最低,并根据“候温法”,将春夏秋冬四季供水量划分为 4 个阶段:春季(上升期)、夏季(高峰期)、秋季

(回落期)、冬季(低谷期);在不同月份,每年的日供水量变化呈现单峰单谷的变化特征,8月达到最大,2月降至最低;日供水量存在着明显的节假日效应,特别是春节和国庆长假时,节假日效应尤为明显。

(2)根据不同季节日供水量特征,将一年的供水季节再次划分为夏半年和冬半年。通过日供水量与气象要素的相关性分析,发现夏半年与冬半年日供水量与各气象要素的相关性差异较大:夏半年日供水量与所选取的各气象要素相关性系数均通过了 $\alpha=0.01$ 级别(双尾)的显著性检验,均高于冬半年。除与平均气压、最高气压、相对湿度、降水量呈现负相关外,与其他气象要素均呈现正相关关系,并且与平均气温、最高气温、最低气温、平均地面温度等气象要素均呈现出较强的正相关,相关系数接近0.8;冬半年各气象要素与日供水量的相关系数均小于0.5,与日照时数、气温等气象要素相关性较强,与其他气象要素相关性较弱。

(3)根据夏半年和冬半年日供水量与气象要素相关性分析,分别建立了夏半年和冬半年日供水量预测模型。夏半年日供水量预测值与实际值的平均绝对百分比误差为2.69%,冬半年日供水量预测值与实际值的平均绝对百分比误差为1.72%,整体拟合度较高,可作为日供水量预测方程使用。

作为直辖市,分析重庆城市日供水量与气象要素的相关性,找出气象要素对日供水量的影响,并得出相关的预测模型,对城市合理调度、分配供水具有指导意义,也是气象高质量发展,精准定位服务的重要体现。但是,受限于所取得数据源不够充足,在下一步的研究中还应应对更大样本的数据源进行分析,对所得预测模型进行修订,并且在数据源充足的情况下,还可以进一步开展多天供水量预测。

参考文献

- [1] 谢丽芳,邵煜,马琦,等.国内外智慧水务信息化建设与发展[J].给水排水,2018,44(11):135-139.
XIE L F, SHAO Y, MA Q, et al. Development and analysis of smart water system in China and abroad[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(11): 135-139.
- [2] 刘建军.城市内河生态感知的智慧水务平台及应用[J].给水排水,2021,47(s2):501-504.
LIU J J. Intelligent water service platform based on urban inland river ecological perception and its application [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(s2): 501-504.
- [3] 符丽云,宋梦,顾继光,等.广州市城市供水及用水量与气候因子的关系[J].生态科学,2006(2):147-150.
FU L Y, SONG M, GU J G, et al. The water supply and consumption responding to meteorologic change in Guangzhou City [J]. Ecological Science, 2006(2): 147-150.
- [4] 胡婉婷.银川市日供水量与气温的相关性分析及预测模型的建立[J].宁夏工程技术,2021,20(3):231-235.
HU W T. Correlation analysis of daily water supply and temperature in Yinchuan and establishment of prediction model [J]. Ningxia Engineering Technology, 2021, 20(3): 231-235.
- [5] 许晨,蔡欣明,孔卫奇.成都市主城区日供水量的气象相关性分析[J].成都信息工程大学学报,2022,37(5):608-614.
XU C, CAI X M, KONG W Q. Correlation analysis on daily water supply and meteorological factors in Chengdu City [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2022, 37(5): 608-614.
- [6] 鞠佳伟,宋良喜,马晓明.苏州市吴江区日供水量预测模型的建立与应用[J].中国给水排水,2017,33(23):141-144.
JU J W, SONG L X, MA X M. Development and application of a daily water demand forecast model in Wujiang District [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(23): 141-144.
- [7] ZHOU S L, MCMAHON T A, WALTON A, et al. Forecasting operational demand for an urban water supply zone[J]. Journal of Hydrology, 2002, 259 (1/2/3/4): 189 - 202. DOI: 10.1016/S0022-1694(01)00582-0.
- [8] ZHAO J, XU J C, CHENG L, et al. The evolvement mechanism of hydro-meteorological elements under climate change and the interaction impacts in Xin'anjiang Basin, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2019, 33: 1159-1173. DOI: 10.1007/s00477-019-01693-z.
- [9] RUBIO-MARTIN A, LLARIO F, GARCIA-PRATS A, et al. Climate services for water utilities: Lessons learnt from the case of the urban water supply to Valencia, Spain[J]. Climate Services, 2023, 29: 100338. DOI: 10.1016/j.cliser.2022.100338.
- [10] ALAMANOS A, SFYRIS S, FAFOUTIS C, et al. Urban water demand assessment for sustainable water resources management, under climate change and socioeconomic changes[J]. Water Supply, 2023, 20(2): 679-687.
- [11] 崔莹,谢世友,柳芬,等.重庆市水资源可持续利用能力的模糊评价[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(4):115-123.
CUI Y, XIE S Y, LIU F, et al. Fuzzy evaluation of sustainable utilization of water resources in Chongqing [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2017, 39(4): 115-123.

(下转第203页)

- RAN Q S, KANG J W, FENG C M, et al. Application of fluorescence detection technology in water quality detection [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(7): 1780-1785.
- [16] 陈晓, 汪毅, 丁志斌, 等. 可同化有机碳 AOC 检测方法研究进展[J]. 齐鲁工业大学学报, 2018, 32(3): 30-34.
- CHEN X, WANG Y, DING Z, et al. Study of assimilable organic carbon determination methods [J]. Journal of Qilu University of Technology, 2018, 32(3): 30-34.
- [17] 张新瑜. 城市供水管网生物稳定性及其影响因素的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- ZHANG X Y. Study on bio-stability and its influencing factors in water distribution system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.
- [18] 潘仁杰. 水源切换下管网水质微生物稳定性及控制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- PAN R J. Study on biostability and control measures of drinking water in water distribution system under water source switch[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [19] 韦智三. 工业循环冷却水中异养菌检测方法的影响因素分析[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(16): 66-70.
- WEI Z S. Analysis of influencing factors on the detection method of heterotrophic bacteria in industrial circulating cooling water [J]. Technology Innovation and Application, 2023, 13(16): 66-70.
- [20] 李冬涵, 庄媛, 滑熠龙, 等. 老旧无内衬铸铁管中氯对水质的影响[J]. 环境工程学报, 2023, 17(2): 675-681.
- LI D H, ZHUANG Y, HUA Y L, et al. Effect of free chlorine on drinking water quality in old unlined cast iron pipes[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(2): 675-681.
- [21] 刘东坡, 张金松, 靳军涛. 城市供水管网通水初期水质变化规律研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(17): 43-49.
- LIU D P, ZHANG J S, JIN J T. Water quality variation in initial stage of urban water supply network [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(17): 43-49.
- [22] 骆彬彬. 城市供水管网在线水质监测点优化管理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- LUO S S. Research on optimized management of online water quality monitoring points in urban water supply network [D]. Hangzhou: Zhejiang University. 2021.
- [23] 高金良, 张天天, 张怀宇. 城乡一体化供水管网建设与水质保障技术问题[J]. 给水排水, 2020, 46(6): 48-51.
- GAO J L, ZHANG T T, ZHANG H Y. Technical problems of water quality guarantee and construction of urban and rural integrated water supply network [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(6): 48-51.

(上接第 164 页)

- [12] 梁宁慧, 兰菲, 张绍伟, 等. 特大山地城市供水安全保障必要性探讨[J]. 水利水电技术, 2020, 51(s2): 230-235.
- LIANG N H, LAN F, ZHANG S W, et al. Discussion on the necessity of water supply safety guarantee in the mountainous megacity[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(s2): 230-235.
- [13] 张华丽, 董婕, 延军平, 等. 西安市城市生活用水对气候变化响应分析[J]. 资源科学, 2009, 31(6): 1040-1045.
- ZHANG H L, DONG J, YAN J P, et al. Urban domestic water consumption's response to climate change in Xi'an City [J]. Resources Science, 2009, 31(6): 1040-1045.
- [14] 顾建峰. 重庆智慧气象探索与实践[J]. 气象科技进展, 2021, 11(2): 32-38, 104.
- GU J F. Exploration and practice of Chongqing smart meteorology [J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2021, 11(2): 32-38, 104.
- [15] 王克晓, 周蕊. 近 25 年重庆主城区不透水面变化与驱动力分析[J]. 山地学报, 2023, 41(4): 521-531.
- WANG K X, ZHOU R. Urban impervious surface changes in main urban areas of Chongqing, China and associated driving forces for the period of 1995—2020 [J]. Mountain Research, 2023, 41(4): 521-531.