

技术总结

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.05.006

## 基于流量监测数据的DMA用水特征分析

宋浩洁<sup>1</sup>, 孔祥达<sup>2</sup>, 侯本伟<sup>1</sup>, 吴珊<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124; 2. 北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031)

**摘要:** 城市供水管网中的独立计量区(DMA)以居民用水为主,其流量监测数据反映了居民用水变化规律。为充分挖掘DMA用水特征,以北方某城市的DMA为研究对象,基于水表传输的实时流量数据,识别并清洗异常流量数据后,分别从假期效应、高峰用水时刻分布、人口数据与用水量的相关性三个角度分析DMA用水时变化和日变化规律;并结合DMA物理属性信息拟合月用水量与用水户数、管线长度、占地面积的关系。结果表明,不同类型DMA在假日期间小时用水量呈现相似的早晚高峰用水量波动,日用水量变化规律显现相似的“U”型波动,月用水量与三类物理属性影响因子呈指数函数关系。研究得到的多个时间维度的DMA用水特征,可为管网供水调控、DMA水量数据监测与管理提供依据,且时变人口热值可为DMA短期用水量预测提供参考。

**关键词:** 独立计量区(DMA); 用水特征; 时变规律; 人口活动; 物理属性

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)05-0044-08

## Analysis of DMA Water Consumption Characteristics Utilizing Flow Monitoring Data

SONG Hao-jie<sup>1</sup>, KONG Xiang-da<sup>2</sup>, HOU Ben-wei<sup>1</sup>, WU Shan<sup>1</sup>

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100031, China)

**Abstract:** The district metered area (DMA) within the urban water supply network primarily serves residential users, and the flow monitoring data reflects the changes in residential water consumption. Based on the real-time flow data transmitted by the water meters within a DMA in a northern city, abnormal flow data were identified and cleansed. Subsequently, the hourly and daily variation patterns of DMA water consumption were analyzed from three perspectives: the holiday effect, the distribution of peak water consumption periods, and the correlation between population data and water consumption, so as to comprehensively investigate the characteristics of DMA water consumption. The relationships between monthly water consumption and the number of households, pipeline length and floor area in combination with the physical attributes of DMAs were analyzed through fitting. The hourly water consumption of various DMA types exhibited comparable morning and evening peak fluctuations during holidays, while daily water consumption demonstrated a U-shaped fluctuation. Monthly water consumption was found to have an exponential relationship with the three physical attribute factors. The DMA water consumption

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51978023)

通信作者: 吴珊 E-mail: wushan@bjut.edu.cn

characteristics analyzed across multiple time dimensions in this study can serve as a foundation for regulating water supply within the pipe network, monitoring and managing DMA water consumption data, and the time-varying population heat value can provide a reference for short-term water consumption forecasting in DMA.

**Key words:** district metered area (DMA); water consumption characteristics; hourly variation pattern; population activity; physical attribute

供水系统是城市公共基础设施建设的重要组成部分<sup>[1]</sup>,随着城市化建设和智慧水务的发展,供水管网的独立计量区(DMA)管理逐渐得到重视。运用DMA技术对城市整体供水管网进行分区管理,基本原理为利用流量计、压力传感器等智能仪器在线监测管网系统的实时状态,通过一系列的数据处理清晰地呈现出真实的管网状况<sup>[2]</sup>。通过对流入或流出这一区域的水量进行计量,已经实现了连续传送数据的功能<sup>[3]</sup>,而如何处理分析数据,最大程度地挖掘数据中所包含的信息,从而分析DMA的用水规律仍是关注的重点。

基于用水量实时监测数据,许多学者研究了居民用水量的日变化和时变化规律,例如,邹为等<sup>[4]</sup>通过对某市春节前后及非常时期远传水表和DMA的实时流量数据分析,对城市供水、居民用水习惯等方面的影响进行了定量和定性分析;张志磊等<sup>[5]</sup>利用时间序列法和聚类分析法模拟用户用水的周期性变化规律,分析了工作日和休息日的用水模式差异;刘雅亭<sup>[6]</sup>研究了DMA供水量变化规律,发现一天24 h用水量时变曲线呈“M”型;陈国栋等<sup>[7]</sup>分析了城乡不同区域的DMA用水高峰时变特征。另外,基于居民用水总量记录,许多学者从多个角度分析了居民用水量的影响因素,例如,Worthington等<sup>[8]</sup>分别从水价、收入等方面分析了用水量的决定性因素;Arbués等<sup>[9]</sup>提出了估算用水量的计量经济学方法,也考虑了水价、居民收入等影响要素;Suárez-Varela<sup>[10]</sup>分别拟合了平均水价、收入与用水量的线性、对数和双对数模型,用于需水量估算。

在用水特征分析方面,现有研究多集中于分析不同地区、不同季节下的用水规律,考虑节假日用水量的定量对比分析,或从水价、收入、天气和居民行为活动等方面,拟合不同变量与用水量的回归模型,但并未将用水主体行为活动情况和DMA建设信息纳入用水量变化的考虑范围。鉴于此,笔者对集

中于特殊时段(国庆节)的用水曲线,从多个时变量化的角度进行分析,刻画DMA用水特征,并引入人口热力值和DMA物理属性信息,以双对数形式拟合多影响因子与用水量的时变或总量关系,以期为用水量的短期预测提供参考。

## 1 案例供水管网DMA概况

依托于北方某市DMA远传水表的实时流量数据,研究区域供水服务人口约50万人,服务面积约100 km<sup>2</sup>,设有4座水厂,日均供水量约 $10 \times 10^4$  m<sup>3</sup>,统计划分约160个DMA,部分DMA存在多个入口,在本研究中仅考虑单个入口DMA,共计53个。流量记录时间间隔为15 min,每日共计96组数据,数据记录时间为2021年9月1日—10月31日共计61 d,因此每个DMA共计5 856组数据。每组数据包含记录时间、瞬时流量、正向流量、反向流量和累计流量等信息。

本研究基于远传水表采集实时流量数据,通过数据清洗得到完整流量序列,分别从特殊时段用水规律(假期效应)、高峰用水时刻分布、人口活动数据和DMA物理属性信息四个角度分析DMA的用水模式特征。

## 2 用水模式特征分析

### 2.1 用水量假期效应

研究区域内建设的DMA,不仅包括按照DMA模式建设的新建住宅小区,还包括按DMA模式改造的自备井置换住宅小区、实施DMA划分的原有住宅小区;其划分边界常根据小区和楼栋的管理区域边界,主要用水类型为居民用水,部分包含底商或特殊用水单位。

本研究关注的时间段内,10月1日—7日为国庆假期,受到居民工作、休息、外出活动的影响,研究时间段内DMA的用水量出现显著变化。

由于研究区域内DMA用水类型构成存在差异,居民用水比例各不相同,因此基于研究区域内DMA

用水规律对比分类,选取三个具有代表性的DMA进行特征分析,分别为:DMA1(100%居民用水,317块水表)、DMA2(85%居民和15%非居民用水,589块水表)、DMA3(76%居民和24%非居民用水,830块水表)。国庆假期前后时段内每类DMA的用水量变化曲线如图1所示。

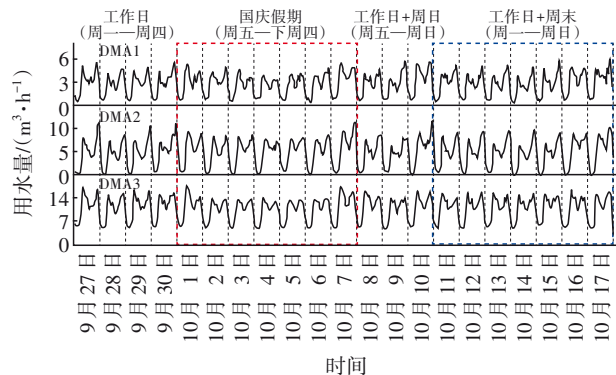


图1 不同类型DMA在国庆假期前后的用水量变化曲线

Fig.1 Water consumption curves of different types of DMA before and after the National Day holiday

从图1可以看出,3个DMA在不同工作日、周末、假日的用水量变化呈双高峰特征。假日与非假日用水规律差异主要体现在以下几个方面:

① 在时用水量变化特征方面,由图1可知,在工作日期间呈现晚高峰用水量大于早高峰的特征,而在假日期间该特征逐渐削弱,出现早、晚高峰用水量持平或早高峰大于晚高峰的情况。不同类型DMA在国庆假期与非假日期间的时用水量对比如图2所示。

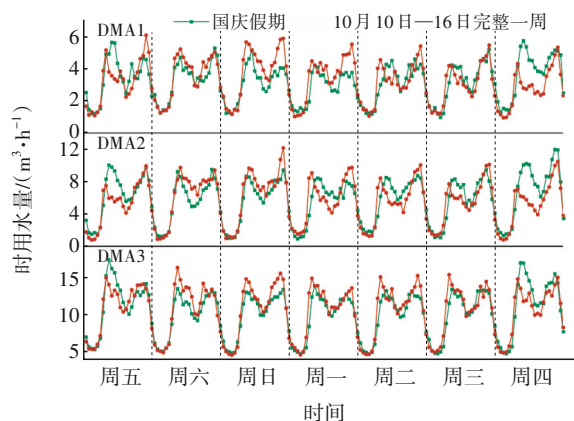
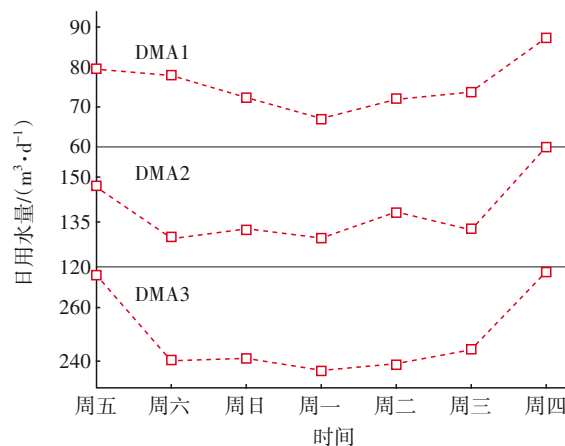


图2 不同类型DMA在国庆假期与非假日期间的时用水量对比情况

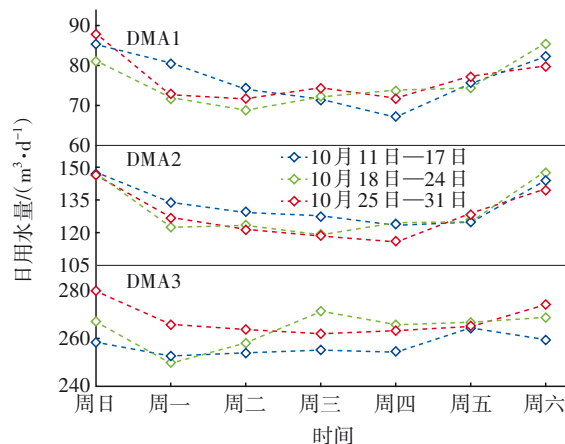
Fig.2 Comparison of hourly water consumption among different types of DMA during the National Day holiday and non-holiday periods

从图2可以看出,国庆假期首尾日期的早高峰显著高于非假日期间对应的高峰数值,并且在假中间日期呈现早高峰后移或晚高峰前移的用水特点。其中值得注意的是,从DMA1到DMA3,随着居民用水占比的减小,假日与工作日在用水量早晚峰值的差异逐渐减小。

② 在日用水量变化特征方面,不同类型DMA在国庆假期与非假日期间的日用水量对比情况如图3所示。



a. 国庆假期日用水量曲线



b. 非假日期间日用水量曲线

图3 不同类型DMA在国庆假期与非假日期间的日用水量对比情况

Fig.3 Comparison of daily water consumption among different types of DMA during the National Day holiday and non-holiday periods

如图3(a)所示,假期不同类型的DMA均呈现“U”型用水曲线,即处于假期阶段的首尾两日用水量显著上升,中间日期的用水量波动相对较小。此外,如图3(b)所示,通过对比多个非假日期间的日用水量曲线发现,也呈现类似的“U”型特征,即周末

用水量普遍高于工作日用水量。原因在于,假期首尾两日、周末期间,多数人员的用水量主要发生在居家期间的用水活动。但在DMA3的非假日期间的日用水变化过程中,呈现弱“U”型,出现某工作日用水量略高于周末用水量的情况,即“高用水工作日”,在一周工作日天数中所占比例均不高于20%;由于该DMA非居民用水量占比约24%,用水受多种因素影响。除此之外,随着居民用水占比的减小,日用水量的变化幅度减小,日期影响降低。

③ 在日用水量变化率方面,根据中秋、国庆两个假期前后的日流量数据,计算每日的流量变化率(环比),以9月13日—10月17日期间的日期为横坐标,绘制日用水量和变化率曲线,如图4所示。DMA3的流量变化幅度明显小于DMA1和DMA2,随着非居民用水比例的增加,DMA区域的日用水量变化率有所降低,DMA3的变化率月均值约为0.08%,而DMA1和DMA2的变化率月均值都高于0.50%。

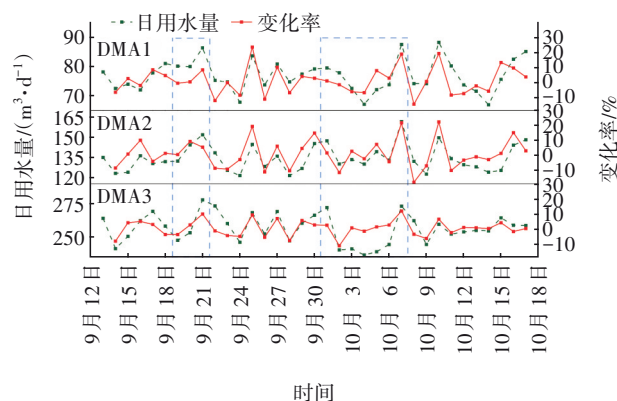


图4 不同类型DMA的日用水量与变化率曲线

Fig.4 Daily water consumption and change rate curves of different types of DMA

综上所述,在假期首尾日和平时周末休息日期间,DMA的日用水量呈现显著的增加;对居民用水占比较大的DMA,其日用水量变化率高于平时工作日;与平时工作日的用水量时变化规律(晚高峰用水量大于早高峰)相比,假期和平时周末期间用水量时变化曲线呈现为早晚高峰持平或早高峰大于晚高峰的情况。此外,这些变化规律和特征受到DMA中居民用水类型占比的影响,居民用水占比大的DMA对应较大的变化率。

## 2.2 高峰用水时刻分布

通过刻画特殊时段的用水规律,反映不同日期下的峰谷波动现象。为挖掘日期高峰时刻分布特

征,根据研究区域内DMA的时用水量数据,以2 h为间隔统计不同时刻内早、晚高峰出现的频次,判断DMA每日用水量早、晚高峰发生的时刻(小时)。将研究时间段内的日期分组,对比假期、工作日、周末用水期间的中间日、结尾日的早晚高峰用水时刻的分布情况,统计结果如图5所示。

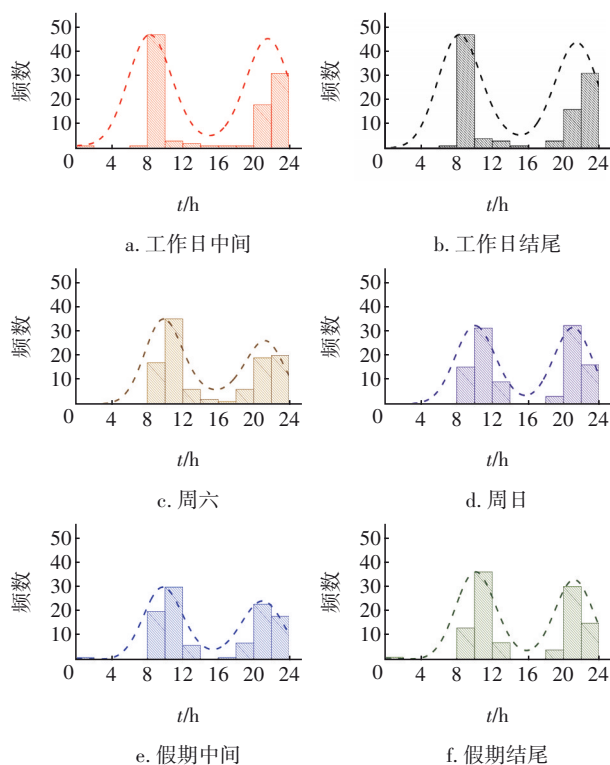


图5 DMA分区不同日期高峰用水时刻分布

Fig.5 Distribution of peak water use moments on different days in DMA zones

由图5可知:①对于用水早高峰时段,工作日用早高峰非常集中,最大频次时段为上午08:00—10:00各个时段;周末和假期用水早高峰则分散在08:00—12:00各个时段,而且最大频次发生在上午10:00—12:00之间。主要原因在于,工作日居民集中外出工作,早高峰较为集中;假期与周末休息日,大多数居民无需早晨外出工作,早晨休息时间延长,早高峰用水时刻分布均匀。②对于用水晚高峰时段,工作日晚高峰分布于20:00—24:00,最大频次出现在22:00—24:00各个时段;假期和周末的晚高峰则更为均匀地分布于18:00—24:00,且有较多的高峰分布于20:00—22:00时段内,说明假期和周末用水晚高峰有所提前。主要原因在于,经过假期和周末休息调整后,在假期最后1天或周日晚上,居



民倾向于提前休息来应对新的工作日。

用水早晚高峰时段分布结果表明,工作日相较于周末与假期的用水更为集中且提前,多发生于08:00—10:00期间,水司调度需满足高峰用水压力,在工作日早高峰时段通过开关泵组等措施,调整水厂出水压力,并在高峰后进行适当降压调控,有助于降低水厂出水能耗;同理,周末与假期用水均匀且分散,在压力调控方面可适当降低出厂压力和减少控阀频率。

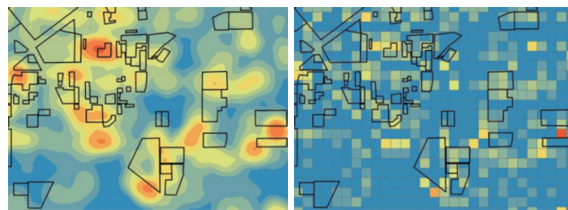
### 2.3 考虑人口活动数据的时用水量变化

根据2.1节和2.2节的分析可知,DMA区域用水规律和时变化特征主要受到居民工作、休息活动的影响。本小节通过网络人口热力地图数据,统计DMA区域内每日24 h人口密度分布情况,进而分析DMA每日24 h的人口活动数据与用水量变化规律的关系。

#### 2.3.1 网络地图人口位置数据

本小节采用百度慧眼人口位置数据(简称“慧眼数据”),其主要数据来源于对调用百度地图定位SDK终端定位数据的统计值,是基于用户手机访问百度产品(地图、搜索、天气、音乐等)时的位置信息,通过一定比例采样得到的,具体人口数据可根据当地常住人口进行推算,能够在一定程度上估计该地区的人口数量。当建立在相同采样比例、相同地区的连续时间段时,变量分析具有可行性。基于网格大小分别为100、500和1 000 m,得到不同网格大小的人口活动数量时间变化趋势完全一致,人口活动数量在05:00—10:00急剧上升,10:00—22:00变化相对平稳,22:00—次日05:00急剧下降,这与城市人口活动规律基本吻合。因此在小时尺度上,人口热值的偏差在允许范围内。通过统计不同区域内的人口活动数量,经过密度分析处理后,在百度地图显示的人口热力图通过不同颜色和亮度来实时描述城市中人群的分布情况,如图6(a)所示。百度热力图是经过数据渲染处理后的栅格类型数据,无法直接显示或读取人口活动数量。根据质心的相对热值数据,以150 m作为渔网像元的宽度与高度,将相对热值数据连接至每个像元,从而得到相对热值下的人口活动情况,如图6(b)所示。图中黑色方框为研究区域内部分DMA边界,通过对人口热值进行分级,可以直观地看出各个区域的人口活动情况,其中包括低人口活动区(对应蓝绿色系)

和高人口活动区(对应红黄色系)。



a. 08:00核密度分析图

b. 08:00渔网分析图

图6 人口热值分布

Fig.6 Population heat value distribution

#### 2.3.2 人口活动数据表征指标

本研究基于活动数量法,根据不同色块的相对热值,代替实际人口数量。张海林<sup>[11]</sup>提出一种百度热力图人口活动数量的提取方法,根据研究尺度对热力图范围进行网格划分,通过要素转换计算网格内的人口活动总数。本研究以150 m作为像元尺寸构建热值点格网,将格网的热值赋值给不同的DMA区域,每个DMA区域可能包含或跨越多个格网区域,以DMA边界矢量化格网,采用各个格网热值与面积加权求和的方法,得到DMA区域的面积加权人口热力值,计算公式如下:

$$H_i = \sum_{j=1}^n h_{(i,j)} A_{(i,j)} \quad (1)$$

式中: $H_i$ 为第*i*个时刻DMA热值面积和, $\text{hm}^2$ ;  $n$ 为该DMA内热区数量; $j$ 为该DMA内第*j*个热区; $h_{(i,j)}$ 为该DMA第*i*个时刻第*j*个热区的热值数据; $A_{(i,j)}$ 为该DMA第*i*个时刻第*j*个热区面积, $\text{hm}^2$ 。在不同的DMA范围内,面积加权的人口相对热值越大,说明该时刻的人口活动总量越大。

为研究DMA内每日24 h的人员活动情况,分析人口活动数据与DMA用水量变化的关系,根据DMA在研究区域的空间地理位置,均匀选取了若干DMA的用水量和人口热力值数据进行分析。

#### 2.3.3 人口活动数据与用水量时变化特征

结合3个DMA在某日24个时刻的用水量记录,分析DMA用水量与人口活动热值时变化情况。通过当天每小时的人口活动热值和时用水量曲线,计算DMA人口活动热值与用水量的相关系数。以1 h为时间间隔,DMA的人口、用水量变化曲线如图7所示。可知,在00:00—12:00期间人口热值高峰与用水量高峰发生时刻十分接近,且普遍呈现出人口热值峰值时刻略滞后于用水量峰值时刻的情况。

例如,在DMA1中,早晨用水量第1个高峰时刻发生在08:30,而第1个人口热值高峰出现在10:00,在其余DMA中也呈现出类似的规律。由于人口热值

数据捕捉依赖于百度产品的使用情况,故居民用水活动与使用百度产品行为无法同时同频发生,存在一定的高峰时刻错峰。

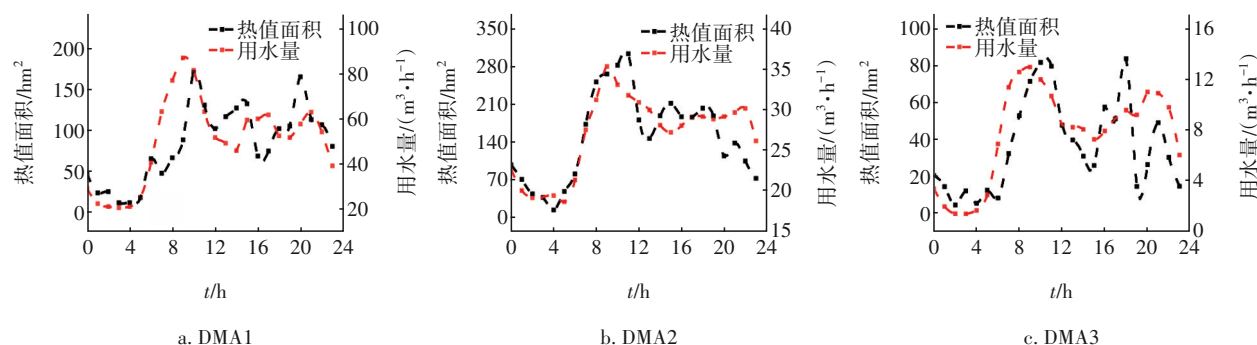


图7 不同DMA的人口热值与用水量变化

Fig.7 Change in population heat value and water consumption in different DMAs

此外,在00:00—24:00时间段内,人口热值与用水量两条曲线数据规律存在一定的差异。由于百度地图热值数据不能完全代表人口分布,例如实际人口存在但不使用百度APP产品访问互联网,则百度慧眼数据无法描述此类人员的位置信息。

根据图7所示的不同时刻的人口和用水量数据曲线,计算人口与用水量之间的相关性,可应用于两变量峰值的分析。为更好地表征DMA用水量与该区域人口活动数据之间的相关性,分别计算皮尔逊系数和斯皮尔曼系数,得到不同时刻的人口和用水量指标相关系数均在0.59以上,最高可达到0.86,说明DMA的人口热值面积与小时累积用水量的相关性较强。

此外,考虑不同时间间隔(1、3、4、6、8和12 h)下的累积人口和用水量数据,分析DMA分区每日不同时间间隔内累积人口活动数据与用水量变化的关系,采用人口和用水量两类数据的皮尔逊系数作为评价指标。当时间间隔为3 h时,共包含8个时间间隔,其中在03:00—12:00时间段内,DMA分区的人口活动数据与用水量变化均呈现正相关关系。

不同时间间隔(1、3、4、6、8和12 h)下,人口热值和用水量两条曲线数据的相关系数变化规律如图8所示。随着时间间隔的增大,人口热值和用水量两类数据的相关系数逐渐接近于1.0,人口热值与用水量累积数据的相关性较强。随着研究时间尺度的增加,相关性愈加显著。

综合分析可知,人口热值与用水量的相关性较强,随着小时尺度人口热值的获取与输入,能够在

一定程度上应用于需水量的预测过程、DMA用水量的评估或供水管网模型节点水量的校核,将人口热值纳入在线模型的节点水量模式更新中。

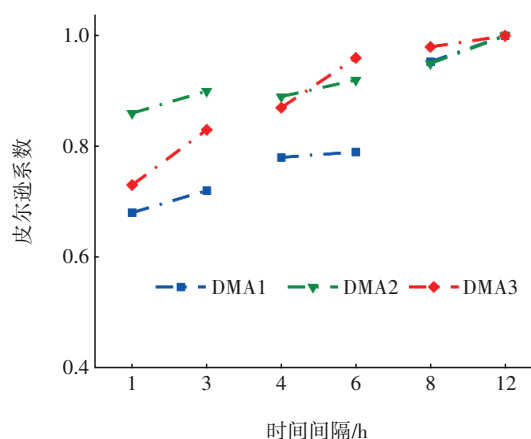


图8 不同时间间隔下人口热值与用水量的相关系数

Fig.8 Correlation coefficients of population heat value and water consumption at different time intervals

## 2.4 DMA用水量与物理属性的关系

不同DMA区域,其用水量与所覆盖区域的占地面积、管线布设长度、人口容纳率等因素有关。一般来讲,具有较大的占地范围、较长的管线布设长度、较多的人口或较大的户数密度的DMA区域,往往具有较大的用水量。以研究区域内53个单入口DMA的10月份用水量为例,统计DMA的月用水量( $Q$ )与其区域内用水户数( $N$ )、管线长度( $L$ )和占地面积( $A$ )数据,并通过样本拟合,得到DMA用水量 $Q$ 与影响因素 $N$ 、 $L$ 和 $A$ 之间的变化关系,结果如图9所示。可知,在双对数坐标中,DMA区域的月用水量与区域内用水户数、铺设管线长度和占地面积呈

现显著的线性关系,通过数据拟合得到用水量与影响因素之间的函数关系为:

$$\lg Q = a + b \cdot \lg X \quad (2)$$

$$Q = 10^a \cdot X^b \quad (3)$$

式中: $a$ 、 $b$ 为对数坐标图中的线性拟合系数; $X$ 表示三个影响因子,即用水户数( $N$ )、管线长度( $L$ )、

占地面积( $A$ )。

拟合不同影响因子与用水量的皮尔逊系数均在0.80以上,效果较好。随着单位用水户数的增加,月用水量约增加7.29 m<sup>3</sup>;随着单位管线长度(m)的增加,月用水量约增加21.33 m<sup>3</sup>;随着单位占地面积(m<sup>2</sup>)的增加,月用水量约增加0.18 m<sup>3</sup>。

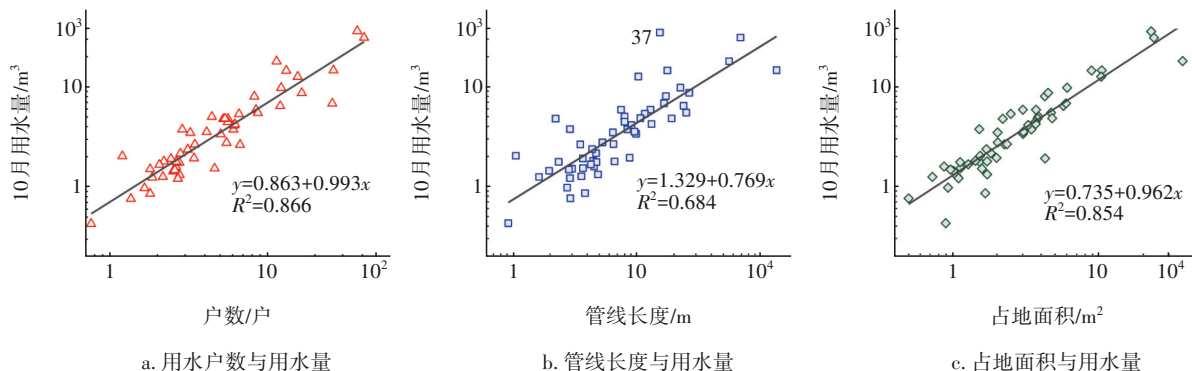


图9 不同影响因子下DMA用水量变化

Fig.9 Variation of water consumption in DMA under different impact factors

从图9可以看出,管线长度与用水量的相关系数略低于其余两个影响因子,且存在若干离群DMA分区。以离群特征显著的DMA37为例,如图9(b)所示,在相同的管线长度下,DMA37的用水量高于曲线拟合值,通过查阅DMA37具体信息资料可知,该区域内建筑规模较大,含有学校、商铺等多种类型用户,区域内所铺设的管线平均直径较大,其中DN300管线长度占比为58%,水量需求和供应能力较大,因此出现区域内单位管线长度用水量较大的情况。

### 3 结论

① 节假日用水变化规律:工作日早高峰用水量小于晚高峰用水量,假期早晚高峰用水量持平或与工作日相反;节假日用水量高于工作日用水量;随着DMA居民用水占比的降低,节假日与工作日用水规律的差异减小。

② 用水高峰时刻分布情况:工作日用水早高峰集中分布在08:00—10:00,而节假日用水早高峰在08:00—12:00期间均匀分布且在10:00—12:00分布较多;假期尾日和周日晚高峰时刻比工作日晚高峰时刻提前约2 h。

③ DMA区域人口热力数据与用水量的相关性:对于1 h间隔的时变化曲线,人口热力数据与用水量呈现显著的正相关关系,皮尔逊系数处于

0.68~0.86之间,人口热力峰值时刻滞后于用水量高峰时刻约1.5 h。对于3 h间隔的累积数据曲线,人口热值和用水量数据的相关系数均大于0.65。随着时间间隔的增大,人口热值和用水量数据的相关系数不断增大。

④ DMA用水量与其物理属性的相关性:根据DMA用水量与物理属性因素的双对数形式数据图可知,用水量与占地面积、用水户数、管线长度呈现指数分布规律;对用水量与影响因素的函数关系进行拟合,发现DMA用水量与用水户数的拟合函数精度最高。

### 参考文献:

- [1] 姚晨. 城市供水管网系统的分布式预测控制[D]. 上海:上海交通大学, 2016.  
YAO Chen. Distributed Predictive Control for Water Supply Network Systems [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2016 (in Chinese).
- [2] 赵恒. 基于供水管网建模的DMA技术及漏失量估算研究[D]. 青岛:青岛理工大学, 2022.  
ZHAO Huan. Research on DMA Technology and Leakage Estimation Based on Water Supply Network Modeling [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022 (in Chinese).
- [3] 王婷婷. 供水管网系统DMA分区流量数据聚类分析研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2017.



- WANG Tingting. Research of Cluster Analysis of DMA Inlet Flow Data in Water Supply Network[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017 (in Chinese).
- [4] 邹为, 谢竞, 张全会, 等. 2020年春节前后供水数据看用水行为变化[J]. 科技与创新, 2021(9): 40-41, 44-45.
- ZOU Wei, XIE Jing, ZHANG Quanhui, *et al.* Analysis of water consumption behavior changes based on water supply data before and after the 2020 Spring Festival [J]. Science and Technology & Innovation, 2021(9): 40-41, 44-45 (in Chinese).
- [5] 张志磊, 蒋白懿, 王烨, 等. 供水管网系统用水模式确定与分析[J]. 供水技术, 2014, 8(2): 42-44.
- ZHANG Zhilei, JIANG Baiyi, WANG Ye, *et al.* Determination and analysis of water usage patterns in water supply pipeline network systems [J]. Water Technology, 2014, 8(2): 42-44 (in Chinese).
- [6] 刘雅亭. 基于水力模型和遗传算法的二次供水优化调度研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2023.
- LIU Yating. Study on Optimal Operation of Secondary Water Supply Based on Hydraulic Model and Genetic Algorithm[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2023 (in Chinese).
- [7] 陈国栋, 刘阔, 倪炯, 等. 不同地区DMA流量特征分析与漏失评估[J]. 给水排水, 2023, 49(4): 113-117.
- CHEN Guodong, LIU Kuo, NI Jiong, *et al.* Flow characteristics analysis and leakage assessment for DMAs in different regions [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(4): 113-117 (in Chinese).
- [8] WORTHINGTON A C, HOFFMAN M. An empirical survey of residential [J]. Journal of Economic Surveys, 2008, 22: 842-887.
- [9] ARBUÉS F, GARCÍA-VALIÑAS M Á, MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review [J]. The Journal of Socio-Economics, 2003, 32(1): 81-102.
- [10] SUÁREZ-VARELA M. Modeling residential water demand: an approach based on household demand systems [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 261: 109921.
- [11] 张海林. 基于百度热力图的人口活动数量提取与规划应用[J]. 城市交通, 2021, 19(3): 103-111.
- ZHANG Hailin. Extracting active population data based on Baidu heat maps for transportation planning applications [J]. Urban Transport of China, 2021, 19(3): 103-111 (in Chinese).
- 
- 作者简介: 宋浩洁(1998-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为供水管网水力模型构建及参数校核。
- E-mail: haojiesong2023@163.com
- 收稿日期: 2024-01-03
- 修回日期: 2024-02-28

(编辑: 刘贵春)

构建取水—用水—排水全过程全链条的  
精细化管理模式, 实现节水降耗减污增汇  
一体化、智慧化