

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.08.003

数据采集设置对DMA流量模式的影响

王子麒¹, 徐强¹, 郑成志², 强志民¹, 钟汶均², 张昭君²,
舒诗湖³

(1. 中国科学院生态环境研究中心 饮用水科学与技术重点实验室, 北京 100085; 2. 广东粤海水务股份有限公司, 广东 深圳 518021; 3. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620)

摘要: 智能水表监测的水量数据为用水模式确定及供水管网漏损分析提供了重要的基础。然而,数据精度与频度会对分析结果产生重要影响。以10个独立计量区(DMA)入口流量计数据作为基础样本,分析了数据采集周期与精度对最小夜间流量计算以及DMA流量模式分析的影响。结果表明,水表数据采集周期增加会导致最小夜间流量计算结果增大,同时降低流量模式的精细度;数据精度降低会导致流量模式呈阶梯状甚至双线式,无法反映真实的用水模式。水表数据采集周期与精度存在对应关系,在设定时需要相互匹配。

关键词: 独立计量区; 数据采集周期; 数据精度; 流量模式; 最小夜间流量

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)08-0020-05

Influences of Data Acquisition Settings on the DMA Flow Patterns

WANG Zi-qi¹, XU Qiang¹, ZHENG Cheng-zhi², QIANG Zhi-min¹,
ZHONG Wen-jun², ZHANG Zhao-jun², SHU Shi-hu³

(1. Key Laboratory of Drinking Water Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Guangdong Yuehai Waterworks Co. Ltd., Shenzhen 518021, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Water consumption data monitored by smart water meters provide a crucial foundation for determination of water consumption pattern and water loss analysis in water distribution systems. However, the analysis results could be critically influenced by data precision and acquisition period. Based on the water flow data from water meters at ten district metered area (DMA) entrances, this study analyzed the influences of acquisition period and data precision on the calculation of minimum night flow (MNF) and the analysis of DMA flow pattern. The results indicated that the increase in acquisition period would raise the MNF calculation results and deteriorate the fineness of water consumption pattern. Water consumption would follow a pattern of stages or even two lines with the reduction of data precision, which could not reflect the real water consumption pattern. The investigation illustrates the relationship between

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1100105); 中国科学院青年创新促进会项目(2019043); 国家自然科学基金基金资助面上项目(52170105)

通信作者: 徐强 E-mail: qiangxu@rcees.ac.cn

the acquisition period and data precision of the water meter, which needs to match with each other during the parameter setting.

Key words: district metered area; data acquisition period; data precision; flow pattern; minimum night flow

为加强供水管网管理,各地水司基于自身管网特点和实践需求,开展了基础设施及信息系统建设。其中,基础设施包括市政管网流量计及压力计、区域考核表及用户水表远传设备等,信息系统建设主要包括SCADA系统,能够接入并展示水量、水压、水质等数据,同时使用EPANET、ArcGIS等软件进行建模^[1-3]。在此基础上,构建独立计量区(District metered area, DMA),可进行管网漏损分析,为管网更新改造、检漏维护等工作提供数据支撑,提升管网管理工作效能^[4]。

DMA的最小夜间流量(Minimum night flow, MNF)是评估分析管网漏损的重要依据^[5-6],不仅能进行漏损预警,还可对DMA真实漏失水量进行计算。因此,获得准确的MNF值及其变化模式,是管网漏损评估准确性的重要保障。

流量数据通常由智能水表监测得到。在实际应用中,通常根据不同的应用场景和使用目标,设置水表的数据采集周期和精度。而数据采集周期与精度会对数据分析产生重要影响,进而影响管网漏损与流量模式分析。针对这一问题,收集了M市6个和S市4个共10个DMA的流量数据,定量分析了数据采集周期与精度对DMA最小夜间流量、流量模式的影响,并建立了采集周期和数据精度的匹配关系,结果可为实际应用中水表采集周期和计量精度的设定提供参考。

1 采集周期对最小夜间流量的影响

1.1 数据收集与分析

收集了我国南方M市6个DMA 2017年8月11日—2018年12月31日的流量数据,采集周期为5 min,每天包含288个时刻的水表示数。首先计算出采集周期为5、10、15、30、60 min时每一天中该时间段的平均流量,然后提取当天的MNF,并分析不同采集周期时MNF的分布情况及其差异。

对M市6个DMA的数据进行了分析,发现较大采集周期时的MNF均值与5 min采集周期相比,MNF的升高幅度最低为0.59%,最高达到77.74%

(见表1)。然而,由于1、4、5、6号DMA的MNF波动较大(均值约10 m³/h,标准差为6~8 m³/h左右),远大于2、3号DMA(均值约1 m³/h,标准差约1 m³/h),导致其MNF因采样周期增大而增大的幅度相比MNF本身显得很小,因此认为2、3号DMA的MNF增大程度更加贴近实际情况(增加幅度最小为22.69%,最大为77.74%)。图1给出了2号DMA在不同数据采集周期时的MNF。可以看出,随着采集周期的增大,MNF整体上升。对其不同采集周期时的MNF分布情况进行分析,发现在MNF数值整体上升的同时,数据的离散程度稍有增大。

表1 DMA水表采集周期增大时MNF的增加幅度
Tab.1 MNF increase scale with the increase of data acquisition period for DMA %

DMA 编号	MNF 增加幅度			
	采集周期 10 min	采集周期 15 min	采集周期 30 min	采集周期 60 min
1	1.07	1.68	2.89	4.55
2	30.39	42.38	60.43	76.22
3	22.69	34.92	56.29	77.74
4	3.46	4.67	8.88	15.49
5	1.13	2.04	3.65	5.61
6	0.59	1.02	1.90	3.34

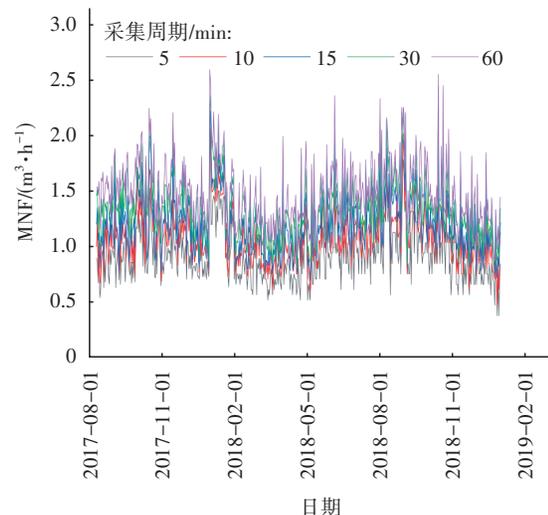


图1 采集周期对最小夜间流量的影响

Fig.1 Influence of data acquisition period on MNF

1.2 原因分析

一般地, MNF 是在凌晨 02:00 — 04:00 之间若干个时段中出现的最小流量, 其本质是各时段平均流量的最小值。但在实际情况中, 任意一个用水时段内流量都是波动的, 都具有高峰和低谷, 而 MNF 只是某一个时段的平均流量。假设将采集间隔缩短, 即将原来的 MNF 所在时段, 分解成若干个更短的时段, 则分解前 MNF 时段内流量的低谷值就会落到分解后某一个时段内, 这便形成了一个新的 MNF 值。当然, 也有可能新的 MNF 值出现在原 MNF 值所在时段之外的其他时段。但无论如何, 当缩短数据采集周期时, MNF 就一定会变小。其背后的原因是, 居民的夜间用水是随机的, 且非均匀分布, 数据采集周期越短, 就越能找到夜间用水事件少的时段, 如果忽略夜间漏失水量的变化, 该时间即 MNF 所在时段。因此, 数据采集周期越短, 得到的 MNF 值就越接近管网真实漏失流量; 理论上, 当采集周期足够短时, MNF 值便等于真实漏失值。

从基于 MNF 的真实漏失评估的角度来讲, 应尽可能地缩短数据采集周期。但缩短采集周期无疑增加了水表内存与电量的要求, 在实际工作中, 应在二者之间做出权衡。

2 数据采集周期与精度对流量模式的影响

2.1 数据收集与处理

收集了我国 S 市 4 个 DMA 的流量数据, 选取其中具有代表性的一个 DMA 一天的流量数据进行分析。原始数据采集周期为 1 min, 数据精度为 0.1 L, 以此数据作为真实用水数据。同时进行降频率与降精度分析。

图 2(a) ~ (f) 依次为采集周期 1、5、10、15、30 和 60 min 时, 不同数据精度 (0.1 L、1 L、0.01 m³、0.1 m³、1 m³) 下的流量模式。

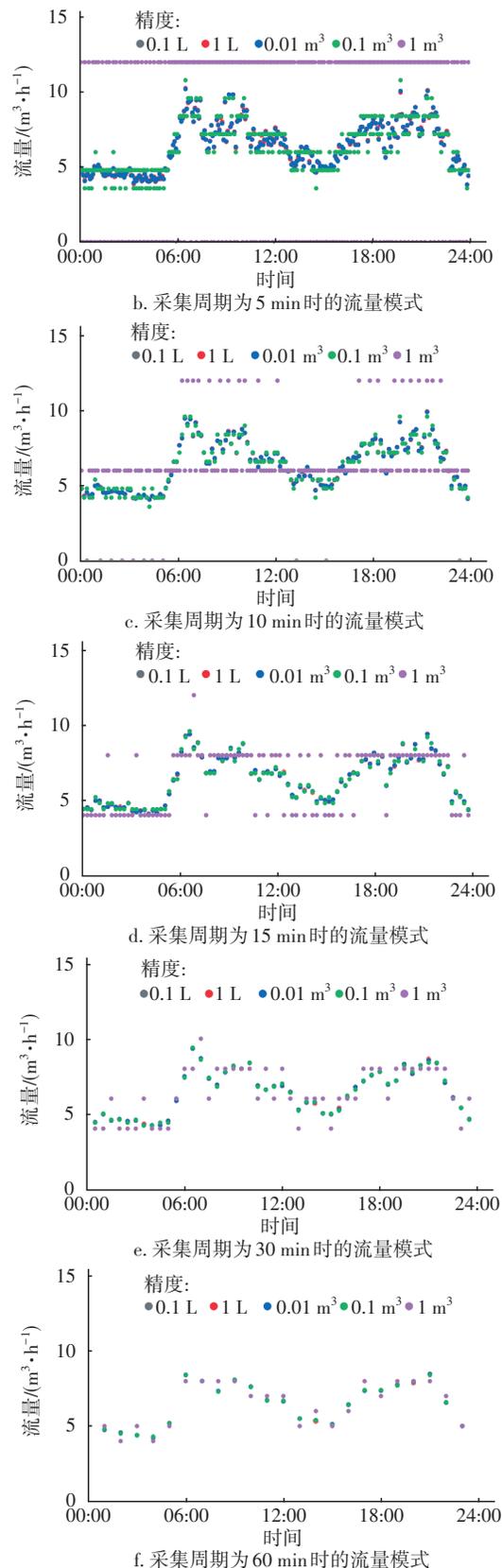
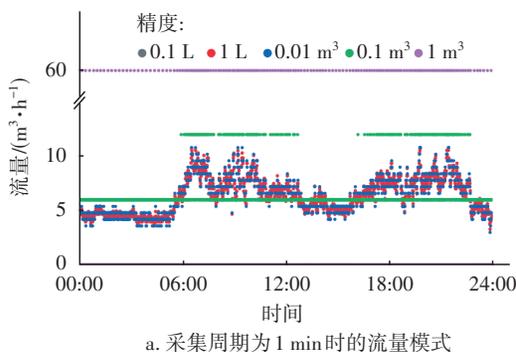


图 2 水表数据采集周期与精度对流量模式的影响
Fig.2 Influence of data acquisition period and precision on flow pattern

2.2 结果分析

从图2可以看出,数据采集周期与数据精度对流量模式均有显著影响,且二者的影响是相互关联的。在高频采集时,不同精度数据的流量模式有较大的区别,而当采集周期降低时,所展示的流量模式就趋于相同。高频采集的低精度水表会呈现“阶梯形”水量增长模式,这种情况下得到的流量曲线是非常不精确的,无法刻画出真实的用水情况,如图2(a)中精度为 1 m^3 和 0.1 m^3 的两个模式所示。而低频采集的高精度水表所呈现的用水模式与同周期的低精度水表并无差别,如图2(f)中精度为 0.1 L 、 1 L 、 0.01 m^3 的三个模式已与精度为 0.1 m^3 的模式完全重合,浪费了高精度水表的良好性能。同时降低数据采集频率和数据精度,虽然会使流量模式失去一定的精细度,但是流量模式的呈现不会发生太大区别,如图2(f)中的精度为 1 m^3 和 0.1 m^3 的两个模式。因此,在实际应用中,应注意数据采集周期与数据精度的匹配。

3 不同数据采集周期与精度带来的偏差

由上述分析可以看出,在不同数据采集周期与数据精度下,得到的流量模式可能相差很大。因此,有必要进一步分析二者变化时流量模式的准确性。

3.1 数据降频率与降精度处理

将采集周期为 1 min 、精度为 0.1 L 的数据定义为最精确的原始数据,并将其作为参照,计算其他采集周期与精度下得到的水量数值与其之间的偏差,以分析不同采集周期与精度下得到的流量模式的准确性。数据降频率的具体方法为:基于采集周期为 1 min 的原始数据,降频采样至周期为 5 min ,将每 5 min 计算得到的流量值赋给该 5 min 所包含的5个 1 min ,然后与周期为 1 min 的数据进行偏差值计算[计算方法如式(1)所示],并依次计算 10 、 15 、 30 、 60 min 周期的数据;降精度的方法则是将目标精度位数之后的数字略去,将高精度的数据降为低精度。

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n |a_{i,p,q} - a_{i,0}|}{n} \quad (1)$$

式中: φ 为偏差值, m^3/h ; $a_{i,p,q}$ 为 i 时刻、 p 精度、 q 周期下的流量; $a_{i,0}$ 为 i 时刻作为参照的原始数据; n 为一天内的采集次数(以采集周期为 1 min 的数据

为基准,即 $n=1440$)。

不同采集周期与精度所带来的偏差值见图3。

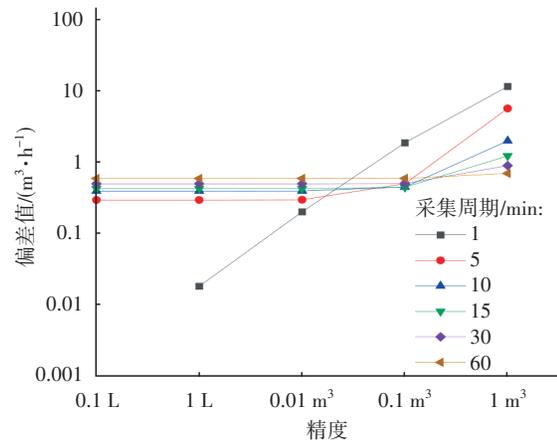


图3 不同采集周期与精度所带来的偏差值

Fig.3 Deviations caused by different acquisition periods and data precisions

3.2 结果分析

从图3可以看出,采集周期为 1 min 时,随着数据精度的下降,偏差值以指数形式增大。举例来说,由于数据精度不够,若采集频率过高,则测得的流量将大部分显示为0,精度越低,这种情况越严重。而增大采集周期后,精度在 0.01 m^3 及以上时,精度对偏差值几乎没有影响(偏差值保持在 $0.3 \sim 0.6\text{ m}^3/\text{h}$);精度降至 0.1 m^3 及以下时,偏差值逐渐增大。也就是说,采集周期高到一定程度后,数据精度对流量测试结果准确性的影响就可以忽略。而且采集周期越短,偏差值对精度的变化越敏感。例如,采集周期为 1 min 时,偏差值随精度降低呈指数形式上升;而采集周期为 60 min 时,偏差值随精度的降低几乎没有变化。

由图3还可以发现,对于不同的采集周期,偏差值随精度的降低都有发生突增的拐点。这些拐点可以作为水表读数采集周期与数据精度匹配性设置的依据。一般情况下,水表的精度是确定的,因此要对应地设置适当的数据采集周期。举例来说,在该研究案例中,若水表的精度是 1 L ,则数据采集周期短至 1 min 就能准确地反映出精细的流量模式;若采集周期逐渐增大,相当于在采集周期内对流量值进行了平均处理,则流量模式就会出现一定的失真,故而产生偏差。若水表的精度是 1 m^3 ,则数据采集周期应尽量大,采集周期越短,测得的流量将产生越多的0值,就会对流量模式分析(尤其是最

小夜间流量分析)产生显著偏差。总之,在实际应用中,应避免“高精度、低频率”或者“高频率、低精度”的数据采集方式,这两种方式都会产生较大的偏差,其中后者产生的偏差危害更大,原因是这种方式会产生大量的零流量值。

需要说明的是,上述分析结果并非对所有的区域都是一致的,它与区域的流量也有关系,流量越大,在一定的采集周期与数据精度下,越不容易出现零流量值,“高频率、低精度”的偏差值也会相应减小。因此,在实际应用中,需要根据被计量对象的流量与水表的精度共同确定数据采集周期。

4 结论

通过分析DMA流量数据,探讨了数据采集周期与数据精度对最小夜间流量、流量模式的影响,为相近规模DMA水表参数的设定提供了参考。主要结论如下:

① 在精度不变的情况下,水表的采集周期越大,得到的最小夜间流量越高,其中夜间正常用水量也越多,故而与真实漏失之间的差别也就越大。因此,从真实漏失分析的角度,采集周期设置为5~15 min较为合理。但无论数据采集周期设置为多大,都应明确其对最小夜间流量与真实漏失之间差异的影响。

② 采集频率较高时,较高的数据精度(如0.1 L或1 L)能够呈现出更准确、精细的流量模式;采集频率较低时,则会削弱数据精度的重要性。在实际应用中,应根据水表的精度与测量对象的流量确定合适的数据采集周期,避免“高精度、低频率”或者“高频率、低精度”的数据采集方式。

参考文献:

[1] 胡祖康,周同高,陈蓓青,等. 基于水量平衡法和夜间最小流量法的供水管网漏损评估[J]. 中国水利, 2020(21): 65-67.
HU Zukang, ZHOU Tonggao, CHEN Beiqing, *et al.* Assessment of water supply network leakage based on water balance and night minimum flow methods [J]. China Water Resources, 2020 (21): 65-67 (in Chinese).

- [2] 张自力,张强,张增烁,等. 基于在线水力模型系统的供水管网优化调度开发与应用[J]. 城镇供水, 2020(6): 65-72.
ZHANG Zili, ZHANG Qiang, ZHANG Zengshuo, *et al.* Development and application of optimal dispatching of water supply network based on on-line hydraulic model system [J]. City and Town Water Supply, 2020 (6): 65-72 (in Chinese).
- [3] 班福忱,黑月明,吴丹. 基于EPANET和ArcObjects的在线水力模型系统开发[J]. 中国给水排水, 2018, 34(3): 57-60.
BAN Fuchen, HEI Yueming, WU Dan. Online hydraulic model system based on EPANET and ArcObjects [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(3): 57-60 (in Chinese).
- [4] 龚珑聪,卓雄,许俊鸽. 基于NB-IoT和DMA技术相结合的小区漏损控制分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(13): 40-46.
GONG Longcong, ZHUO Xiong, XU Junge. Analysis of leakage management in community based on combination of NB-IoT and DMA technology [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(13): 40-46 (in Chinese).
- [5] 马啸,李露. 基于线性回归法预测南方居民夜间合法用水量研究[J]. 给水排水, 2018, 44(2): 87-93.
MA Xiao, LI Lu. Prediction of nighttime water consumption by residents in southern China based on linear regression method [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(2): 87-93 (in Chinese).
- [6] 李岚,吴珊,寇晓霞,等. 基于独立计量区的夜间最小流量的研究进展[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 135-141.
LI Lan, WU Shan, KOU Xiaoxia, *et al.* Research progress of minimum night flow based on district metering area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 135-141 (in Chinese).

作者简介:王子麒(1996-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,科研助理,主要研究方向为供水管网水质转化机理及水质模拟。

E-mail:979134537@qq.com

收稿日期:2021-12-06

修回日期:2022-01-17

(编辑:丁彩娟)