

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.23.008

基于 DMA 分区计量的实时产销差率估算方法

施 凯

(苏州吴中供水有限公司, 江苏 苏州 215100)

摘 要: 目前供水企业的产销差率和漏损率一般都以年为单位进行统计,这种计算方法有明显的滞后性,使得供水企业无法第一时间掌握产销差率实际情况。基于此,提出了实时产销差率的概念,并给出了基于 DMA 分区计量的实时产销差率估算方法。实际案例分析结果表明,在不复杂的 DMA 分区背景下,基于 DMA 分区计量的实时产销差率可以直观地体现 DMA 分区管理质量,帮助供水企业了解该区域控漏效果,也提高了对漏水点的检出速度,节约了大量的水资源。

关键词: 供水企业; 实时产销差率; DMA 分区; 移动平均算法

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)23-0046-06

Real-time Non-revenue Water Rate Estimation Method Based on DMA Partition Measurement

SHI Kai

(Suzhou Wuzhong Water Supply Co. Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: At present, non-revenue water (NRW) rate and leakage rate of water supply enterprises are generally calculated by year. However, this estimation method has an obvious lagging problem, which makes the water supply enterprises unable to grasp the actual situation of NRW rate at the first time. Therefore, the concept of real-time NRW rate was proposed, and a real-time NRW rate estimation method based on DMA partition measurement was established. The actual case analysis results showed that the real-time NRW rate based on DMA partition measurement could directly reflect the quality of DMA partition management under the background of uncomplicated DMA partition. In addition, it could help water supply enterprises to understand the leakage control performance in this area, improve the detection speed of leakage points, and save a lot of water resources.

Key words: water supply enterprises; real-time NRW rate; DMA partition; moving average algorithm

供水企业的产销差率是一个重要的管理指标,产销差率高低不仅反映该企业供水管网的漏损控制情况,也基本反映该企业的综合管理水平^[1-3]。产销差的形成是一个历史累积的过程,也是一个动态变化的过程,及时、准确地掌握产销差状况,对提升供水企业的管理绩效非常重要。

产销差和产销差率的计算方法非常简单、直观,供水量减售水量就是产销差,产销差除以供水量就

是产销差率。供水量可以实时计量,而售水量的统计往往因为抄表周期等原因是滞后的,所以供水企业的产销差率和漏损率一般都以年为单位进行统计。这种计算方法导致供水企业无法第一时间掌握产销差的实际情况,这种售水量统计滞后导致的偏差,使供水企业月度产销差率的统计非常失真^[4-6]。季节变化、节假日、抄表周期等因素对当月供水量和售水量产生的影响,使月度产销差率波动幅度非常

大。供水企业往往通过与历史同期产销差率进行比较,来判断当前的产销差和漏损管理水平^[7]。

为解决这个问题,很多供水企业采取了一些弥补措施。比如,提高远传水表的数量,可以更准确地掌握售水量的实际情况,但是这需要大量的资金投入^[8];有的供水企业采用连续 12 个月的产销差率进行统计,这个方法可以解决季节变化、节假日、抄表周期等因素对产销差率的影响。尽管有这些弥补措施,月度产销差率的统计分析仍然是滞后的,远远满足不了供水企业的精细化管理要求。基于此,笔者提出实时产销差率的概念,并介绍了一种基于 DMA 分区计量的实时产销差率估算方法。

1 DMA 分区计量

将供水管网系统划分为若干个较小的子系统(分区),每个分区安装一定数量的流量计或计量水表,单独计算每个分区的供水量、售水量、漏损率和产销差率,称为 DMA 分区计量。把整个供水管网第一次划分若干分区,这些分区是一级分区,每个分区还可以继续细分成为二级分区、三级分区。通过 DMA 分区计量可以寻找哪些分区漏损更严重,产销差率更高,进而有针对性地查找问题^[9]。为实时掌握 DMA 分区的供水量,通常一级分区的流量计或计量水表采用数据连续采集和实时通讯的形式。为降低流量计安装成本,不宜将一级分区划分得太小,通常一级分区的支管数量在 1 000~2 500 条之间^[10]。

图 1 为供水企业 WW 的 DMA 一级分区示意。可以看出,一共划分为 10 个分区,分别为 A1~A10。后续将以该供水企业的 DMA 分区为例进行实时产销差率的估算。



图 1 某供水企业供水区域的 DMA 一级分区

Fig.1 First level division of district metering area of a water supply enterprise

2 基于 DMA 分区的实时产销差率

供水企业大多因为供水区域范围广、抄表反馈

周期长,亦或是单双月抄表内容不同、季节气候不同,导致每月的产销差率并不能很好地反映真实的供水管网情况。而且其波动范围较大,易对分析造成困扰。在局限于现有管网监测设备的投入条件下,找到一种最低成本的快速评估各 DMA 分区产销差率的方法,有利于供水企业获得更优的成本管控。若能做到产销差率的实时估算对供水企业是一件很有价值的事情。而难点在于如何得到区域售水量。实时产销差则在于找到一个估算售水量的方法,同时凭借管网和水厂高频的物联采集设备得到的供水量来实现区域产销差的实时评估。

2.1 实时产销差率的概念

根据国际水协的标准水量平衡计算表,供水企业的产销差是指其供水量与售水量之差,产销差与供水量之比称为产销差率。引申到每个区域的产销差率,亦是如此。通过各 DMA 分区的供水量占比或压力突变可以判断分区内是否发生漏损,然而却无法通过实时评估区域内的产销差而评定该区域的管理质量。

区域供水量可以通过分析管网结构,采用多组流量计计算获得,而区域售水量则不能很准确地得到。因此,研究区域售水量的估算方法很有必要。不考虑计量仪器,区域售水量变化可近似为区域内生活及生产用水量变化。

首先对企业以往产销差率数据进行移动平均,以降低各种噪声影响,得到一条相对平稳、贴近真实的产销差率曲线。移动平均法是一种简单的平滑时序数据方法,根据时间序列资料、逐项推移,依次计算包含一定项数的时序平均值^[11]。移动平均计算产销差率的滑动窗口长度一般采用 12 个月,这减少了单双月抄收所产生的干扰,包含了一年内生产、生活因素对供水数据产生的特有波动变化。

假设产销差率用 N 表示,那么 $1 - N$ 就是供水区域内总售水量的占比。则某时间段内供水企业总供水量与 $1 - N$ 的乘积即是该时间段内供水区域的总售水量。

通过 DMA 分区内的户表挂载,可以从历史抄收数据中得到每个 DMA 分区的售水量,该区域的售水占比就是其售水量与全区域售水量之比。至此,供水区域的总售水量乘以该区域的售水占比,就能得到目前该区域的售水量估计值,最终可以估计出该区域的产销差。如果出厂水量的采集频次足够

密集,且 DMA 分区流量仪数据与出厂水量同步采集,即能将分区内的产销差做到实时统计。综上,可以理解为实时产销差率即是为了解决传统产销差率统计时效滞后、统计不完全而引入的一个新的成本评估方式。

后续假设数据采集频次为 1 次/h、移动平均产销差率和区域售水占比的计算滑动窗口长度为 12 个月、区域移动平均售水估计量计算周期为 1 周(考虑节假日、生产企业排班等因素,居民生活用水量和企业生产用水量在 1 周内的变化是相对稳定的),进行实时产销差率的估算。

2.2 实时产销差率的估算

首先采用 12 个月的出厂供水量与营收抄收水量计算移动平均产销差。假设供水企业每月抄收水量为 B (单位为 m^3)、每月出厂供水量为 S (单位为 m^3)、移动平均产销差率为 \bar{N} 、 m' 为月份,则 \bar{N} 的计

算公式如下:

$$\bar{N} = \left(1 - \frac{\sum_{m'=1}^{m'=12} B_{m'}}{\sum_{m'=1}^{m'=12} S_{m'}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

在没有发生特别重大的管网事件影响企业产销差率发生突变的情况下,移动平均产销差率 \bar{N} 是相对稳定的,变化不大。如果有影响产销差率的突变因素发生,则需对 \bar{N} 进行修正。

假设某 DMA 分区的当月售水占比为 P 。由于供水企业无法避免转供水、偷盗追回等特殊用水情况带来的影响,且计算售水占比时没法剔除掉这些因素,因此 P 也进行移动平均计算以减小噪声。由于无法明确将追回水量划入现有 DMA 分区,故将其单独作为一个一级分区。不同转供水区域也单独作为一个一级分区。表 1 为供水企业 WW 连续 12 个月各 DMA 分区的移动平均售水占比。

表 1 某供水企业连续 12 个月的 DMA 分区售水占比

Tab. 1 Water sales proportion of each DMA partition of a water supply enterprise for 12 months in a row %

项 目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	转供 1	转供 2	转供 3	转供 4	追回
2019 年 12 月	8.36	15.30	5.23	11.58	0.78	9.23	15.20	7.16	16.74	5.03	3.85	0.00	0.22	1.04	0.27
2020 年 1 月	8.25	15.16	5.27	11.59	0.81	9.22	15.19	7.22	16.74	5.07	3.92	0.00	0.22	1.04	0.30
2020 年 2 月	8.29	15.06	5.23	11.60	0.81	9.10	15.34	7.22	16.83	5.05	3.82	0.08	0.22	1.05	0.30
2020 年 3 月	8.37	15.06	5.38	11.71	0.83	9.10	15.29	7.28	16.98	5.09	3.86	0.08	0.23	0.45	0.29
2020 年 4 月	8.37	14.98	5.44	11.77	0.90	8.99	15.30	7.25	17.14	5.09	3.87	0.08	0.23	0.30	0.29
2020 年 5 月	8.45	14.94	5.53	11.85	0.90	8.91	15.35	7.32	16.95	5.06	3.87	0.08	0.23	0.30	0.25
2020 年 6 月	8.42	14.88	5.60	11.91	0.91	8.81	15.30	7.35	17.07	5.07	3.96	0.09	0.23	0.30	0.12
2020 年 7 月	8.43	14.84	5.71	12.00	0.90	8.63	15.26	7.43	17.02	5.04	3.98	0.08	0.23	0.30	0.14
2020 年 8 月	8.46	14.77	5.79	12.08	0.90	8.55	15.29	7.45	17.14	5.05	4.00	0.09	0.23	0.01	0.20
2020 年 9 月	8.46	14.68	5.84	12.13	0.93	8.42	15.21	7.52	17.20	5.04	4.03	0.08	0.23	0.01	0.19
2020 年 10 月	8.46	14.60	5.91	12.19	0.92	8.31	15.24	7.54	17.23	5.02	4.06	0.08	0.23	0.01	0.18
2020 年 11 月	8.47	14.55	5.98	12.21	0.93	8.18	15.17	7.60	17.23	5.02	4.14	0.08	0.23	0.01	0.18

区域售水量每月统计 1 次,那么区域售水占比数据是以月份为采样间隔的时间序列。以表 1 为例,演示计算移动平均后的售水占比 \bar{P} 。假设一共有 k 个 DMA 分区(包括转供水和追回水量), j 是分区号($j=1 \sim k$); b 是区域售水量(单位为 m^3); m 是以月计的时间点,以 m 为下标的变量表示在时间点 m 的取值; t 是当前时间点(当月或当时); i 为滑动窗口的长度, $i>0$,本研究中 i 取 12。那么 \bar{P} 的计算公式为:

$$\bar{P} = \frac{1}{i} \sum_{m=t-i}^{m=t-1} \frac{b_m}{\left(\sum_{j=1}^{j=k} b_j \right)_m} \quad (2)$$

通过 2.1 节的描述,将出厂实时供水量设为 x

(单位为 m^3/h)。区域售水估计量 \hat{b} (单位为 m^3/h) 的计算公式为:

$$\hat{b} = x \cdot (1 - \bar{N}) \cdot \bar{P} \quad (3)$$

由于各区域用水量受到区域内生活、生产活动的直接影响,为使区域售水估计量 \hat{b} 与当前情况的误差尽可能小, x 的采集频率设为每小时采集 1 次,那么 \hat{b} 是以小时为采样间隔的时间序列。 h 是以小时计的时间点,以 h 为下标的变量表示在时间点 h 的取值。当前时刻区域用水量的移动平均值 \bar{b} (单位为 m^3/h) 计算公式为:

$$\bar{b} = \frac{1}{i} \sum_{h=t-i}^{h=t-1} \hat{b}_h \quad (4)$$

\bar{b} 建议采用 1 周作为滑动窗口长度,这是因为在 1 周的用水周期内,区域内生活、生产用水量的变化规律是相对稳定的;小于 1 周会缺失部分工作、生活日特有的用水特点, \bar{b} 值将波动明显;大于 1 周则会拉长长期用水特征对当下 \bar{b} 的影响,使得 \bar{b} 值过分失准。

区域供水量 s 可以直接通过 DMA 区域流量计得到,每小时采集 1 次,时间序列长度为 1 周。移动平均后的区域供水量 \bar{s} (单位为 m^3/h) 的计算公式如下:

$$\bar{s} = \frac{1}{i} \sum_{h=t-i}^{h=t-1} s_h \quad (5)$$

最终,区域实时产销差率 n 的估算公式为:

$$n = \left(1 - \frac{\bar{b}}{\bar{s}}\right) \times 100\% \quad (6)$$

2.3 案例分析

为了验证该实时产销差率估算方法的可行性,以表 1 中 DMA 分区 A7 为例进行说明。首先由表 1 计算得 A7 分区的移动平均售水占比 \bar{P} 为 15.26%,供水企业 WW 的移动平均产销差率为 12.5%。计算移动平均售水量将用到前 7 d 的分区供水量,因此选取 2020 年 11 月 3 日—9 日即 1 个计算周期内的数据估算 A7 分区的实时产销差率。WW 公司生产运行工轮班周期为当日 9 时至第二天 8 时,因此数据的选择为 11 月 3 日 9 时—10 日 8 时,计算结果见表 2 (由于数据量过大,文章只列出关键数据)。

表 2 A7 分区实时产销差率估算结果

Tab. 2 Estimation results of real-time NRW rate of A7 partition

项 目	$s/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$\bar{s}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$\hat{b}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$\bar{b}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$n/\%$
11 月 3 日 9 时	2 707	2 124.5	2 537.1	1 915.8	9.82
11 月 3 日 10 时	2 670	2 123.4	2 413.3	1 914.3	9.85
11 月 3 日 11 时	2 729	2 123.9	2 302.2	1 913.9	9.89
...
11 月 6 日 12 时	2 492	2 124.9	2 302.2	1 910.2	10.10
11 月 6 日 13 时	2 378	2 123.8	2 020.1	1 909.7	10.08
11 月 6 日 14 时	2 337	2 123.6	1 969.1	1 909.5	10.08
11 月 6 日 15 时	2 325	2 123.4	1 932.8	1 909.1	10.09
11 月 6 日 16 时	2 276	2 122.9	1 961.7	1 909.1	10.07
11 月 6 日 17 时	2 325	2 122.9	2 030.1	1 908.8	10.08
11 月 6 日 18 时	2 402	2 122.7	2 155.1	1 908.6	10.09
11 月 6 日 19 时	2 634	2 125.1	2 071.4	1 908.3	10.20
11 月 6 日 20 时	2 386	2 125.6	2 132.8	1 908.2	10.23
11 月 6 日 21 时	2 468	2 126.1	2 376.7	1 908.3	10.25
11 月 6 日 22 时	2 564	2 127.5	2 436.4	1 908.6	10.29
11 月 6 日 23 时	2 268	2 129.9	2 092.2	1 909.6	10.35
11 月 7 日 0 时	1 756	2 130.8	1 549.6	1 909.4	10.39
11 月 7 日 1 时	1 485	2 131.1	1 303.5	1 909.6	10.39
11 月 7 日 2 时	1 354	2 131.8	1 052.0	1 909.4	10.43
11 月 7 日 3 时	1 268	2 132.0	1 014.8	1 909.3	10.45
...
11 月 10 日 6 时	1 521	2 167.8	1 288.6	1 917.0	11.57
11 月 10 日 7 时	2 512	2 168.4	2 255.0	1 917.2	11.59
11 月 10 日 8 时	2 926	2 169.2	2 659.4	1 917.1	11.62

根据表 2 中的数据绘制连续 7 d 的实时产销差率变化曲线,如图 2 所示。理论上,正常用水情况下,区域内实时产销差率相对比较稳定,产销差率的累计增长便于寻找漏点发生的时间。以 A7 分区为

例,正常用水情况下,取 7 d 滚动产销差结果的 95% 置信区间,则 1 d 内产销差率一般在 9.56% ~ 10.02%。从图 2 则可以明显地看到,在 11 月 6 日实时产销差率开始波动上升,截至 11 月 10 日 8 时

实时产销差率由 10.04% 升至 11.62%，上升了 1.58%，后续实时产销差率仍持续上升。11 月 10 日 8 时 A7 分区的移动平均供水量为 2 169.2 m³/h，由于对数据进行了移动平均计算，漏损在数据中的体现会存在滞后性，因此判断此时漏点流量至少已经大于 34 m³/h。

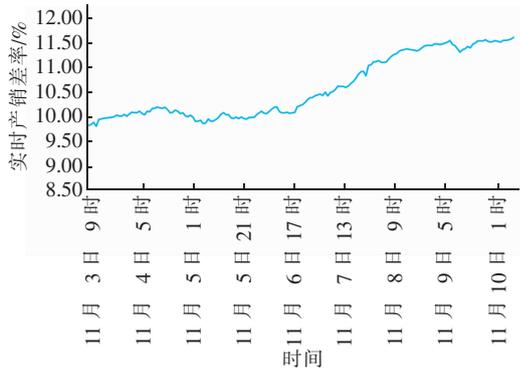


图2 A7分区连续7d内实时产销差率变化曲线

Fig.2 Change of real-time NRW rate of A7 partition during seven consecutive days

供水企业 WW 在 11 月 5 日 14 时接到 A7 分区内因燃气管道施工而损坏了供水管道的水管抢修工单，并于 11 月 9 日上午 8 时完结该工单。抢修完成后实时产销差率整体存在波动，但未存在明显下降趋势，判断仍然存在其他漏点。在 11 月 13 日，A7 分区内发现一根 DN160 的 PVC 水管存在破损。排查漏点期间连续 21 d 的实时产销差率变化曲线如图 3 所示。可以看出，滑动窗口经过爆漏抢修时间点后，实时产销差率分别在 11 月 16 日前后小幅下降，11 月 23 日前后大幅下降。

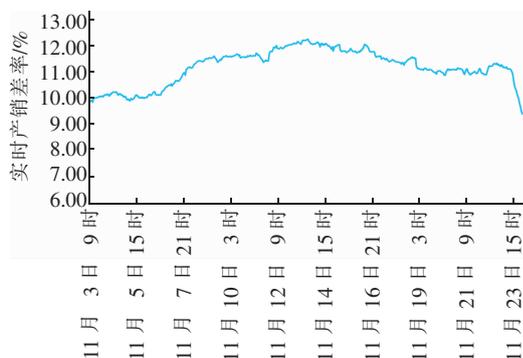


图3 排查漏点期间连续21d的实时产销差率变化曲线

Fig.3 Change of real-time NRW rate for 21 consecutive days during leak detection period

由于计算过程存在移动平均，实时产销差率已经较为平稳，那么可以通过以下方法设置产销差率

发生异常时的报警阈值：①根据 1 周的滑动窗口长度，分别统计 24 个时刻的数值分布，求得每个时刻合适的置信区间上下限，并作为该时刻的报警阈值，且随着时间推移而同时更新；②今日产销差率数值上涨幅度超过前一日当前时刻的 5%（经验数值，由程序系统异常检测模块积累优化后得到）作为报警阈值。

在不复杂的 DMA 分区背景下，基于 DMA 分区计量的实时产销差率可以直观地体现 DMA 分区管理质量，帮助供水企业了解该区域控漏效果，也提高了对漏水点的检出速度。

3 结论

① 鉴于传统计算产销差率的方法存在滞后性，不能很好地反映供水企业的实际产销差情况，提出了实时产销差率概念，并给出了基于 DMA 分区计量的实时产销差率估算方法。案例分析表明，基于 DMA 分区计量的实时产销差率，可以直观地体现 DMA 分区管理质量，帮助供水企业了解该区域控漏效果，提高供水企业管理绩效。

② 估算实时产销差率时，通过数据移动平均的方法，可以降低各种因素对数据的影响波动，从而得到一条相对平稳的产销差率曲线。

③ 目前的计算公式是基于没有发生特别重大的管网事件影响企业产销差率发生突变，如果有影响产销差率的突变因素发生，则需对目前的计算公式进行修正，这也是后续的研究方向。

参考文献：

- [1] 马磊. 从产销差削减研究供水企业的精细化管理[J]. 净水技术, 2019, 38(S1): 345-349.
MA Lei. Fine management of water supply enterprises from reduction of differences between production and sales [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(S1): 345-349 (in Chinese).
- [2] 吴笑哲. 浅谈分区计量(DMA)主动漏损控制的发展[J]. 净水技术, 2018, 37(S2): 108-111.
WU Xiaozhe. Brief introduction of the development and outlook of active water loss control of district metering area (DMA) [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(S2): 108-111 (in Chinese).
- [3] 史绍明, 常永第, 张剑, 等. 从管理角度探讨供水企业产销差控制[J]. 给水排水, 2019, 45(S1): 151-152.
SHI Shaoming, CHANG Yongdi, ZHANG Jian, et al.

- Discussion on the control of NRW in water supply enterprises from the perspective of management [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45 (S1): 151 - 152 (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] 王圣, 杨坤, 高赫余, 等. 上海市中心城区供水产销差的现状及对策 [J]. *净水技术*, 2018, 37 (S2): 104 - 107.
WANG Sheng, YANG Kun, GAO Heyu, *et al.* Current situation and countermeasures of NRW in Shanghai central city [J]. *Water Purification Technology*, 2018, 37 (S2): 104 - 107 (in Chinese).
- [6] 何元春, 王栋, 何正坤, 等. 供水企业产销差率影响因素定量分析模型 [J]. *城镇供水*, 2019 (3): 86 - 92.
HE Yuanchun, WANG Dong, HE Zhengkun, *et al.* Quantitative analysis model of influencing factors of production and sales difference rate in water supply enterprises [J]. *Journal of China Urban Water Association*, 2019 (3): 86 - 92 (in Chinese).
- [7] 史绍明, 龙朋成, 赵磊. 产销差率精细化管理实践总结与控制策略 [J]. *供水技术*, 2021, 15 (1): 1 - 6.
SHI Shaoming, LONG Pengcheng, ZHAO Lei. The practice summarizations and control strategies of refined management of NRW [J]. *Water Technology*, 2021, 15 (1): 1 - 6 (in Chinese).
- [8] 刘健, 周峰, 瞿国华. 大口径水表远传监控在营销管理中的作用 [J]. *中国计量*, 2008 (5): 25 - 26.
LIU Jian, ZHOU Feng, QU Guohua. The role of large caliber water meter remote monitoring in marketing management [J]. *China Metrology*, 2008 (5): 25 - 26 (in Chinese).
- [9] 马金锋, 陈求稳, 徐强, 等. DMA 漏损控制大数据处理模式 [J]. *中国给水排水*, 2019, 35 (10): 36 - 41.
MA Jinfeng, CHEN Qiwen, XU Qiang, *et al.* Big data processing mode for district metered area leakage control [J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35 (10): 36 - 41 (in Chinese).
- [10] FARLEY M. 无收益水量管理手册: 供水管网漏损控制指南 [M]. 侯焯堃, 译. 上海: 同济大学出版社, 2011.
FARLEY M. *The Manager's Non-revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses* [M]. HOU Yukun, translated. Shanghai: Tongji University Press, 2011 (in Chinese).
- [11] 林洪桦. 测量误差分析及数据处理若干要点系列论文 (五) —— 移动平均式数据处理 [J]. *自动化与信息工程*, 2020, 41 (5): 1 - 6.
LIN Honghua. Some key points of measurement error analysis and data processing series papers (5) — moving average data processing [J]. *Automation & Information Engineering*, 2020, 41 (5): 1 - 6 (in Chinese).

作者简介: 施凯 (1975 -), 男, 江苏南通人, 硕士, 高级工程师, 苏州吴中供水有限公司总经理, 主要从事供排水行业生产、经营等管理工作。

E - mail: shikai@wuzhongwater.com

收稿日期: 2021 - 09 - 07

修回日期: 2021 - 09 - 23

(编辑: 任莹莹)

水利工程补短板, 水利行业强监管