

标准与规范

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.023

新行业标准下的供水管网漏损控制实践

刘锁祥, 赵顺萍, 刘 阔

(北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100031)

摘 要: 介绍了新行业标准中计量统计范围、水量平衡构成要素、漏损率的国内外对比情况。北京市通过水平衡要素分析漏损控制关键点,结合实际选择以独立计量区(DMA)作为重点的分区计量管理;依托管网GIS系统和水力模型系统调整供水调度方案进行压力优化;逐步更换约146万具智能远传水表;建立用户水量远程监测和分析系统;通过暗漏检测、管网改造等减少了管网破损点。上述措施综合施策,使得北京市市区的漏损率连续10年下降,于2020年降为9.93%。

关键词: 供水管网; 漏损率; 评定指标; 漏损控制

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0130-05

Practices in Water Loss Control of Urban Water Supply Network under New Industry Standard

LIU Suo-xiang, ZHAO Shun-ping, LIU Kuo

(Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: The new industry standard was compared at home and abroad in the aspects of metering statistical range, water balance components and water loss rate. The water loss control practices in Beijing mainly includes analyzing water loss and controlling key points through water balance factors, selecting district metering area (DMA) practically, optimizing water pressure through adjusting the regulations of pumps and valves based on GIS system and hydraulic models, gradually replacing 1.46 million smart water meters, developing water consumption remote monitoring and analysis system, and reducing the breaks in pipes through active leak detection and pipe rehabilitation. The above measures resulted in a consecutive reduction of water loss rate in downtown Beijing for ten years, reaching 9.93% in 2020.

Key words: water supply network; water loss rate; assessment index; water loss control

供水管网漏损控制是世界性难题,漏损不仅浪费饮用水资源,也造成了能源浪费。原行业标准《城镇供水管网漏损控制及评定标准》(CJJ 92—2002)自2002年发布实施以来,对于我国供水单位管网漏损控制起到了积极推动作用。因年代久远,该标准已不能适应供水单位的管理需求和技术水平的发展。2017年对原标准进行了全面修订,其标准架构、主要技术管理内容都进行了较大幅度调整。在分析国内外供水系统漏损要素、总结国内外漏损

控制技术的基础上,开展了背景漏失、计量损失等关键参数测定试验,最终确定了适用于我国实际情况的评定指标及计算方法,提出了漏损控制及评定的关键技术和管理要点。2018年再次对该标准进行了局部修订,进一步明确了漏损率、综合漏损率的逻辑关系,规范了漏损率的计算方法,便于国内国际对标分析。局部修订条文自2019年2月1日起实施后,可以更加有效地指导供水单位开展漏损控制,支撑《水污染防治行动计划》(“水十条”)中“到2020

年,管网漏损率控制在10%以内”的需求。

北京市自来水集团有限责任公司作为该标准的牵头单位,率先依据标准,采取了一系列技术及管理措施,2020年集团和市区漏损率分别达到9.85%和9.93%,实现了漏损率连续10年下降。

1 漏损控制指标的国内外对比

1.1 计量统计范围

国外(如澳大利亚、英国等)基本以居民总表为计量主要依据,还有的国家以房屋面积为计量主要依据^[1],而我国以居民分户水表为计量主要依据,因此我国漏损计量统计范围比国外要复杂得多(见图1)。

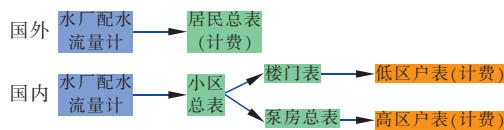


图1 国内外供水系统计量范围对比

Fig.1 Comparison of measurement range of water supply system at home and abroad

在供水厂、管网输配、用户计量收费的整个流程中,很多环节和因素都会出现漏损,各种因素混杂在一起,仅通过供水量、售水量等数据进行漏损的统计计算和评定,并不能完全反映供水单位漏损控制水平^[2]。

1.2 水量平衡构成要素

为进一步明确导致漏损的主要因素,需要进行水平衡分析,对水量构成进行分解。与国际水协的水平衡表相比,我国的水量平衡表构成要素有所不同(见表1)。该水量平衡表可更精准地分析漏损水量,有利于指导各地采取更为有效的漏损控制策略。

表1 我国的水量平衡构成要素

Tab.1 Elements of water balance in China

自产 供水量	供水 总量	注册 用户 用水量	计费 用水量	计费计量用水量
				计费未计量用水量
			免费 用水量	免费计量用水量
				免费未计量用水量
外购 供水量		漏损 水量	漏失水量	明漏水量
				暗漏水量
				背景漏失水量
				水箱、水池的渗漏和溢流水量
	计量损失 水量		居民用户总分表差损失水量 非居民用户表具误差损失水量	
	其他损失 水量	未注册用户用水和用户拒查 等管理因素导致的损失水量		

1.3 漏损率

评价漏损的指标在各国均不相同,主要为漏损率、漏损指数等,考虑到我国水资源严重短缺的实际情况、节约用水是我国的重要国家战略以及与之前我国漏损率指标保持延续性,标准修订后依然将漏损率作为评定指标。

综合漏损率是管网漏损水量与供水总量的比值。漏损率主要用于评定或考核供水单位或区域的漏损水平,供水单位的漏损率应为综合漏损率减去总修正值,全国或区域的漏损率应为各供水单位漏损率按供水总量的加权平均值。漏损率评定标准分为12%和10%两个等级。

1.4 修正值

综合漏损率反映了供水单位的供水效率,这一指标既与技术应用水平、管理精细化程度密切相关,也不可避免地受到供水管网特征的影响和制约,如计量收费点、管线疏密、管网压力、气候条件等。为最大程度减少客观因素影响,科学、公平评定漏损控制水平,新标准从以下4个方面设置了修正值。

① 居民抄表到户水量修正值 R_1 : 自居民抄表到户工作实施以来,计量收费点逐渐从小区入口总表、楼门表向居民分户水表延伸,但各供水单位抄表到户完成情况存在很大差异。对于已实现抄表到户的小区,漏损水量中包含了小区管网漏损。因此,新标准规定了可根据抄表到户水量占供水总量的比例在8%内修正,即 $R_1 = 0.08 \times (\text{居民抄表到户水量} / \text{供水总量}) \times 100\%$ 。

② 单位供水管长修正值 R_2 : 管网漏点数量与管道长度密切相关,在供水量相同时,管网越长,管道连接点越多,漏水概率及漏失水量越大,综合漏损率也会越高。通过对《城市供水统计年鉴》统计数据进行回归分析和公式推导,在新标准中提出了单位供水管长修正公式,即 $R_2 = 0.99 \times (\text{单位供水管长} - 0.0693) \times 100\%$ 。为避免个别供水单位修正值过大,在实际计算中,当 R_2 值 $> 3\%$ 时,应取 3% ; 当 R_2 值 $< -3\%$ 时,应取 -3% 。

③ 年平均出厂压力修正值 R_3 : 由于各地对供水服务压力的要求不同,市政直接供水的建筑层数不同,沈阳、上海等部分城市为低压供水,其他城市直接供水到5层或以上。此外,各城镇的自然地形条件不同,山地、丘陵城市的地面高程起伏很大,为了保证管网不利点位置的用户服务压力,水厂出厂

及管网压力往往较高。水厂出厂及管网压力增加时,管网漏点的漏水流速及漏水量也会增加。新标准规定,年均出厂压力在 0.35~0.55、0.55~0.75、0.75 MPa 以上等 3 个不同区间时,修正值分别为 0.5%、1%、2%。

④ 最大冻土深度修正值 R_4 :我国南北气候差异极大,华南等地区气候温暖,管道埋深较小,东北等寒冷地区冻土深度较大,管道埋深也随之大幅增加,导致使用听漏仪等检漏设备难以进行漏点定位。新标准规定,最大冻土深度 > 1.4 m 时,修正值为 1%。

2 北京市漏损控制技术应用实践

新标准中提出了主要的漏损控制技术,包括分区管理、压力调控等。各地区应先进行水量平衡分析,再结合实际选择适宜的漏损控制技术。北京市 2019 年各类水量构成要素比例为:注册用户用水量占 84.78%,计量损失水量占 6.66%,漏失水量占 5.94%,其他损失占 2.62%。通过水平衡分析结果,北京市重点从以下 5 个方面进行漏损控制。

2.1 分区计量

漏损控制之所以成为行业难题,主要难点就在于漏损水量的空间分布不明,无法准确判断出哪些区域漏损更严重。分区计量管理的核心目的就是量化漏损的空间分布,由大化小,化整为零,通过流量监测和分析,有针对性地开展漏损的定向控制。即使对于县镇一级管网规模比较小的供水单位,分区计量管理仍然是有效、必要的漏损控制手段。

从目前国内实践情况来看,区域管理分区计量方式的规模相对较大,可以实现漏损管理责任、漏损控制指标的逐级分解和传导,数据分析主要采用总分表对比方法,以上海(一级分区 11 个,二级分区 36 个)、天津(一级分区 2 个,二级分区 10 个,三级分区 27 个)、广州等城市为代表。这种模式有利于调动人员积极性,组织人力物力解决问题,但不足以准确定位漏损频发的具体位置。

而北京由于中心城区管网拓扑关系非常复杂,管线呈环状分布、互联互通的网状结构,且管网漏损大部分发生在管网末端的小口径管线,因此主要以独立计量区(DMA)为重点,推进分区计量管理。截至 2020 年底,北京市已建设 DMA 1 426 处(见图 2),DMA 区域覆盖用户占集团用户总数的 49.8%。制定了 DMA 建设和运行管理规定、技术标准等,构

建了以 DMA 为核心、覆盖全集团的漏损管控系统。通过智能化的最小夜间流量分析、总分表水量对比分析及问题处置,区域漏损水平显著下降。

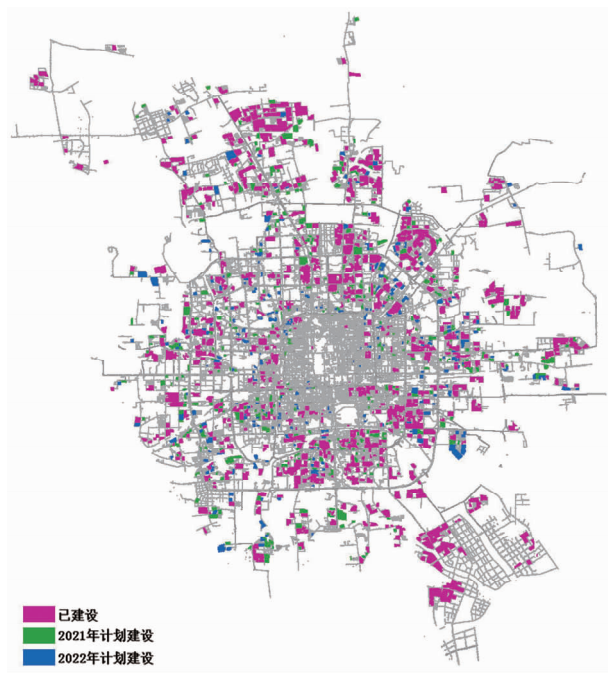


图2 北京独立计量区(DMA)管理示意

Fig. 2 Management schematics of district metering area (DMA) in Beijing

2.2 压力调控

管网运行压力和漏失水量呈正比关系。在保证服务压力的基础上,结合水厂分布、管网特点、用水规律情况,采取分时段减压等方式进行压力控制可有效降低漏损。然而,目前我国大部分供水单位还主要依靠人工调度,对压力控制重视程度不够,压力控制的改善空间很大。

北京市主要采取分区调度、区域控压、小区控压的三级压力控制。

① 分区调度:按照地面高程相近、用水量与水厂能力相匹配的原则,通过调节和关闭边界阀门的方式使水厂供水区域相对独立、分别调度。

② 区域控压:对供水量 $\geq 10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、相对独立的较大供水区域(区域内部无水厂),在进水口加装压力控制设备,降低区域内部管网压力。

③ 小区控压:对终端居民小区或独立计量区,以 21~25 m 为控制节点,对小区内管网压力实施精准管控。

通过深入分析不同季节、不同时段用户用水量变化,及时调整供水调度方案,合理降低管网中心控

制点及出厂压力,从整体上降低管网漏失水量。建立了 DN400 以上管网水力模型,压力模拟精度基本达到 30 kPa 以内。积极稳妥地采用基于水力模拟和智能调度算法的运行方案,优化水泵开关组合及变频泵运行频率,可提高管网压力均匀度,降低出厂入网压力。

同时,依托管网 GIS 系统和水力模型系统,制定、实施分区分级压力控制方案,逐步完成 3 个调度区、4 个压力控制区和 42 处压力控制小区建设。市区各水厂平均出厂压力整体呈下降趋势,且管网压力更加均衡,实现了节水、节能的双重目标。与控压前相比,市区各水厂平均出厂压力下降 34 kPa,年均节水约 $3\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.3 用户监测

建立用户水量远程监测和分析系统的基础是做好计量表具的选型。表具口径应根据用户最大用水量、最小用水量及水量分布情况进行选择,避免以管径为依据可能导致的表具口径偏大问题。从误差计量曲线(见图 3,不同颜色代表不同的样本)可以看出,当用水量小于始动流量 Q_s 时,水表无计量。用水量在 Q_s 至最小流量 Q_1 之间时,计量误差远超过 5%。当水表使用一定年限后,计量稳定性下降,计量水量总体偏少。因此,应优先选用量程比宽、低流速计量性能好的计量表具。在计量表具使用年限过长、稳定性下降后,需要及时进行调整。

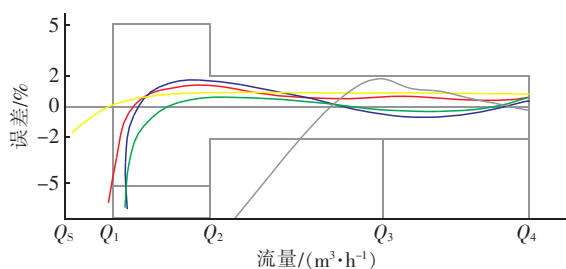


图3 计量误差曲线

Fig.3 Measurement error curve

建立用户水量远程监测和分析系统应从非居民大水量用户开始,逐步向居民用户扩展,最终实现所有终端用户水量远程监测的全覆盖。供水单位应根据自身实际情况,对计量表具类型、机电转换技术、远程通信技术等进行比选论证,确保计量准确、传输稳定。同时,要围绕水量时空分布规律、异常数据甄别等内容,开展多维度的数据深度分析,为查找管理短板、降低漏损水量提供支撑。

北京市自 2014 年以来,从非居民大水量用户开始,逐步建立了用户水量远程监测和分析系统。截至 2020 年底,已更换智能远传水表约 146 万具(其中非居民智能远传水表约 1.5 万具),占用户总数的 26.5%,覆盖水量占用水总量的 55.8%。针对水表检定、信号测试、安装、维修、验收等计量管理的关键环节,完善技术标准、工作流程和管理机制,充实表具维护维修管理人员队伍,保障了智能远传水表数据的上传率和准确率,有效降低了水表计量误差及人为因素导致的水量损失。

2.4 暗漏检测

北京市通过持续开展暗漏检测,充实漏点检测人员队伍,目前专职检漏人员已达到 69 人,完善了暗漏检测的工作流程和工作机制,建立了 DMA 数据跟踪分析、漏水噪声记录仪布设监测、人工查找定位互为补充的常态化管理模式,并不断推进卫星探漏等先进技术手段的应用。随着管网破损隐患检出量的增加,管网破损事故持续减少,由 2006 年的 7.5 处/d 下降至 2020 年的 1.5 处/d。

2.5 管网改造

北京市近年来应用球墨铸铁管、不锈钢管等新型管材有序实施管网改造。“十三五”期间,新建改造管网 1 919 km,完成 1 200 个单位(小区)的自备井置换和 1 225 个老旧小区的内部供水管网改造,管网状况显著改善,有效降低了管网漏失。

3 新标准实施前后的漏损评价

北京市高度重视管网漏损控制,围绕漏失水量、计量损失水量和其他损失水量这三项漏损构成要素,近年来先后制定、实施了两期漏损控制三年行动计划,并依托国家水专项等科研课题,不断推进漏损控制技术研究,多措并举开展漏损控制工作。通过多年的实践探索,最终确定了 DMA 平均夜间最小流量、DMA 平均综合漏损率等分类考核指标及计算方法,对管网管理单位、营销管理单位进行单独绩效考核,初步解决了漏损控制责任主体不明确、行业难题。同时,强化漏损控制的监督管理,将漏损率等指标纳入相关单位年度经营目标责任书,并将指标完成情况与承担单位的工资调整挂钩。

通过上述技术管理措施,北京市漏损率连续 10 年下降,2020 年集团和市区漏损率分别达到 9.85% 和 9.93%,按时达到国务院“水十条”要求。北京市区及集团近年漏损指标统计计算分别见表 2、3。

表2 北京市区近年漏损指标统计计算

Tab.2 Statistical calculation of leakage indexes in Beijing urban area in recent years

%

年度	综合漏损率	总修正值 R_n	居民抄表到户水量的修正值 R_1	单位供水量管长的修正值 R_2	年平均出厂压力的修正值 R_3	最大冻土深度的修正值 R_4	漏损率
2017	15.18	4.05	2.59	0.96	0.50	0	11.13
2018	14.69	4.12	2.71	0.91	0.50	0	10.57
2019	14.17	4.04	2.70	0.83	0.50	0	10.14
2020	14.63	4.71	2.64	1.57	0.50	0	9.93

表3 北京市自来水集团近年漏损指标统计计算

Tab.3 Statistical calculation of leakage indexes of Beijing Waterworks Group in recent years

%

年度	综合漏损率	总修正值 R_n	居民抄表到户水量的修正值 R_1	单位供水量管长的修正值 R_2	年平均出厂压力的修正值 R_3	最大冻土深度的修正值 R_4	漏损率
2017	15.89	5.43	2.75	2.18	0.50	0	10.46
2018	15.94	5.00	3.25	1.25	0.50	0	10.94
2019	15.22	4.80	3.23	1.07	0.50	0	10.42
2020	15.34	5.49	3.15	1.84	0.50	0	9.85

根据标准编制组在2017年漏损调研情况,在全国640个县级以上城市中,漏损率 $<10\%$ 的250个,约占39%;在27个省会及以上城市中,漏损率 $<10\%$ 的10个,约占37%(见图4)。可见,漏损控制问题迫在眉睫,近几年各地供水单位都在开展漏损控制技术的应用,以期不断降低漏损率。

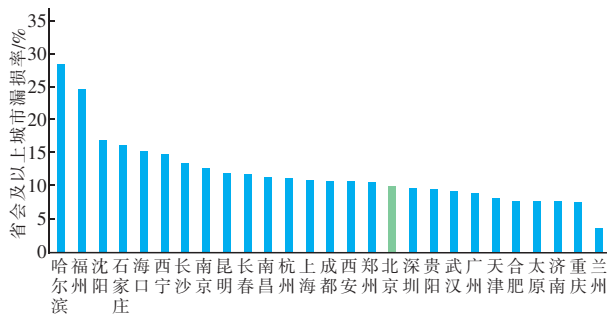


图4 全国27个省会及以上城市漏损率统计

Fig.4 Leakage rate statistics of 27 provincial capitals and municipalities directly under the central government in China

4 结语

① 2019年局部修订后的《城镇供水管网漏损控制及评定标准》(CJJ 92—2002)为供水单位提供了科学合理的水量要素分析统计方法及漏损控制技术,可有效指导供水单位开展漏损控制,评定指标接

轨国际,有利于国际对标分析及评价行业管理水平。

② 北京市的实践证明了建立科学的漏损控制体系必须从水量平衡分析、采取适宜的漏损控制技术、强化管理评价三方面入手。漏损水量分析为有针对性开展漏损控制技术提供依据,通过持续开展背景漏失、计量损失的测试评定,强化技术应用和精细化管理,逐步提高漏损控制准确性和有效性。

参考文献:

- [1] American Water Works Association. Water Audits and Loss Control Programs [M]. 3rd ed. USA: American Water Works Association, 2009.
- [2] 徐强,焦静,赵顺萍,等. 供水管网漏损评价指标对比与改进[J]. 中国给水排水, 2016, 32(20): 14-18.
XU Qiang, JIAO Jing, ZHAO Shunping, et al. Comparison and improvement of assessment indexes of water loss for water distribution systems [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(20): 14-18 (in Chinese).

作者简介:刘锁祥(1964—),男,河北行唐人,博士,教授级高工,主要从事城市供水技术和管理工作。

E-mail: 12877667@qq.com

收稿日期: 2021-03-12

修回日期: 2021-10-25

(编辑:衣春敏)