

水源与饮用水保障

王娴, 陶涛, 严国. 供水管网漏损控制方法与应用成效分析[J]. 净水技术, 2024, 43(9): 54-62.

WANG X, TAO T, YAN G. Leakage and loss control methods and application results analysis in water supply pipelines networks[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(9): 54-62.

供水管网漏损控制方法与应用成效分析

王 娴^{1,2}, 陶 涛^{1,*}, 严 国²

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 上海市嘉定自来水有限公司, 上海 201800)

摘 要 随着经济社会发展, 城镇化进程加快, 水资源供需矛盾短缺日趋严重, 而城市供水管网漏损, 是目前困扰节水的难题之一, 供水管网漏损控制已成为“十四五”城市供水行业的重点工作之一。文章简要介绍了供水管网漏损的原因和主要控制方法。重点结合水司自身特点, 分析了实际工程应用成效, 主要包括: 推进独立计量区(DMA)进行的夜间最小流量监控; 开展日常巡检及周期性检漏; 定期开展水表轮换; 改造老旧管网; 布设管网压力监测点; 加装水池水箱远程监控。而通过各种不同控制手段的结合使用, 有效地控制了管网漏损, 2023 年综合漏损率降低为 10%, 研究成果以期为各水司供水管网的漏损控制提供指导和借鉴。

关键词 供水管网 独立计量区(DMA) 管网检漏 水表轮换 管网改造 管网压力监测

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)09-0054-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.09.007

Leakage and Loss Control Methods and Application Results Analysis in Water Supply Pipelines Networks

WANG Xian^{1,2}, TAO Tao^{1,*}, YAN Guo²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Jiading Water Co., Ltd., Shanghai 201800, China)

Abstract With the development of the economy and society, the process of urbanization is accelerated. The contradiction between water resource supply and demand is becoming increasingly serious. The leakage of water supply pipelines network is one of the problems of water saving. The leakage control of water supply pipelines networks has become one of the key tasks of urban water supply industry in the 14th Five-Year. This paper briefly introduces the causes and main control methods of water supply pipelines network leakage. Focusing on analyzing the actual engineering application effectiveness based on the characteristics of the water supply company itself, mainly including: monitoring the minimum flow at night by constructing on district metered area (DMA); carrying out daily inspection and periodic leakage detection; regular water meter rotation; reconstructing old pipelines network; setting up pressure monitoring points and adding remote monitoring of water tank. By combining various control methods, the water supply pipelines networks leakage has been effectively controlled and the comprehensive leakage rate of 2023 has been reduced to 10%. The research results are expected to provide guidance and reference for the leakage control of the water supply pipelines network of various water supply companies.

Keywords water supply pipelines networks district metered area (DMA) pipelines leakage detection regular water meter renewal pipelines network reconstruction pipelines pressure monitoring

[收稿日期] 2024-02-26

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2023YFC3208202)

[作者简介] 王娴(1997—), 女, 硕士, 研究方向为城市供水管网管理, E-mail: Wendy_x@tongji.edu.cn。

[通信作者] 陶涛, 女, 教授, 研究方向为城市水资源与给排水管网设计运行最优化, E-mail: taotao@tongji.edu.cn。

近年来,我国不断加强城市供水管网漏损控制,取得明显成效,城市水资源利用效率显著提升,漏损率不断下降,平均管网漏损率为 15.66%^[1],有力推进了城市绿色低碳发展,但与部分平均管网漏损率仅为 6%~8%^[1]的国外发达国家相比,我国管网的漏损率相对较高,水资源不平衡、不充分的问题仍然较为突出,相比于国际先进的漏损控制水平还有较大的进步空间^[2]。

2022 年 1 月 19 日,住房和城乡建设部办公厅、国家发展改革委办公厅联合印发了《关于加强公共供水管网漏损控制的通知》。通知中明确:到 2025 年,全国城市公共供水管网漏损率力争控制在 9% 以内,这是对供水管网漏损控制的高要求,对缓解水资源的供需矛盾、减少供水企业的成本负担具有重

要意义。

加强漏损控制是城市节水的必由之路,是供水安全的重要保障,为了控制漏损采取的各类综合措施更是供水高质量发展的基础与抓手^[3]。

1 漏损原因分析

1.1 水量平衡分析

国际水协总结制定了有关供水系统的“水平衡”方法和标准,对产销差进行了分类量化^[4],住房和城乡建设部发布的《城镇供水管网漏损控制及评定标准》(CJJ 92—2016)以国际水协推荐的水量平衡表为基础,结合国内实际情况进行了适当修正,制定了国内水量平衡表(表 1),更易于理解和进行水平衡分析,采取更为有效的漏损控制方法。

表 1 国内的水量平衡
Tab. 1 Water Quantity Balance at Home

注册用户用水量				漏损水量						
计费用水量		免费用水量		漏失水量			计量损失水量		其他损失水量	
计费计量用水量	计费未计量用水量	免费计量用水量	免费未计量用水量	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	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	未注册用户用水和用户拒查等管理因素导致的损失水量

1.2 漏损主要原因

根据国内水量平衡表分析,管网漏损主要原因包括管网损坏、水表计量不准、二供设施设备故障及其他人为偷水拒查。其中管网损坏的原因一般包括设计不合理、施工质量不达标、管材质量差、年久老旧及外力损坏等。计量损失通常是超期服役的水表由于部件磨损和老化等原因综合计量准确率低,计量误差大;选取的表具不符合实际水量;长期使用的水表内部水垢积累,堵塞进水口引起计量误差;表黄、表糊等使水表数字显示不清,导致抄表作业时发生错读、误读。二供设施设备故障一般发生在楼宇立管入户处及二供泵房,由于房屋沉降导致接头松动或弯头处断裂;二供泵房内的漏水通常由于巡检不到位或信息化程度不高,无法实时在线监测供水池的液位、流速、泵站的开关等参数,以及自动预警参数超限、设备故障等异常情况。

2 漏损控制方法

根据漏损原因,对漏损的控制方法可分为供水管网(包括市政管网、小区管网)的漏失控制、计量损失的控制、二次供水设施设备漏失的控制及其他

损失的控制。

2.1 供水管网的漏失控制

2.1.1 推进独立计量区(district metered area, DMA)建设,减少小漏点大水量

DMA 是通过安装边界流量仪或关闭相关阀门,将供水管网划分为一定数量的 DMA,便于进行流量监测及日常管理,分析流量数据,评估漏损水平^[5]。水司可以根据实际需要和辖区现状采取不同层次的分区计量,一般首先建设一级分区,掌握整个供水区域内的用水和漏损情况,自上而下,完成所有级别的分区建设周期较长、资金投入较大、经济效益相对较小,且小区级漏点更具隐蔽性,因此可以优先建设小区级 DMA,精准控制漏损。

通过 DMA 建设,可以对夜间最小流量进行监控,对超出夜间最小流量限制的小区进行重点检漏,把好最后一级的漏损控制。小区级 DMA 可以有针对性地识别漏损可能最大的区域,确定重点漏损监测控制区域,利用信息化监测快速发现流量变化,识别现新增的管道漏损;缩小漏损点定位查找区域,辅助漏损点定位^[4]。深化分区建设与管理,可以掌握

辖区内用水量和漏损情况,以精细化的数据分析达到降低漏损量的目的,实现节能减耗^[6],提高管理水平。

2.1.2 加强巡检与检漏,发现和修复隐蔽漏点

加强日常巡检,消除设施埋压等漏损隐患,及时发现并修复消火栓漏水,避免外力导致管损事件发生,加大老旧改造小区、拆迁地块、施工工地、高危管网区域的专项巡检频次。

周期性检漏可以发现并修复地下暗漏点,确定经济有效的检漏方法对控制漏损、降低漏损率来说至关重要。检漏可分为被动检漏和主动检漏。被动检漏法是指明漏点的定位、开挖和维修,但仅用该法存在检漏周期较长、检漏不及时的问题^[7],难以有效控制管网漏损。

随着漏损控制要求的提高和控制难度逐年提升,漏损检测的技术不断发展,管网检漏策略逐渐由被动转向主动,使用更先进的设备与技术。常用主动检漏方法分为基于硬件与基于软件两种。基于硬件的检漏方法包括探漏仪、智能球、探地雷达、红外射线仪器法、超声波流量计^[8]、分布式光纤传感、Sahara 技术等。基于软件的检漏方法包括 Angle 法^[9]、压力相关漏损定位 (pressure-dependent leakage detection, PDL) 法^[10]、各类基于人工智能和水力模型的管网漏损预测模型^[11-13]等。

2.1.3 加快管网更新改造,减少远期漏点

老旧管网的改造,是解决老旧管网常修常漏的根本之策。管网的耐压性差、材质低劣,易造成管网爆裂,造成水量漏损;而管网的管龄,也是造成漏损水量的管网内在因素。管网改造以现状供水管线为基础,根据现状管道管材、管道管龄、维修次数、供水范围、管道所在道路等级停水影响范围、改造现场施工条件等因素对供水管线进行安全评估^[14],制订改造计划,选择优质管材,明确改造方案,加强施工监理,确保施工质量,减少远期管损引起的漏损。目前供水管网改造多以开槽排管为主,部分特殊路段选取其他工艺进行施工,包括:为了满足城市面貌要求,改架空桥管为拖拉管;穿越铁路、高架桥或高速公路路段选用拖拉管或顶管^[15]施工;交通繁忙地段选用非开挖修复技术^[16]等。

2.1.4 布设管网压力监测点,减少和及时发现爆管

管网发生漏损时,一般先是暗漏,累积到一定程度后发展为明漏,管道损坏导致周边压力突降 0.03

MPa 以上,道路发生明显积水影响交通或者周边建筑物进水需要紧急关闭阀门的即为爆管^[17]。根据《城镇供水管网运行、维护及安全技术规程》(CJJ 207—2013),布置管网测压点位的原则:根据管网供水服务面积设置,每 10 km² 不应少于 1 个测压点,管网系统测压点总数不应少于 3 个,在管网末档位置上应适当增加设置点数。推行分区调压管理模式,通过流量、压力的在线监测分析,掌握区域用水规律,调整供水压力分布,促使区域管网压力平衡和流量的稳定,通过实时监测压力监测点数据,设置报警阈值,可以识别发生爆管的可能性,快速锁定漏点定位范围。

2.2 计量损失的控制

加强水表采购入库、领用出库、安装上线、维修更换至报废的水表全生命周期管理。水表有着强制检定、限期使用、到期轮换的要求,表具的准确计量对计量损失的控制有着至关重要的作用。严格落实表具周期轮换机制,遵循合理选型策略,根据用水量选用符合用水特点的水表,注重大用户的水表匹配程度。

2.3 加快二次供水信息化建设

加快二次供水信息化建设,建立在线监测与远程控制平台,接入水池水箱水位数据与泵房视频监控,远程启闭水泵,设置设备故障报警、闯入报警及溢流报警,推进漏损精细化管理。

2.4 其他损失的控制

针对未注册用户用水和用户拒查等管理因素导致的损失,建立全面、完善的供水稽查制度,避免用水不规范引起的供水管网运行漏损情况发生。

3 漏损控制措施与成效

2018 年前,上海市 J 水司综合漏损率达 16.5% 以上,为降低漏损,水司采取各类控制措施,从分区计量、检漏与巡检、水表轮换、管网改造、压力监测、二次供水 6 方面开展漏损控制工作,具体举措与成效如下。

一是推进 DMA 建设,2018 年开始实施一级分区计量项目,以自然地理条件为依据,结合 4 个供水服务管理站管辖范围,共安装 DN200~DN1000 流量计 25 个,将供水区域划分为 9 大区块,形成一级分区(图 1),优化各水厂向各片区的供水量,释放水厂设计供水能力,使水厂辐射范围均匀,避免单个水厂

为了供给远端管网不得不调高管网供水压力,增加漏损风险与漏损量。目前全区供水管网平均压力为 0.25 MPa,实现了平稳供水,未发生管网压力过高引发的爆管事件。同时通过一级分区,便于实现分区计算产销差,确定漏损重点区域,以采取措施有针对性地降低漏损,如新城所在片区,分区后发现其漏损率较高,因而采取了更换用户水表、提高计量精度、催缴滞纳金、实施管网改造等措施,3 年内漏损率从 51.32% 下降到 37.15%,累计下降 14.17%,取得显著成效,但该片区漏损率仍较高,后续仍将继续探讨该区域漏损原因以对应解决。

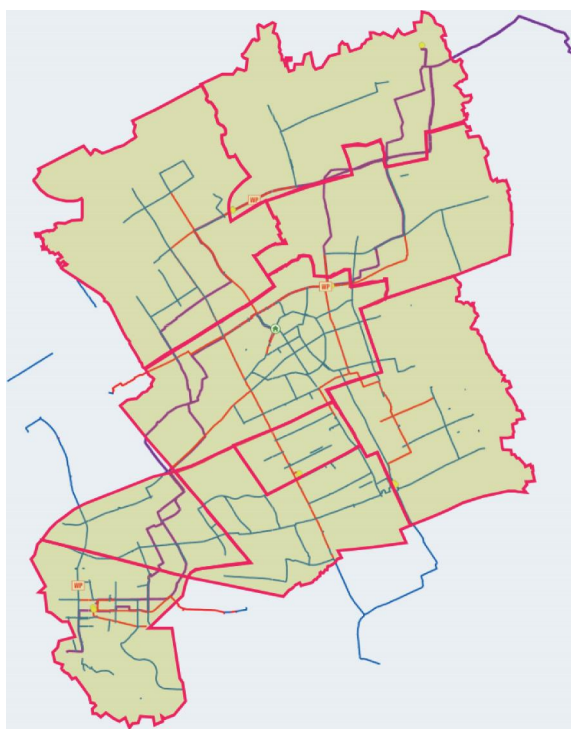


图 1 9 大区块

Fig. 1 Nine Major Blocks

2019 年开始建设小区级 DMA,截至 2023 年共建成 465 个小区级 DMA,安装 DMA 流量仪 673 台,建成 DMA 小区考核表全覆盖。利用 DMA 在线监管平台,对夜间最小流量值超过 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 小区开展专项检漏。其中 2021 年发现并修复漏点 172 个,当年约节约水量为 96.23 万 m^3 ,2022 年发现并修复漏点 31 个,当年约节约水量为 144 万 m^3 ,修复后仍有 8 个小区夜间最小流量大于 $3 \text{ m}^3/\text{h}$,确定为真实用水小区,其余小区夜间最小流量均降至 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下。2023 年为进一步控制漏损,增设 KL (KL=最小夜间流量/平均流量) 值,并对 KL 值超 0.5 的小区进行

重点检漏,1 年间共发现并修复 236 个漏点,约节约 460.72 万 m^3 水量。经过分区检漏并修复,掌握夜间真实用水量大于 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 的小区,不再对其重复检漏,对夜间流量虽然不超 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 但仍存在漏损可能的小区设置 KL 值重点检漏,进一步降低全区漏损。

二是加强检漏与巡检,制订并实施全供水区域巡检及检漏计划,其中巡检按 4 个供水服务管理站所管理的范围划分,采取每年 2 次全覆盖的频率,主要发现并修复故障阀门、埋设设施、消防栓损坏、桥管放气阀漏水等问题;检漏以 9 大片区为分界实施,实现每年 3 次全覆盖,因辖区内管网埋设不深,故以传统音听法为主,主要发现并修复市政管网暗漏漏点。2018 年—2023 年累计修复近 1 600 处漏点,以每处漏点每分钟漏水量为 2 L、漏水 1 年计,累计减少漏水量约为 168 万 m^3 。

在检漏技术应用方面,试点使用 Sahara 技术(图 2)。由于漏点所在道路为重要道路,大面积开挖将影响周边交通,通过 Sahara 技术可以准确定位 DN1500 原水管上的漏点,减少开挖面积。首先调整流速、流向,使水流沿管网从检测起点向检测终点流动,接着拆除检测起点南侧桥管的透气阀,将带有牵引伞的传感器插入管道中,牵引伞依靠水流的推力拉着传感器在管道中前行,实施检测。当发现漏点需要定位时,使用跟踪器在地面进行定位,此跟踪定位器是一种频率极其低的声波发射器,在检测管道中串式传感器头部的微型接收器能收到其发出的信号,可跟踪 10 m 埋深的金属干管中的传感器。此次检漏共发现 1 处漏点,确定漏点定位后,回收传感



图 2 检测起点及终点

Fig. 2 Starting and Ending Points of Detection

器及录音,安排施工队维修,漏点定位处开挖工作面积为 $2\text{ m}\times 2.7\text{ m}=5.4\text{ m}^2$,相较于全长开槽排管($630\text{ m}\times 2.7\text{ m}=1\,701\text{ m}^2$)约减少开挖 $1\,695.6\text{ m}^2$ 。

三是减少计量损失,严格落实表具周期轮换机制,居民水表 6 年轮换 1 次,将普通表轮换为智能远传表,非居民用户根据每月用水量大于等于 3 000、1 000~3 000、1 000 m^3 及以下分批更换,将普通表轮换为智能表。非居民用户换表过程中注重大用户的水表匹配程度,根据旧表用水量复核水表口径,避免出现“大表小用量”“小表大用量”的现象,根据用水类别选择水表类型,一般生活水表采用电磁表,数据传输频率为 3 次/d,为用户用水监督提供数据基础,消防水表采用 GSM 无线远传水表,数据传输频

率为 1 次/d,2021 年—2023 年共轮换 3 240 只大口径水表。

四是实施管网更新改造,对于辖区内的高危管网及老旧管网,做好摸排,结合管龄、管径及管材,结合城市道路搬迁改造,制订改造计划。2018 年开始改造以来已陆续改造约 202 km 老旧管网,目前辖区内管龄超过 50 年的水泥管已改造完成,总长度 77.10%管道敷设时间为 2000 年以后,74.28%的管材为优质管材(表 2)。改造中控制管道基础和回填质量、接口的施工质量、管道试压规范,5 年间 DN50 及以上管网日常抢维修次数由 294 次下降至 188 次,DN100 及以上管网日常抢维修次数由 168 次下降至 84 次(图 3),管网运行更加平稳。

表 2 管网改造前后管材、管龄对比

Tab. 2 Comparison of Pipe Materials and Pipe Ages before and after Pipelines Network Reconstruction

分类		改造前		改造后	
		长度/km	占比	长度/km	占比
建设年限	2000 年前	379.72	27.29%	324.23	22.90%
	2000 年后	1 011.85	72.71%	1 091.48	77.10%
材质	落后管材(灰口铸铁管、混凝土管、生铁管、白铁管等)	389.58	28.00%	364.17	25.72%
	优质管材(钢管、球墨铸铁管、PE 管)	1 001.99	72.00%	1 051.54	74.28%
	合计	1 391.57	100.00%	1 415.71	100.00%

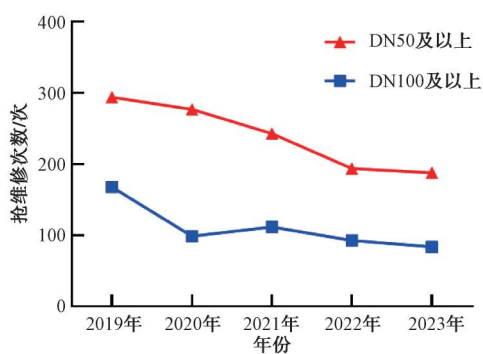


图 3 历年管网日常抢维修次数

Fig. 3 Pipeline Maintenance Frequency over the Years

五是增加布设管网压力监测点,根据区域漏损水平陆续增设测压点,其中 2018 年前已设置 58 个,2019 年—2023 年陆续增设 32 个,目前已累计设置 90 个测压点,设置密度达 $4.5\text{ km}^2/\text{个}$ (图 4),远远高于标准中 $10\text{ km}^2/\text{个}$ 。按供水分区进行分区调压管理,实行“压力爆降、水量骤升”联动报警机制,将管网压力与水厂出厂流量进行联动分析,减少误报和漏报,分区设置压降报警阈值为 $0.03\sim 0.04$

MPa,水厂出水瞬时流量骤升变化率阈值为 10%,精准识别发生爆管的可能性,快速锁定漏点定位范围,第一时间发布管网压力、调度指令和阀门远程控制要求。自 2018 年上线以来已主动精准识别爆管 20 余次,识别精度达 80%以上,具备 10 min 内定位爆管位置的能力,有效提高爆管应急响应时效。同时辅助定位漏水位置 70 余次,平均止水时长从 4 h 减少至 1 h。

六是加装远程液位显示器控制水池水箱水位,建设二次供水管理平台,当液位高出预警线即将渗漏时及时报警、及时前往现场查找原因并修复;加强日常巡检,防患于未然。2023 年第三季度平台搭建以来,初步接入 10 个小区,目前二供平台误报率偏高,需结合现场监控及现场巡检综合判断是否确实溢流。

通过多措并举,J 水司综合漏损率逐年下降。2016 年前,综合漏损率超 20%(不含向乡镇水厂供水),2023 年已降至 10%。根据住房城乡建设部每年发布的《城市建设统计年鉴》,可以计算得出全国



图 4 测压点分布

Fig. 4 Distribution of Pressure Measurement Points

及上海的综合漏损率,对 2018 年以来全国及上海城市公共供水漏损率进行统计计算,与 J 水司综合漏损率进行对比,结果如表 3~表 5 及图 5 所示。

从对比结果可以看到,2018 年—2022 年来,

J 水司平均综合漏损率为 13%,相对于全国及上海平均漏损率的 14% 及 15% 已处于较低水平。同时根据相关资料,部分发达国家漏损率仅为 6%~8%^[1],J 水司仍需继续采取措施进一步降低漏损率。

4 漏损控制技术经济评估

供水管网漏损控制措施的技术经济评估包括经济效益评估和社会效益评估,其中经济效益包括日常维修费用减少、水厂制水费用降低;社会效益包括供水稳定性和可靠性提高、水质安全性提高、爆管风险降低等。

经济效益评估模型的基础是经济学原理、数学建模与应用统计,评估指标包括投资回报率(return on investment, ROI) [式(1)]、净现值(net present value, NPV) [式(2)]^[18]和成本效益比(benefit cost ratio, BCR) [式(3)]。模型的输入参数有管网改造成本、每年管网维修成本、四级分区流量计等设备成本、水表轮换成本、巡检与检漏外包成本、信息化平台建设成本,输出参数为预测经济效益。当输出与实际接近时,认为模型具有良好的准确性,如偏差较大,可以通过更换算法、调整参数或更换目标函数和约束条件以优化模型^[18]。

$$R = \frac{P}{I} \times 100\% \tag{1}$$

表 3 2018 年—2022 年全国综合漏损率
Tab. 3 Comprehensive Leakage and Loss Rates during 2018 to 2022 Nationwide

年份	供水总量/m ³	售水量/m ³	免费供水量/m ³	漏损水量/m ³	综合漏损率
2018 年	5 594 139 万	4 635 177 万	141 026 万	817 937 万	14. 62%
2019 年	5 779 889 万	4 806 508 万	156 980 万	816 401 万	14. 12%
2020 年	5 864 542 万	4 911 973 万	167 160 万	785 408 万	13. 39%
2021 年	6 307 552 万	5 340 309 万	162 832 万	804 412 万	12. 75%
2022 年	6 354 506 万	5 373 083 万	162 370 万	819 053 万	12. 89%

表 4 2018 年—2022 年上海综合漏损率
Tab. 4 Comprehensive Leakage and Loss Rates during 2018 to 2022 in Shanghai

年份	供水总量/m ³	售水量/m ³	免费供水量/m ³	漏损水量/m ³	综合漏损率
2018 年	305 508 万	243 514 万	12 760 万	49 234 万	16. 12%
2019 年	297 923 万	239 940 万	11 205 万	46 778 万	15. 70%
2020 年	288 577 万	235 881 万	8 243 万	44 453 万	15. 40%
2021 年	300 783 万	247 697 万	8 957 万	44 130 万	14. 67%
2022 年	292 327 万	238 871 万	8 791 万	44 664 万	15. 28%

表 5 2018 年—2023 年 J 水司综合漏损率
Tab. 5 Comprehensive Leakage and Loss Rates during 2018 to 2022 of J Water Supply Company

年份	供水总量/m ³	售水量/m ³	免费供水量/m ³	漏损水量/m ³	综合漏损率
2018 年	13 606 万	10 519 万	843 万	2 245 万	16.50%
2019 年	12 352 万	10 269 万	489 万	1 595 万	12.91%
2020 年	11 507 万	9 900 万	0	1 607 万	13.97%
2021 年	12 099 万	10 618 万	243 万	1 238 万	10.23%
2022 年	12 044 万	10 611 万	310 万	1 123 万	9.32%
2023 年	12 384 万	11 114 万	31 万	1 239 万	10.00%

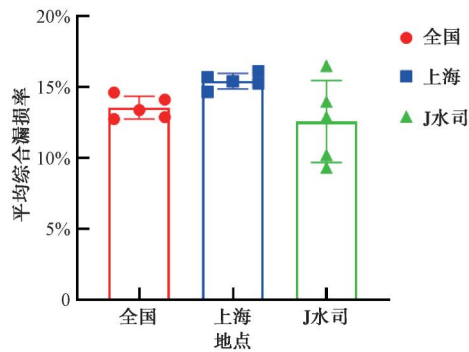


图 5 J 水司与全国及上海城市公共供水综合漏损率对比

Fig. 5 Comparison of Comprehensive Water Leakage and Loss Rates of J Water Supply Company and Shanghai and Rest of China

$$N = \sum \frac{C_1 - C_0}{(1 + i)^t} \quad (2)$$

其中: R ——ROI;

N ——NPV, 万元;

P ——净利润, 万元;

I ——总投资, 万元;

C_1 ——第 t 年收益, 万元;

C_0 ——第 t 年支出, 万元;

i ——基准收益率;

t ——期限, 年。

$$B = \frac{A}{C} \quad (3)$$

其中: B ——BCR;

A ——累计效益, 万元;

C ——累计成本, 万元。

成本效益比是通过衡量投资项目效益和成本之间关系的来评估管理费用的经济性。一般情况下, 如果成本效益比大于 1, 说明费用是经济的; 如果成

本效益比小于 1, 则费用不经济。

在水司实际经营中发现, 6 项措施中, DMA 对区域漏损率的控制最为显著, 其社会效益大于经济效益, 减少了区域漏损过大导致用户水压不足, 避免了为保证用户正常用水而加压供水带来的能耗增加, 最直接保障了用户的生活质量、提高服务满意度。检漏与巡检的性价比最高: 一是由于前期发现的漏点数量多快速降低了全区漏损; 二是形成了频繁漏水的管道清单, 为后续制定管网改造计划提供参考; 三是检漏队伍外包, 水司资金投入少。水表轮换对水司而言, 往往是提高计量精度后发现从市政管网到用户小表间的漏水量增加, 在漏点修复前反而会导致漏损率上升, 但由于漏损控制的实际需要以及作为民生企业为用户提供准确水费账单的义务, 必须严格按照《中华人民共和国计量法》实施水表轮换。管网改造作为漏损控制措施的根本之策, 是一次性经济投入最高的措施, 以 2023 年为例, 改造费用为 2 985.3 万元, 预计减少漏损率为 0.2%, 合计为 47.55 万元, 减少维修 150 万元, 以管网运行 35 年、2% 为基准收益率计, 管网改造 BCR 为 4.15, 大于 1, 是经济的漏损控制方式。同时, 管网是供水企业资产管理的重要组成部分, 管网改造提高了供水安全性。压力监测点布置是加快爆管修复的必要措施, 其社会效益在于爆管时尽快确定关阀策略, 减少用户因断水造成的不便时间。二次供水管理平台建设是上海市加快供水企业接管二次供水小区的必然之举, 正在搭建阶段, 经济效益不明显。

降低漏损率, 减少水资源浪费是我国的重大战略需求, 尽管与其他建设项目相比, 其经济效益不高, 但保障饮用水水平稳与安全, 能够提高居民的生活质量, 提高人民的生活满意度和幸福感, 促进当地经济发展^[19], 具有积极的社会效益。

为完成 2025 年漏损率达到 9% 的要求,对 J 水司进行 2024 年管网漏损控制投入产出分析。投入部分,预计 2024 年投入管网改造成本为 3 553.83 万元,管网维修成本为 2 000 万元,四级分区流量计等设备成本为 300 万元,水表轮换成本为 3 573 万元、巡检与检漏外包成本为 350 万元,信息化平台建设成本为 170 万元。收益部分,以年供水量 12 500 万 m^3 计,漏损率下降 1% 可节约水量 125 万 m^3 ,以上海市第一阶梯水价 2.25 元/ m^3 计可节约 281.25 万元,预计节约管网维修费用为 200 万元。管网改造、巡检与检漏、信息化平台建设以管网运行 35 年为统计周期,2% 为基准收益率,按投入比例计收益费用,则 NPV 分别为 4 298.3 万、423.3 万、205.6 万元,BCR 均为 1.21,说明管网改造、巡检与检漏、信息化平台搭建的资金投入是经济的。而管网维修、水表轮换、四级分区流量计等设备安装 BCR 小于 1,说明不经济,这是由于漏损率已处于较低水平,这 3 项措施周期短,更多产生社会效益,对提高供水稳定性、提高用户满意度、加强管网资产管理仍十分重要,继续 DMA 建设是持久保持较低漏损率的必由之路。

5 下阶段漏损率控制展望

目前 J 水司漏损率虽然已经处于较低水平,但随着节水社会的发展,供水总量的增幅将会放缓乃至减少,现状漏损点位所占比例将相应增加。同时 J 水司辖区内有较多的农村管网,随着装表到户的进程这部分漏损将不再藏匿于总表之后,漏损率将进一步上升。面对 2025 年漏损率达到 9% 的要求,本文将从以下几方面迎接挑战和压力。

5.1 建立在线水力模型

结合地理信息系统(GIS)、监督控制和数据采集(SCADA)系统等规划建立在线水力模型,实现水量合理调度,在模型评估指导下优化压力分区,论证其在复杂、低压供水区域的可行性、经济性,引入管段流量及管段长度两个重要性参数,优化压力监测点的数量和位置,提高重要管段的爆管监测覆盖率^[20]。

5.2 完善管网评估体系

完善管网基础信息,将维修信息录入 GIS,积极响应上海市城市供水管网安全风险评估要求,评估气温、埋深、车流、运维状态等对不同口径及不同管

材管道的影响,形成辖区内城市供水管网结构安全风险评估体系,指导管网风险排查、更新改造及特定区域的安全保护、隐患消除工作。

5.3 优化漏损控制相关信息化平台

当前漏损平台已实现对大用户、夜间最小流量等数据的监控,下一步将试点安装管道噪声检测仪,将数据接入系统,在无人值守的情况下自动收集供水管网的漏水信息,利用信息化手段增加检漏频次。同时研究漏损控制模型,实现对管网漏损信息的实时监测,通过配套建设具有关阀搜索、状态仿真,事故分析、决策调度等功能的决策支持系统。对于二供平台误报率较高的问题,将积极寻求解决方法,尝试对数据进行有效算法分析,找出报警特征,对误报警进行优化处理,从而提高准确性。

5.4 加强漏损控制技术经济评估

当前管网漏损控制措施已基本达到经济水平,下一步将加强成本效益分析,做好技术经济评估,在保持经济水平基础上持续降低漏损率。

6 结论

城市供水管网作为城市的“大动脉”,或由于计量、管网质量、人为因素造成的漏损不仅给供水企业造成了巨大的经济损失,而且造成了水资源的浪费。J 水司结合自身实际,在漏损控制实践中加强 DMA 建设,进行夜间最小流量监控,及时发现小口径管网的漏损;加强管网的日常巡检及周期性检漏,发现并修复地下暗漏点;切实做好水表轮换,减少表具计量引起的漏损;加密管网监测点的布置,识别爆管可能;改造老旧管网,从源头解决管网漏损;加装水池水箱远程监控,及时报警防止溢流。通过各种不同控制手段的结合使用,从整体上提高供水管网的管理水平和技术水平,为供水企业稳健降低供水管网漏损率提供实践参考与借鉴。

参考文献

- [1] 林海珍. 城市供水管网漏损现状分析及控制技术应用[J]. 石子科技, 2023(5): 69-71.
LIN H Z. Analysis of the current leakage situation in urban water supply networks and application of leakage control technology [J]. Shihezi Science and Technology, 2023(5): 69-71.
- [2] 曹徐齐, 阮辰旻. 全球主要城市供水管网漏损率调研结果汇编[J]. 净水技术, 2017, 36(4): 6-14.
CAO X Q, RUAN C M. Compilation of investigation on water loss rate of water supply pipelines in global major cities [J].

- Water Purification Technology, 2017, 36(4): 6-14.
- [3] 张志果. 论城市公共供水管网漏损控制的内涵与要求[J]. 净水技术, 2022, 41(4): 1-3, 22.
ZHANG Z G. Discussion on connotations and requirements of leakage control for public water supply networks [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(4): 1-3, 22.
- [4] 马越凡, 张哲. 浅谈供水管网漏损控制在无锡市部分小区中的实践[J]. 城镇供水, 2021(5): 35-40, 47.
MA Y F, ZHANG Z. The practice of water supply network leakage control method in some communities of Wuxi City [J]. City and Town Water Supply, 2021(5): 35-40, 47.
- [5] 刘子叶, 姜灿鹏, 许丽达, 等. 供水管网DMA分区与压力控制[J]. 给水排水, 2023, 49(7): 119-124.
LIU Z Y, JIANG C P, XU L D, et al. Partition of district metered areas and pressure control in water supply network [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(7): 119-124.
- [6] 张剑惠, 车通, 朱杰, 等. 漏损检测技术在智慧供水系统中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 35-43.
ZHANG J H, CHE T, ZHU J, et al. Application of leakage detection technology in smart water supply system [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 35-43.
- [7] 李彩霞, 马运东, 孟国军, 等. 供水管网产销差率分析及其漏损控制对策研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(31): 98-101.
LI C X, MA Y D, MENG G J, et al. Analysis of non-revenue water in water supply network and research on leakage control strategies [J]. Technology Innovation and Application, 2023, 13(31): 98-101.
- [8] 蒋莉蓉. 市政管网漏损检测技术与策略对管网建设的启示[J]. 城镇供水, 2023(6): 39-43, 73.
JIANG L R. The enlightenment of leakage detection technology and strategy for municipal pipe network construction [J]. City and Town Water Supply, 2023(6): 39-43, 73.
- [9] 王杉月, 张葵, 艾静, 等. 供水管网漏损检测与识别技术研究进展[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 49-55.
WANG S Y, ZHANG K, AI J, et al. Research progress of leakage detection and identification technology for water supply distribution networks [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 49-55.
- [10] WU Z Y, SAGE P, TURTLE D. Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2010, 136(1): 116-128.
- [11] FEREIDOUNI Z, TAHAYORI H, BAHADORI-JAHROMI A. A hybrid model-based method for leak detection in large scale water distribution networks [J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2021, 12(2): 1613-1629.
- [12] HU X, HAN Y M, YU B, et al. Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278: 1518 - 1526. DOI: 10.1016/j. jclepro. 2020. 123611.
- [13] 陈杰. 基于水力模型的供水管网漏损概率预测方法研究 [D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2023.
CHEN J. Research on water distribution network leakage probability prediction method based on hydraulic model [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2023.
- [14] 唐君言, 司马文卉, 赵政阳, 等. 超大城市供水系统管网漏损控制策略与潜力分析[J]. 西北水电, 2023(5): 42-47.
TANG J Y, SIMA W H, ZHAO Z Y, et al. Strategy and potential analysis on water supply network leakage control in mega-cities [J]. Northwest Hydropower, 2023(5): 42-47.
- [15] 杨征. 市政给水管道顶管施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2023(24): 163-165.
YANG Z. Research on pipe jacking construction technology for municipal water supply pipeline [J]. Construction Technology, 2023(24): 163-165.
- [16] 王红光, 刘存银, 吕德满, 等. 非开挖修复技术在市政管网改造中的应用研究 [J]. 城市建筑空间, 2023, 30(s1): 351-352.
WANG H G, LIU C Y, LÜ D M, et al. Application research of non excavation repair technology in municipal pipeline network renovation [J]. Urban Architecture Space, 2023, 30(s1): 351-352.
- [17] 上海市水务局(上海市海洋局). 上海市供水调度管理细则 [EB/OL]. (2019-08-02) [2024-02-26]. <https://swj.sh.gov.cn/shsgsglc-zcfg/20191126/0004-9518.html>.
Shanghai Water Authority (Shanghai Municipal Oceanic Bureau). Shanghai municipal water supply scheduling management regulations [EB/OL]. (2019-08-02) [2024-02-26]. <https://swj.sh.gov.cn/shsgsglc-zcfg/20191126/0004-9518.html>.
- [18] 卞翔. 柔性变电站交直流配电技术经济效益综合评估模型构建[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(12): 226-228.
BIAN X. Construction of a comprehensive assessment model for the technical and economic benefits of AC and DC power distribution in flexible substations [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2023, 13(12): 226-228.
- [19] 马欣. 海绵城市效益货币化评价研究——以临汾市区某公园新建项目为例[J]. 绿色建筑, 2024(1): 93-97.
MA X. Research on monetization evaluation of sponge city benefits—An example of a new park project in Linfen [J]. Green Building, 2024(1): 93-97.
- [20] 蔡艳伟, 龙志宏, 邵煜, 等. 基于爆管监测的供水管网压力监测点优化布置 [J]. 中国给水排水, 2023, 39(17): 59-64.
CAI Y W, LONG Z H, SHAO Y, et al. Optimal layout of pressure monitoring points in water supply network based on pipe burst monitoring [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(17): 59-64.