

供水管网水质安全多级保障与漏损控制技术与示范

舒诗湖¹, 郑小明², 戚雷强², 方伟曾², 杨 坤¹, 阮久丽², 刘 茵¹,
陈小明²

(1. 城市水资源开发利用南方国家工程研究中心, 上海 200082; 2. 上海市自来水奉贤有限公司, 上海 201400)

摘 要: 针对“十二五”水专项太湖流域上海地区饮用水安全输配中的突出问题, 研究供水管网水质安全多级保障与漏损控制技术并进行工程示范, 示范工程管网水质稳定达标, 示范区供水产销差率在“十一五”基础上下降 6.68 个百分点; 结合国家需求和上海市的地方需求, 通过多级消毒、管道冲洗、漏损控制、非开挖修复和布局优化等五个方面的研究, 有力地支撑上海市供水管网系统的安全保障和用户端饮用水卫生安全保障工作。

关键词: 多级消毒; 管道冲洗; 漏损控制; 非开挖修复; 布局优化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0043-05

Research and Demonstration of Water Quality Multi-level Safeguard and Leakage Control Technologies of Water Supply Network

SHU Shi-hu¹, ZHENG Xiao-ming², QI Lei-qiang², FANG Wei-zeng², YANG Kun¹,
RUAN Jiu-li², LIU Yin¹, CHEN Xiao-ming²

(1. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Shanghai 200082, China; 2. Shanghai Fengxian Waterworks Co. Ltd., Shanghai 201400, China)

Abstract: According to the research objects in water special project in 12th Five-Year Plan, aimed at the prominent problems in safe distribution of drinking water in Shanghai, water quality multi-level safeguard and leakage control technologies of water supply network were researched. There were some breakthroughs in three key technologies of pipeline flushing, leakage control and trenchless repair, and demonstration projects were set up. The water quality of the demonstration projects could meet the requirements of the standards and the non-revenue water in the demonstration area was reduced by 6.68 percent compared with that in 11th Five-Year Plan, which can strongly support the safeguard of water supply network system and drinking water safety in Shanghai.

Key words: multi-level water disinfection; pipeline flushing; leakage control; trenchless repair; layout optimization

1 课题概述

供水管网水质安全多级保障与漏损控制技术研

究与示范(2012ZX07403-002-05)是“十二五”国家水体污染控制与治理科技重大专项饮用水主题

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07403-002); 上海市科委人才项目(15XD1521000); 上海市科委重大项目(16DZ1201200)

“太湖流域上海饮用水安全保障技术集成与示范”课题的子课题,课题由城市水资源开发利用(南方)国家工程研究中心牵头,该子课题由上海市自来水奉贤有限公司承担。课题于2012年8月获批立项,子课题于2012年9月开题启动研究,2015年底完成子课题研究任务。

子课题目标是针对太湖流域上海地区饮用水安全输配中的突出问题,研究供水管网水质安全多级保障与漏损控制技术并进行工程示范。课题研究成果是要实现示范工程管网水质稳定达标,示范区供水产销差率在“十一五”基础上下降3个百分点。同时,结合国家需求和上海市的地方需求,通过多级消毒、管道冲洗、漏损控制、非开挖修复和布局优化等五个方面的研究,为上海市供水管网系统的安全保障和用户端饮用水卫生安全保障工作提供有力支撑。

2 主要内容与技术路线

① 供水管网多级消毒技术研究

研发适合大区域、低流速供水系统的多级安全消毒技术;通过余氯衰减模型试验与参数率定,确定管网中余氯的反应动力学特征,建立管网微观水质模型。通过模拟计算综合优化水厂加氯和管网二次加氯,研究有效控制上海市供水管网微生物再生、臭味物质水平和消毒副产物的安全消毒模式,包括水厂与中途增压泵站加氯量和加氯点设置综合优化技术,以及二次供水设施和用户端瞬间消毒技术与设备研发,有效地改善用户端供水水质并降低消毒成本。

② 气水两相流管道冲洗技术

开展不同管道冲洗工艺的适应性研究,重点进行气水冲洗工艺在上海供水系统中的应用研究与示范。开展气水冲洗法在小流量冲洗大管径和多起伏大高差新排管道冲洗中的示范应用,形成管道冲洗技术导则。

③ 多级水平衡漏损控制技术

针对不同的管网拓扑结构和用户用水模式,进行各种水量计量设备的适用性研究,包括水量计量设备的正确选型、安装方式方法和最优安装位置的研究;水平衡测试过程的管理方法研究,围绕数据采集、处理分析、评估的方法和应用进行系统研究;重点多级水平衡情况下的管理制度和员工绩效考核制度建设,从管理层面促进漏损控制。

④ 供水管道非开挖修复技术

针对旧城区老化管道和原有乡镇供水管道锈蚀、漏损严重的现状,在更新严重影响安全运行和管网水质旧管道的同时,积极进行老年化管道非开挖原位修复技术及设备的研究开发,以有效延长管道的使用寿命。重点开展:针对不同管径、不同管材、不同老化程度管道的修复工艺适应性研究;在上海市奉贤区等地开展不同非开挖修复方法的应用研究以及环氧树脂喷涂技术应用示范研究,形成供水管道非开挖修复技术规程。

⑤ 城乡一体化供水管网优化布局研究

以扩建原有城市水厂,废弃周围乡镇水厂为主的集中式供水模式的适用条件、管网布局特点、供水方式的优缺点分析;以新建、扩建原有乡镇水厂为主的多水源协同供水模式的适用条件、供水系统布局特点、供水方式的优缺点分析;以区块化为理念的区域管网布局与分级计量的管理技术的适用条件、布局特点和供水方式的优缺点分析。

子课题研究技术路线见图1。

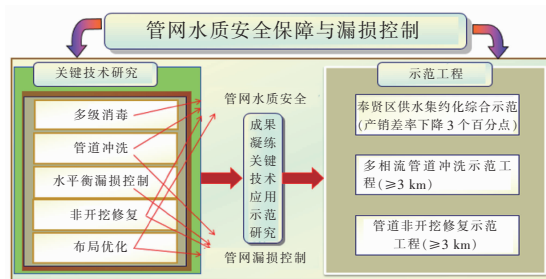


图1 子课题技术路线

Fig.1 Technology roadmap

3 关键技术突破与示范工程

3.1 管道气水冲洗技术

针对部分新排大口径管道冲洗水量不足而无法完成冲洗的现状,研究开发了气水两相流管道冲洗技术,解决了小流量冲洗大管道和大高差多起伏复杂管道冲洗技术难题;针对水司对供水管道进行在线冲洗的技术需求,研制了不断水加气装置,可不断水进行加气操作;研制了专用于管道冲洗的小型SCADA(见图2)通信系统(申请号:201320347336.6),包括软件和硬件,实现了管道前端和末端的视频通信以及冲洗过程的相关数据实时采集,实现了管道冲洗的远程可视化并申请了相关专利;研究制订了上海市地方标准《城镇供水管道水力冲洗技术规范》(DB 31/T 926—2015)。



图 2 专用于管道冲洗的小型 SCADA 系统

Fig. 2 Small SCADA system used for pipeline flushing

示范工程为上海市奉贤区浦星公路 DN800 清水管冲洗工程,管道全长为 6.7 km,共穿越 11 处障碍,其中水平定向钻进穿越 7 处,桥管穿越 4 处,最大高差约 20 m。考虑到该工程高低起伏的复杂性,管道冲洗分三段进行(见图 3),采用气水冲洗技术。

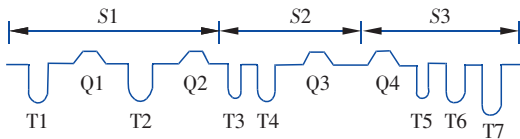


图 3 示范工程管道示意

Fig. 3 Schematic diagram of demonstration project

根据工程经验,采用单相水冲洗 DN800 管道,每公里冲洗时间约为 6 h(全程需 40.2 h),根据规范要求,冲洗水流流速不小于 1.0 m/s。而气水冲洗(见表 1)管道的时间每段分别为 4.0、3.5、5.0 h(全程只需 12.5 h),极大节约了冲洗时间且冲洗效果更好;管道内平均流量为 200 m³/h,上游来水水量仅需单相流冲洗水量的 18.5%,管道内的液相折算平均流速为 0.12 m/s,气水冲洗对来水量要求大大降低,可有效满足小口径冲大管道的要求,与单相流冲洗相比,可节约冲洗水量 80% 左右,且解决了大高差多起伏复杂管道的冲洗难题。目前已在上海奉贤、青浦水司、南汇水司、浙江上虞水司、原上水闵行、上水市北、上水市南等自来水公司推广应用。

表 1 示范工程采用的气水冲洗与单相流冲洗技术比较

Tab. 1 Comparison between air-water flushing and single phase flow flushing

项 目	冲洗时间/h	单位时间耗水量/ (m ³ · h ⁻¹)	总耗水量/m ³
单相水冲洗	40.2	1 080.6	44 088.5
气水冲洗	12.5	200.0	2 500.0

3.2 管道非开挖修复技术

我国城市的地下管网纵横密布,随着管道使用

年限的增加,许多材质较差的供水管道(如水泥管、灰铁管等)出现腐蚀、老化、漏水、水质恶化甚至爆管等各种问题,由于中心城区缺乏开挖条件进行管道更换,采用非开挖技术(见表 2)对旧管道进行修复是近年来出现的一种全新的经济性好、卫生性能高的管道更新改造方法。更新改造不等于旧管换新管,更要重视在主体结构基础上修复后再利用。

表 2 给水管道非开挖修复工艺种类和方法

Tab. 2 Types and methods of trenchless repair technology for water supply pipeline

项 目	设计考虑的因素	可使用的修复方法
非结构性修复	内衬修复要求;原有管道内表面情况以及表面预处理要求	水泥砂浆喷涂法;环氧树脂喷涂法
半结构性修复	内衬修复要求;原有管道剩余结构强度;内衬管需承受的外部地下水压力、真空压力	原位固化法;折叠内衬法;缩径内衬法;不锈钢内衬法
结构性修复	内衬修复要求;内部水压、外部地下水压力、土壤静荷载及车辆等活荷载	原位固化法;缩径内衬法;穿插法;碎(裂)管法

非开挖修复技术节约了投资,修复后延长了管道的使用寿命,输水能力和管网水质得到了保障。本课题开展了薄壁不锈钢内衬层耐负压试验和 PE 内衬修复现场试验,重点对环氧树脂喷涂技术开展了应用示范,在此基础上,参与制订行业标准《城镇给水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 244—2016)。研究开发了自主知识产权的管道内壁旋喷技术装备(见图 4),自动化程度高,人机界面友好,触摸屏操控,已用于上海奉贤区管道修复工程。



图 4 具有自主知识产权的管道内壁旋喷技术装备

Fig. 4 Pipe inner wall jet grouting equipment with independent intellectual property rights

示范工程为上海市奉贤区西渡工业区奉金路 DN150 ~ DN300 管道环氧树脂喷涂修复工程,将 3 460 m 长的管道分为几个管段,分管段清洗、喷涂环氧树脂、消毒、并网通水。示范工程技术优势如

下:①针对老、旧管道设施的改造,能同时满足结构更新和扩容需求;②最大限度避免了拆迁麻烦和对环境的破坏,减少了工程额外投资;③局部开挖工作坑,减少了掘路量及对公共交通环境的影响;④采用液压设备,噪声低,符合环保要求,社会效益提高;⑤施工速度快、工期短,有效降低了工程成本;⑥工程安全可靠,提高了服务性能,有益于设施的后期养护。修复前后管道内壁 CCTV 检测结果见图 5。

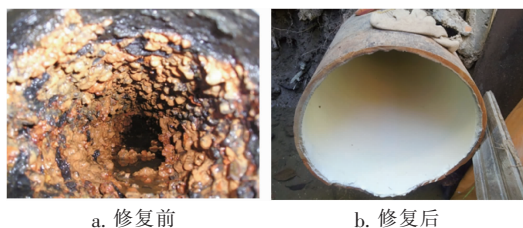


图 5 修复前后管道内壁 CCTV 检测结果比较

Fig. 5 Comparison of CCTV detection results before and after repair

3.3 基于多级水平衡的漏损控制技术^[1-3]

上水奉贤公司在上海市政府和市水务局郊区集约化供水改造工程的推动下,对水厂设施和管网布局进行了较大改造,形成了城市大水厂和衔接各乡镇的管网总环,接管了 20 余个相互独立的乡镇供水系统,废除乡镇小水厂并改为加压站,从管网总环接管供水(装表计量馈水量,馈水表位置为图 6 中蓝色小圆圈)给各乡镇加压站,形成了以各乡镇为独立区域的区块化供水格局^[2]。在此基础上,按照管网布局分层次安装零级表、一级表、二级表、三级表和四级表,并在管网 GIS 系统中进行勾连,在 GIS 平台上开发了全系统水平衡分析模块,可逐级进行水平衡分析,并在 GIS 平台上自动统计和显示。



图 6 管网 GIS 中的总环布局与水平衡分析模块

Fig. 6 Layout of pipe network in GIS and water balance analysis module

首先,可通过多级纵向水平衡分析,了解哪个乡镇区块、哪个村、哪个小区的产销差较大,作为漏损控制的主要对象,比全面普查和检漏更有重点,检漏效率更高。上水奉贤公司供水集约化和管网区块化布局改造从 2005 年开始逐步实施,随着管网区块化改造进度和纵向水平衡分析的推进,漏损总量得到有效控制,供水产销差也逐年下降^[2](见表 3)。

表 3 上水奉贤公司历年产销差率统计数据

Tab. 3 NRW from 2005 to 2015 in Fengxian %

项 目	产销差率
2005 年	46.00
2006 年	38.00
2007 年	34.38
2008 年	29.36
2009 年	26.29
2010 年	25.56
2011 年	25.39
2012 年	23.90
2013 年	24.64
2014 年	24.26
2015 年	23.20

示范工程在上海奉贤区金汇镇。金汇镇位于上海市奉贤区中北部,下设金汇、齐贤、泰日三个社区,行政区域面积为 72.83 km²,金汇社区所辖供水面积约 25.5 km²,该供水区域属于典型的城乡统筹地区,具有较多的天然独立封闭区域,适合利用水平衡测试的方法进行管网产销差控制。在金汇社区全面开展逐级水平衡表安装工程,结合 GIS 平台进行数据自动统计,并把水平衡表水量管理责任逐级落实到人,收入与绩效挂钩,降漏效果很好。

示范工程评估组在金汇社区现场查看了水平衡表的安装及运行情况,现场审查认为水平衡测试系统及水平衡表真实存在、运行正常,可以为供水管网产销差控制提供基础数据。定期抄表核实,定期数据比对、分析,及时反映供水管网的运行情况,及时发现抄表异常情况,通过这样的运行机制查找漏点、修漏补漏,对管网进行更新改造,并且与养护工签订《分片包干协议》,将区域产销差率与养护工的经济利益挂钩,达到了良好的预期效果。依据提供的月报、年报,金汇镇产销差率从 2010 年底的 24.56% 降至 2014 年底的 17.88%,产销差率下降 6.68 个百分点,可认定结果满足考核指标“奉贤区集约化示范

(下转第 51 页)