

孙晨刚, 王亚楠. 城市大口径供水管道爆管风险管控[J]. 净水技术, 2025, 44(3): 70–75, 105.

SUN C G, WANG Y N. Risk control of large-diameter pipelines burst in urban water supply[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(3): 70–75, 105.

城市大口径供水管道爆管风险管控

孙晨刚*, 王亚楠

(上海市供水调度监测中心, 上海 200080)

摘 要 【目的】城市供水管网是供水输配系统中最主要的组成部分, 一旦发生供水管道特别是大口径管道爆管将直接影响供水系统正常运行, 同时还会造成用户受淹、交通受阻等次生灾害, 文章通过提出供水管道爆管智能管控建设方向, 指明供水管道突发事件的精细化处置管理的发展路径。【方法】文章通过对供水管道爆管成因分析、处置流程梳理、智能化处置场景建设及案例讨论, 提出了将智能化的风险管控手段融入常规的爆管流程的概念, 有效提高大口径爆管事故的处置效率, 减小事件对供水正常运行的影响。【结果】在近年来对供水管道爆管智能化风险管控机制研究中, 发现了在目前供水管网运行管理过程中仍存在监测与感知能力不足、基础资料不完善、共享机制缺乏的问题, 提出了优化运行监管、推进老旧管道更新改造、健全标准规范体系、开展重大风险专项分析、建立跨行业联动机制等有针对性的应对措施。【结论】针对供水管道爆管成因特点, 将管网在线压力监控、运行风险评估、突发事件在线报警等智能化手段与传统供水管道爆管应急处置流程相融合, 进一步优化爆管事故应急处置程序, 强化爆管风险智能管控能力。

关键词 大口径供水管道 风险管控 爆管 智能感知 分析评估 优化对策

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)03-0070-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.03.009

Risk Control of Large-Diameter Pipelines Burst in Urban Water Supply

SUN Chengang*, WANG Yanan

(Shanghai Municipal Monitor Centre of Water Supply, Shanghai 200080, China)

Abstract [Objective] The urban water supply network is the most critical component of the water distribution system. Once pipe bursts occur, especially in large-diameter pipelines, they will not only directly affect the normal operation of the water supply system but also cause secondary disasters such as user flooding and traffic obstruction. This paper proposes the construction direction of intelligent control for water pipeline bursts, and outlines the development pathway for refined emergency management in water supply pipeline incidents. [Methods] This paper analyzed the causes of water supply pipeline bursts, sorted out the handling procedures, constructs intelligent handling scenarios, and discussed cases, and then proposed the concept of integrating intelligent risk control measures into the routine pipeline burst handling process. This could effectively improve the handling efficiency of large-diameter pipeline burst accidents and reduce the impact of such incidents on the normal operation of the water supply system. [Results] In the research on the intelligent risk control mechanism for water supply pipeline bursts in recent years, it had been found that in the current operation and management of water supply pipe networks, there were still problems such as insufficient monitoring and sensing capabilities, incomplete basic data, and a lack of a sharing mechanism. To address these issues, targeted countermeasures had been proposed, including optimizing operational supervision, promoting the renewal and transformation of old pipelines, improving the standard and specification system, conducting special analyses of major risks, and establishing a cross-industry linkage mechanism. [Conclusion] In view of the characteristics of the causes of water supply pipeline bursts, intelligent measures such as online pipeline network pressure monitoring, operational risk assessment, and online emergency alarms are integrated with the traditional emergency response procedures for water supply pipeline bursts. This integration further optimizes the emergency response procedures for pipeline

[收稿日期] 2023-10-07

[基金项目] 上海市科学技术委员会科研计划项目(16DZ1201202)

[通信作者] 孙晨刚(1974—), 男, 研究方向为城市供水调度管理及相关信息化技术, E-mail: panzerat74@163.com。

burst accidents and enhances the intelligent control capabilities for pipeline burst risks.

Keywords large diameter water supply pipeline risk control pipe burst intelligent perception analysis and evaluation optimization measures

公共供水是城市基础设施的重要组成部分,其安全运行与城市生产和人民生活密切相关。城市供水管网担负着城市输水的重要任务,是城市工业生产、商业发展、居民生活的重要保障线^[1]。在自然力、城建施工或其他人为因素的作用下,供水管道可能发生爆管和地下泄漏。一旦发生管道爆管或泄漏,特别是 DN500(含)以上大口径供水管线作为城市供水的主要输水管线发生爆管,将造成大量的水量损失,致使工业生产、居民生活等受到影响,同时还危及生命和财物安全,产生负面的社会影响^[2]。目前供水管线爆管事件基本以现场发现、人工电话报警或公安实时监测设备发现积水再通过人工电话联系为主,爆管事件的信息获取缺乏智能化手段,相关信息传递缺少统一的平台,和全市“一网统管”的工作要求存在一定的差距。

为确保全市供水管网的平稳运行,最大限度减少供水管网受损事件对供水服务造成的影响。扎实做好供水安全运行风险应对工作,提高公共供水运行安全保障能力尤为重要。文章分析了上海市供水管网 DN500(含)以上大口径管线典型爆管事故原因,基于智能化管理需求,提出针对供水管道爆管的风险管控智能化的建设方向,并将供水管网智能化、风险管控流程化应用于上海市供水管道爆管事故中。针对智能化管控应用中存在的问题,指出优化对策及未来的发展路径。

1 上海市大口径供水管道爆管原因分析

上海市的供水管网铺设年代久、管材种类多、管网结构复杂,其运行安全与城市的生产、生活等功能需求密切相关,是维系上海市发展与经济建设发展的关键基础设施之一。截至 2022 年底,上海市 DN75(含)以上供水管网长度累计达 3.96 万 km,其中 DN300(含)以上管线长度约 1.45 万 km,供水管网漏损率为 9%。近 3 年来,全市供水管网每年发生 DN500(含)以上的大口径管线管损为 350 起左右,其中爆管为 8 起。

大口径自来水管线爆管,直接影响自来水正常供应,并可能造成道路积水、居民家中进水、交通中断、财产损失等次生灾害。通过对历年典型供水管

道爆管事故的调查分析结果表明,供水管道老化腐蚀、管道周围土体脱空、管道受土体沉降影响产生大变形、管道交叠铺设及路面动态交变荷载等多重因素都为地下供水管道安全运行带来了不容忽视的隐患与威胁。根据历史爆管事件分析,供水管道爆管原因主要是多种因素叠加造成,主要风险因素有以下几个方面。

1.1 管道老化

上海市 DN300 及以上的供水管道中,1949 年之前敷设的管道占比为 0.14%,1949 年—1978 年间敷设的管道占比为 1.5%,总里程数约为 198 km。长期投入使用的供水管道,管道本体及沿线环境均与设计、建设期相比较发生了很大的改变,管体腐蚀、防腐层老化、管内结垢层也逐步变厚,运行安全隐患逐年增加,最终造成管线破裂^[3]。

1.2 管材落后

上海市 DN300 及以上的灰口铸铁、镀锌、水泥等落后管材长度约为 3 800 km,占 DN300(含)以上供水管道总长度的 27%。连续浇铸工艺生产的灰口铸铁管以及混凝土管,管体组织疏松、夹渣、夹气,管身硬脆,耐震、耐冲击,抗弯、抗拉强度差,极易造成纵向裂缝导致管体破裂。

1.3 道路长期重载或路面沉降

部分管线位于道路快车道,道路长期重载,在地表载荷作用下会造成管线破损,路面沉降挤压、剪切应力也会造成管线发生位移,最终导致管线损坏。

1.4 市政施工不规范等外力因素

近 3 年来,上海市中心城区内,因外力因素造成的 DN500(含)以上管线爆管 2 起。市政道路施工不规范,部分地下管线资料交底不清晰,导致施工时外力直接损坏管线。

1.5 受周围土层环境影响

不同深度的土层由于含土质含水率不同,冻胀系数相异,因此在冬春温差及降水频繁的时节极易造成管线特别是管线接口破裂。

2 大口径供水管道爆管智能化风险管控

2.1 供水管道爆管事故处置工作流程

根据上海市供水管线受损事件应急处置预案中

的应急处置工作流程,当供水管道爆管事件发生时,主要的常规应急处置流程如图 1 所示。

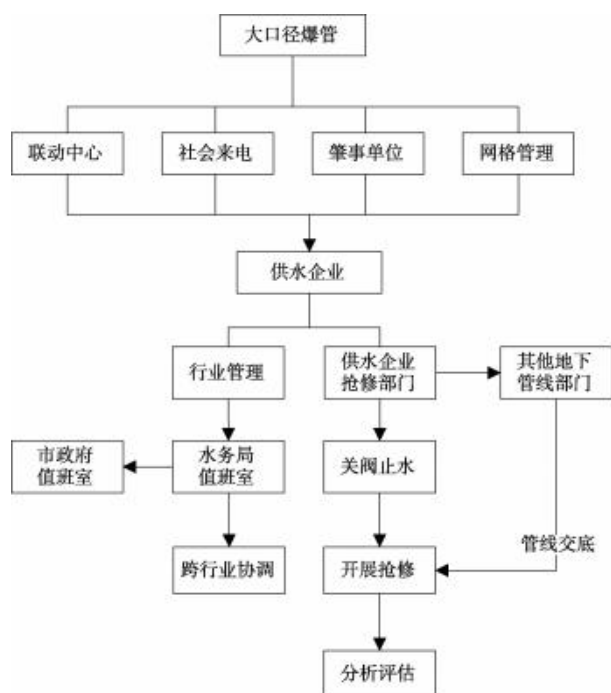


图 1 爆管处置工作流程

Fig. 1 Work Flow of Pipe Burst Disposal

(1) 报警

在发现市政道路上自来水管线爆管时,市民与交警会电话至 110 或相关供水热线,公安指挥中心也会通过实时监控设备发现爆管引起的道路积水,电话通报相关供水企业热线部门。当班人员接收大口径爆管报警信息后,根据事件预判等级启动《上海市供水管线受损事故应急处置预案》。

(2) 信息报送

涉事供水企业接到管线受损报告后,在事件发生后的第一时间向市水务局相关部门、区域行政主管部门报告事件情况,随时报告事件处置过程中的重大进展情况。

(3) 应急处置

供水企业接报后在第一时间派出抢修队伍至事发现场,对受损管线进行关阀止水操作。并和燃气、电力、通讯等部门进行地下管线资料交底,确定管线管损精确位置和其他管线分布情况后,对道路进行开挖,实施管线维修。

(4) 恢复供水

对居民用水造成影响的,采取应急供水措施,保障供水服务供应。供水管线修复后,及时恢复正常供水。

(5) 后期处置

爆管事件处置完毕后,对事件发生原因、处置过程、影响范围、管线受损程度、周边环境进行综合分析,形成评估报告。

2.2 供水管道爆管事故风险管控智能化建设现状

采用智能化的监测、评估、报警手段,融合进入爆管应急处置常规工作流程中,建设智能化的供水管道爆管管控方式,提升全市供水管网压力监测点布设密度,优化设置布局,推广应用新型管道内检、实时在线侦漏等技术,精准定位破损点,并量化破损状态,可以提高爆管事故的处置工作效率,最大限度地降低爆管事故的经济损失、社会影响。

2017 年上海市完成了《全市供水管网压力监测点布局规划》编制,并规划“十四五”期间全市新增压力监测点 100 个。进一步完善开展大口径管线爆管智能报警,在现有智能报警平台基础上,进一步梳理报警规则与联动分析机制,提升智能报警的准确性与及时性。

2.2.1 在线压力监测

目前,上海市供水管网中共布设有近 1 000 个在线压力监测点,在线压力监测点的分布如图 2 所示。实时的压力监测有助于发现管网异常事件,目前压力监测点数据采集频率已达到秒级,传输与存储频率根据不同的供电方式一般采取逢变报送和实时传输,一旦供水管网发生大口径供水管线爆管,会第一时间捕捉到压力突变趋势。

2.2.2 供水管网地理信息系统(GIS)

供水管网 GIS 集成了上海市市政供水管网空间数据和属性数据,做到对供水管网进行空间定位和精准查询,提升对供水管线的精细化管理,为大口径管线运行风险评估提供有效的数据基础,上海市供水管网 GIS 如图 3 所示。

2.2.3 供水管网风险评估

管网爆管事件发生诱因多,不同的因素之间还会产生叠加或耦合影响。基于 GIS 管网属性信息、外部环境数据以及历史爆管事件信息,构建供水管网管道结构稳定性风险评估模型及风险评估标准^[4],对供水管线运行风险进行动态评估。对城市供水管网大口径中高危管线开展精细风险评估诊断,编制高危管线分布图,梳理大口径高危管线信息,在确保安全稳定运行基础上指导供水管网有序维护、改造和更新。确保整个供水管网的安全经济



图2 上海市供水管网在线压力监测点分布
Fig. 2 Distribution of Online Pressure Monitoring Points in Shanghai Water Supply Network



图3 上海市供水管网 GIS

Fig. 3 GIS for Shanghai Water Supply Network
运行,形成以预防为主的水管网维护管理模式。
2.2.4 在线漏损监测

目前应用较广的新型管道无损内检技术是智能球与 Sahara(撒哈拉)系统,借助管道中水流产生的推力进行运动,实现对 DN300 以上的供水管道的内声学检测,实现渗漏部位的精确定位^[4]。主动型供

水管道监漏仪和预警系统是目前较为先进和常用的管网在线侦漏设备,应用于重点与高危管线的在线渗漏监测。截至 2022 年底,上海市中心城区现已完成 Sahara 内检测 131 次,总检测距离为 41.9 km,识别成功率为 100%,实现了渗漏部位的精确定位。进博会区域也已布设了主动型供水管道监漏仪以实时侦测管网漏损情况。

2.2.5 爆管智能报警

通过对管网压力数据进行预处理,并制定报警规则,开展大口径管线爆管智能报警。系统根据调度运行规则对数据预判,剔除毛刺、中断等错误数据,避免错误数据对正确报警造成干扰。通过对供水管网压力监测点关联关系、数据突变与爆管的关联性研究,建立供水管网爆管报警模型^[5]。当供水管网发生大口径管线爆管后,触发报警模型,对监测点压降信息进行判别,通过报警规则分析排除正常运行工况和其他因素后,大口径管线爆管报警实时触发,然后智能判断事件发生的大体位置、影响范围、影响程度,形成报警信息实时推送,进一步提升了报警信息的准确性。

2.3 风险管控智能化场景应用案例

以 2017 年 11 月 16 日,上海市虹口区四平路溧阳路附近发生的 DN1200 大口径供水管道爆管为例,展示供水管道爆管风险管控智能化场景应用。

2.3.1 管网智能感知

通过管网智能感知系统,可以对区域供水服务压力进行实时监测,四平路溧阳路周边布设有溧泗、复中、临四、银欣、宝通、天宝 6 个在线压力监测点,压力监测点的分布如图 4 所示。



图4 爆管点附近在线压力监测点分布

Fig. 4 Distribution of Online Pressure Monitoring Points Around the Pipe Burst Location

2.3.2 智能报警

事件发生第一时间,溧泗、复中、临四、银欣、宝通、天宝 6 个压力及周边其他地区在线监测点压力

出现大幅下降(图 5),溧泗压力瞬时降幅达 160 kPa。智能报警通过数据分析和排查,系统发出大面积压降报警。

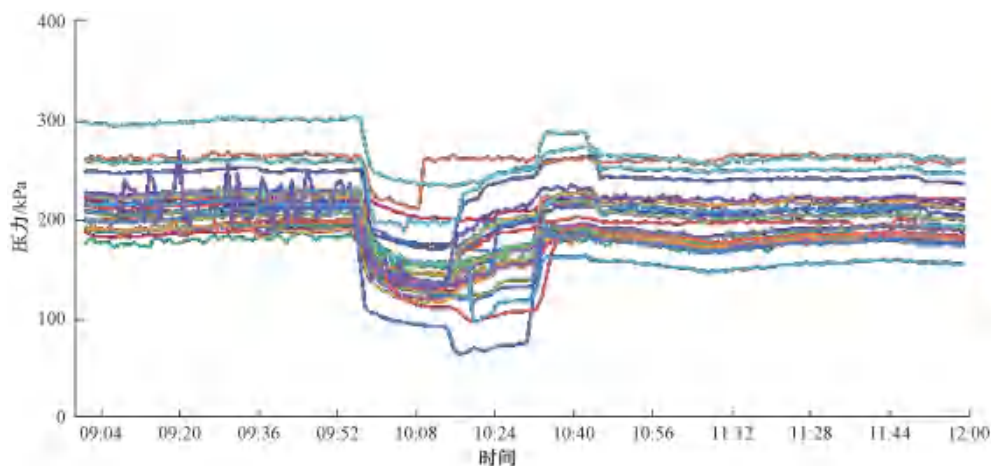


图 5 关联压力监测点瞬时压力突变

Fig. 5 Transient Pressure Jump at Associated Pressure Monitoring Points

2.3.3 关联定位

根据管网监测点压力下降幅度,对爆管位置进行关联定位。并与 110、水务热线相关信息进行综

合判断,确定爆管管线为四平路溧阳路口 DN1200 供水管道(图 6)。

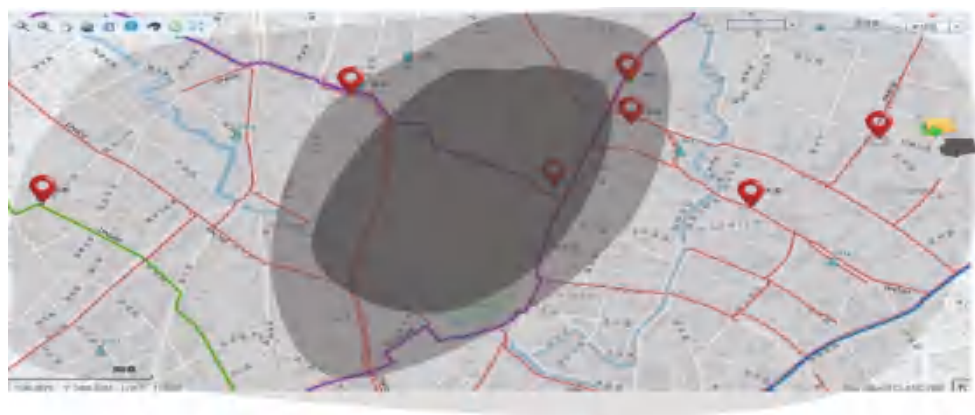


图 6 供水管道爆管位置定位

Fig. 6 Orientation of Water Supply Pipe Burst

2.3.4 生成方案

根据确定的爆管位置,通过 GIS 进行管网拓扑分析,确定关阀止水方案(图 7)。

2.3.5 现场抢修

供水企业迅速赶赴现场,根据系统推荐的关阀方案实施现场关阀止水,并抢修。

2.3.6 分析评估

事故处置结束后,进行分析评估:通过对事故管段进行三维建模分析和材质物理力学测试,对接口腐蚀、

破坏时间、应力作用进行推断,确定事故成因(图 8)。

2.4 供水管道爆管风险管控中存在的问题

上海市虽然已初步构建了基于智能化的爆管风险管控机制。然而,在研究的过程中也发现了在管网基础数据管理、感知能力建设、智能化水平提升、管道结构风险监测等方面仍存在的诸多问题,需要进一步完善。

2.4.1 供水管网动态感知能力有待提升

虽然全市已经拥有近 1 000 个管网压力监测



图7 GIS中生成关阀止水方案

Fig. 7 Generation of Valves Shut-Down Plan for Water Shut-Off in GIS



图8 事后分析评估

Fig. 8 Post-Evaluation and Analysis

点,但对管网运行状态仍然有一定的盲区,个别管网压力监测点受布设环境影响,数据质量不高,造成对大口径爆管信息的漏判和误判。对供水管网漏损和供水管网运行信息的动态感知能力仍处于相对较低的水平,对相关的信息化和智能应用比较少。

2.4.2 全面提高供水管网 GIS 数据完整性

全市供水 GIS 有待进一步完善,部分管线属性信息,特别是管材、管龄、埋深等重要属性仍有缺失。完善 GIS,进一步确保供水管线,特别是 DN500(含)以上大口径供水管线属性信息的准确有效与完整。

2.4.3 供水管道结构风险监测仍需完善

供水管线漏损与爆管是其结构不安全的外在征兆,管线未发生漏损也可能孕育着结构不安全状态,目前对供水管道的结构变化及腐蚀情况的监测仍处在起步阶段,尚未形成规模性发展。

2.4.4 供水管线爆管事件获取缺少完善的信息共享机制

目前大多数供水管线爆管事件仍以现场发现人

工电话报警、公安实时监测设备发现积水再通过人工电话联系为主,爆管事件的信息获取缺乏智能化手段,相关信息传递缺少统一的平台,和全市“一网统管”的工作要求存在一定的差距。

2.5 供水管道爆管风险管控智能化优化对策

鉴于对供水管道历史爆管事故分析评估,以及智能化管控工作流程化应用中发现的诸多问题,提出以下针对性的应对措施,以提高供水管网的抗风险能力、风险管控的能力以及突发事件的处置能力。

2.5.1 强化管网运行监管

加强管网运行管理与监管、管网巡检、管网检漏,确保供水管网运行安全。及时更换老旧阀门,重点对老旧供水管网进行改造和优化,有效降低供水管网漏损率。

2.5.2 供水管更新改造

推进高龄管线、落后管材的管线更新改造,对具备施工条件、管龄超过 50 年以上的落后管材管线,制定更新改造计划,开展更新改造。针对上海市服务年限超过 50 年和混凝土材质的供水管网长度约为 1 240 km,到 2020 年底基本完成改造及优化工作;剩余老旧供水管网力争 2025 年前完成 70%~80%,力争 2035 年前完成改造任务。

2.5.3 建立健全供水管网安全运行标准规范体系

开展国内外供水管道安全法规标准、监管体制机制比较研究,吸取好的经验和做法,目前已经发布了《城市供水管网安全风险评估技术规范》(DB31/T 1332—2021),《城市供水管网运行安全风险监测技术规范》(DB31/T 1333—2021) 2 项地标,规范了上

(下转第 105 页)

- (Ca^{2+} , Al^{3+} , and Fe^{3+}) on the interaction energy and loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) of activated sludge and their flocculation mechanisms [J]. *Bioresource Technology*, 2012, 114: 188–194. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.03.043.
- [19] LU F, CHANG C H, LEE D J, et al. Dissolved organic matter with multi-peak fluorophores in landfill leachate [J]. *Chemosphere*, 2009, 74(4): 575–582.
- [20] CHEN W, YU H Q. Advances in the characterization and monitoring of natural organic matter using spectroscopic approaches[J]. *Water Research*, 2021, 190: 116759. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116759.

(上接第 75 页)

海市供水管网风险评估和风险防控工作,提升供水管网的风险管控,加强供水管网的安全管理,确保供水管网的安全、可靠运行。

2.5.4 加强大型地块开发中地下工程施工对邻近周边区域管道运行安全影响进行分析

对全市区域内大型地块开发中地下工程施工对邻近周边区域管道运行安全影响进行分析,尤其是敷设于“三交”区域的(即交叉路口、交叠管线和交变荷载)供水管网,对上述区域采取限定保护区、管道预处置保护、现场监测监控等措施,降低或减少因周边活动对周边邻近大口径管道运行安全影响。

2.5.5 建立跨行业、跨部门应急联动与协作机制

推进跨行业、跨部门数据共享,完善市政管网联动协作机制,通过政务微信、全市“一网统管”平台,实现爆管积水路段公安监控视频智能推送,实现供水企业热线爆管信息行业内共享,实现对现场危害和风险进行有效辨识和评估,做到准确研判,杜绝盲目处置,防止次生灾害发生,提高应急响应和现场处置能力。

3 结论

(1)文章通过对上海历年供水管道爆管事故的原因调查、分析得出,供水管道爆管是管道老化、管材落后、路面荷载及沉降影响、外力作用、土体环境等多重因素综合作用的结果。

(2)将在线压力监控、风险评估、管网智能报警等智能化手段与传统供水管道爆管应急处置流程相融合,优化了爆管事故应急处置程序,强化了爆管风险管控能力。并将该爆管智能风险管控场景化应用

于上海市四平路溧阳路附近 DN1200 爆管事件的应急处置工作流程之中,提高了管道爆管应急工作处置效率,增强了爆管应急处置能力。

参考文献

- [1] 李永林,叶春明. 城市供水系统风险评估模型研究 [M]. 上海:复旦大学出版社, 2015.
- LI Y L, YE C M, Research on risk assessment model of urban water supply system [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2015.
- [2] 王亚楠, 汪瑞清, 胡群芳, 等. 城市供水管网管道结构稳定性风险评估模型 [J]. 净水技术, 2018, 37(8): 104–110, 115.
- WANG Y N, WANG R Q, HU Q F, et al. Risk assessment model for structural stability of urban water supply pipeline [J]. *Water Purification Technology*, 2018, 37(8): 104–110, 115.
- [3] 廖军, 耿冰, 韩冰, 等. 供水管网检测新技术 [J]. 净水技术, 2018, 37(s1): 158–163.
- LIAO J, GENG B, HAN B, et al. Innovative technologies for inspecting water distribution systems [J]. *Water Purification Technology*, 2018, 37(s1): 158–163.
- [4] 吴晓荣. 市政给排水管道爆管原因分析及对策 [J]. 中华建设, 2020(12): 44–46.
- WU X R. Analysis of causes and countermeasures for bursting of municipal water supply pipelines [J]. *China Construction*, 2020(12): 44–46.
- [5] 秦贤海, 杜坤, 罗雄武, 等. 基于爆管检测效益的供水管网水压监测点布局优化 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(5): 40–44.
- QIN X H, DU K, LUO X W, et al. Distribution optimization of water pressure monitoring point in water supply network based on the benefit of pipe burst detection [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(5): 40–44.