

市政供水管网爆损原因及对策分析

郭伟伟

(北京京源水务有限公司, 北京 102425)

摘要 供水管网爆损是城市供水系统运行中常发生的安全问题, 不仅会造成水资源浪费和经济损失, 还可能引发道路塌陷、交通中断等次生灾害, 其成因涉及管材缺陷、施工质量、非均匀地质沉降、材料性能退化、水锤效应及运行压力失衡等多重因素。基于此, 本文从管材选择、施工质量、地质条件、金属管道腐蚀、水锤效应产生、运行压力波动等多角度系统分析了供水管网爆损原因, 并针对性地提出优化管材选型、完善设计规范、严格施工工艺、强化防腐措施等策略, 旨在为降低供水管网爆损风险、提升供水系统可靠性、保障基础设施安全运维提供有益参考。

关键词 供水管网; 管道爆损; 给排水; 城市供水

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.037

0 引言

供水管网爆损是指供水系统运行中可能出现结构性损坏、突发性破裂等问题导致系统功能失效、管网压力骤降并导致水体流失的问题, 通常其成因在于供水管网局部穿孔、焊缝开裂、接口脱节或出现裂缝导致水资源大量流失^[1]。国际水协对供水管网爆损的定义中提出, 每小时漏水量超过 10 立方米的供水管网爆损事件即为重大事故, 此类事故不仅会导致直接经济损失, 还可能会进一步引发其他社会问题, 是城市基础设施的重要威胁^[2]。而供水管网爆损的成因具有复杂性和系统性, 开展针对性预防工作时可能出现无从着手等问题。早期灰口铸铁管易腐蚀, 新型钢管、聚乙烯管虽性能优化却存在电化学腐蚀、低温脆裂等局限。施工环节中基础处理不当、接口密封不足, 或者软土沉降、冻融循环等地质环境因素都会威胁管网稳定性。

供水管网爆损影响原因包含施工方式不佳、管道老化腐蚀、结构性破坏等多个方面。解决策略需从多个角度共同入手分析。鉴于此, 本文从管材问题、施工质量、地质条件、腐蚀老化、水锤破坏和运行压力角度出发, 分析供水管网爆损的常见原因, 并分别提出防治策略。

1 供水管网爆损原因

1.1 管材问题

供水管网所使用的管材材料类别是直接决定管网寿命的关键因素。早期供水管网主要为灰口铸铁管,

这类管网连续浇筑、刚性连接, 但其管体内部结构疏松, 经常出现内沟、黑渣、气孔难以消除等问题。

历经数十年发展, 目前国内供水管网所用管道材料逐渐优化, 常用的管材主要包含钢管、聚乙烯 (PE) 管、球墨铸铁管。其中, 钢管具有接口少、管材长度大、耐高压、抗拉强度高、韧性好等多方面应用优势, 但具体应用时容易受土体等因素影响发生电化学腐蚀并最终引发管网爆损^[3]。球墨铸铁管抗压强度更高, 但容易受到电化学腐蚀影响, 管道老化腐蚀后内壁氧化层脱落, 而后管道劣化速度进一步加快。聚乙烯管具有较强的耐腐蚀性能, 可用于环境腐蚀严重趋于水源疏松, 但聚乙烯管道也存在抗冲击性能不足、低温抗裂性能不足等问题, 环境温度较低时受到外部载荷影响则更容易产生裂纹等问题。

1.2 施工质量

施工质量问题供水管网爆损的隐性影响因素。在工程实践中可能出现基础超挖、回填不佳、防腐不到位、接口质量差、零件不配套、长距离安装未设伸缩节等问题, 导致管材运行安全性不足^[4]。首先, 部分工程出于各方面原因, 可能出现超挖、欠挖等问题, 超挖、欠挖可能因地面受路面载荷、自然降水等因素而发生不均匀沉降, 对管道产生剪切应力。超挖不回填则会由于夯实效果不佳导致管道受力不均匀, 引发爆管等问题。此外, 地区供水管道采用钢管、球墨铸铁管等管道时, 必须做好防腐措施, 措施不到位或管线周围存在有轨电车等可能产生杂散电流, 导致电化学腐蚀加速, 引发爆管。

1.3 地质条件

通常条件下, 自然土体的承载能力基本都能满足管道荷载要求, 因此只要将供水管网设置在冰冻线以下的天然土层, 就可在不设额外加固处理的基础上保障管道运行稳定性。但后续管网运行中, 可能会出现各方面问题, 导致底层受到不均匀扰动, 最终引发管道损坏。常见原因主要包含: 管道上方存在弱土土体, 但施工时未经有效加固; 管道基坑上方土体基本良好, 但部分区域集中隐藏部分腐殖土且未经有效加固处理; 管道路径中存在高含水量淤泥质土层或腐殖质土体, 且仅对部分路段作刚性处理; 土体土质含水量分布不均匀, 导致秋冬季节封冻速率不一, 管道受压力差导致管道爆损^[5]。

1.4 腐蚀老化

管道输送的水体为净水, 内部包含少量氯离子其他离子, 受周边细菌影响、土体杂散电流、土壤酸碱成分等影响, 金属质管道材质发生电化学反应并受腐蚀。早期使用的钢管, 当前使用的球墨铸铁管、钢管如没做好内部防腐处理则都可能出现这类问题。管道内部腐蚀达一定程度后, 就会产生水利条件变坏、有效输水管径减小、管道负担增加等问题, 并最终导致局部穿孔甚至爆管。

铸铁管受电化学腐蚀作用后可能会出现石墨化现象, 此时从外观上看铸铁管依旧保持良好运行状态, 但管道已软化到十分严重的程度, 甚至稍稍用力就能切削管道, 在外力作用下非常容易出现漏水等问题。钢管受电化学腐蚀后, 则非常容易在焊接接口位置出现漏水, 因此需做好内壁防腐措施。

1.5 水锤破坏

供水管网内部水锤现象的产生, 主要在于水流速度快速变化导致压强交替升降, 并对供水管网内壁产生水力冲击, 其产生原因主要在于闸阀启闭不合理、管道设置不规范、水泵设置不佳等。

供水管线通常两端分别连接高位水池或泵站, 管线内部水流保持恒定流速并呈正压运行, 但出现电网

停电、调整输水量导致水泵切换等问题时, 就很容易导致管线内部水流状况急剧变化, 此时接近泵站出口位置的水流流速降低, 远离泵站出口的水流流速则受惯性影响而维持原有流速, 导致管道出现负压, 尤其是坡度较大区域处管道负压更加严重, 导致水中气体析出或水柱分离, 严重时还会导致部分区域出现空管段^[6]。而调整完成后重新启动工作阀, 就会导致之前滞留的水体转向并与新流入水体弥合, 产生严重碰撞, 对管道内壁产生水力冲击。

1.6 运行压力

当前部分地区供水管网开展节能降耗工作, 结合城市用水需求灵活调整供水管网运行压力, 虽然有考虑到管网承受压力, 但部分地区计算管网承受压力时所用参考因素为管网设计数值, 并未结合供水管网长期运行中产生的损耗进行进一步计算。在此基础上, 供水管网开展水压调度时就可能部分时段运行压力高于当前承受能力, 在高、低峰水压作用下导致管网受力状态不佳, 最终引发管网爆损, 此类问题在老化严重的管网体系中更加常见。

2 供水管网爆损控制策略

2.1 管网选材优化

当前管网材料相关研究不断推进, 可以根据当地供水管网运行特点、供水需求选择合适的管道材料, 也可以在供水管道中加入特定组分改善管道应用性能。新铺设管道应从安全性、管材造价、内壁摩擦系数、管道寿命、运维成本等角度综合对比, 比选最合适的管材。现结合常用供水管材应用优势及劣势展开分析(见表1)。

供水管网管道选材应结合当地气候状况、供水需求、压力状况、地质情况等多方面因素共同分析。与河道距离较近的区域需要采用抗腐蚀性能较强且具备良好力学性能的钢筋混凝土管、加砂玻璃钢管, 并根据管道需求做好防腐处理。而开展管道防腐蚀处理时, 也需根据管道特点和外在环境制定针对性防腐措施, 例如部分管线受管径等因素影响, 管内水分会停留较

表1 常用供水管材应用优势及劣势

类别	塑料管	钢管	加砂玻璃钢管	钢筋混凝土管	球墨铸铁管
应用优势	抗腐蚀性能强、方便运输、造价适中	机械性能好、可推广性高、可靠性强	不需防腐处理且抗腐蚀性能强、方便运输、水利条件好	抗腐蚀性能极强、造价低	运输方便、运维方便、事故率低、可结合各类配件、防腐性能强
应用劣势	存在管件配套问题	耐腐蚀性能不足且造价较高	生产厂家少、需现场制作管件、造价较高	对地质条件要求高、无标准化管件	造价较高

长时间,可结合钢塑复合管、高密度聚乙烯管等材料以避免水质二次污染问题。

2.2 优化管网设计

管网设计中应结合《室外给水设计规范》《给水排水设计手册》等相关设计规范,严格做好管网设计。具体实践中,应结合以下注意事项开展:首先应结合地区实际情况选择合适管道,并配备空气室、调压井、水锤消除器、排气阀等配套设施,如果所用管材为钢管,还需在特定距离上设置管道伸缩节;软土土体和硬土土体相交位置应当设置万向伸缩器,避免土体不均匀沉降导致管道受剪力,并做好防温度应力措施;寒冷地区管道埋深不得超过规范要求,避免气温影响;结合当地供水管网实际运行情况做好防水锤效应措施;管线交叉位置、管道需过河点位需采用钢管做倒虹吸管。

2.3 施工技术优化

供水管网施工中应严格按照施工规范开展作业,具体施工时应着重考虑管底基础、管道安装和覆土质量等多方面因素。其中管底基础施工时应当首先检查底部是否存在石块等异物,避免后续运行期间不均匀沉降将导致应力集中,并应铺设一层高质量砂或黏土,确保底层平整,并确保管道下部能够完整接触土体;管道安装则应特别关注管道接头位置安装质量,目前无论是 PVC 管道还是常规球墨铸铁管道均采用柔性橡胶材质接口以降低动荷载、土体荷载和温度差导致的管道应力破坏,提高供水可靠性;管道覆土效果会通过后期土体沉降对管道产生应力影响,尤其是大口径管道对于覆土均匀性、夯实效果有更高要求,回填土夯实密度不足则可能导致不均匀沉降并引发管道变形等问题,因此需结合工程规范要求做好土体检测,避免管道周围土体有石块或其他坚硬物体存在,并确保覆土厚度满足达标。

2.4 防腐处理

供水管道,特别是金属管道,对于防腐处理有一定要求。金属管道的防腐处理要求首先清除管道表面锈斑,而后使用干燥空气吹除管道内壁存在的粉尘。《室外给水设计规范》中明确要求金属管道内壁防腐处理中应优先考虑水泥砂浆衬里,除水泥砂浆外也可根据工程特点及预算考虑采用环氧粉末、环氧液体涂料进行防腐。外防腐处理也需根据管道种类不同选择不同措施,其中球墨铸铁管、铸铁管需采用环氧煤沥青涂料或沥青等涂料加以处理,而钢管对于外防腐要求更高,通常要求两层玻璃纤维布配合三层环氧煤沥青处

理,腐蚀问题严重的区域则设置三层玻璃纤维布配合四层环氧煤沥青加以处理。

部分地区含硫量或其他离子含量较高,需要采取措施防止电化学腐蚀,针对管道直接接触电解质溶液的情况通常采用阴极保护技术加以处理,具体应用时可以采取牺牲阳极法将管道与合金或金属材料连接,避免管道金属材料极化,也可采用强制电流保护法,将管道金属材料与电源负极连接,并提供外部电流。

2.5 管网体系智能运行

针对管网运行体系当前存在的问题,需深入调查供水管网当前实际运行状态,针对服役超过一定年限的管道加装内衬或分段替换,并逐步推进供水管网内部传感器网络安装工作,实时感知管道当前运行压力,基于压力数据和管道运行故障相关数据优化运行压力算法,保障供水管网安全运行。此外,可通过分段式调节阀、电动缓闭阀等策略降低水锤压力产生冲击波的强度,坡度较大区域则可设置排气阀门,需调整水压时估测区域水压状况并根据需求开启排气阀。

3 结束语

围绕供水管网爆损问题,系统剖析管材性能局限、施工缺陷、地质扰动、腐蚀老化、水锤效应及压力失衡等核心诱因,并针对性提出材料优选、设计优化、工艺升级、防腐强化等分级应对策略。未来研究需进一步探索智能监测技术在爆损预警中的应用,推动新材料开发与管网数字化管理深度融合,并建立涵盖地质勘测、材料研发、施工监管、运维诊断的全周期防控机制,推动城市供水系统安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 顾向荣.供水管网爆管监测方法的探索[J].城镇供水,2020(02):42-45,93.
- [2] 戴雄奇,王博彦,林峰,等.供水管网爆管率预测与影响因子分析[J].供水技术,2020,14(01):1-5.
- [3] 王伟.如何制定市政供水管网爆管事故应急预案[J].门窗,2019(19):237,241.
- [4] 张忠贵,王玉岚,邓洋,等.供水管网爆管时空聚类分析研究[J].湖北第二师范学院学报,2019,36(02):36-38.
- [5] 周毓,王晓锐,邹康兵,等.超滤背景下低药剂消毒对供水管网水质安全的影响[J].环境工程学报,2025,19(04):913-921.
- [6] 朱丽红.供水阀门的源头控制管理[J].流体测量与控制,2024,05(06):114-117.