

市政给排水管道施工中的防渗漏控制技术研究

刘晓冬

(淄博天润供水有限公司, 山东 淄博 255400)

摘要 为解决市政给排水管道施工中的渗漏问题,提高管网系统的密封性能和运行稳定性,本研究围绕管道防渗漏控制技术展开分析,探讨了管道渗漏的主要原因,包括施工材料缺陷、施工工艺问题及设计不合理等因素,研究了防渗漏控制技术,从高质量管材选择、密封材料优化、精细化施工工艺、结构设计改进及质量控制等方面提出有效措施,通过优化施工流程和强化管理,提高管道系统的抗渗能力,减少渗漏风险,提升运行安全性和耐久性,旨在为市政给排水工程提供技术支持,为相关从业人员在管道施工及维护管理方面提供参考。

关键词 市政给排水; 管道施工; 防渗漏控制技术

中图分类号: TU991.05; TU992.05

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.06.016

0 引言

随着市政管网建设规模不断扩大,提高管道施工质量、降低渗漏风险已成为行业关注的重点。市政给排水管道是城市基础设施的重要组成部分,其施工质量直接影响供排水系统的稳定性和使用寿命。渗漏问题不仅会导致水资源浪费,还会引发地基沉降、道路塌陷及环境污染等次生灾害,增加维护成本,影响城市排水安全。管道渗漏的成因涉及施工材料、连接工艺、地基稳定性及结构设计等多个方面,因此,针对防渗漏技术进行深入研究具有重要的工程价值。

1 市政给排水管道渗漏的主要原因分析

1.1 施工材料问题

市政给排水管道施工中,施工材料质量直接决定管道的防渗漏性能。部分工程采用质量不达标的管材,如抗渗性较差的混凝土管或壁厚不足的塑料管,导致管道在运行过程中产生裂缝或破损,进而引发渗漏问题。球墨铸铁管在腐蚀环境下发生内壁氧化,降低结构强度,加剧接口渗漏风险。此外,密封材料的质量对管道接口的密封性具有关键作用,劣质橡胶圈在长期运行中容易发生老化、变形或断裂,导致接口密封性能下降。部分施工项目使用不符合规范的密封胶或填充材料,使得管道连接处在受到外部荷载作用时出现微小错位,形成渗漏通道。施工材料的均质性和耐久性不足,会导致管道系统在服役期内密封性能降低,从而增加维护和修复成本,影响给排水管网的长期稳定运行^[1]。

1.2 施工工艺缺陷

施工工艺直接影响管道系统的整体密封性能,工艺缺陷是造成渗漏的主要因素之一。在接口处理方面,承插式接口未按标准进行橡胶圈安装或润滑剂涂抹不均,会导致密封圈翻转、扭曲,造成密封不严。热熔焊接管道如温度控制不当,形成虚焊、冷焊或焊缝缺陷,降低管道接口的抗渗性能。法兰连接螺栓未按规定扭矩紧固,容易因受力不均导致局部泄漏。在基础施工方面,地基处理不充分会引发不均匀沉降,使管道承受额外应力,导致接口开裂或错位,破坏密封效果。回填施工若采用大颗粒石料或未进行分层夯实,造成管道局部受力不均,加速管道损坏,形成渗漏点。施工过程中未进行严格的闭水试验或压力试验,使得潜在缺陷未能及时发现,埋下隐患,影响管网的长期运行安全。

1.3 设计缺陷

给排水管道设计的合理性对系统的密封性能具有决定性影响,设计缺陷会导致渗漏隐患。管道坡度未按规范设计,导致流速降低,水流滞留增加内部压力,对管道接缝施加长期渗漏风险。管径选择不合理,流量过载或流速过快会增加管道内部压力冲击,使连接部位长期受力,导致密封圈变形或管壁损坏。管道结构设计缺陷主要体现在检查井与管道接口处理不当,检查井基础沉降导致管道连接处受力不均,产生微小裂隙并逐步扩大成渗漏点。此外,抗浮设计不足使地下水水位变化时管道发生上浮或下沉,使接口连接受力异常而破坏密封性能。设计阶段未充分考虑地质条件,

导致在软土地基、膨胀土地区或高地下水水位区域的管道易发生应力集中,从而引发管体开裂或接口渗漏,影响系统的长期稳定性和密封性能^[2]。

2 市政给排水管道施工中的防渗漏控制技术

2.1 材料选择与优化

2.1.1 高质量管材的选用

高质量管材的选择对市政给排水管道的防渗漏性能具有决定性作用,不同类型管材的抗渗能力、耐腐蚀性能及使用寿命直接影响管道系统的密封效果。高密度聚乙烯(HDPE)管凭借其优异的耐化学腐蚀性、较低的水力阻力系数(0.009)以及良好的柔韧性,能够有效减少因地基沉降或外部荷载引起的结构性渗漏。球墨铸铁管具备较高的抗拉强度(≥ 420 MPa)和延伸率($\geq 10\%$),可有效抵御外部压力作用,但在高腐蚀环境下需进行内外防腐处理,如喷涂环氧树脂或采用水泥砂浆衬里。钢筋混凝土管(RC管)具有优异的耐压性,其抗压强度可达40 MPa以上,但渗透系数较大($10^{-6} \sim 10^{-8}$ cm/s),需采取防渗涂层或外包防水层以提高密封性能。玻璃钢夹砂管(RPM管)因其优异的抗渗性能(渗透率 $< 10^{-13}$ cm/s)和耐化学腐蚀性,适用于高腐蚀环境下的排水系统。管材选择需结合工程环境、设计压力、流体特性及使用年限综合考虑,以确保管道在长期运行中的密封性能稳定,减少渗漏风险。

2.1.2 优质密封材料的应用

密封材料的性能直接影响管道接口的密封效果,其耐久性、弹性及抗老化性能决定密封性能的稳定性。橡胶密封圈常用于承插式连接管道,其材料通常选用三元乙丙橡胶(EPDM)或丁腈橡胶(NBR),EPDM橡胶密封圈耐高低温($-40 \sim 120$ °C)、抗老化性能优越,且使用寿命可达30年以上。NBR橡胶圈适用于油类或化学介质较多的环境,其耐油性和耐磨性较EPDM更优。在焊接接口中,密封胶的选择需满足耐高温、抗腐蚀及柔性密封的要求,常见的密封材料包括聚氨酯(PU)密封胶、聚硫(PS)密封胶及改性硅酮(MS)密封胶,其中PU密封胶的延伸率高达400%以上,可有效适应接口变形。柔性接口填充材料应具备良好的耐水渗透性和耐久性,如沥青麻丝、膨胀橡胶垫片等,其吸水膨胀率可达300%以上,可在管道接口微小变形时保持有效密封。密封材料的选型需依据管道运行条件、环境介质及结构受力情况合理配置,以确保管道接口长期稳定,避免因密封材料老化、变形或脱落引起渗漏问题。

2.2 施工工艺优化

2.2.1 高精度管道连接施工技术

高精度管道连接施工技术对于提升接口密封性能、降低渗漏风险具有重要作用。承插式接口施工过程中,

橡胶圈安装应采用双环密封方式,并确保安装位置精确,偏差控制在 ± 2 mm范围内,以增强密封性。热熔焊接工艺适用于HDPE管道,焊接温度应控制在 $220 \sim 240$ °C,加热时间根据管径大小确定,例如DN315 mm管道的标准加热时间为60秒,确保焊接熔接质量。法兰连接采用矩阵均匀紧固方式,螺栓紧固力矩应控制在 $50 \sim 100$ N·m,防止受力不均导致接口泄漏。钢筋混凝土管道连接需严格控制接口砂浆的配合比,水灰比应小于0.5,施工后养护不少于7天,保证接口强度达到5 MPa以上。为确保连接质量,施工完成后需进行闭水试验,试验水压应达到管道设计压力的1.5倍,且持续30分钟内压降不得超过0.02 MPa,以验证接口的密封性能^[3]。

2.2.2 地基处理与沉降控制技术

地基处理与沉降控制技术直接关系到管道的长期稳定性及接口密封效果。软土地基地区应采用换填法、CFG桩复合地基或深层搅拌桩加固,换填材料可选用级配砂石,其渗透系数应控制在 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$ cm/s,以确保足够的承载力和排水性。管道基础应采用砂砾石或C15混凝土垫层,厚度一般不小于150 mm,确保支撑均匀,减少局部应力集中。为控制沉降差异,应在接口处设置柔性连接,如球形接头或橡胶膨胀节,以适应最大3%~5%的轴向变形。管道埋深较大的区域应进行分层回填,每层回填厚度控制在200~300 mm,并采用振动夯实机或冲击碾压法,压实度应达到90%以上(重型击实标准),防止因回填不均导致管道产生附加应力。沉降监测应贯穿施工全过程,可采用水准测量法或沉降传感器,监测频率不低于7天一次,以确保地基沉降稳定,避免因不均匀沉降引发接口错位和渗漏问题。

2.3 结构设计优化

2.3.1 优化排水管道坡度与布局

排水管道的坡度与布局直接影响排水效率及渗漏风险,合理的坡度设计能够确保水流畅通,减少沉积和水头压力过大导致的渗漏问题。重力流排水管道的坡度设计应符合规范要求,例如,DN200 mm管道的最小坡度应为0.005, DN400 mm管道最小坡度应为0.0025,以保证最小流速不低于0.6 m/s,防止固体沉积。过大坡度会导致水流紊乱,引发管壁冲刷,磨损管道材料,影响长期密封性能。因此,城市排水系统布局应遵循“分区分流、就近排放、顺应地势”的原则,合理布置主、次支管网,避免长距离输送造成水力损失和渗漏风险。在地势低洼区域,可采用倒虹吸管设计,并配套压力排水泵站,以维持管道内水流稳定,防止倒流对接口密封造成冲击。管道布置时需避开地质条件复杂区域,

如软土地基、膨胀土及地下水位高的区域，以减少地基沉降对管道接口的破坏作用。对于雨污分流制排水系统，雨水管网坡度应适当增大，以满足降雨高峰期快速排放的需求，而污水管道应保持平稳坡度，以减少水头损失并降低渗漏风险^[4]。

2.3.2 加强检查井和接口结构设计

检查井和管道接口结构的合理设计对防止渗漏具有关键作用，优化结构形式可有效提高接口密封性，减少渗漏风险。检查井的基础设计应采用C25及以上强度等级混凝土，并设置钢筋网增强井壁抗裂能力，井底厚度应不小于200 mm，以提高结构稳定性。砖砌检查井在高地下水位区域容易产生渗漏，可采用整体预制混凝土检查井，其抗渗等级不低于P8，并在接口处增设止水环，以增强密封效果。井筒与管道连接处应采用柔性接口，如橡胶圈连接或套管式防水连接，允许一定程度的沉降变形，适应地基变化，防止因刚性连接受力不均导致的接口开裂。对于DN1000 mm以上的检查井，应增加防渗涂层，如环氧树脂涂层或聚氨酯防水涂层，其抗渗能力可达到 10^{-12} cm/s，确保长期稳定运行。管道接口设计需严格控制承插接口尺寸精度，插入深度误差不超过 ± 5 mm，以保证密封圈均匀受力，提高防渗效果。对于压力管道，应采用双密封圈或法兰连接，并配置抗震伸缩节，以适应最大5%的轴向变形，防止接口泄漏。

2.4 施工质量控制

2.4.1 施工过程中的检测与控制

施工过程中的检测与控制是确保管道系统密封性的重要环节，严格的质量检测能够有效预防渗漏问题，提高管道运行的安全性与耐久性。管材进场前应进行质量检测，HDPE管道的拉伸强度应不低于20 MPa，球墨铸铁管的抗拉强度应达到420 MPa以上，并对密封圈进行老化试验，确保其延伸率大于400%。接口施工过程中，承插接口的同心度误差不得超过3 mm，法兰连接螺栓紧固应采用对角均匀施力方式，紧固扭矩控制在50~100 N·m，防止因受力不均导致密封失效。管道铺设完成后需进行闭水试验或气密性试验，闭水试验标准要求管道内水位保持30分钟，允许渗水量不得超过 $0.05 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ ，气密性试验时气压应维持0.05 MPa，5分钟内压降不得超过10%。对埋深较大的管道需采用CCTV管道内窥检测技术，检测管道内部焊缝、接口密封圈及管壁状况，确保无错位、裂缝或渗漏隐患。所有检测数据应记录归档，施工过程中发现质量问题需立即整改，确保管道施工质量满足设计及规范要求，提高管网的长期密封性和运行稳定性。

2.4.2 施工人员技能培训与管理

施工人员技能水平直接影响市政给排水管道的施

工质量，加强人员培训和管理能够有效减少施工误差，提高工程整体密封性能。施工技术人员应具备相关专业资格，并定期接受培训，掌握最新施工工艺和标准规范，例如《城镇给水排水技术规范》(GB 50788—2012)及《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)。焊接人员须通过熔接工艺考核，HDPE管道热熔焊接时应确保熔接面温度控制在220~240℃，焊接完成后冷却时间不少于10分钟，以保证焊缝焊接质量。承插式接口安装人员需熟练掌握密封圈安装技巧，确保密封圈均匀受力，避免安装过程中出现扭曲或损坏。施工现场管理应建立严格的质量监督机制，实行责任到岗制度，每道工序应由专业技术人员验收并签字确认，确保施工过程符合设计标准。施工日志需详细记录管道铺设、接口处理、检测试验等环节，并存档备查。采用信息化管理手段，如BIM技术或施工过程可视化监测系统，可实时跟踪施工质量，确保管道施工的规范性和密封性能，提高整体工程质量，降低渗漏风险^[5]。

3 结束语

市政给排水管道施工中的防渗漏控制技术对管网的长期稳定运行至关重要。合理选择高质量管材与密封材料能够提高接口密封性能，优化施工工艺可减少施工缺陷导致的渗漏风险，科学的结构设计能够增强系统的整体抗渗能力，而严格的施工质量控制则可确保各环节符合技术标准。防渗漏控制技术的综合应用不仅能提升市政管网的运行效率，还能降低维护成本，减少环境污染，保障城市供排水系统的安全性与可靠性。未来，随着新材料、新工艺的不断发展，防渗漏技术将得到进一步优化，提高市政给排水系统的耐久性与稳定性，为城市基础设施建设提供更加可靠的技术支持。

参考文献:

- [1] 陈巍. 市政给排水管道施工中防渗漏施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(08):154-156.
- [2] 孙敏强. 现代化市政给排水工程管道防渗漏施工控制技术[J]. 建筑技术开发, 2021,48(24):77-78.
- [3] 温绍启. 现代化市政给排水工程管道防渗漏施工控制技术[J]. 施工技术, 2020,49(S1):553-556.
- [4] 常拥. 市政给排水工程管道防渗漏施工控制技术[J]. 工程机械与维修, 2024(05):34-36.
- [5] 段强. 市政给排水工程管道防渗漏施工控制对策研究[J]. 工程建设与设计, 2022(21):143-145.