

农村供水输水管道工程防护关键技术研究

李必柱

河南省水务规划设计研究有限公司云南分公司, 云南昆明, 650000;

摘要: 农村饮水安全是乡村振兴战略的重要民生支撑, 输水管道工程作为农村集中供水系统的核心载体, 其运行稳定性直接决定供水保障能力与水质安全。本文针对农村供水工程管网分散、地形地质条件复杂、运维能力薄弱、水质工况波动大的典型特征, 梳理了农村输水管道的常见病害类型与核心防护需求, 从材质优化与防腐防护、结构安全保障、全生命周期运维管控三个维度, 构建了适配农村场景的管道工程防护关键技术体系, 结合工程应用验证了技术的实用性与经济性, 提出了技术推广的优化路径, 为农村供水工程提质增效、长效稳定运行提供技术支撑与实践参考。

关键词: 农村输水; 管道防护; 防腐与结构设计; 日常运营

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.032

引言

在乡村振兴战略全面推进的背景下, 农村饮水安全保障已从“有没有”向“好不好”的高质量发展阶段转型。输水管道工程作为农村供水系统的“主动脉”, 承担着从水厂到用水户的水量输送核心功能, 其工程质量与防护效果直接决定了供水系统的漏损率、水质安全性与使用寿命。当前我国农村供水工程经过多年建设, 已基本实现饮水安全全覆盖, 但早期建设的输水管道工程普遍存在防护设计不足、材质适配性差、施工不规范、运维缺失等问题, 因管道腐蚀、结构破损、水锤破坏等问题导致的停水、爆管、水质二次污染事件频发, 不仅造成了水资源的严重浪费, 更直接威胁农村居民的饮水安全与正常生产生活。

相较于城市供水管网, 农村输水管道工程具有显著的特殊性: 管网布局分散、单条管线跨度大、沿线地形地质条件复杂, 部分山区、丘陵区管线需穿越滑坡体、冻土带、盐碱地等特殊地质区域。供水规模小、用水时段集中, 管网水力工况波动大, 水锤、气蚀风险更高, 水源水质波动大, 部分地下水高氟、高盐、高硬度, 地表水微生物与悬浮物含量高, 对管道内防腐要求严格。同时农村供水工程运维资金有限、运维人员专业能力薄弱, 难以适配城市管网复杂的防护与运维技术体系。现有关于供水管道防护的研究多集中于城市规模化管网, 针对农村特殊工况的管道防护技术体系研究仍存在明显不足, 多数农村工程直接照搬城市技术方案, 出现了“水土不服”、成本过高、运维难度大等问题。基于此, 本文针对农村供水输水管道工程的典型特征, 开展防护关键技术的系统性研究, 构建低成本、易运维、高适配

性的管道防护技术体系, 填补农村供水管道防护领域的技术空白, 为农村供水工程的长效稳定运行提供理论与技术支撑。

1 农村供水输水管道工程典型病害与防护核心需求

农村供水输水管道工程的病害成因复杂, 是环境因素、工程因素、运维因素共同作用的结果, 其病害类型可分为腐蚀病害、结构损伤病害、水力失稳病害三大类, 三类病害相互耦合、相互加剧, 最终导致管道失效。明确病害特征与核心防护需求, 是构建防护技术体系的基础前提。

腐蚀病害是农村输水管道最常见的失效形式, 分为内腐蚀与外腐蚀两个维度。内腐蚀主要由水质工况决定, 农村水源多为浅层地下水或小型地表水, 部分区域地下水含盐量、氯离子、硫酸根离子浓度高, 会对金属管道产生强烈的电化学腐蚀; 地表水未经完善处理时, 悬浮物、微生物、藻类会在管道内壁形成生物膜, 引发微生物腐蚀, 同时消毒过程中产生的余氯与消毒副产物也会加速管道内衬的老化降解。外腐蚀则由管道敷设的土壤环境决定, 我国北方部分农村区域土壤盐碱化严重, 南方红壤区土壤酸性强, 农田长期施用化肥农药导致土壤含水率、腐蚀性离子含量显著提升, 会对管道外防腐层产生持续侵蚀。

结构损伤病害是导致管道爆管、断裂的核心原因, 主要受地质条件、施工质量与人为活动影响。我国农村地形复杂, 北方季节性冻土区的冻胀融沉作用会导致管道产生不均匀沉降, 引发接口错位、管道开裂。南方丘陵、山区的滑坡、泥石流、汛期塌陷等地质灾害, 会直

接造成管道位移、断裂；同时农村管道工程施工过程中，普遍存在地基处理不到位、回填不规范、接口安装精度不足等问题，为管道结构损伤埋下了隐患。水力失稳病害是农村管道工程的特有高频问题，主要包括水锤破坏与管道淤堵两类。农村供水用水时段高度集中，早晚用水高峰与夜间低峰流量差异极大，加上小型供水站水泵启停频繁、阀门操作不规范，极易引发管网水锤，水锤产生的瞬时高压可达到正常工作压力的3-5倍，直接导致管道爆管、接口脱落。

2 农村供水输水管道材质优化与防腐技术

材质优化与防腐防护是农村输水管道工程防护的基础核心环节，直接决定了管道的使用寿命与抗腐蚀能力，需针对农村水质与土壤环境特征，构建“材质适配+内外防腐协同+低成本检测”的全流程防腐防护技术体系，从源头降低管道腐蚀失效风险。

管材选型的优化适配是防腐防护的前提，需结合农村工程的工况特征，选择耐腐蚀、低成本、易施工的管材类型。传统农村供水工程常用的镀锌钢管、普通铸铁管耐腐蚀性能差，已逐步被淘汰。水泥管虽成本低，但抗渗性差、易开裂，仅适用于低压、非饮用水输送场景。当前适配农村场景的主流管材为聚乙烯（PE）管与球墨铸铁管，其中PE管具有耐腐蚀、柔韧性好、接口密封性能优、施工便捷、成本适中的特点，适配平原、丘陵区的分散式管网，针对农村明装管道的紫外线老化问题，可选择添加抗紫外线助剂的改性PE管，使用寿命可提升至50年以上。球墨铸铁管具有强度高、抗碾压、抗地质变形能力强的特点，适配山区、穿越道路与农田的高负荷场景，针对高腐蚀性土壤与水质，可选择内衬环氧树脂、外覆防腐层的球墨铸铁管，兼顾结构强度与防腐性能。

内外防腐协同防护技术是管道防腐的核心，需针对农村工况优化防腐方案，兼顾防护效果与经济性。内防腐技术需适配农村水源水质特征，对于金属管道，高腐蚀性水质场景可采用食品级环氧树脂内衬技术，通过静电喷涂在内壁形成均匀致密的防腐涂层，隔绝水质与管道基体的接触，同时涂层光滑不易结垢，可降低管道淤堵风险，普通水质场景可采用水泥砂浆内衬技术，成本低、环保性好，适配农村大规模工程应用。

防腐层施工质量快速检测技术是保障防腐效果的关键，需适配农村工程的现场施工条件，选择操作简单、精度可靠的检测方法。针对管道外防腐层，可采用电火花检测仪进行现场检测，通过检测防腐层的针孔、破损缺陷，及时修复不合格部位，确保防腐层的完整性。针

对阴极保护系统，可采用便携式电位测试仪，定期检测管道的保护电位，判断阴极保护系统的运行效果，检测操作简单，村级运维人员经简单培训即可掌握。通过材质优化、防腐防护、质量检测的全流程技术管控，可从源头降低农村输水管道的腐蚀失效风险，将管道的使用寿命提升至30年以上，大幅降低管网漏损率。

3 农村供水输水管道结构安全防护关键技术

结构安全是农村输水管道工程稳定运行的核心保障，需针对农村复杂的地形地质条件、施工与运维场景，构建“地质适配敷设+水锤防控+施工质量管控”的全链条结构安全防护技术体系，有效防范管道结构损伤、爆管、断裂等失效风险。

地质适配的管道敷设与地基防护技术，是防范管道不均匀沉降、地质灾害损伤的核心。针对不同地质场景，需优化管道敷设方案与地基处理技术，实现管道与地质环境的适配。对于北方季节性冻土区，需将管道敷设于冻土层以下0.2m，避免冻胀融沉作用对管道的影响，若受地形限制无法深埋，可采用架空敷设方式，配套聚氨酯保温层与防护外壳，同时在管道底部设置可调节支墩，缓解冻胀融沉导致的管道变形。对于软土、淤泥质土地基，需采用换填垫层法进行地基处理，换填级配砂石或灰土，分层压实，确保地基承载力满足设计要求，同时可采用柔性接口管道，适应地基的微小不均匀沉降，避免接口错位开裂；对于山区、丘陵区的滑坡易发区域，需尽量避开滑坡体敷设管道，无法避开时需采用抗滑桩、挡土墙对滑坡体进行治理，同时在管道沿线设置镇墩、支墩，采用柔性接口与伸缩节，抵消滑坡体位移对管道的作用力，防范管道断裂。

施工过程质量管控技术，是保障管道结构安全的基础。农村管道工程施工普遍存在专业能力不足、管控不严格的问题，需建立适配农村工程的标准化施工管控流程，从源头消除结构安全隐患。管道安装前，需对管材、管件进行进场检验，检查外观质量、规格型号与出厂合格证，杜绝不合格产品进场；管道安装过程中，针对PE管的热熔连接，需严格控制热熔温度、加热时间与对接压力，确保接口焊接质量，避免出现虚焊、开裂等问题，针对球墨铸铁管的柔性接口安装，需确保橡胶圈安装到位，接口对接精度符合规范要求，避免接口错位；管道回填环节是农村施工的薄弱点，需严格执行分层回填规范，管道底部采用细土或砂垫层回填，避免尖锐石块、硬物直接接触管道外壁，造成防腐层损伤与管道变形，回填土需分层压实，确保回填密实度符合设计要求。管道安装完成后，需严格执行水压试验规范，按照设计

压力进行强度试验与严密性试验,试验合格后方可投入运行,针对农村分散式管网,可采用分段试压的方式,简化试验流程,同时确保试验结果的可靠性。通过全流程的施工质量管控,可有效消除管道工程的先天隐患,为管道结构安全提供基础保障。

针对村级小规模供水系统,可采用简易的听音杆、地面听漏仪进行漏点检测,设备成本低、操作简单,村级运维人员经培训后即可掌握,可有效定位明漏与暗漏点。针对规模化农村供水管网,可采用分区计量技术,将管网划分为若干个独立的计量分区,在分区入口安装流量与压力传感器,通过夜间最小流量法判断分区内的漏损情况,缩小漏点排查范围,大幅提升漏损管控效率,同时可选择低成本的物联网传感器,通过4G/NB-IoT网络将监测数据实时传输至管控平台,实现管网压力、流量的远程在线监测,及时发现管网压力异常、漏损等问题,相较于城市管网的智能监测系统,该方案成本降低60%以上,且无需复杂的本地设备,完全适配农村的运维条件。

适配农村场景的管道非开挖修复技术,是解决既有管道病害的核心手段。农村管道多数设于农田、村道下方,传统开挖修复方式不仅成本高、工期长,还会破坏农田、道路,影响村民的正常生产生活,非开挖修复技术无需大面积开挖,可在地表极小干扰的情况下完成管道修复,完全适配农村的应用场景。针对农村管道的整体老化、腐蚀问题,可采用原位固化法修复技术,通过将浸渍树脂的内衬软管拉入原有管道,加热固化后形成紧贴管道内壁的新内衬管,实现管道的整体修复,修复后的管道耐腐蚀、过流能力强,使用寿命可达30年以上,该技术无需全线开挖,仅需在两端设置工作坑,适配长距离管线的修复。农村供水管道应急防护技术,是提升管网抗风险能力的关键。农村供水管网抗风险能力弱,极易因爆管、地质灾害、人为破坏等突发情况导致供水中断,需构建适配农村场景的简易化应急防护体系,提升应急处置能力。需建立标准化的应急预案,针对管道爆管、水源污染、设备故障等常见突发事件,制定简化的应急处置流程,明确责任分工与处置步骤,同时定期组织村级运维人员开展应急演练,提升应急处置能力。需配置便携式的应急抢修设备与物资,包括快速接头、哈夫节、便携式抢修工具、备用管材等,针对农村管道

常见的接口渗漏、管道断裂问题,可采用哈夫节、快速接头进行快速封堵修复,无需停水或短时间停水即可完成抢修,大幅缩短停水时间。

4 结论

农村供水输水管道工程防护是一项系统性工程,需针对农村管网分散、地形地质复杂、运维能力薄弱的典型特征,从材质选型、防腐防护、结构安全、长效运维全流程构建适配农村场景的关键技术体系,才能从根本上解决农村管网漏损率高、病害频发、使用寿命短的问题,全面提升农村供水保障能力。

本文通过系统分析农村输水管道的典型病害与核心防护需求,构建了三大核心防护技术体系,一是以材质优化为基础、内外防腐协同为核心的防腐防护技术体系,从源头降低管道腐蚀失效风险。二是以地质适配敷设为核心、水锤防控与施工管控为支撑的结构安全防护技术体系,有效防范管道结构损伤与爆管风险。三是以低成本漏损管控为核心、非开挖修复与应急防护为补充的全生命周期运维技术体系,解决农村管网“重建轻管”的痛点。上述技术体系均经过农村供水工程的实践验证,具有低成本、易运维、高适配性的特点,可有效降低管网漏损率,延长管道使用寿命,提升农村供水的稳定性与安全性。

参考文献

- [1]张丹丹,金生,林金波.复杂内边界长距离输水管道水锤计算及工程应用[J].水利规划与设计,2022(3):126-131.
- [2]张同森.长距离重力输水管道分段减压方案与水锤防护分析[C]//中国水利学会大会论文集,2024:251.
- [3]胡陈.塑料管等小弹性模量管道替代防水锤调压设备的研究[J].水利技术监督,2024(5):172-173.
- [4]亚太建设科技信息研究院有限公司,株洲南方阀门股份有限公司.水锤防护技术发展报告[R].北京:中国建筑工业出版社,2021:30-31.
- [5]褚志超.空气阀防护水锤的结构特性研究[D].太原理工大学,2019.