

供水设备设施长效防腐涂层技术应用分析

李涛

嘉峪关市清源通洁污水处理有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i7.2762

[摘要] 供水设备设施(管道、储罐、泵站设备等)是城市供水系统的核心组成部分,其腐蚀问题直接影响供水安全与系统使用寿命。当前我国部分供水设备因防腐措施不当,年均腐蚀速率超0.2mm,导致管道漏损率高达15%–20%,年维修成本占设备总投资的8%–12%。本文基于供水设备设施的腐蚀环境特点(水质、温度、压力等),系统分析环氧树脂涂层、聚脲涂层、氟碳涂层三类主流长效防腐涂层技术的性能指标、施工工艺与适用场景,结合实际应用案例验证技术成效。研究表明,优质长效防腐涂层可使供水设备设施使用寿命延长10–15年,漏损率降低至8%以下,为供水系统提质增效、降低运维成本提供技术支撑。

[关键词] 供水设备设施; 长效防腐涂层; 环氧树脂; 聚脲; 氟碳涂层

中图分类号: TU731.5 文献标识码: A

Analysis of Long-Term Corrosion-Resistant Coating Technology Application in Water Supply Equipment and Facilities

Tao Li

Qingshui River Sanitation and Wastewater Treatment Co., Ltd., Jiayuguan City

[Abstract] Water supply equipment and facilities (pipelines, storage tanks, pump station equipment, etc.) are the core components of urban water supply systems, and their corrosion problems directly affect water supply safety and system service life. Due to improper anti-corrosion measures, some water supply equipment in China has an average annual corrosion rate of over 0.2mm, resulting in pipeline leakage rates as high as 15%–20%, and annual maintenance costs accounting for 8%–12% of the total equipment investment. This article is based on the corrosion environment characteristics of water supply equipment (water quality, temperature, pressure), and systematically analyzes the performance indicators, construction processes, and applicable scenarios of three mainstream long-term anti-corrosion coating technologies: epoxy resin coating, polyurea coating, and fluorocarbon coating. The technical effectiveness is verified through practical application cases. Research has shown that high-quality and long-lasting anti-corrosion coatings can extend the service life of water supply equipment by 10–15 years, reduce leakage rates to below 8%, and provide technical support for improving the quality and efficiency of water supply systems and reducing operation and maintenance costs.

[Key words] water supply equipment and facilities; Long term anti-corrosion coating; Epoxy resin; Polyurea; Fluorocarbon coating

引言

供水系统承担着城市居民生活用水与工业生产用水的输送任务,其设备设施(包括钢管、球墨铸铁管、储水罐、水泵机组等)长期处于水介质浸泡、干湿交替或土壤掩埋环境中,易发生电化学腐蚀与化学腐蚀。据《中国城市供水发展报告2024》数据显示,我国城市供水管网总里程超120万公里,其中使用年限超15年的老旧管网占比达30%,因腐蚀导致的管网漏损量每年超50亿立方米,相当于1500万人口的年用水量;某省会城市2023年因水泵叶轮腐蚀、储罐内壁锈蚀引发的停水事故达18起,直接

经济损失超2000万元。

传统防腐措施(如普通油漆、镀锌层)存在防腐周期短(3–5年需重新维护)、耐水性差、附着力弱等问题,难以满足供水设备“长效运行”需求。随着材料技术发展,长效防腐涂层凭借“高耐腐蚀性、长使用寿命、强环境适应性”等优势,逐渐成为供水设备防腐的主流选择。然而,当前部分供水企业在涂层选型中存在“盲目跟风”现象,未结合设备工况(如输水管网的水质pH值、泵站设备的压力等级)选择适配涂层,导致防腐效果不佳——某城市给水管网采用不适合高氯水质的涂层,仅使用6年便出现大

面积剥落, 腐蚀速率回升至0.18mm/年。在此背景下, 系统分析供水设备长效防腐涂层技术的特性与应用要点, 对提升供水设备防腐效果、保障供水系统稳定运行具有重要现实意义。

1 供水设备设施主流长效防腐涂层技术分析

1.1 环氧树脂涂层: 性价比优选, 适配常规供水场景

环氧树脂涂层作为一种高性能的防腐材料, 其主要成分是以环氧树脂为基体材料, 通过科学配比添加专用固化剂、防锈颜料、填料以及各种助剂等复合而成。这种涂层体系凭借其出色的综合性能, 已成为当前供水管道系统、储罐内壁防护等领域的首选防腐技术方案。从技术特性来看, 该涂层具有三大显著优势: 首先, 其具有极强的附着力性能, 经过专业测试表明, 该涂层对钢铁基材、混凝土等常见工程材料的附着力强度可稳定达到5MPa以上(依据GB/T5210《色漆和清漆拉开法附着力试验》标准测试), 这种优异的附着力确保了涂层在长期水流冲刷、温度波动等工况条件下仍能保持完整,^[1]不易出现剥落现象; 其次, 该涂层展现出卓越的耐水性和耐化学腐蚀性能, 在pH值4-10的中性至弱酸碱水质环境中, 经过长达5000小时的浸泡试验后, 涂层表面依然保持完好, 无任何起泡、锈蚀等缺陷, 完全符合GB/T17219《生活饮用水输配水设备及防护材料安全性评价标准》的严格要求, 特别适用于生活饮用水输送管道的防护; 第三, 该涂层的施工工艺已经相当成熟完善, 可采用高压无气喷涂、滚涂等多种施工方式, 在常温条件下即可完成固化过程, 单道施工即可形成50-150 μ m的均匀涂层厚度, 能够满足绝大多数供水设备的防腐需求。

在实际工程应用中, 环氧树脂涂层特别适用于常规工况条件下的各类供水设施防护, 主要包括: 城市地下管网中的埋地钢管(适用于土壤腐蚀性中等区域)、室内储水罐的内壁防护、中小型泵站的水泵外壳保护等。以某城市2020年实施的供水管网改造项目为例, 该工程对20公里DN1200规格的埋地钢管采用了环氧树脂涂层进行防腐处理, 经过4年运行后的2024年检测数据显示, 涂层完好率仍高达92%, 管道年腐蚀速率控制在0.02mm以下, 与未采用涂层的同类管道(年腐蚀速率0.15mm)相比, 腐蚀速率降低了87%。

1.2 聚脲涂层: 抗冲击耐磨损, 适配复杂工况设备

聚脲涂层由异氰酸酯组分与氨基化合物组分反应生成, 具有固化速度快(常温下10-30秒凝胶)、抗冲击强度高、耐候性强的特点, 适合工况复杂的供水设备(如泵站压力管道、室外大型储罐、水厂沉淀池钢结构)。其核心优势在于: 一是物理性能优异, 拉伸强度可达20MPa以上, 断裂伸长率超300%, 能承受水流冲击与设备振动带来的应力, 涂层不易开裂; 二是耐磨损与耐候性好, Taber耐磨指数(CS-10砂轮, 1000g载荷) \leq 50mg/1000转, 在室外暴晒5000小时后, 色差 $\Delta E \leq 3$, 适合露天安装的供水设备;^[2]三是施工适应性强, 可在潮湿基材表面(含水率 \leq 10%)施工, 且对异形结构(如管道弯头、储罐封头)的覆盖率达100%, 无施工盲区。

在应用场景上, 聚脲涂层尤其适合高应力、高磨损的供水设

备: 如城市供水加压泵站的压力管道(工作压力1.0-2.5MPa)、水厂进水口的格栅钢结构(长期受水流冲刷与泥沙磨损)、室外露天储水罐外壁。某沿海城市2021年对水厂进水格栅钢结构采用聚脲涂层防腐, 2024年检查发现, 涂层无磨损剥落, 钢结构无锈蚀, 较传统防腐涂层(3年需翻新)使用寿命延长2倍; 某加压泵站压力管道采用聚脲涂层后, 4年内未出现因腐蚀导致的管道破裂, 维修次数从每年2次降至0次。但该涂层成本较高(约为环氧树脂涂层的1.5-2倍), 且对施工环境温度要求较高(宜5-35 $^{\circ}$ C), 低温环境需采取加热措施。

1.3 氟碳涂层: 超耐候抗老化, 适配特殊环境设备

氟碳涂层以含氟树脂(如聚四氟乙烯、聚偏氟乙烯)为基料, 具有超强耐候性、耐化学腐蚀性与耐高低温性, 是供水设备在极端环境下(如高盐雾、强紫外线、极端温差)防腐的优选技术。^[3]其核心性能指标突出: 一是耐候性极强, 在紫外线暴晒10000小时后, 涂层光泽保持率 \geq 80%, 无粉化、开裂现象, 适合沿海地区或高原强紫外线区域的供水设备; 二是耐化学腐蚀范围广, 可耐受pH值2-12的酸碱水质, 且对氯、臭氧等消毒剂的耐受性优异, 适合污水处理厂回用供水管道或臭氧消毒系统设备; 三是耐高低温性好, 可在-50 $^{\circ}$ C至150 $^{\circ}$ C范围内长期使用, 适合北方严寒地区的室外供水管道(避免冬季冻融导致涂层剥落)。

在应用场景上, 氟碳涂层主要用于特殊环境的供水设备: 如沿海城市的埋地管网(土壤含盐量高)、高原地区的露天储水罐、污水处理厂的再生水输送管道。某沿海城市2020年对15公里沿海区域供水管网采用氟碳涂层, 2024年检测显示, 涂层完好率达95%, 管道腐蚀速率仅0.01mm/年, 远低于同区域未涂层管道(0.2mm/年); 某高原水厂露天储水罐采用氟碳涂层后, 6年内涂层无老化现象, 储水罐内壁无锈蚀, 水质未受影响。但氟碳涂层存在施工难度大(需高温固化, 固化温度180-220 $^{\circ}$ C)、成本高(约为环氧树脂涂层的3-4倍)的问题, 仅在特殊环境下优先选用。

2 供水设备长效防腐涂层技术应用优化建议

2.1 科学选型: 结合工况匹配涂层类型

供水企业需要建立一套科学完善的“工况-涂层”匹配评估体系, 以杜绝涂层选型过程中的盲目性和随意性。具体实施路径可分为三个关键步骤: 首先, 要全面梳理和明确各类供水设备的详细工况参数, 包括但不限于水质指标(如pH值、余氯含量、各类污染物成分及浓度)、环境条件(如温度变化范围、空气湿度、土壤腐蚀性等级)以及运行参数(工作压力范围、介质流速等), 形成完整的设备工况参数清单; 其次, 要基于工况参数制定针对性的涂层选型标准, 例如对于余氯含量超过2mg/L的高氯水质环境, 应优先考虑采用氟碳涂层或改性环氧树脂涂层, 对于工作压力超过2.0MPa的高压管道, 聚脲涂层是更优选择, 而普通埋地管道则可选用经济性更好的常规环氧树脂涂层; 最后, 对于大型储水罐、关键泵站设备等重要设施, 必须进行严格的小样测试, 即在正式施工前截取基材样品, 涂覆候选涂层后开展模拟工况测试(包括长期浸泡试验、机械冲击测试、耐磨性测试等), 通过实验数据验证防腐效果后再确定最终涂层方案。

2.2 规范施工：把控全流程质量节点

施工质量是决定涂层防腐效果的关键因素，必须从基材处理、涂层施工、固化养护三个关键环节严格把控施工流程。首先在基材预处理阶段，金属基材表面必须采用喷砂除锈工艺达到Sa2.5级除锈标准（GB/T8923），除锈后需在4小时内完成首道涂层的施工，以防止基材表面因暴露在空气中而产生二次锈蚀；对于混凝土基材（如储水池内壁等特殊结构），则需要先进行专业的找平处理和密封处理，确保基材表面平整度控制在 $\leq 2\text{mm}/2\text{m}$ 的范围内，这样可以有效避免因基材不平整导致涂层出现针孔等质量缺陷。其次在施工过程管控方面，必须采用专业的自动化喷涂设备（如无气喷涂机等）进行施工，以保证涂层厚度均匀一致，偏差控制在设计厚度的10%以内；同时要严格控制施工环境条件，确保施工时环境温度在5-35℃之间，相对湿度不超过85%，严禁在雨天或大风天气进行施工。最后在固化养护环节，必须严格按照不同涂层的技术要求控制养护时间，例如环氧树脂涂层需要在常温条件下养护7天，聚氨酯涂层则需要养护24小时，在养护期间绝对禁止设备投入使用，以防止涂层在未完全固化的情况下受到外力破坏。

2.3 长效运维：建立涂层全生命周期管理

供水企业需建立系统化、标准化的涂层全生命周期管理体系，通过科学的管理手段确保防腐涂层能够持续发挥长效保护作用。具体实施过程中需要重点抓好三个关键环节：首先是建立完善的定期检测评估制度，针对不同类型的供水设备制定差异化的检测方案——对于埋地输水管道，应采用先进的管道内窥检测技术（CCTV检测）每3年全面检查一次涂层完好情况；对于暴露在外的露天设备，需每年组织专业技术人员进行细致的外观检查，并采用专业仪器进行涂层附着力测试；对于储水罐内壁等特殊部位，则需每2年结合水质检测同步开展涂层厚度测量。其次是建立快速响应机制，在检测过程中一旦发现涂层出现局部剥落、起泡等缺陷，必须立即启动修复程序，严格按照原施工标准进行基材重新除锈处理，并选用同类型优质涂层材料进行修补，防止局部腐蚀扩散影响整体防护效果。最后要建立完整的档案管理系统，为每台涂覆设备建立详细的防腐档案，系统记录涂层材料型号、施工日期、历次检测数据、维修记录等关键信息，

形成可追溯的质量管理闭环。某大型供水企业的实践表明，通过实施这套全生命周期管理机制，不仅使涂层平均使用寿命从原先的8年显著提升至12年，还使设备年均维修维护成本降低了30%，取得了显著的经济效益和质量管理成效。

3 结语

长效防腐涂层技术是解决供水设备腐蚀问题、延长设备使用寿命的关键手段，环氧树脂、聚氨酯、氟碳三类涂层各有优势，需结合供水设备的工况特点科学选型、规范应用。从实际案例来看，优质长效防腐涂层可显著降低供水设备腐蚀速率，减少漏损事故与维修成本，为供水系统稳定运行提供保障。当前我国供水设备长效防腐涂层应用仍面临挑战：一是部分中小供水企业对涂层技术认知不足，仍采用传统防腐措施；二是涂层施工市场良莠不齐，存在施工不规范导致防腐效果打折扣的情况；三是长效涂层成本较高，部分企业因资金有限难以全面推广。

未来，需从三方面推进供水设备长效防腐涂层技术应用：一是加强技术普及，通过行业培训、案例分享等方式，提升供水企业对长效涂层的认知；二是规范市场秩序，由行业协会制定《供水设备防腐涂层施工质量标准》，明确施工流程与验收要求；三是推动技术创新，研发低成本、易施工的新型长效涂层（如常温固化氟碳涂层、水性环氧树脂涂层），降低应用门槛。相信通过技术进步与规范应用，长效防腐涂层将在供水设备领域实现更广泛普及，为城市供水系统高质量发展奠定坚实基础。

[研发项目]

甘肃省嘉峪关市科技计划资助(24-B21)。

[参考文献]

[1]张浩,李云鹏.农村供水系统安全性提升工程管理策略的研究[J].水上安全,2025,(11):119-121.

[2]李国栋.供暖供水管道防腐维护的综合性解决方案[J].张江科技评论,2024,(06):143-145.

[3]冯海源,李晓建.水库机电设备和供水设施运行管理探讨[J].中国设备工程,2023,(12):48-50.

作者简介:

李涛(1973—),男,汉族,河南长葛人,本科,副高级工程师,研究方向:城市供排水设施长效防腐机理,城市污水治理。