

给水排水管道材料耐腐蚀性研究

蒋灿林

惠州市道路桥梁勘察设计院中山分院 广东 中山 528400

摘要：伴随城市规模持续扩张与工业迅猛发展，给水排水系统的重要性愈发凸显。本文聚焦于给水排水管道材料的耐腐蚀性研究。首先概述常见给水排水管道材料，涵盖金属类、塑料类及复合材料类塑复合管。接着深入分析影响管道材料耐腐蚀性的因素，包括水质、环境及材料自身因素。最后介绍管道材料耐腐蚀性的检测方法，涉及无损检测技术、电化学检测技术以及实验室加速腐蚀试验，旨在为管道材料的选择与应用提供理论依据。

关键词：给水排水管道；材料耐腐蚀性研究

引言：在给水排水工程中，管道材料的耐腐蚀性至关重要。耐腐蚀性差的管道材料易受水质、环境等因素影响，发生腐蚀现象，这不仅会缩短管道使用寿命，增加维修与更换成本，还可能引发水质污染，危害人体健康。目前，市场上的给水排水管道材料种类繁多，不同材料在耐腐蚀性方面存在显著差异。深入探究常见管道材料的特性，剖析影响其耐腐蚀性的各种因素，并掌握有效的耐腐蚀性检测方法，对于合理选择管道材料、保障给水排水系统的安全稳定运行具有极其重要的现实意义。

1 常见给水排水管道材料概述

1.1 金属类管道材料

1.1.1 铜管

铜管具有优良的耐腐蚀性，在多种水质环境下都能保持稳定，不易生锈。其机械性能良好，强度高、延展性好，能承受较高压力，且连接方式多样，安装便捷。同时，铜管还具备杀菌作用，可抑制水中细菌生长，保障水质安全。不过，铜管价格相对较高，在一定程度上限制了其大规模应用。

1.1.2 钢管

钢管强度大、刚性足，能承受较大的外力和水压，适用于对管道强度要求较高的场合，如大型供水工程。它具有良好的韧性和可塑性，便于加工和安装。但钢管耐腐蚀性较差，在潮湿或含腐蚀性介质的环境中容易生锈，需采取防腐措施，如涂刷防腐涂料、进行阴极保护等，以延长使用寿命。

1.1.3 镀锌管

镀锌管是在钢管表面镀上一层锌，锌层能在一定程度上隔绝钢管与外界环境的接触，起到防腐作用。它价格相对较低，安装工艺成熟，曾广泛应用于给水排水领域。然而，镀锌管在使用一段时间后，锌层会逐渐被腐蚀脱落，导致钢管生锈，影响水质，且锈蚀物还可能堵

塞管道，目前正逐渐被其他管材替代。

1.2 塑料类管道材料

塑料类管道材料凭借自身独特优势，在给水排水领域应用广泛。其质轻且安装便捷，能降低施工难度与成本；耐腐蚀性强，可有效抵御多种化学物质侵蚀，延长管道使用寿命。同时，塑料管道内壁光滑，水力性能好，可减少水头损失，提升输送效率。

1.2.1 PVC-U管

PVC-U管由硬聚氯乙烯制成，化学稳定性佳，能耐大多数酸碱侵蚀，适用于多种水质输送。它价格低廉，安装工艺简单，可采用橡胶圈连接等方式，施工速度快。不过，其耐热性欠佳，高温下易变形，一般用于冷水管系统，在建筑排水等领域应用较多。

1.2.2 PP-R管

PP-R管以无规共聚聚丙烯为原料，耐热、耐压性能优良，可在较高温度和压力下长期使用，常用于冷热水供应管道。它无毒无味，卫生性能好，不会污染水质。采用热熔连接，密封可靠，能有效防止渗漏。但低温时脆性增加，安装时需避开低温环境，确保施工质量。

1.2.3 PE管

PE管即聚乙烯管，柔韧性出色，抗冲击能力强，能适应复杂地质条件，即便地基沉降也不易损坏。它耐腐蚀性良好，可抵抗多种化学物质侵蚀，使用寿命长。内壁光滑，水流阻力小，输送效率高。不过，其耐热性有限，长期使用温度不宜过高，在给水、燃气输送等方面应用广泛。

1.3 复合材料类管道材料

复合材料类管道材料结合了不同材料的优点，具备独特的性能优势，在给水排水工程中的应用日益广泛。它既能发挥各组分材料的特性，又能弥补单一材料的不足，在耐腐蚀性、强度、柔韧性等方面表现出色，可满

足不同工程场景的需求。

1.3.1 铝塑复合管

铝塑复合管由中间铝层与内外层塑料经特殊工艺复合而成。铝层赋予其良好的阻氧性，可防止氧气渗入管道，避免对水质和管件造成损害。内外层塑料使其耐腐蚀、耐磨损，且内壁光滑，水流阻力小。同时，它质轻柔软，安装便捷，但连接需用专用管件，成本相对较高。

1.3.2 钢衬（涂）塑复合管

钢衬（涂）塑复合管以钢管为基体，内衬或涂覆塑料层。钢管提供高强度和刚性，能承受较大外力和水压；塑料层则增强耐腐蚀性，可抵御多种化学物质侵蚀，延长管道使用寿命。它结合了金属与塑料的优点，适用于对强度和耐腐蚀性都有要求的给水排水工程，但价格相对较贵^[1]。

2 影响管道材料耐腐蚀性的因素分析

2.1 水质因素

2.1.1 钙和碳酸氢盐含量

水中钙和碳酸氢盐含量较高时，在温度变化或水流扰动等条件下，易生成碳酸钙等水垢。水垢附着于管道内壁，不仅会减小管道的有效过水断面，降低水力输送效率，还会使垢下金属处于电化学腐蚀环境。金属在水垢覆盖下形成微电池，加速阳极金属的溶解，导致管道局部腐蚀穿孔，严重影响管道的使用寿命。

2.1.2 pH值

水的pH值对管道材料耐腐蚀性影响显著。当pH值过低呈酸性时，金属管道易发生析氢腐蚀，氢离子在阴极获得电子生成氢气，促使金属阳极不断溶解；塑料和复合材料管道的化学稳定性也可能受影响，出现老化、降解等现象。pH值过高呈碱性时，某些金属管道会形成疏松的碱式碳酸盐腐蚀产物，腐蚀速度加快，降低管道的强度和密封性。

2.1.3 溶解氧和氯离子

溶解氧是金属管道发生电化学腐蚀的重要条件。氧气在阴极获得电子发生还原反应，为金属阳极的溶解提供电子受体，加速腐蚀进程。氯离子半径小、穿透能力强，能破坏管道表面的保护膜，使金属直接暴露在腐蚀介质中。即使在弱酸性或中性环境中，氯离子的存在也会显著加剧金属管道的点蚀和应力腐蚀，对管道的安全运行构成严重威胁。

2.2 环境因素

2.2.1 土壤性质

土壤的酸碱度对管道腐蚀影响突出。酸性土壤中氢离子浓度高，会直接与金属管道发生化学反应，加速金

属溶解；碱性土壤则可能使金属表面形成疏松的腐蚀产物，无法有效保护管道。土壤含盐量也至关重要，盐分含量高会增强土壤的导电性，促进电化学腐蚀。此外，土壤的透气性影响氧气供应，透气性差时，厌氧菌繁殖，产生硫化氢等腐蚀性物质，进一步侵蚀管道。

2.2.2 温度

温度升高会显著加快化学反应速率，包括腐蚀反应。在高温环境下，管道材料与周围介质（如土壤、空气）的反应更加剧烈，腐蚀速度大幅增加。同时，温度变化还会引起管道的热胀冷缩，产生热应力。若管道固定不当或存在约束，热应力可能导致管道变形、开裂，为腐蚀介质侵入创造条件，加速管道的局部腐蚀和应力腐蚀开裂。

2.2.3 湿度

高湿度环境对管道腐蚀极为不利。空气中的水分会管道表面凝结成水膜，为电化学腐蚀提供了必要的电解质溶液。当水膜中溶解有二氧化硫、氯化氢等酸性气体时，会形成酸性溶液，加剧金属管道的腐蚀。对于塑料和复合材料管道，长期处于高湿度环境中，可能导致材料吸湿、膨胀，影响其物理性能和密封性，降低管道的耐腐蚀能力和使用寿命。

2.3 材料自身因素

2.3.1 材料成分

材料成分是决定管道耐腐蚀能力的根本因素。以金属管道为例，不锈钢中添加铬、镍等元素，能在表面形成致密氧化膜，有效隔绝腐蚀介质；而普通碳钢含碳量高，易形成原电池，加速腐蚀。对于塑料管道，添加了稳定剂、抗氧剂的管材，可抵抗紫外线、氧化作用，减缓老化降解速度。若成分不纯，含有杂质，会成为腐蚀的起始点，降低管道整体耐腐蚀性。

2.3.2 材料结构

材料结构影响腐蚀介质在其中的扩散和反应。致密均匀的晶体结构，如某些金属合金的细晶结构，能阻止腐蚀介质渗透，提高耐腐蚀性；而疏松多孔的结构，像一些劣质塑料管材的内部微孔，会为腐蚀介质提供藏身之处，加速腐蚀进程。此外，复合材料的层间结构也很关键，结合紧密的层间能有效隔离不同环境，防止腐蚀介质在不同层间扩散，增强管道的耐腐蚀能力。

2.3.3 材料表面状态

材料表面状态对耐腐蚀性影响显著。表面光滑的管道，腐蚀介质不易附着，减少了腐蚀发生的机会；粗糙的表面则存在许多微小缝隙和凸起，为腐蚀介质提供了藏身之所，易形成腐蚀电池，加速局部腐蚀。表面有涂层、镀层的管道，如镀锌钢管，镀层可隔绝管道与腐蚀

介质的直接接触,大大提高耐腐蚀性。但若涂层、镀层有破损,会引发严重的电偶腐蚀,加速管道损坏^[2]。

3 管道材料耐腐蚀性检测方法

3.1 无损检测技术

3.1.1 超声波检测

超声波检测通过向管道发射高频声波脉冲,利用声波在材料中的传播特性评估耐腐蚀性。当声波遇到腐蚀区域时,传播速度、回波高度等参数发生变化,可精准定位腐蚀位置并量化腐蚀深度。该方法适用于金属及非金属管道,具有非接触、高精度、实时性强等优势,尤其适合长距离管道的在线监测。结合超声导波技术,可实现单点检测覆盖数十米范围,显著提升检测效率。其检测灵敏度可达管道横截面腐蚀的2%-3%,是评估管道壁厚减薄的核心手段。

3.1.2 射线检测

射线检测利用X/γ射线穿透管道壁,通过测量射线衰减程度判断腐蚀情况。该方法对管道材质适应性广,可检测金属管道的均匀腐蚀、点蚀及裂纹等缺陷,误差范围 $\leq 0.2\text{mm}$ 。采用切向透照技术时,能清晰显示管道内壁腐蚀形态,适用于20.32cm以下管道的壁厚测量。其优势在于结果直观、可永久存档,但需注意辐射防护及设备成本较高。在油气输送、海洋工程等领域,射线检测常用于验证其他无损检测方法的准确性。

3.1.3 涡流检测

涡流检测基于电磁感应原理,通过交变磁场在导电管道内激发涡流,利用涡流分布变化检测腐蚀缺陷。该方法无需接触管道表面,检测速度快,适用于铁磁性及非铁磁性金属管道的在线筛查。脉冲涡流技术可穿透包覆层直接检测壁厚,无需拆除保温层或停机,显著降低检测成本。其检测结果可视化程度高,能精准定位腐蚀位置并评估腐蚀程度,但检测深度有限,通常用于管道外壁腐蚀的快速评估。在化工、电力等行业,涡流检测已成为管道定期维护的核心工具。

3.2 电化学检测技术

3.2.1 电化学阻抗谱(EIS)

电化学阻抗谱(EIS)通过施加小幅正弦交流信号,测量管道材料与电解质界面间的阻抗响应,分析涂层电阻、双电层电容及电荷转移电阻等参数。该方法对电极反应干扰小,可区分腐蚀过程的动力学控制步骤,适用于评估涂层完整性、孔隙率及水分渗透性。其优势在于非破坏性检测与高灵敏度,能检测微米级微观变化,但需结合等效电路模型解析数据,且测试周期较长。典型应用包括石油管道防腐层评估、海洋平台涂层监测及新型防腐材料研

发,可精准定位涂层失效区域并量化腐蚀速率。

3.2.2 线性极化法

线性极化法通过在腐蚀电位附近施加微小电位扰动($\pm 10\text{mV}$),测量电流响应生成极化曲线,利用Stern公式计算极化电阻(R_p),进而推导腐蚀电流密度(I_{corr})。该方法响应速度快、灵敏度高,可实时监测腐蚀速率变化,适用于管道在线腐蚀监测。但受介质导电性限制,在含氧化膜或堆积腐蚀产物的体系中易产生误差,且仅能反映均匀腐蚀,无法检测局部腐蚀。典型应用包括石油管道腐蚀速率评估、阴极保护效果验证及化工设备腐蚀预警。

3.3 实验室加速腐蚀试验

实验室加速腐蚀试验是通过模拟极端环境条件,缩短腐蚀周期以快速评估管道材料耐蚀性的重要方法。常见试验包括:盐雾试验(在35℃下喷洒5% NaCl溶液,模拟海洋大气环境,通过腐蚀产物形貌与质量损失评估涂层性能);循环腐蚀试验(交替进行湿热、干燥及盐雾处理,模拟动态环境对管道涂层的破坏作用);高温高压腐蚀试验(将管道样品置于高温($> 100^\circ\text{C}$)、高压($> 1\text{MPa}$)的腐蚀介质中,模拟深海或高温油气田环境,分析腐蚀速率与产物形态)。此类试验可快速筛选耐蚀材料,优化防腐工艺,但需结合实际工况调整参数(如温度、湿度、介质成分),以确保试验结果与现场腐蚀行为的关联性,为管道设计寿命预测提供数据支持^[3]。

结束语

给水排水管道材料的耐腐蚀性研究,关乎城市供水安全、排水畅通及资源高效利用。本研究从腐蚀机理剖析入手,深入探讨了水质、土壤、温度等环境因素与材料成分、结构的交互作用,揭示了不同材料在复杂工况下的腐蚀规律。通过电化学检测与加速试验等创新方法,实现了腐蚀进程的精准监测与快速评估,为耐蚀材料研发与防腐工艺优化提供了理论支撑。未来需加强多学科交叉融合,推动智能传感与大数据技术在腐蚀监测中的应用,同时注重环保型防腐材料的开发,以构建适应气候变化与城市化需求的给水排水管道体系,保障城市生命线工程的长期稳定运行。

参考文献

- [1]戴红.市政给水排水管道不开槽设计及施工技术[J].建筑技术开发,2020(5):226-228.
- [2]姜涛.市政工程管道的结构设计[J].山西建筑,2022(13):112-114.
- [3]赵国庆.市政给水排水管道设计技术探析[J].建材与装饰,2022(10):128-129.