

化工管道腐蚀机理与防腐防护技术研究

姜学才 420527198703271336

摘要

化工生产过程中，介质多具有腐蚀性，化工管道作为物料输送的核心基础设施，长期受化学、物理因素作用会发生腐蚀破坏，不仅影响生产连续性，还可能引发泄漏、爆炸等安全事故。本文对化工管道常见的腐蚀类型与机理进行梳理，分析化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀三类腐蚀的作用过程，在此基础上总结当前常用的防腐防护技术应用要点，为化工企业管道维护与腐蚀防控提供参考。

关键词

化工管道；腐蚀机理；防腐技术；防护管理

一、引言

化工行业是我国国民经济的支柱产业之一，生产体系中需要通过管道连接各类反应装置、存储单元，实现物料的连续输送。化工介质普遍具有强酸、强碱、易燃易爆或有毒特性，管道长期接触腐蚀性介质，受温度、压力、流速等工艺条件影响，会逐步出现壁厚减薄、裂纹、穿孔等腐蚀问题。据不完全统计，化工领域 80% 以上的管道失效事故与腐蚀破坏直接相关，每年因管道腐蚀造成的直接经济损失超过百亿元，还可能引发环境污染、人员伤亡等恶性事件。因此，明确化工管道腐蚀机理，优化防腐防护技术体系，对保障化工生产安全、降低运维成本具有重要现实意义。

二、化工管道主要腐蚀机理分析

化工管道腐蚀的诱因复杂，按照作用机理可以划分为化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀三大类，不同腐蚀类型的作用机制存在明显差异。

2.1 化学腐蚀

化学腐蚀是指管道金属材质与输送介质中的化学组分发生直接化学反应，生成腐蚀产物导致管道材料破坏的过程，化学腐蚀过程中没有电流产生，这是与电化学腐蚀最核心的区别。化工管道常见的化学腐蚀包括高温气体腐蚀和非电解质腐蚀，例如输送高温烟气的管道，烟气中的含硫氧化物、二氧化碳会在高温条件

下与管壁的碳钢、合金钢发生反应，生成金属氧化物、硫化物，破坏金属基体结构；输送有机介质如无水乙醇、纯苯等非电解质溶液时，介质中的酸性杂质会直接与金属发生置换反应，逐步侵蚀管壁。化学腐蚀的速率主要受介质温度、化学组分浓度影响，温度越高，反应速率越快，腐蚀破坏速度也越快，例如加热炉出口管道，长期处于 300℃ 以上的高温环境，化学腐蚀速率是常温管道的 5-10 倍。

2.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是化工管道最常见的腐蚀类型，占管道腐蚀总量的 70% 以上。电化学腐蚀发生的前提是管道接触的介质中存在电解质，也就是能够导电的水溶液、酸碱盐溶液等，腐蚀过程中会产生微电流，形成原电池反应。化工管道的基体金属多为铁碳合金，不同区域的金属成分、应力状态存在差异，当接触电解质溶液时，电极电位较低的铁区域成为阳极，不断失去电子被氧化为铁离子，逐步溶解进入介质，电极电位较高的渗碳体区域作为阴极，只发生电子传递不会被溶解，最终形成阳极区域的点蚀、坑蚀，逐步扩大造成管壁穿孔。常见的电化学腐蚀类型包括点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀开裂等，其中应力腐蚀开裂是危害性最大的类型，管道在拉应力和腐蚀介质的共同作用下，会产生隐蔽的裂纹，容易引发突发的脆性断裂，很多化工管道爆炸事故都是由应力腐蚀开裂引发的。此外，当介质中含有氯离子时，很容易破坏管道表面的钝化膜，引发局部点蚀，这种情况在海水冷却管道、含盐化工物料输送管道中十分常见。

2.3 物理腐蚀

物理腐蚀主要是指物理因素对管道造成的破坏，通常与化学、电化学腐蚀共同作用，放大腐蚀效应。常见的物理腐蚀包括冲蚀、磨损腐蚀和晶间腐蚀等，当输送介质中含有固体颗粒或者介质流速过高时，固体颗粒会不断冲刷管壁，一方面磨掉管道表面的腐蚀产物保护膜，露出新鲜的金属基体继续参与腐蚀反应，另一方面直接磨损管壁，降低管道有效壁厚，这种情况在输送泥浆、催化剂颗粒的管道中十分常见。此外，温度波动会引发管道热胀冷缩，产生交变热应力，导致腐蚀裂纹不断扩展，加速管道失效进程。

三、化工管道常用防腐防护技术

3.1 合理选择防腐管材

从源头上选择耐腐蚀性符合要求的管材，是最根本的防腐措施。对于输送强腐蚀性介质的管道，可以根据介质特性选用不锈钢、合金钢管材，或者采用非金

属管材，例如输送盐酸的管道可以选用衬聚四氟乙烯钢管，聚四氟乙烯化学性质稳定，能够抵御大多数酸碱介质的腐蚀，同时保留钢管的力学强度，兼顾耐腐蚀性和结构安全性；输送低压腐蚀性介质的管道，可以选用玻璃钢、UPVC 等非金属材料，成本远低于金属合金管材，耐腐蚀性也更优异。在管材选择阶段，需要提前对输送介质的成分、温度、压力参数进行分析，通过腐蚀试验验证管材的适用性，避免错用管材引发早期腐蚀失效。

3.2 涂层与衬里防护技术

涂层与衬里防护是将管道金属基体与腐蚀介质隔离开，阻断腐蚀反应发生的技术路径，是当前应用最广泛的防腐技术。涂层技术分为有机涂层和无机涂层，有机涂层常用的有环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、氟碳涂料等，适合用于常温低压管道的外壁防腐，也可以用于内壁防腐；无机涂层包括搪瓷涂层、水泥浆涂层等，多用于大型市政化工污水管道防腐。衬里防护则是在普通钢管内部衬一层耐腐蚀材料，常见的衬里包括橡胶衬里、塑料衬里、瓷砖衬里等，适合用于强腐蚀性介质的输送管道，例如化工企业的酸洗液输送管道，多采用橡胶衬里，既可以抵御酸液腐蚀，又可以缓冲固体颗粒的冲蚀。涂层与衬里防护需要严格控制施工质量，涂层存在针孔、衬里存在接缝缺陷都会导致介质渗入，引发局部腐蚀，因此施工完成后需要进行完整性检测，排除缺陷后才能投入使用。

3.3 电化学保护技术

针对电化学腐蚀，电化学保护技术是十分有效的防护手段，主要分为阴极保护和阳极保护两类。阴极保护适用于埋地化工管道、水下管道等接触电解质环境的管道，分为牺牲阳极法和外加电流法两种，牺牲阳极法是将电极电位比管道钢铁更低的金属（如锌、铝、镁合金）作为阳极，与管道连接，阳极被腐蚀溶解，保护管道阴极不被腐蚀，这种方法不需要外接电源，维护简单，适合用于中小管径的埋地管道；外加电流法是利用外部直流电源，将管道与电源负极连接作为阴极，将辅助阳极与电源正极连接，通过持续施加电流抑制金属阳极溶解，适合用于长距离大型埋地管道的防腐保护。阳极保护则是将管道连接到外加电源的阳极，使管道金属表面生成钝化膜，抑制腐蚀，主要用于不锈钢等可钝化金属的酸输送管道。

四、结语

化工管道腐蚀是一个多因素共同作用的复杂过程，化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀相互影响，逐步造成管道结构破坏。化工企业需要根据管道的运行环境、

介质特性，明确主导腐蚀机理，合理选用管材、涂层、电化学保护等防腐技术，结合常态化的腐蚀监测与运维管理，构建完整的腐蚀防护体系，才能有效降低管道腐蚀速率，延长管道使用寿命，保障化工生产安全稳定运行。未来随着材料技术的发展，新型防腐材料与智能监测技术将会进一步提升化工管道腐蚀防护的水平，降低防腐运维成本。

参考文献

- [1] 胡士信. 管道腐蚀与防护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [2] 王涛, 李平. 化工管道腐蚀失效类型及防护措施研究[J]. 石油化工设备, 2020, 49(3): 62-67.
- [3] 王曰锋. 化工管道腐蚀机理与防腐策略探究[J]. 中国化工装备, 2022, 24(4): 45-47.