

石油化工装置管道腐蚀机理及防护技术研究

何永珍 140622199806080824

摘要：石油化工装置是我国能源生产体系中的核心组成部分，管道作为石油化工物料输送的核心载体，长期处于高温、高压、腐蚀性介质的工作环境中，腐蚀问题已经成为影响装置安全稳定运行的主要风险因素。本文围绕石油化工装置管道常见的腐蚀类型，系统分析不同腐蚀的形成机理，结合当前石油化工生产的实际需求总结现有防护技术的应用特点，为石油化工企业管道腐蚀防控提供参考，助力石油化工行业提升安全运行水平，降低设备维护成本。

关键词：石油化工装置；管道；腐蚀机理；防护技术

一、石油化工装置管道腐蚀问题概述

在石油化工生产体系中，管道承担着原油、成品油、各类化工中间体以及腐蚀性辅料的输送任务，其运行环境往往兼具高温、高压、介质腐蚀性强等特点，随着运行周期的延长，管道内壁和外壁都会不同程度产生腐蚀问题。根据相关行业统计数据显示，我国石油化工企业每年因管道腐蚀造成的直接经济损失超过百亿元，同时腐蚀引发的管道泄漏还可能导致火灾、爆炸、有毒介质泄漏等重大安全事故，对生产人员安全、周边生态环境都会造成不可逆的损害。因此，深入探究石油化工装置管道的腐蚀机理，针对性优化防护技术方案，对提升石油化工装置运行安全性、延长管道使用寿命、降低企业生产运营成本都有重要的现实意义。

二、石油化工装置管道常见腐蚀机理分析

石油化工装置管道的腐蚀类型多样，根据腐蚀形成原因和作用特点，常见腐蚀类型可以分为均匀腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀开裂三大类，不同类型腐蚀的作用机理存在明显差异。

第一，均匀腐蚀。均匀腐蚀是石油化工装置管道中最为常见的腐蚀类型，指腐蚀介质与管道内壁金属材料发生均匀的化学反应，使得管道管壁整体厚度均匀减薄。均匀腐蚀多发生在输送强酸性、强碱性介质的管道中，例如常减压蒸馏装置的常压塔底管道、催化裂化装置的酸性水输送管道等，其腐蚀机理为管道金属材料与介质中的 H^+ 、 OH^- 等离子发生氧化还原反应，金属原子以离子形式持续脱

离管壁进入介质，随着反应持续进行，管壁整体强度逐步下降，最终可能因强度不足引发破裂泄漏。均匀腐蚀的腐蚀速率相对稳定，容易通过定期壁厚检测进行监测，防控难度相对较低。

第二，局部腐蚀。局部腐蚀指腐蚀作用仅发生在管道的局部区域，是石油化工管道中危害较高的腐蚀类型，常见的局部腐蚀包括点蚀、缝隙腐蚀、电偶腐蚀三种。点蚀多发生于管道内壁局部钝化膜破损的位置，介质中的氯离子等活性阴离子会优先吸附在破损位置，破坏金属表面的钝化膜，使得局部位置腐蚀速率远高于周边区域，最终形成点状腐蚀坑，点蚀具有较强的隐蔽性，在腐蚀坑穿透管壁之前难以通过常规检测发现，容易引发突发泄漏。缝隙腐蚀多发生在管道法兰连接缝隙、焊缝缺陷缝隙以及衬里破损缝隙等位置，由于缝隙内部介质流动性差，容易形成闭塞电池效应，使得缝隙内部氢离子浓度持续升高、酸性不断增强，进而加速缝隙位置的腐蚀，最终导致连接部位密封失效、焊缝开裂。电偶腐蚀则多发生在不同金属材料连接的位置，例如碳钢管道与不锈钢阀门连接位置，两种金属的电极电位存在差异，在腐蚀性介质作用下会形成原电池，电位较低的金属会被加速腐蚀，短时间内就可能造成连接位置穿孔。

第三，应力腐蚀开裂。应力腐蚀开裂是石油化工装置管道中后果最为严重的腐蚀类型，指管道在腐蚀介质和残余应力的共同作用下产生开裂，哪怕介质腐蚀性不强，在应力作用下也可能引发开裂。应力腐蚀开裂的机理较为复杂，目前普遍认可的是阳极溶解理论：管道在加工安装过程中会产生一定的残余应力，在运行过程中还会承受压力应力和热应力，这些应力会使得管道金属晶体局部发生位错滑移，露出活性溶解面，腐蚀介质会优先在活性溶解面发生腐蚀，形成微小裂纹，应力的持续作用会使得裂纹尖端持续向深处扩展，最终穿透管壁或者导致管道整体开裂。

三、石油化工装置管道腐蚀防护技术应用

针对不同类型的腐蚀机理，当前石油化工领域已经形成了多个维度的腐蚀防护技术体系，常见防护技术包括材料优化选择、涂层与衬里防护、阴极保护、工艺优化四个方面。

第一，优化管道材料选择。从材料层面防控腐蚀是最根本的防护手段，企业应根据管道输送介质的腐蚀特性、运行压力温度参数，合理选择适配的管道材料。例如针对输送高含硫原油的管道，可以选用耐硫化物腐蚀的低合金碳钢；针对输送含氯离子介质的管道，可以选用双相不锈钢替代普通奥氏体不锈钢，提升抗应力腐蚀开裂能力；针对强腐蚀性介质输送管道，可以选用耐腐蚀非金属复合材料管道，例如玻璃钢管道、衬聚四氟乙烯管道等，在满足压力要求的前提下大幅提

升耐腐蚀性能。

第二，涂层与衬里防护技术。涂层与衬里防护是通过在管道内壁或外壁设置隔离层，将金属管壁与腐蚀介质隔离开来，从而实现腐蚀防控。外壁涂层主要用于防护土壤、大气对管道外壁的腐蚀，常用材料包括环氧煤沥青涂层、聚氨酯涂层等；内壁涂层和衬里则用于隔离输送介质对管壁的腐蚀，常用的包括环氧树脂防腐涂层、搪瓷衬里、聚四氟乙烯衬里等，涂层衬里防护技术成本较低，适配大多数腐蚀环境，是当前石油化工管道应用最广泛的防护技术。

第三，阴极保护技术。阴极保护技术是基于电化学腐蚀原理的防护技术，主要分为牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护两种，多用于埋地石油化工管道的外壁腐蚀防护。牺牲阳极阴极保护是将电位比管道钢铁更低的金属连接在管道上，低电位金属作为阳极发生腐蚀溶解，保护管道作为阴极不发生腐蚀，该方法无需外接电源，安装维护简单，多用于小型埋地管道；外加电流阴极保护则是通过外部电源向管道提供阴极电流，使得管道整体处于阴极电位，抑制金属原子的电离溶解，该方法适配长距离大型埋地管道，可根据腐蚀情况调整电流参数，防护效果稳定。

第四，工艺参数优化技术。针对介质引发的腐蚀，通过优化生产工艺参数也能有效降低腐蚀速率，例如针对含硫原油加工过程中的硫化氢腐蚀，可以通过调整原油脱盐工艺参数，降低原油中的含盐量和硫化氢含量，减少腐蚀介质来源；针对酸性介质腐蚀，可以通过调整介质 pH 值，降低介质的酸性，从而减缓腐蚀反应速率；工艺优化不需要对管道进行改造，防护成本低，适合已经投产装置的腐蚀防控。

四、结语

石油化工装置管道腐蚀问题是影响装置安全运行的核心风险，不同腐蚀类型的作用机理存在明显差异，企业需要结合管道运行环境，识别潜在腐蚀类型，并针对性选用多种防护技术组合构建防控体系，同时配套完善的腐蚀监测方案，才能有效提升管道腐蚀防控效果，保障装置安全稳定运行。未来随着新材料和传感技术的发展，石油化工管道腐蚀防护技术也将进一步向智能化、长效化方向发展，为石油化工行业高质量发展提供支撑。

参考文献

[1] 胡家骅, 曹备. 石油化工管道腐蚀与防护[M]. 北京: 中国石化出版社, 2019.

[2] 王凤平, 敬和民, 辛剑. 腐蚀电化学原理、方法及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

[3] 李中钦. 石油化工装置工艺管道腐蚀机理及防护措施研究[J]. 石油化工设备技术, 2021, 42(3): 56-60+7.