

# 绿色化学在石油化工设备防腐蚀中的应用

黄超 杨映雪 胡思明

浙江丽水有邦新材料有限公司 浙江 丽水 323000

**摘要:** 本文聚焦石油化工设备绿色防腐蚀技术, 阐述绿色化学基本概念与十二条原则, 分析设备腐蚀机理及经济、安全、环境方面危害。从材料、技术、工艺三方面展开, 介绍新型绿色防腐蚀涂料、环保型缓蚀剂、纳米防腐蚀材料等应用; 探讨表面改性、电化学保护、生物技术等绿色防腐蚀技术; 阐述清洁生产、节能降耗、废弃物处理与循环利用等绿色防腐蚀工艺, 为石油化工设备防腐蚀绿色化发展提供参考。

**关键词:** 绿色化学; 石油化工; 设备防腐蚀; 应用

## 引言

在石油化工行业蓬勃发展的当下, 设备腐蚀问题日益凸显, 不仅造成巨大经济损失, 还严重威胁安全与环境。传统防腐蚀技术存在诸多弊端, 而绿色化学理念为解决这一难题带来新方向。绿色化学强调从源头减少有害物质, 实现化学工业可持续发展, 将其应用于石油化工设备防腐蚀领域, 对推动行业绿色转型意义重大。因此, 深入研究绿色防腐蚀材料、技术与工艺, 具有重要的现实意义和应用价值。

## 1 绿色化学的基本概念与原则

### 1.1 基本概念

绿色化学是利用化学原理和方法, 在化学品的设计、开发和生产过程中, 减少或消除使用和产生有害物质, 以降低对人类健康和环境的风险。它强调从化学反应的源头进行控制, 通过改变反应条件、优化工艺流程、选择绿色原材料等方式, 实现化学工业的可持续发展, 其核心在于实现化学过程的原子经济性, 即最大限度地将反应物转化为目标产物, 减少副产物的生成, 提高资源利用效率。

### 1.2 基本原则

绿色化学的十二条基本原则涵盖了从原料选择、反应设计到产品使用与废弃处理的全流程。包括: 防止废物的产生, 而不是产生后再处理; 提高原子经济性; 尽量减少化学合成中的有毒原料和产物; 设计安全的化学品; 使用安全的溶剂和助剂; 提高能源效率; 使用可再生原料; 减少衍生物; 采用高选择性的催化剂; 设计可降解的产品; 实时分析以防止污染; 防止事故发生, 确保工艺安全。这些原则为石油化工设备防腐蚀技术的绿

色化发展提供了指导方向。

## 2 石油化工设备腐蚀的机理与危害

### 2.1 腐蚀机理

石油化工设备的腐蚀主要包括化学腐蚀和电化学腐蚀。化学腐蚀是指设备金属表面与周围介质直接发生化学反应而引起的腐蚀。例如, 金属与干燥的气体在高温下发生氧化反应, 生成金属氧化物; 金属与非电解质液体接触时, 由于金属原子与液体中某些成分发生化学反应, 导致金属溶解。电化学腐蚀是指金属表面与电解质溶液发生电化学反应而引起的腐蚀, 这是石油化工设备最常见的腐蚀形式。其本质是形成了微小的原电池, 金属作为阳极发生氧化反应失去电子, 电子通过金属内部传导至阴极, 在阴极上, 溶液中的氧化性物质得到电子发生还原反应。在石油化工生产中, 设备经常接触到含有水、盐类、酸性物质等的电解质溶液, 具备了发生电化学腐蚀的条件。

### 2.2 腐蚀危害

在经济方面, 腐蚀会导致设备损坏和失效, 增加设备维修和更换成本。频繁的维修不仅影响生产的连续性, 降低生产效率, 还会造成原材料和能源的浪费。在安全方面, 腐蚀会削弱设备的结构强度, 使设备出现泄漏、破裂等问题, 从而引发火灾、爆炸等重大安全事故。例如, 管道因腐蚀穿孔导致易燃易爆的石油化工产品泄漏, 遇火源可能引发爆炸, 威胁到人员生命安全和周边环境安全<sup>[1]</sup>。在环境方面, 设备腐蚀导致的泄漏会使石油化工产品及生产过程中产生的有害物质进入环境, 造成土壤、水体和大气污染。这些污染物可能对生态系统造成破坏, 影响动植物的生存和繁衍, 同时也会对人类健康产生潜在威胁。

## 3 绿色防腐蚀材料在石油化工设备中的应用

### 3.1 新型绿色防腐蚀涂料

**通讯作者:** 杨映雪, 1998年11月25日出生, 2022年毕业于丽水学院, 现就职于浙江丽水有邦新材料有限公司。主要从事化工技术工作, 邮箱: 1454168816@qq.com

传统防腐蚀涂料中常含有挥发性有机化合物、重金属等有害物质,在生产和使用过程中会对环境和人体健康造成危害。而新型绿色防腐蚀涂料通过采用环保型树脂、水性化技术和无毒颜料等手段,降低了涂料的环境负荷。环保型树脂是绿色防腐蚀涂料的关键成分。例如,水性环氧树脂、水性丙烯酸树脂等,以水为分散介质,替代了传统涂料中的有机溶剂,大大减少了VOCs的排放。这些树脂具有良好的成膜性能和防腐蚀性能,能够在设备表面形成致密的防护膜,有效阻挡腐蚀介质的侵入。此外,可生物降解树脂的研发也为绿色防腐蚀涂料提供了新的选择。这类树脂在完成防腐蚀使命后,能够在自然环境中被微生物分解,不会对环境造成长期污染。水性化技术是绿色防腐蚀涂料的重要技术手段。通过将涂料中的有机溶剂替换为水,不仅降低了涂料的毒性和可燃性,还改善了施工环境。同时,水性涂料在干燥过程中,水的挥发不会产生有害气体,符合环保要求。在颜料选择方面,采用无毒无害的颜料,如纳米二氧化钛、氧化锌等,替代含铅、铬等重金属的颜料,避免了重金属对环境的污染。这些颜料不仅具有良好的遮盖力和耐候性,还能在一定程度上提高涂料的防腐蚀性能。

### 3.2 环保型缓蚀剂

传统缓蚀剂中部分含有醛类、胺类等有毒有害物质,在使用过程中会对环境和人体健康产生不良影响。环保型缓蚀剂的研发致力于寻找无毒无害、可生物降解的缓蚀成分。从天然产物中提取的缓蚀剂是环保型缓蚀剂的重要来源。例如,从植物中提取的生物碱、黄酮类化合物等,具有良好的缓蚀性能。这些天然产物缓蚀剂在自然环境中能够被微生物降解,不会对生态系统造成长期危害。此外,通过对天然产物进行化学改性,还可以进一步提高其缓蚀效果和稳定性。合成新型环保缓蚀剂也是研究的重点方向。利用绿色化学的方法,采用无毒无害的原料和温和的反应条件,合成具有高效缓蚀性能的化合物。例如,以氨基酸、糖类等生物可降解物质为原料,合成的缓蚀剂不仅具有良好的缓蚀效果,而且对环境友好。这些环保型缓蚀剂能够在设备表面形成吸附膜或钝化膜,阻止腐蚀介质与金属表面的接触,从而达到防腐蚀的目的。

### 3.3 纳米防腐蚀材料

纳米材料具有比表面积大、表面活性高、量子尺寸效应等特点,将其应用于防腐蚀领域,能够显著提高材料的防腐蚀性能。纳米粒子在防腐蚀涂料中的应用是纳米防腐蚀材料的重要应用形式。将纳米二氧化硅、纳米氧化锌等纳米粒子添加到防腐蚀涂料中,能够改善涂料

的机械性能、耐候性和防腐蚀性能。纳米粒子的小尺寸效应使其能够填充涂料膜中的微小孔隙,提高膜的致密性,有效阻挡腐蚀介质的渗透。同时,纳米粒子的表面活性高,能够与涂料中的树脂发生化学键合,增强涂料膜与设备表面的附着力,提高防腐蚀效果。纳米复合防腐蚀材料也是研究的热点。通过将纳米材料与聚合物、金属等基体材料复合,制备出具有优异防腐蚀性能的复合材料<sup>[2]</sup>。例如,纳米金属氧化物与聚合物复合形成的纳米复合涂层,具有良好的导电性、耐腐蚀性和耐磨性,能够有效保护石油化工设备免受腐蚀。此外,纳米自修复防腐蚀材料的研发也取得了一定进展。这类材料在受到损伤后,能够通过内部的化学反应或物理作用实现自我修复,恢复防腐蚀性能,延长设备的使用寿命。

## 4 绿色防腐蚀技术在石油化工设备中的应用

### 4.1 表面改性技术

传统的表面处理方法,如酸洗、喷砂等,会产生大量的废水、废渣,对环境造成污染。绿色表面改性技术则致力于采用环保、高效的方法对设备表面进行处理。激光表面处理技术是一种新型的绿色表面改性技术。通过激光束的高能量密度作用,使设备表面材料发生熔化、汽化、凝固等物理化学变化,从而改变表面的组织结构和性能。激光表面处理能够在设备表面形成致密的硬化层,提高表面的硬度、耐磨性和耐腐蚀性。该技术具有处理速度快、热影响区小、无污染等优点,在石油化工设备防腐蚀领域具有广阔的应用前景。离子注入技术也是一种有效的绿色表面改性技术。通过将特定的离子注入到设备表面,改变表面的化学成分和组织结构,提高表面的防腐蚀性能。离子注入能够在设备表面形成一层具有特殊性能的改性层,该层具有良好的耐腐蚀性和抗氧化性。与传统的表面处理方法相比,离子注入技术不产生废水、废气和废渣,对环境友好。

### 4.2 电化学保护技术

在石油化工设备防腐蚀中,常用的电化学保护技术有阴极保护和阳极保护。绿色电化学保护技术注重提高保护效率,降低能耗和对环境的影响。在阴极保护方面,采用新型的牺牲阳极材料和外加电流阴极保护系统,能够提高保护效果,减少阳极材料的消耗。例如,开发高性能的镁合金、铝合金牺牲阳极,这些材料具有较高的电化学活性和合理的电位,能够在保护设备的同时,降低自身的腐蚀速率,减少资源浪费。在外加电流阴极保护系统中,采用智能控制技术,根据设备的腐蚀情况自动调节保护电流,提高保护效率,降低能耗。阳极保护技术通过对设备施加阳极电流,使金属表面形成

钝化膜,从而达到防腐的目的。绿色阳极保护技术注重选择环保型的钝化液和优化保护参数。采用无毒无害的钝化液,避免了传统钝化液中有害物质对环境的污染。通过精确控制阳极电流和电位,提高钝化膜的质量和稳定性,延长设备的使用寿命。

#### 4.3 生物技术

微生物腐蚀是石油化工设备腐蚀的重要原因之一,而生物技术可以通过抑制微生物的生长和代谢活动,达到防腐的目的。微生物抑制剂是生物技术防腐的重要手段。利用微生物之间的拮抗作用,筛选出能够抑制腐蚀微生物生长的有益微生物或其代谢产物。例如,某些细菌产生的抗生素、酶等物质,能够抑制硫酸盐还原菌、铁细菌等腐蚀微生物的生长和繁殖,从而减少微生物腐蚀的发生。这些微生物抑制剂具有无毒无害、可生物降解等优点,对环境友好。生物膜技术也是生物技术防腐的重要研究方向。通过在设备表面培养一层有益的生物膜,形成物理屏障,阻挡腐蚀介质与金属表面的接触。同时,生物膜中的微生物能够消耗腐蚀介质中的有害物质,降低腐蚀速率。生物膜技术具有成本低、环境友好等优点,在石油化工设备防腐中具有潜在的应用价值。

### 5 绿色防腐工艺在石油化工设备中的应用

#### 5.1 清洁生产工艺

在防腐处理过程中,采用清洁生产工艺能够减少污染物的产生和排放,提高资源利用效率<sup>[3]</sup>。在防腐涂料的生产过程中,优化生产工艺,采用连续化、自动化生产设备,减少物料的损耗和废弃物的产生。同时,加强生产过程中的物料回收和循环利用,提高原料的利用率。例如,对涂料生产过程中产生的有机溶剂进行回收处理,重新用于涂料的生产,减少有机溶剂的消耗和排放。在设备防腐施工过程中,推广环保型施工工艺。采用无气喷涂、静电喷涂等高效、低污染的施工方法,减少涂料的浪费和VOCs的排放。同时,加强施工过程中的废弃物管理,对施工产生的废漆渣、废稀释剂等进行分类收集和处理,避免对环境造成污染。

#### 5.2 节能降耗工艺

通过优化防腐工艺参数和采用节能设备,能够降低防腐处理过程中的能源消耗。在防腐涂料的干燥过程中,采用新型的干燥技术,如红外干燥、微波干燥等,替代传统的热风干燥。这些新型干燥技术具有干燥

速度快、能量利用率高的优点,能够显著降低干燥过程中的能源消耗。此外,优化干燥工艺参数,如控制干燥温度、时间等,也能够提高干燥效率,减少能源浪费。在电化学保护过程中,采用节能型的电源设备和优化保护参数。例如,采用高效的整流器和智能控制系统,根据设备的腐蚀情况自动调节保护电流,避免能源的浪费。同时,合理设计电化学保护系统的布局,减少线路电阻,提高电能的传输效率,降低能源消耗。

#### 5.3 废弃物处理与循环利用工艺

对防腐处理过程中产生的废弃物进行合理处理和循环利用,能够减少废弃物对环境的污染,降低生产成本。对于废弃的防腐涂料和缓蚀剂,采用先进的处理技术进行回收和再生。例如,通过蒸馏、萃取等方法对废弃涂料中的有机溶剂和树脂进行分离和提纯,重新用于涂料的生产。对废弃缓蚀剂进行化学处理,去除其中的有害物质,使其能够再次用于设备防腐<sup>[4]</sup>。在设备维修和更新过程中,对退役的防腐设备和部件进行回收和再利用。通过对退役设备进行表面处理和修复,使其能够满足新的使用要求,延长设备的使用寿命。同时,对设备中的金属材料进行回收,实现资源的循环利用,减少对自然资源的依赖。

#### 结束语

综上所述,绿色化学理念指导下的石油化工设备防腐技术与工艺,从多维度实现了防腐过程的绿色化。新型绿色防腐材料的应用、绿色防腐技术的发展以及绿色防腐工艺的推广,有效减少了污染,提高了资源利用率,降低了设备腐蚀危害。未来,随着技术不断创新,石油化工设备防腐将朝着更绿色、高效、可持续发展的方向,为行业的稳定运行和生态环境的保护提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]王雷,袁祥科.石油化工设备腐蚀防护技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(2):161-164
- [2]周峰.石油化工设备腐蚀原因及防腐管理[J].山西化工,2024,44(3):129-131
- [3]刘佳菊.石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐策略[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):19-21
- [4]刘晨,王晓,樊贵友.绿色化学在石油化工设备防腐中的应用[J].全面腐蚀控制,2024,38(12):202-205.