

## 化工机械设备腐蚀与防腐措施研究

王小涛 刘文波

内蒙古伊泰化工有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017400

**[摘要]**化工机械设备在长期的运行过程中, 常常暴露在恶劣的工作环境中, 如高温、高压、化学介质等。这些设备与各种腐蚀性物质如酸、碱、盐类化学物质接触, 导致金属表面发生氧化或溶解反应, 形成腐蚀现象。同时, 气候变化、湿度、温差等外部因素也会加速腐蚀过程, 导致设备表面产生裂纹、剥落或变形。此外, 操作不当, 如过载运行、维修不及时、保养不到位等, 也会加剧腐蚀, 进一步缩短设备的使用寿命, 增加维修成本, 并且严重时可能引发安全事故。

**[关键词]**化工机械设备; 腐蚀; 防腐措施; 腐蚀机理; 防护技术

DOI: 10.33142/sca.v8i3.15793

中图分类号: TQ050

文献标识码: A

### Research on Corrosion and Anti-corrosion Measures of Chemical Machinery Equipment

WANG Xiaotao, LIU Wenbo

Inner Mongolia Yitai Chemical Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017400, China

**Abstract:** Chemical machinery and equipment are often exposed to harsh working environments such as high temperature, high pressure, and chemical media during long-term operation. These devices come into contact with various corrosive substances such as acids, bases, and salt chemicals, causing oxidation or dissolution reactions on the metal surface, resulting in corrosion phenomena. At the same time, external factors such as climate change, humidity, and temperature differences can accelerate the corrosion process, leading to cracks, peeling, or deformation on the surface of equipment. In addition, improper operation, such as overloading, untimely maintenance, and inadequate upkeep, can also exacerbate corrosion, further shorten the service life of equipment, increase maintenance costs, and in severe cases, may lead to safety accidents.

**Keywords:** chemical machinery and equipment; corrosion; anti-corrosion measures; corrosion mechanism; protective technology

#### 引言

化工机械设备广泛应用于化工生产过程中的反应、混合、输送等多个环节, 这些设备由于常年处于复杂的工作环境中, 腐蚀问题尤为突出。腐蚀不仅会导致设备性能下降、运行不稳定, 严重时甚至会导致设备故障, 给企业带来巨大的经济损失。因此, 研究化工机械设备的腐蚀现象及其防腐措施, 尤其是针对腐蚀机理和防护技术的创新, 是当前工业领域亟待解决的难题。本文将从腐蚀机理分析、防腐措施分类与选择、腐蚀监测与评估技术等多个方面, 探讨化工机械设备腐蚀问题的防护策略, 为提升设备的使用寿命提供理论依据。

#### 1 化工机械设备腐蚀的机理

##### 1.1 化学腐蚀

化学腐蚀是化工机械设备中最常见的腐蚀形式之一, 这种腐蚀通常发生在金属与化学介质发生反应的过程中。当设备的表面与某些化学物质(例如酸、碱、盐等)接触时, 会发生一系列的化学反应, 这些反应会导致金属原子或金属离子的溶解, 从而在金属表面形成一层腐蚀层<sup>[1]</sup>。

##### 1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是一种发生在金属与电解质溶液接触的环境中的现象, 此时金属表面会进行一系列的氧化还原反

应, 这些反应导致了腐蚀产物的生成。这种类型的腐蚀在化工设备的传输管道、储罐以及其他相关部件中尤为常见。特别是在那些含有电解质的介质中, 由于电解质的存在, 金属表面的腐蚀过程会加速进行, 从而导致腐蚀速度相对较慢。

##### 1.3 应力腐蚀

应力腐蚀是一种复杂的材料破坏现象, 它是由机械应力和腐蚀环境的共同作用所引起的。在化工行业中, 设备经常需要在高温、高压的工况下运行, 这些条件可能会导致材料内部产生应力集中。当这些应力集中的区域与腐蚀介质相互作用时, 可能会引发裂纹的产生和扩展。这种裂纹的扩展在某些情况下会非常迅速, 从而导致设备的结构完整性受到严重威胁。

#### 2 化工机械设备防腐措施

##### 2.1 表面涂层防腐

作为一种防腐手段, 表面涂层防腐被大量采用, 一般用以防止金属表面受腐蚀侵害。其原理是给设备表面抹上一层拥有防腐特性的涂料, 形成一个物理隔离壁垒, 以此阻拦化学介质与金属表面直接接触。表面涂层防腐可有效减弱腐蚀进程中诸如氧气、水分这类腐蚀因子的侵蚀效应, 由此延长设备的使用期间。一般性的常用涂层材料有环氧

树脂、聚氨酯、氟碳涂料等，这些涂料呈现出显著的耐腐蚀性、耐高温性及耐磨性，能有效阻挡酸、碱、盐等化学介质的侵害。可依照实际应用场景的需求去选择适配的涂料种类，若处于低腐蚀环境，宜采用环氧树脂涂料，而聚氨酯涂料能够与相对恶劣的工作条件相吻合。在进行涂层施工作业的阶段中，一定得保证表面无污、涂层齐整以及固化充足，以此让防腐效果长时间维持有效<sup>[2]</sup>。

### 2.1.1 有机涂层

有机涂层是一种常见的防腐技术，其主要成分包括有机树脂、颜料、添加剂等。有机涂层形成致密的膜层，能够有效地隔绝金属表面与外界介质的直接接触，起到抵挡腐蚀介质的作用。有机涂层通常涵盖了多种类型，如环氧树脂、聚氨酯、酚醛树脂等，每种都具有特定的化学性能和适用环境。这些涂层不仅提供了优异的腐蚀保护，还具备良好的附着力和耐磨性，广泛应用于化工设备表面的保护。

### 2.2.2 金属涂层

金属涂层是一种利用金属膜覆盖在金属表面的防腐方法。常见的金属涂层包括镀锌、镀铬、镀锡等。这些金属涂层通过牺牲自身进行电化学反应，形成一层致密的氧化膜，降低了金属的腐蚀速率。金属涂层不仅提供了物理隔离，还具备自修复能力，延长了设备的使用寿命。

### 2.2.3 无机涂层

无机涂层主要是利用无机材料形成的保护层，如磷化、氧化等。这类涂层通常具有耐高温、耐腐蚀和耐磨损的特性。磷化涂层通过在金属表面形成磷化合物，提高了金属的硬度和耐蚀性。氧化涂层则通过在金属表面形成氧化物膜，有效地隔离了腐蚀介质。

## 2.2 阴极保护技术

阴极保护技术是一种采用电化学举措保护金属设备不被腐蚀的技术。该方法采用施加额外电流或采取牺牲阳极的手段，实现金属设备表面电位的转变，让金属表面进入阴极情形，以此避免氧化反应的生成。针对地下管道、储罐、海洋平台等重要设备及设施的防腐相关事宜，多数采用阴极保护技术。外加电流阴极保护采用向设备输送电流的方式达成目的，让金属表面电位比产生腐蚀的电位低，由此让设备表面成为阴极，防止金属出现腐蚀破坏；而牺牲阳极阴极保护达成其目的，是采用在设备上安装具有更低电位的金属材料（像锌、铝等）充当牺牲阳极的做法，带动腐蚀反应出现，保障主要设备不被腐蚀现象破坏。此方法尤其适用于某些难以实施涂层的设施与设备，能长期、切实地保障金属表面，减少金属遭受的腐蚀破坏。

## 2.3 材料选择与替换

找出具有耐腐蚀功效的材料是防腐工作里十分关键的一个环节，能切实让设备的使用期限得以延长。就容易出现腐蚀的部位而言，应依照工作环境的不同特质，筛选恰当的材料。常见地反映出耐腐蚀性能的材料涵盖不锈钢、

钛合金、铝合金、塑料衬里等类别，这些材料表现出卓越的抗腐蚀实力，拥有抵御酸、碱、盐等腐蚀性介质侵害的能力，促使设备在恶劣环境中实现正常工作。不锈钢凸显出较强的抵御腐蚀能力，被大量采用在化工设备以及海洋设施方面；钛合金展现出极其卓越的抗酸碱腐蚀能力，频繁被应用在航空航天和化学工业的关键部件里面。当碰到部分有较强腐蚀性的介质时，采用塑料内衬或者涂覆防护材料同样是一种有效的防腐途径，按照实际环境情形选取相应材料，可以在成本与性能的关系之间找到最恰到好处的平衡点，以此得到最好的防腐结果<sup>[3]</sup>。

### 2.3.1 材料选择的基本原则

在化工机械设备的防腐设计中，材料选择的基本原则是确保材料具有良好的耐腐蚀性、耐磨性、耐高温性、耐压性以及适应工作环境的机械强度。首先，要根据化学介质的性质选择材料，例如对酸碱性质、温度范围、压力要求等进行充分了解。其次，考虑设备的机械结构，选择合适的强度和韧性，确保在工作条件下不会发生变形或断裂。同时，耐磨性也是重要考虑因素之一，尤其对于设备在搅拌、研磨等高摩擦环境中的部件。

### 2.3.2 常用防腐材料及其特性

常用的防腐材料包括不锈钢、耐腐蚀合金、塑料等。不锈钢具有良好的耐腐蚀性，主要包括奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢和双相不锈钢等，适用于对抗酸碱腐蚀的场合。耐腐蚀合金如哈氏合金(Hastelloy)、蒙乃尔合金(Monel)等，因其在强腐蚀性环境中的出色表现而广泛应用。塑料材料，如聚丙烯(PP)、聚氟乙烯(PTFE)等，由于其化学惰性和耐腐蚀性，适用于对金属极为敏感的介质，同时具有轻质、绝缘等优点。

## 2.4 化学防腐剂的应用

化学防腐剂的应用呈现出在化学反应开展期间添加特定的某些化学物质，改变反应环境既定的属性，以此抑制腐蚀反应的萌发。这些化学防腐剂具有减轻或遏制金属与腐蚀性介质发生反应的效能，被大量运用在化工、石油、能源等行业里面。在推进化工生产操作的阶段，利用缓蚀剂极为关键，它事实上可降低金属表面跟腐蚀性介质的反应速率，保证设备不出现腐蚀破坏。经常出现的缓蚀剂由有机化学物质、无机化学物质以及部分天然或合成的高分子材料共同组成，按照合理抉择并添加化学防腐剂，可降低面临腐蚀情形的风险。尤其是在温度相对偏高、湿度相对偏大的环境状况里，可以切实提升设备的可靠性以及延长其使用时长。在和石油有一定关联的管道以及化学反应容器里，应用缓蚀剂可切实阻碍腐蚀的进展，进而可减少设备维修以及更换产生的费用。化学防腐剂的环保性能仍是需要考量的一个要点，绿色环保型缓蚀剂正缓缓成为市场的主流规格，顺应现代化工生产中对环保的高水平需求。

### 3 腐蚀监测与评估技术

#### 3.1 在线腐蚀监测

在线腐蚀监测技术是一种凭借实时监视设备的腐蚀状态来提高安全性并延长设备使用阶段的重要方式。此方式涉及在化工机械设备、管道、储罐等关键部位安装上传感器,以便在腐蚀刚出现的时候能够迅速探测到并开展相关处置工作。在线监测系统按照自动化方式开展数据采集与处理工作,可实时把监测信息投送至控制中心,实时把腐蚀状态的反馈传达给工程人员。通过及时查找腐蚀的早期迹象,企业有条件在问题恶化前开展预防性手段,进而防止设备产生故障情形、减少停工的时间跨度范围、削减维修的费用开销数额,还可增进生产作业的安全稳定性。

#### 3.2 腐蚀评估与分析

作为核心环节的腐蚀评估与分析,目的是全面掌握腐蚀过程、找出造成腐蚀的根源并为防腐措施提供科学依据。对设备及结构出现的腐蚀进行深入评估后,企业可有的放矢地采用经优化的防腐方案,进而加大设备的耐用期限,减少不必要的维修跟更换开支。腐蚀评估既可以辅助分析当前设备的腐蚀现状,还可以依靠预测分析,为未来腐蚀发展的大概走向提供依据<sup>[4]</sup>。

### 4 腐蚀防护技术的创新方向

#### 4.1 智能化防腐技术

随着人工智能(AI)技术的飞速发展,智能化防腐技术正在成为工业领域中一个日益重要的研究方向,尤其是在设备与管道的维护与管理方面具有广泛应用前景。该技术的核心理念是结合AI算法、大数据分析、传感器技术与实时监控设备,形成智能化的防腐系统,通过持续采集和分析设备运行数据,对设备和管道的腐蚀状态进行动态监测与评估。通过大数据积累与AI系统的深度学习,系统能够精确识别腐蚀的初期迹象及其发展趋势,并对其进行数据建模和预测,从而有效提前识别潜在的腐蚀风险。与传统的人工巡检方式相比,智能化防腐技术能够大大提高故障预测的精准性与时效性,减少人为疏漏,避免了过度依赖人工检查可能带来的延误和不全面的问题。企业可以通过这种技术,及早采取预防措施,防止腐蚀进一步恶化导致设备停机甚至灾难性故障的发生,从而显著延长设备的使用寿命,降低维护成本,提升生产效率。最终,智能化防腐技术不仅提升了设备的可靠性与安全性,还推动了工业领域向更加智能化、精细化和高效化的方向发展。

#### 4.2 纳米技术应用

近年来,纳米技术在材料科学领域的广泛应用推动了设备防腐技术的创新。纳米材料具备了独特的物理、化学特性,尤其在耐腐蚀性和机械性能方面表现出色。研究表

明,纳米涂层通过微观结构的优化,能够有效抵抗各种腐蚀介质的侵蚀,提升材料表面的抗腐蚀能力。与传统的防腐涂层相比,纳米涂层不仅具备更强的耐磨性、抗氧化性和抗化学腐蚀性,而且其极小的粒径使得涂层更均匀且紧密,能够有效封堵表面微小的裂缝和孔隙,从而避免腐蚀源的渗透。纳米涂层的应用不仅能够显著提高设备的耐腐蚀能力,还能改善设备表面的光滑度和美观性,提升设备的耐用性和长时间使用后的外观表现。此外,纳米涂层的导热性和机械强度也是其在一些特殊环境下应用的关键优势。例如,在高温、高压或腐蚀性强的环境中,纳米涂层能够为设备提供更可靠的保护,从而延长设备的使用寿命。随着纳米技术的不断进步,预计其在防腐领域的应用将更加广泛,并在工业生产中发挥更加重要的作用<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 在线监测系统的建设与应用

为了确保化工机械设备的防腐效果和安全运行,建设和应用在线监测系统是至关重要的。这些系统通过实时监测设备的腐蚀状况、涂层磨损、温度、压力等关键参数,能够提前发现潜在问题并采取相应措施,从而降低维护成本和避免设备突发故障。先进的传感技术、远程监测和数据分析系统将为在线监测提供更加精准和全面的信息,使设备管理者能够迅速做出反应,确保设备的持续稳定运行。

### 5 结语

化工机械设备的腐蚀问题是化工生产中不可忽视的重要环节,其防腐措施的研究与实施直接关系到设备的安全运行和经济效益。本文通过分析腐蚀机理,探讨了表面涂层防腐、阴极保护、材料选择等常见的防腐技术,并结合腐蚀监测与评估技术,提出了创新的防腐防护策略。未来,随着智能化与纳米技术的不断发展,化工机械设备的防腐技术将不断取得突破,为化工行业提供更加可靠的技术保障。

#### 【参考文献】

- [1]郝盼,杨芳.化工机械典型设备的腐蚀原因与防腐措施分析[J].化纤与纺织技术,2023,52(4):94-96.
  - [2]安晓英.化工机械设备腐蚀原因及防腐措施浅析[J].中国机械,2023(2):101-104.
  - [3]刘永胜.化工机械设备腐蚀原因及其防腐措施研究[J].当代化工研究,2022(9):11-13.
  - [4]陈文学.化工机械设备的腐蚀原因及防腐措施[J].化工设计通讯,2021,47(10):65-66.
  - [5]黄美峰,杜斌,董璐璐.化工机械设备腐蚀原因及防腐措施研究[J].信息记录材料,2020,21(9):15-16.
- 作者简介:王小涛(1985.11—),男,民族:汉,中级工程师,学历:本科,专业:过程装备与控制工程。