

# 化工机械设备腐蚀机理及防腐策略研究

吴龙<sup>1</sup> 杨发<sup>2</sup> 张强<sup>1</sup>

1. 盛虹炼化(连云港)有限公司 江苏 连云港 222065

2. 内蒙古新特硅材料有限公司 内蒙古 包头 014100

**摘要:** 本文探讨了化工机械设备的腐蚀机理及防腐策略。腐蚀机理包括物理腐蚀、化学腐蚀和电化学腐蚀三种形式,每种形式都有其特定的破坏过程和影响因素。针对这些腐蚀机理,提出了开发耐蚀材料、表面防蚀技术、缓蚀技术、电化学保护以及优化工艺操作及设备结构等防腐策略。这些策略在实际应用中已取得显著效果,有效延长了设备的使用寿命,提高了生产效率和安全性。

**关键词:** 化工机械设备; 腐蚀机理; 防腐策略; 电化学腐蚀

## 引言

化工机械设备在生产过程中常面临腐蚀问题,这不仅影响设备的稳定运行,还可能导致生产事故和环境污染。因此,深入研究化工机械设备的腐蚀机理,并采取相应的防腐策略至关重要。本文将系统阐述化工机械设备的腐蚀机理,并探讨有效的防腐策略,为化工企业的设备防腐工作提供理论支持和实践指导。

## 1 化工机械设备的腐蚀机理

### 1.1 物理腐蚀

物理腐蚀,作为一种非电化学性的破坏形式,主要指的是材料在单纯物理作用下发生的破坏。这种腐蚀通常是由溶解、渗透等物理过程引起的,不涉及化学反应或电流的产生。一个典型的例子是熔融金属容器的溶解。在高温环境下,金属容器可能因接触到熔融的金属或合金而发生溶解,导致容器壁的减薄和强度的降低。此外,高温熔盐、熔碱等也对容器构成威胁。这些熔融的盐类或碱类具有极强的渗透性,能够渗入金属晶界或微观缺陷中,引起金属的溶解和破坏。物理腐蚀的速率通常较慢,但其对设备的破坏性不容忽视,特别是在高温、高压等极端条件下。

### 1.2 化学腐蚀

化学腐蚀是金属与非电解质直接相互作用导致的破坏,其过程为纯氧化-还原反应。金属表面原子与腐蚀介质分子或原子直接结合,生成腐蚀产物。此过程中无电流产生,且腐蚀反应遵循化学动力学的基本原理进行。这与物理腐蚀不同,是金属腐蚀的一种重要形式。化学腐蚀的速率和程度取决于金属的性质、腐蚀介质的成分和温度等因素。例如,某些金属在潮湿的空气中容易发生氧化反应,形成氧化物膜,这种膜如果疏松不致密,就会加速金属的进一步腐蚀。此外,一些强酸、强碱等

化学物质也能直接与金属反应,造成严重的化学腐蚀。化学腐蚀通常发生在金属与腐蚀介质直接接触的部位,因此,通过隔离金属与腐蚀介质或改变腐蚀介质的性质,可以有效减缓化学腐蚀的速率<sup>[1]</sup>。

### 1.3 电化学腐蚀

电化学腐蚀是金属在电解质溶液中发生的一种最为常见的腐蚀形式。它涉及阳极失去电子和阴极获得电子以及电子的流动(电流),是一个电化学过程。电化学腐蚀的历程符合电化学动力学规律,其速率和程度受到多种因素的影响,如金属的电位、电解质的性质、温度、流速以及金属表面的状态等。在石油化工设备中,电化学腐蚀尤为常见,且形式多样,包括点蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀等。点蚀是一种局部腐蚀形式,它通常在金属表面形成小而深的蚀坑,这些蚀坑会迅速扩展,导致设备的穿孔或泄漏。晶间腐蚀则发生在金属的晶界处,它会破坏金属的晶粒结构,降低材料的机械性能。应力腐蚀则是在拉应力和特定腐蚀介质的共同作用下发生的,它会导致金属在远低于其屈服强度的应力下发生断裂。因此,对于石油化工设备来说,采取有效的电化学防腐措施至关重要。

## 2 化工机械设备的防腐策略

### 2.1 开发耐蚀材料

开发耐蚀材料是防止化工机械设备腐蚀的根本途径。材料的耐蚀性能直接决定了设备在腐蚀性环境中的使用寿命。为了提高材料的耐蚀性,可以在钢材等基础材料中加入具有抗腐蚀性能的合金化元素。例如,铬(Cr)、铝(Al)以及硅(Si)等元素在钢材中的加入,可以显著改变钢材的微观结构和表面性质,从而在钢材表面形成一层致密的保护层。这层保护层能够有效隔绝腐蚀介质与钢材本体的直接接触,从而减缓腐蚀速度。

除了合金化元素的加入,还可以通过改变材料的组织结构来提高其耐腐蚀性。例如,通过热处理工艺调整钢材的晶粒大小和分布,使其更加均匀致密,减少微观缺陷,从而提高材料的抗腐蚀能力。此外,还可以开发新型耐蚀合金材料,如不锈钢、钛合金等,这些材料具有优异的抗腐蚀性能,能够在恶劣的腐蚀性环境中长期稳定运行。

在实际应用中,选择耐蚀材料时需要考虑设备的具体工作环境和腐蚀介质的性质。不同的腐蚀介质对材料的腐蚀机理和速率不同,因此需要根据实际情况选择最合适的耐蚀材料。同时,还需要考虑材料的成本、加工性能以及与其他部件的兼容性等因素,以确保所选材料既能够满足防腐要求,又能够在实际生产中得以广泛应用<sup>[2]</sup>。

## 2.2 表面防蚀技术

表面防蚀技术是一种通过在设备表面形成保护层来隔绝腐蚀介质与设备本体接触的方法。这种技术可以有效减缓设备的腐蚀速度,延长设备的使用寿命;表面防蚀技术包括多种方法,其中金属镀层和喷涂防腐涂料是两种最为常用的方法。

金属镀层是通过电镀、热镀或化学镀等方法在设备表面镀上一层惰性金属或合金层。这层金属镀层具有优异的抗腐蚀性能,能够作为屏障隔绝腐蚀介质与设备本体的接触。常见的金属镀层材料包括锌、铬、镍等。电镀方法是通过电解作用在设备表面沉积一层金属镀层,这种方法具有镀层均匀、附着力强等优点;热镀方法则是将设备浸入熔融的金属中,使设备表面附着一层金属镀层,这种方法适用于大型构件的防腐处理;化学镀方法则是通过化学反应在设备表面形成一层金属镀层,这种方法具有操作简便、适用于复杂形状构件等优点。

喷涂防腐涂料是另一种常用的表面防蚀技术。防腐涂料具有优异的防腐性能,能够在设备表面形成一层致密的保护膜。这层保护膜能够有效隔绝腐蚀介质与设备本体的接触,从而减缓腐蚀速度。防腐涂料的种类很多,包括环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、氟碳涂料等。这些涂料具有不同的防腐性能和适用范围,需要根据设备的具体工作环境和腐蚀介质的性质来选择。在喷涂过程中,需要严格控制涂层的厚度、均匀性以及附着力等参数,以确保涂层的防腐效果。

## 2.3 缓蚀技术

缓蚀剂是一种能够显著减缓金属腐蚀速度的化学物质。它可以通过物理或化学吸附在金属表面,形成一层抗水性保护膜,从而遮蔽金属与腐蚀性水相的接触,减缓腐蚀速度。缓蚀剂具有使用方便、成本低廉等优点,

在化工生产中得到了广泛应用。

缓蚀剂的种类很多,包括无机缓蚀剂、有机缓蚀剂和复合缓蚀剂等。无机缓蚀剂主要是通过形成沉淀膜或氧化膜来保护金属表面;有机缓蚀剂则是通过吸附在金属表面形成一层致密的有机膜来隔绝腐蚀介质;复合缓蚀剂则是将无机缓蚀剂和有机缓蚀剂复配使用,以发挥各自的优点,提高缓蚀效果。

在使用缓蚀剂时,需要考虑缓蚀剂的浓度、使用条件以及与其他化学物质的兼容性等因素。缓蚀剂浓度过高或过低都会影响其缓蚀效果;使用条件不同,缓蚀剂的缓蚀效果也会有所差异;与其他化学物质不兼容可能会导致缓蚀剂失效或产生副作用。因此,在选择和使用缓蚀剂时,需要根据设备的具体情况和防腐要求来确定最佳的缓蚀剂配方和使用条件。

## 2.4 电化学保护

电化学保护是一种利用外部电流使金属腐蚀电位发生改变以降低其腐蚀速率的防腐技术,它包括阴极保护和阳极保护两种类型,是防止金属设备腐蚀的有效手段。

阴极保护技术主要应用于水和土壤环境中的金属结构防腐,其原理是通过外加直流电流或采用牺牲阳极的方式,使被保护的金属成为阴极,进而降低其腐蚀速度。在外加直流电流阴极保护中,利用外部电源为金属提供电流,使其处于阴极状态,从而抑制阳极溶解过程。而牺牲阳极阴极保护则是通过将保护金属与更活泼的金属(例如锌、镁)相连,构成原电池,使被保护金属作为阴极获得保护。该技术具有保护范围广泛、效果显著等优势。

阳极保护是通过将金属构件连接至外加直流电源的正极,在电解质溶液中使其阳极极化达到特定电位,从而促使金属形成并保持稳定的钝化状态,以有效减缓腐蚀速率。此方法特别适用于易钝化金属,如不锈钢和钛,在特定环境中的防腐。阳极保护效果显著,耐用性强,但需精确控制电位,防止因过极化而损害金属<sup>[3]</sup>。

## 2.5 优化工艺操作及设备结构

优化工艺操作及设备结构也是防止化工机械设备腐蚀的重要措施。遵循化工生产工艺规程是消除不必要的腐蚀现象的关键。即便选用优质的耐腐蚀材料和采取有效的防腐技术,如果操作工艺不符合规程,仍可能导致严重的腐蚀问题。因此,在化工生产过程中,需要严格控制工艺参数,如温度、压力、流量等,以确保设备在正常运行范围内工作。

通过优化设备结构设计,也可以有效减缓设备的腐蚀速度。例如,避免应力集中可以减少因应力腐蚀导致

的设备破坏；减少连接间隙可以降低缝隙腐蚀的风险；采用光滑的表面设计可以减少污垢和腐蚀介质的积聚，从而降低腐蚀速率。同时，还需要考虑设备的可维护性和可检查性，以便及时发现并处理潜在的腐蚀问题。

### 3 具体防腐措施的实施

#### 3.1 预留腐蚀裕量：

预留腐蚀裕量是化工机械设备设计中的一个重要环节。在设计阶段，工程师们需要充分考虑设备在使用过程中可能遭受的腐蚀情况，并据此预留出一定的材料厚度作为腐蚀裕量。这一做法的目的是确保设备在预定的使用寿命内，即使受到腐蚀的影响，也能够保持足够的强度和稳定性，避免因腐蚀而导致设备失效。

预留腐蚀裕量的确定需要综合考虑多种因素，包括设备的材质、工作环境、腐蚀介质的性质以及预期的使用寿命等。例如，在腐蚀性较强的环境中，或者设备材质对腐蚀较为敏感的情况下，需要预留更大的腐蚀裕量。同时，随着科技的进步和材料的不断发展，新型耐蚀材料的出现也为预留腐蚀裕量提供了更多的选择。

通过预留腐蚀裕量，可以有效提高化工机械设备的可靠性和安全性。在实际应用中，这一措施已经得到了广泛的认可和应用。它不仅能够延长设备的使用寿命，减少因腐蚀而导致的维修和更换成本，还能够保障生产的顺利进行，提高生产效率<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 “一脱四注”工艺：

在石油化工行业中，“一脱四注”工艺是一种行之有效的减缓设备腐蚀的手段。所谓“一脱”，指的是原油脱盐处理。原油中含有一定量的盐分和杂质，这些物质在加工过程中会对设备造成腐蚀。通过脱盐处理，可以有效降低原油中的盐分含量，从而减轻设备的腐蚀程度。

而“四注”则是指在石油化工设备生产过程中，向设备内注入碱、氨、碱性水和缓蚀剂四种物质。注碱可以中和原油中的酸性物质，减少酸腐蚀；注氨可以形成一层保护膜，隔绝腐蚀介质与设备的直接接触；注碱性水可以进一步调节设备的内部环境，降低腐蚀速率；注缓蚀剂则可以在设备表面形成一层抗腐蚀的薄膜，提高设备的耐蚀性。

通过“一脱四注”工艺的实施，可以显著减缓石油化工设备在生产过程中受到的腐蚀影响。这一工艺不仅能够延长设备的使用寿命，提高生产效率，还能够降低维修和更换成本，为石油化工企业的可持续发展提供有力保障。

#### 3.3 定期维护与保养：

定期维护与保养也是确保化工机械设备长期稳定运行的重要环节。定期对设备进行清洗、检查和维修，可以及时发现并处理潜在的腐蚀问题，防止腐蚀的进一步扩展。

在清洗设备时，应使用合适的清洗剂和工具，彻底清除设备表面的污垢和腐蚀产物。还需要检查设备的连接处是否紧密，有无泄漏现象；对于发现的问题，应及时进行修复和处理，确保设备的完好性。

通过定期维护与保养，可以有效延长化工机械设备的使用寿命，提高设备的可靠性和安全性。还能够降低维修和更换成本，提高生产效率；因而，在化工生产过程中，应高度重视设备的维护与保养工作，确保设备的长期稳定运行。

### 结语

通过对化工机械设备的腐蚀机理及防腐策略的深入研究，我们认识到防腐工作对于确保设备稳定运行、提高生产效率和保障安全生产的重要性。未来，我们将继续探索更加高效、环保的防腐技术和方法，为化工企业的可持续发展贡献力量。同时，也希望化工企业能够高度重视设备防腐工作，加强设备管理与维护，共同推动化工行业的进步与发展。

### 参考文献

- [1]孙浩.石油化工设备常见腐蚀原因及防腐措施应用的思考[J].工程与建设,2021,35(4):721-722.
- [2]夏雨雨.石油化工设备常见腐蚀原因及防腐措施[J].化工设计通讯,2020,46(2):35-36.
- [3]陈思亮.化工机械设备的防腐设计及防腐措施[J].化工设计通讯,2020,46(10):36-37.
- [4]陈坤,李大文,许丛琳.探讨化工机械设备的防腐设计及防腐措施[J].化工管理,2020(11):145-146.