

精细化工设备腐蚀影响因素及防护措施

李鑫 李希仑 王倩闯 陈晓磊
天津市长芦化工新材料有限公司 天津 300450

摘要:精细化工生产凭借产品种类多、附加值高的特点,在国民经济中占据关键地位。本文围绕精细化工设备腐蚀展开研究,剖析了其常见腐蚀类型,包括均匀腐蚀、局部腐蚀与电化学腐蚀。从化学、物理、材料、操作四方面,系统阐述了影响设备腐蚀的多种因素,如介质成分、温度、材料特性等。针对上述问题,提出涵盖材料选择与优化、工艺控制与改进、设备设计与维护及安全管理综合防护措施,旨在为精细化工企业在设备腐蚀防治方面提供科学依据,有效降低设备腐蚀风险,保障生产的安全性与持续性。

关键词:精细化工;设备腐蚀;影响因素;防护措施

引言:精细化工在国民经济中占据重要地位,其生产设备的稳定运行直接关系到生产效益与安全。然而,设备腐蚀问题严重影响精细化工行业的发展,不仅缩短设备使用寿命、增加维修成本,还可能引发安全事故,造成环境污染。当前,随着精细化工生产规模的不断扩大和工艺的日益复杂,设备面临的腐蚀环境愈发严峻。在此背景下,深入研究精细化工设备的腐蚀影响因素,并提出切实可行的防护措施,对提高设备运行可靠性、推动精细化工行业的可持续发展,具有极为重要的现实意义。

1 精细化工设备常见腐蚀类型

1.1 均匀腐蚀

均匀腐蚀,指的是在整个金属表面上较为均匀地进行的腐蚀过程,这也是精细化工设备最常见的腐蚀形式之一。当设备长期接触具有腐蚀性的介质时,金属表面的原子会持续被氧化并溶解,导致设备壁厚均匀减薄。尽管这种腐蚀模式易于监测与预测,但由于涉及面积广,长时间积累后,仍会显著降低设备的结构强度,影响设备的正常使用寿命。

1.2 局部腐蚀

局部腐蚀与均匀腐蚀不同,它仅在金属表面的局部区域发生,却具有极大的破坏性。在精细化工设备中,缝隙、焊接点、表面缺陷处容易发生局部腐蚀。以缝隙腐蚀为例,当设备的垫片、铆接处存在缝隙时,腐蚀性介质进入后难以流出,形成浓差电池,引发局部腐蚀。此外,点蚀也是局部腐蚀的常见形式,其腐蚀面积小但深度大,可能在短时间内就穿透设备壁厚,引发物料泄漏,进而导致生产中断,甚至造成严重的安全事故。

1.3 电化学腐蚀

电化学腐蚀在精细化工设备腐蚀中较为普遍,本质是金属与电解质溶液发生电化学反应导致的腐蚀现象。

当设备由不同金属或同种金属的不同区域存在电位差时,便会形成腐蚀电池。这种腐蚀过程伴有电流产生,且腐蚀速度通常较快。在精细化工生产中,由于介质多为电解质溶液,加上设备常处于复杂的工作环境,进一步加剧了电化学腐蚀的发生,对设备的损害不容小觑^[1]。

2 精细化工设备腐蚀影响因素

2.1 化学因素

2.1.1 介质成分

精细化工生产中,使用的化学介质成分复杂多样,不同成分对设备的腐蚀程度差异明显。含强氧化性物质的介质,像硝酸,会使金属表面迅速发生氧化反应,破坏金属的保护膜,加速腐蚀进程。而含有硫化物的介质,会与金属发生硫化反应,生成疏松且易脱落的硫化物,导致金属持续被腐蚀。比如在石油化工的加氢脱硫装置里,硫化氢气体的存在,会严重腐蚀设备的金属部件,极大地降低设备的稳定性与使用寿命。

2.1.2 酸碱度(pH值)

酸碱度对精细化工设备腐蚀的影响不容小觑。酸性环境下,氢离子浓度较高,金属与氢离子发生置换反应,促使金属不断溶解。相反,碱性环境虽对多数金属腐蚀相对较弱,但某些两性金属,如铝,在强碱溶液中会发生腐蚀。并且,介质的酸碱度波动还会引发应力腐蚀开裂,导致设备在较低应力下就出现裂纹,严重威胁设备的安全运行。

2.1.3 氯离子浓度

氯离子具有半径小、穿透能力强的特点,在精细化工设备腐蚀中扮演着极为关键的角色。即便其浓度较低,也能破坏金属表面的钝化膜。以不锈钢设备为例,氯离子一旦穿透钝化膜,就会引发点蚀。随着氯离子浓度升高,点蚀和缝隙腐蚀的敏感性大幅增强。在海水冷

却系统、含氯的化工生产装置中，因氯离子浓度高，设备经常遭受严重的腐蚀，致使设备维护成本急剧上升，使用周期显著缩短。

2.2 物理因素

2.2.1 温度

温度对精细化工设备的腐蚀速率有着显著影响。通常情况下，温度每升高 10°C ，腐蚀反应速率会提升1到2倍。在高温环境下，腐蚀介质的活性增强，分子运动加快，促使化学反应更容易发生。例如，在高温高压的合成氨反应装置中，高温不仅加剧了氢气对钢材的腐蚀，使金属发生氢脆，降低材料的韧性，还会加速氨气与设备金属的反应，造成设备严重损耗，极大地缩短设备的稳定运行周期，给生产的连续性和安全性带来威胁。

2.2.2 压力

压力是影响精细化工设备腐蚀的重要物理因素。当设备内部压力增大时，腐蚀性介质更容易渗透到金属内部的微观缺陷中，从而引发或加速腐蚀。在高压环境下，金属表面的保护膜可能因受力不均而破裂，使金属直接暴露于腐蚀介质中。比如在石油化工的高压加氢设备中，高压氢气不仅能够加速氢腐蚀，使金属的强度和塑性下降，而且会促使硫化氢等腐蚀性介质与金属更快反应，导致设备的局部腐蚀加剧，降低设备的整体强度。

2.2.3 流速

流体的流速对精细化工设备的腐蚀有着双重影响。流速较低时，腐蚀性介质在设备表面形成浓度差，可能引发局部腐蚀。而当流速过高时，流体对设备表面产生冲刷作用，破坏金属表面的保护膜，加快腐蚀进程。在管道输送系统中，高速流动的腐蚀性物料，像硫酸溶液，会持续冲刷管道内壁，导致金属表面的腐蚀产物不断被带走，金属持续与介质接触，加速腐蚀，使管道壁变薄，甚至引发管道穿孔泄漏，造成物料损失和安全事故。

2.3 材料因素

2.3.1 金属材料特性

金属材料本身的特性，对精细化工设备的抗腐蚀能力有着决定性影响。不同金属的电极电位存在差异，电极电位较低的金属，在腐蚀反应中更易失去电子，发生氧化反应，进而遭受腐蚀。例如，铁的电极电位相对较低，在潮湿且含腐蚀性介质的环境中，极易生锈。相比之下，不锈钢因含有铬、镍等合金元素，能在表面形成致密的氧化膜，有效阻止腐蚀介质的侵入，展现出较强的耐腐蚀性。然而，即便同为不锈钢，不同型号因其合金成分的比例不同，耐蚀性能也存在较大差异，选材不当就会导致设备腐蚀风险增加^[2]。

2.3.2 材料组织结构

材料的组织结构同样会影响精细化工设备的腐蚀情况。金属材料的晶粒大小、晶界分布以及相组成等，都会改变其腐蚀特性。一般来说，晶粒越细小，晶界面积越大，在腐蚀过程中，晶界处因能量较高，更容易成为腐蚀的起始点。此外，材料中的杂质、第二相的分布也至关重要。如碳钢中的渗碳体，与铁素体形成微电池，加速铁素体的腐蚀。不均匀的组织结构，还会导致应力分布不均，引发应力腐蚀开裂，极大地降低设备的使用寿命与安全性。

2.4 操作因素

3.4.1 操作流程规范性

规范的操作流程是保障精细化工设备稳定运行，降低腐蚀风险的重要前提。一旦操作流程不规范，设备极易遭受严重腐蚀。例如，在向反应釜添加腐蚀性物料时，若添加速度过快，会使局部瞬间浓度过高，加剧对设备内壁的腐蚀。在设备启动与关闭过程中，若升降温、升降压速度不符合要求，设备因热胀冷缩不均，金属材料内部产生应力，可能导致应力腐蚀。

2.4.2 设备维护管理

设备维护管理水平对精细化工设备的腐蚀状况影响显著。若缺乏定期维护，设备表面的污垢、杂质无法及时清除，会在设备表面形成浓差电池，加速腐蚀进程。例如，管道内的结垢不仅阻碍物料流动，还会因垢下腐蚀，造成管道局部穿孔。维护过程中若采用不恰当的方法，如过度打磨设备表面，破坏设备原有的防护层，会使金属直接暴露于腐蚀介质中。

3 精细化工设备腐蚀防护措施

3.1 料择与优化

3.1.1 耐腐蚀材料选用

在精细化工设备的构建过程中，正确选用耐腐蚀材料是预防腐蚀的关键一步。选材前，需全面评估设备的工作环境，包括介质的种类、浓度、温度及压力等要素。对于接触强氧化性酸的设备，可选用高硅铸铁或钛合金。高硅铸铁凭借其在表面生成的二氧化硅保护膜，有效抵御多种强酸的侵蚀；钛合金则因其优异的耐蚀性、高强度及良好的耐热性，在高温、强腐蚀环境中表现出色。对于接触碱液的设备，可考虑采用镍基合金，其在碱性介质中能保持稳定，减少腐蚀损耗。

3.1.2 材料表面处理

对材料进行表面处理，能够在不改变材料基体特性的前提下，显著提升其耐腐蚀能力。常见的表面处理方式包括电镀、热喷涂、化学转化膜等。电镀可在金属表

面镀上一层耐腐蚀金属,如镀铬,形成致密的保护膜,防止腐蚀介质与基体金属直接接触。热喷涂则是将耐腐蚀的金属、陶瓷等材料加热至熔融状态,喷涂到设备表面,形成具有防护功能的涂层。化学转化膜处理,如铝的阳极氧化,能在金属表面生成一层致密的氧化膜,提高材料的耐蚀性与耐磨性^[3]。

3.2 工艺控制与改进

3.2.1 优化生产工艺

在精细化工生产中,优化生产工艺是降低设备腐蚀的有效举措。首先,深入分析生产流程,尽量减少或避免使用强腐蚀性原料,以降低介质对设备的腐蚀威胁。比如,在某些生产环节,用温和的反应原料替代高腐蚀性原料,既能达成生产目标,又能减轻设备腐蚀。其次,精准调控反应条件,严格将温度、压力、pH值等参数控制在设备耐受范围内,避免因参数波动引发应力腐蚀和化学腐蚀。以反应温度为例,过高的温度不仅会加速腐蚀,还可能引发副反应。

3.2.2 缓蚀剂应用

缓蚀剂是一种添加到腐蚀介质中,能显著减缓金属腐蚀速率的化学物质,在精细化工设备防护中应用广泛。根据腐蚀介质和设备材质的不同,合理选择缓蚀剂类型。对于酸性介质,可选用有机胺类缓蚀剂,这类缓蚀剂分子能吸附在金属表面,形成一层保护膜,阻止氢离子与金属发生反应,从而减缓腐蚀。在使用缓蚀剂时,要严格控制添加浓度,浓度过低难以达到防护效果,浓度过高则可能造成浪费,甚至影响产品质量。

3.3 设备设计与维护

3.3.1 合理的设备结构设计

在精细化工设备设计阶段,合理的结构设计对预防腐蚀起到至关重要的作用。设计时,应尽量避免形成缝隙、死角等容易积聚腐蚀介质的区域。比如,设备的连接处优先采用焊接,并确保焊缝平整、连续,减少因铆接、螺栓连接导致的缝隙腐蚀风险。此外,合理设计设备的流体通道,保证介质流动均匀,防止局部流速过快或过慢引发的冲刷腐蚀和沉积腐蚀。对于容易发生腐蚀的部位,如管道弯头、反应釜底部,可适当增加壁厚,以提高设备的耐蚀能力。

3.3.2 定期维护与检测

定期对精细化工设备进行维护与检测,是及时发现和处理腐蚀问题,保障设备安全运行的关键。制定详细的设备维护计划,定期清理设备表面的污垢、杂质,防止因沉积物引发的浓差腐蚀。同时,检查设备的防护层是否完好,如发现破损,及时进行修复。通过定期检

测,采用无损检测技术,如超声波测厚、X射线探伤等,掌握设备的腐蚀状况,准确测量设备的壁厚,及时发现潜在的裂纹和缺陷。根据检测结果,对设备的腐蚀趋势进行评估,为后续的维护和维修提供科学依据,做到早发现、早处理,避免因腐蚀引发严重的生产事故。

3.4 安全管理措施

3.4.1 制定安全操作规程

一套科学、详尽的安全操作规程,是防范精细化工设备因操作不当引发腐蚀问题的重要保障。规程应明确规定设备的启动、运行、停止步骤,以及各环节的操作参数范围。例如,在向设备内添加腐蚀性物料时,严格限定添加速度、顺序,避免因物料冲击或局部浓度过高加速设备腐蚀。同时,针对不同类型的设备,制定专属的巡检流程,要求操作人员定时检查设备的密封性能、压力稳定性等,及时发现异常情况并采取措施。

3.4.2 人员培训与教育

人员培训与教育,在精细化工设备腐蚀防护工作中扮演着不可或缺的角色。一方面,定期组织操作人员参加腐蚀防护知识培训,使其深入了解设备腐蚀的原理、类型及危害,掌握各类腐蚀问题的预防方法和应急处理技巧。另一方面,开展设备操作技能培训,提升操作人员的专业素养,确保其严格按照操作规程进行作业,避免因操作不当引发腐蚀。此外,通过安全警示教育,如播放因腐蚀导致的安全事故案例视频,增强员工的安全意识,促使其在日常工作中,时刻关注设备状态,主动做好腐蚀防护工作,从源头上减少设备腐蚀隐患^[4]。

结束语

精细化工设备腐蚀问题,对生产的安全性、稳定性及企业经济效益影响深远。通过剖析化学、物理、材料与操作等多方面的影响因素,针对性地从材料选择、工艺控制、设备设计与维护,以及安全管理等维度提出防护策略,可显著降低设备腐蚀风险。但随着精细化工行业的不断发展,新的工艺和材料持续涌现,设备腐蚀防护仍需持续探索。

参考文献

- [1]陈宇.化工设备腐蚀及防护技术综述[J].化工进展,2021,38(5):209-216.
- [2]王明.涂层技术在化工设备腐蚀防护中的应用研究[J].材料科学与工程,2020,38(2):190-197.
- [3]李晓红,张国华.电化学腐蚀防护技术在化工设备中的应用[J].金属材料与冶金工程,2021,46(7):178-183.
- [4]张世涌,张瑞,高志华,等.化工设备的防腐设计及防腐措施分析[J].测试与分析,2021(43):159-161.