

# 化工设备的材料选择与耐腐蚀性研究

朱城杰

陕西亚特尔科建设有限公司第一分公司 陕西西安

**【摘要】** 化工设备的材料选择是影响生产过程效率、安全性与经济性的重要因素。在化工行业中，腐蚀问题长期以来困扰着生产过程的稳定性和设备的使用寿命。选择合适的材料具有重要的现实意义，可以有效减少设备的损坏、提高生产的安全性和经济效益。本文从化工设备的材料选择出发，结合腐蚀机理的研究，分析了不同类型化工设备在特定工作环境下的耐腐蚀性能，以及现代技术手段如何为化工设备材料的选择提供支撑。通过对多种材料的耐腐蚀性进行对比分析，提出了提升材料耐腐蚀性的新思路，并展望了未来化工设备材料的研究方向。

**【关键词】** 化工设备；材料选择；耐腐蚀性；腐蚀机理；性能分析

**【收稿日期】** 2025 年 5 月 6 日

**【出刊日期】** 2025 年 6 月 13 日

**【DOI】** 10.12208/j.jccr.20250021

## Research on material selection and corrosion resistance of chemical equipment

Chengjie Zhu

Shanxi Yater Sci Tech Innovation Construction Co., Ltd. First Branch, Xi 'an, Shaanxi

**【Abstract】** The selection of materials for chemical equipment is a crucial factor influencing the efficiency, safety, and economic viability of production processes. In the chemical industry, corrosion issues have long plagued the stability of production processes and the service life of equipment. Choosing appropriate materials holds significant practical importance, as it can effectively reduce equipment damage, enhance production safety, and improve economic benefits. Starting from the material selection of chemical equipment and combining research on corrosion mechanisms, this paper analyzes the corrosion resistance performance of different types of chemical equipment under specific working environments. It also explores how modern technological means can support the selection of materials for chemical equipment. Through a comparative analysis of the corrosion resistance of various materials, new ideas for improving material corrosion resistance are proposed, and future research directions for chemical equipment materials are outlined.

**【Keywords】** Chemical equipment; Material selection; Corrosion resistance; Corrosion mechanism; Performance analysis

### 1 引言

化工设备在长期的生产过程中经常面临极端的工作环境，特别是在高温、高压、强酸强碱及盐雾等腐蚀性介质的作用下，设备的材料易受腐蚀而导致性能下降、寿命缩短<sup>[1]</sup>。设备的腐蚀不仅会增加维护和更换成本，还可能引发安全事故，因此，选择合适的材料和提高耐腐蚀性是确保化工设备正常运行的关键。本文通过探讨化工设备材料的选择原则及其耐腐蚀性，重点分析了各类材料在不同环境下的表现，并提供了优化材料选择的策略。

### 2 化工设备材料的选择原则

#### 2.1 材料的机械性能要求

化工设备在复杂的生产工况下运行，其材料的机械性能直接关乎设备的安全性与稳定性。以高压反应釜为例，在高温高压的反应过程中，设备需要承受巨大的内部压力，此时材料的强度成为关键。高强度材料能够有效抵抗压力，防止设备发生塑性变形或爆裂，避免生产事故的发生。而在具有频繁开停机、物料输送冲击的化工流程中，如气力输送系统，材料的韧性至关重要。韧性良好的材料能吸收冲击能量，防止因瞬间冲击产生脆性断裂，保障设备的连续运行。对于泵、阀门等存在摩擦作用的设备部件，耐磨性直接影响其使用寿命<sup>[2]</sup>。例如，在输送含固体颗粒的腐蚀性介质时，采用表面硬化处理的合金材料，通过提高表面硬度，减少磨损，

可显著延长设备的维修周期,降低维护成本,确保化工生产的高效进行。

## 2.2 耐腐蚀性要求

化工生产过程中,各类腐蚀性介质对设备材料构成严峻挑战。在氯碱工业中,电解槽长期处于高浓度的氢氧化钠和氯气环境,普通钢材会迅速被腐蚀,因此需选用钛合金、特种不锈钢等抗腐蚀材料。不同的腐蚀形式,如均匀腐蚀会使材料整体变薄,局部腐蚀则可能导致穿孔泄漏,应力腐蚀更是会在材料内部形成裂纹,引发灾难性后果。以硫酸生产装置为例,浓硫酸对金属的腐蚀特性与稀硫酸截然不同,选择合适的材料需经过严格的实验室模拟腐蚀试验和现场挂片试验。通过研究材料在不同浓度、温度、流速的硫酸溶液中的腐蚀速率,结合实际工况,精准选择耐腐蚀材料<sup>[3]</sup>。同时,还需考虑材料的耐缝隙腐蚀、晶间腐蚀等特殊腐蚀性能,以确保设备在复杂的化工环境中具有较长的使用寿命,减少因腐蚀引发的设备故障和安全隐患。

## 2.3 成本与经济性

化工设备材料的成本与经济性贯穿设备全生命周期。以海上石油化工平台的设备材料选择为例,钛合金虽然具有极佳的耐海水腐蚀性能和机械强度,但价格高昂,若全面采用将大幅增加初期建设成本。相比之下,采用涂层保护的碳钢材料,虽然机械性能和耐腐蚀性稍逊,但通过合理的维护和涂层更新,在满足使用要求的前提下,可显著降低成本。在实际选择中,需综合考虑材料的采购成本、加工成本、安装成本、维护成本以及更换成本。例如,一些高性能的耐腐蚀合金材料,虽然初始采购价格高,但因其使用寿命长、维护频率低,长期使用成本反而更低。同时,还需结合企业的资金状况、生产周期以及市场对产品的需求,权衡材料成本与生产效益的关系,选择既能满足设备性能要求,又能实现经济效益最大化的材料,确保企业在激烈的市场竞争中保持成本优势和盈利能力。

## 3 常见化工设备材料的耐腐蚀性分析

### 3.1 不锈钢材料

不锈钢之所以在化工领域备受青睐,核心在于其表面由铬元素主导形成的钝化膜。当铬含量超过 12% 时,铬与氧气迅速反应生成致密的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜,这层纳米级保护膜如同盾牌,能有效隔离材料基体与腐蚀介质。以 304 不锈钢为例,在硝酸溶液环境中,其钝化膜可稳定存在,腐蚀速率极低;而 316 不锈钢因添加钼元素,在硫酸、盐酸等还原性酸中展现出更强的抗腐蚀能力<sup>[4]</sup>。然而,不锈钢的耐腐蚀并非无懈可击,在高

温含氯离子的环境中,如海水淡化装置的蒸发器,氯离子会穿透钝化膜形成点蚀坑,引发应力腐蚀开裂。在造纸工业的漂白工序中,高浓度次氯酸盐溶液也会加速不锈钢的局部腐蚀。因此,实际应用中需通过电化学抛光、涂层处理等手段强化表面防护,同时结合阴极保护技术,才能充分发挥不锈钢的耐腐蚀性能。

### 3.2 钛合金材料

钛合金的耐腐蚀性能源于其独特的表面氧化膜特性。钛在常温下能迅速与空气中的氧结合,形成厚度仅几纳米但极为稳定的  $\text{TiO}_2$  钝化膜,该膜在多种强氧化性介质中具有自修复能力。在氯碱工业的电解槽中,钛合金可抵御氯气、氢氧化钠的双重腐蚀,使用寿命远超传统材料;在海洋石油平台的海水冷却系统中,钛合金管材能有效抵抗海水冲刷和微生物腐蚀。面对高温浓硫酸(浓度 > 70%、温度 > 100℃),钛合金仍能保持低腐蚀速率,这是多数金属难以企及的优势<sup>[5]</sup>。不过,钛合金的应用存在成本壁垒,其冶炼需在真空环境下进行,加工难度大,导致材料成本是普通不锈钢的 5-10 倍。此外,在还原性酸(如氢氟酸、盐酸)环境中,钛合金的钝化膜易被破坏,反而加速腐蚀。因此,钛合金通常应用于航天化工、制药等高附加值领域,以及极端腐蚀工况下的关键设备。

### 3.3 高性能塑料材料

高性能塑料,如聚四氟乙烯(PTFE)、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)等材料在化工设备中的应用越来越广泛。这些塑料材料因其极强的耐腐蚀性,在许多化工介质中表现出色,尤其是在弱酸、弱碱及有机溶剂环境下。PTFE 材料因其卓越的耐高温、高压和耐化学介质性能,被广泛应用于泵体、阀门密封件及管道衬里等部位。PE 和 PP 材料在耐腐蚀和耐磨损方面也有显著优势,且加工成型简单,因此被广泛用于储罐、管道及容器等化工设备中。尽管这些塑料材料的强度相对较低,但通过与其他材料的复合,可以显著提高其机械性能,满足更多工业应用的需求。此外,塑料材料的相对低廉成本也使其在化工设备中有着极具竞争力的优势。然而,塑料材料在高温环境下的性能有限,因此在高温腐蚀性介质中仍然面临一定的技术挑战。

## 4 耐腐蚀性提升技术的应用

### 4.1 表面涂层技术

表面涂层技术在化工设备防护中应用广泛。在某大型制药企业的盐酸储罐中,采用聚四氟乙烯(PTFE)涂层进行防护,该涂层凭借优异的化学稳定性,成功抵御了高浓度盐酸的腐蚀,使储罐的使用寿命从传统不

锈钢材质的 3-5 年延长至 15 年以上。在食品饮料行业,某知名啤酒厂的糖化锅内壁喷涂食品级环氧树脂涂层,这种涂层不仅具有良好的耐腐蚀性,还能满足食品卫生标准,防止金属离子污染产品,同时易于清洁,降低了设备维护成本<sup>[6]</sup>。纳米涂层技术在电子化工领域也有突出表现,某半导体企业在蚀刻设备的腔体表面涂覆纳米二氧化钛涂层,该涂层的超致密结构有效阻挡了氢氟酸等强腐蚀性气体的侵蚀,同时减少了设备表面的颗粒吸附,提升了半导体产品的良品率。自修复涂层则在海上风电设备中崭露头角,某沿海风电场的塔筒外壁涂覆含微胶囊修复剂的自修复涂层,当涂层因风沙磨损出现微裂纹时,微胶囊破裂释放修复剂,自动填补裂纹,延长了塔筒的防护周期。

#### 4.2 合金化与改性技术

合金化技术在石油化工领域成果显著。在深海油气开采中,某石油公司采用含钼量高达 6% 的超级奥氏体不锈钢制造海底管道,这种合金材料在高盐、高压、高腐蚀性的海水环境下,抗点蚀和应力腐蚀能力比普通不锈钢提升 3 倍以上,有效降低了管道泄漏风险<sup>[7]</sup>。镍基合金在化工反应釜上的应用也十分典型,某大型化工厂的高温高压合成反应釜采用 Inconel 625 镍基合金制造,该合金在 600℃ 以上的高温和强还原性介质中仍能保持优异的耐腐蚀性和强度,确保了反应的安全稳定运行。表面改性技术同样表现出色,某垃圾焚烧发电厂利用激光熔覆技术在锅炉水冷壁表面制备陶瓷合金复合涂层,该涂层硬度达到 HV1200 以上,抗高温腐蚀和冲蚀性能显著提升,使水冷壁的使用寿命从原来的 1-2 年延长至 5 年,大幅减少了停机维护次数。

#### 4.3 纳米技术的应用

纳米技术在化工设备防护的创新应用不断涌现。在新能源电池生产领域,某锂电池厂对电解液储罐采用纳米二氧化硅复合涂层进行防护,该涂层通过纳米颗粒的紧密堆积形成分子级防护屏障,有效阻止了电解液中锂盐、有机溶剂对罐体的腐蚀,同时降低了罐体表面的表面能,防止电解液残留和结晶<sup>[8]</sup>。在船舶制造行业,某航运公司将纳米自修复材料应用于货轮的压载舱,该材料内部的纳米胶囊含有缓蚀剂和聚合物,当涂层受到海水冲刷破损时,纳米胶囊释放成分,在破损处形成新的保护膜,使压载舱的腐蚀速率降低 70%

以上。此外,在煤化工领域,某煤制烯烃企业将纳米碳纤维增强复合材料用于煤气化炉的内衬,这种材料结合了纳米碳纤维的高强度和耐腐蚀性,以及基体材料的韧性,在高温、高压、含硫化氢等复杂介质环境下,使用寿命比传统耐火材料延长 2 倍,保障了气化炉的长周期稳定运行。

### 5 结论

化工设备的材料选择与耐腐蚀性研究在保障设备安全、降低成本和提高生产效率方面具有重要意义。随着化工工业的不断发展,材料的耐腐蚀性能愈发受到关注。通过深入了解不同材料的特性以及腐蚀机理,结合表面涂层、合金化、纳米技术等先进技术手段,可以有效提升化工设备的使用寿命和可靠性。未来,随着新型材料和新技术的不断涌现,化工设备的材料选择将更加多样化,耐腐蚀性能也将得到更好的保障。

### 参考文献

- [1] 李立涛.化工设备中高温高压密封材料的选择与性能评估[J].当代化工研究,2025,(05):60-62.
- [2] 彭艳军,丁效星.浅谈化工设备设计中的材料选择与优化[J].中国设备工程,2024,(16):97-99.
- [3] 宋良辉,韦庚龙.高温高压环境下化工设备的材料选择与设计[J].现代盐化工,2024,51(01):15-17.
- [4] 赵旭会.化工设备常用金属材料加工工艺分析[J].世界有色金属,2021,(19):199-200.
- [5] 杨鹏.浅析化工设备设计的选材与应用[J].中国机械,2023,(14):88-91.
- [6] 谢亚武.化工设备设计的选材与应用[J].化工管理,2022,(23):145-148.
- [7] 池海.化工设备设计中材料的选择与应用[J].中国设备工程,2021,(01):97-99.
- [8] 蔡威威,闫文娟.化工工程设备管道与材料优化设计研究[J].清洗世界,2021,37(06):107-108.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**