

化工设备 corrosion（腐蚀）防护涂层材料选型与耐久性验证

周君

四川万邦胜辉新能源科技有限公司，四川省眉山市，610000；

摘要：化工设备腐蚀防护涂层材料选型与耐久性验证是保障化工设备安全运行的重要环节，但在实际应用中存在选型依据不充分、性能指标不明确、缺乏配套标准和耐久性验证方法等问题。本文对化工设备腐蚀机理与影响因素进行了分析，对化工设备防腐涂层材料选型原则与方法进行了介绍，并重点阐述了涂层材料耐久性性能试验的方法、测试条件、测试结果与评价方法等，介绍了典型化工设备防腐涂层应用实例，分析了其存在问题及改进措施。该研究为化工设备防腐涂层材料的选型提供了技术依据，为保障化工设备安全运行提供了技术支撑，对工程应用具有指导意义。

关键词：化工设备；corrosion（腐蚀）；防护涂层材料选型；耐久性验证

DOI：10.64216/3080-1508.25.10.097

引言

化工设备在长期运行中，由于介质腐蚀性强、温度变化大、表面容易积灰等原因，在长期使用过程中易发生腐蚀、磨损、磨损腐蚀和电化学腐蚀等失效形式。化工设备的安全运行不仅关系到企业生产的连续性和经济性，还关系到人身安全和社会稳定。因此，必须采取有效措施防止化工设备发生腐蚀。研究表明，化工设备防腐涂层是最有效的防腐措施之一，应用广泛，具有良好的防腐效果。防护涂层材料选型是保障化工设备安全运行的重要环节，涂层材料耐久性性能验证是防护涂层材料选型的重要依据，因此，需对防护涂层材料进行合理选型和耐久性验证。

1 化工设备腐蚀机理与影响因素分析

腐蚀是指金属或合金在外界介质的作用下，因失去其原有的性能而导致腐蚀破坏的现象。腐蚀可以分为化学腐蚀、物理腐蚀和电化学腐蚀等三大类。化学腐蚀是指在各种介质作用下金属材料和构件发生化学变化，从而导致破坏或丧失其性能的现象，分为点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀等几种类型；物理腐蚀是指由于介质中的物质导致金属材料或构件的机械性能降低，从而破坏其使用性能的现象，分为点蚀和应力腐蚀等；电化学腐蚀是指金属在电化学作用下发生化学反应，引起表面的化学变化，破坏其使用性能的现象，分为点蚀和应力腐蚀等^[1]。

2 腐蚀对设备安全性和经济性的影响

（1）腐蚀会使设备产生应力集中，导致零部件疲劳破坏，发生断裂、泄漏等事故，造成设备损坏和停产，从而使生产中断，影响企业经济效益；（2）腐蚀会导致化工设备不能正常运行，使其失去应有的功能，造成材料浪费和生产成本增加；（3）腐蚀会降低产品质量，给企业造成经济损失；（4）腐蚀会造成设备运行效率

下降，甚至使生产无法进行。例如：化工生产中的换热设备、冷却设备、干燥设备等发生的腐蚀均会影响其正常运行和产品质量；（5）腐蚀还会产生二次污染和环境污染。例如：各种酸碱化学试剂对金属材料的腐蚀以及烟气中二氧化硫、氮氧化物等对环境的污染等。

3 防护涂层材料选型原则与方法

3.1 防护涂层材料种类

有机涂层材料种类很多，但在化工设备上使用的较少，主要有聚氨酯涂料、丙烯酸涂料、环氧富锌涂料、环氧云铁涂料、丙烯酸聚氨酯涂料等；无机涂层材料种类也很多，主要有酚醛树脂涂料、酚醛聚氨酯中间层、有机硅/环氧中间层等；复合涂层材料种类也很多，主要有聚酯/环氧复合涂层、酚醛/环氧复合涂层等。根据化工设备腐蚀环境，结合涂层的性能要求，可选用不同种类的涂层材料。但由于各种涂层材料具有不同的优势与劣势，且化工设备腐蚀环境较为复杂，因此在选用防护涂层材料时，应根据化工设备的腐蚀类型与腐蚀环境进行综合分析比较^[2]。

3.2 选型原则与性能要求

耐腐蚀性：金属基体表面采用防护涂层保护后，可明显改善其抗腐蚀性能。通常情况下，涂层应能耐各种化学介质的侵蚀，特别是耐中性盐雾、湿热及湿化学介质的侵蚀。在耐腐蚀性要求较高的部位，可选用耐腐蚀性能较好的涂料。附着力：涂层应具有良好的附着力，即涂层与基材表面有良好的附着力，从而保证涂层与基体之间有良好的结合。机械性能：涂层应具有良好的机械性能，即涂层应具有优良的抗冲击性、抗划伤性、抗粘着性等，以保证涂层在外力作用下不发生脱落和开裂。施工性：涂层应具有良好的施工性能，即涂层应易于施工，易于干燥，无明显流淌和分层现象。

3.3 材料选型流程与技术标准

材料选型流程：根据设备实际工况，通过查阅相关文献资料、了解设备腐蚀失效现象，初步确定使用的涂层材料。通过对比分析不同材料的性能，选定防护涂层材料。技术标准：选用防护涂层材料时，应充分考虑相关的标准规范及质量体系，以保证产品质量满足应用要求。一般情况下，可参考《GB/T5156.1-2012 金属材料大气腐蚀试验第1部分：湿热》《GB/T5156.2-2012 金属材料大气腐蚀试验第2部分：干湿循环》《GB/T5156.3-2012 金属材料大气腐蚀试验第3部分：盐雾试验等相关标准规范。

4 防护涂层材料耐久性验证方法

4.1 耐久性定义及评价指标

涂层材料在特定环境条件下，在规定的时间内保持其性能不发生明显变化的现象或性能变化很小，这种现象或性能变化与外界环境因素、涂层结构有关，也与涂层材料本身质量、生产工艺以及使用管理情况有关。涂层材料的耐久性分为短期耐久性和长期耐久性，前者是指涂层在短期内使用，后者是指涂层在长期使用过程中，其外观、光泽、物理性能、化学性能等都保持相对稳定或基本稳定的现象。涂层材料耐久性的评价指标包括耐水性（试验周期内不出现漏涂或流挂）、耐盐雾性（试验周期内不出现鼓泡、裂纹）、耐湿热性（试验周期内不出现起泡、开裂）、耐酸碱性（试验周期内不出现剥落、脱落）等。

4.2 实验室加速腐蚀试验（如盐雾试验、湿热试验、紫外加速老化等）

这些试验在实验室条件下模拟了实际使用条件，可以直观地观察到涂层的颜色变化，外观损伤，剥离、开裂、剥落等，从而确定涂层的腐蚀状况，为涂层的防腐效果评价提供依据。通过实验室加速试验得到的数据可以反映出实际使用条件下涂层表面腐蚀情况。但加速试验所使用的环境条件往往比较恶劣，其结果只能反映涂层表面腐蚀情况，无法反映涂层材料在实际使用条件下的真实情况。而且有些加速试验方法也难以模拟真实环境，如盐雾试验和湿热试验在实验室中无法进行。因此，一般需将实验室试验结果与实际使用条件下的情况进行比较分析^[3]。

4.3 现场应用耐久性能监测

化工设备由于腐蚀失效形式多样，现场应用耐久性能监测技术难度较大，目前主要通过周期性检查来了解涂层的腐蚀情况。当涂层出现损伤时，表面容易发生开裂、脱落、起泡等情况。在定期检查过程中，还需对涂层表面进行失效分析，确定涂层腐蚀失效原因。如：设

备在运行过程中发生了腐蚀、磨损、剥落等失效，应根据失效形式确定失效涂层的种类。对于可能发生的腐蚀和磨损失效，应提前制定相应的预防措施。在涂层材料选型时，应充分考虑现场实际工况及环境条件，合理选用耐久性能检测技术方法，以确保涂层在现场环境下的防腐效果。

4.4 数据分析与耐久性评价方法

涂层的腐蚀失效是一个复杂的过程，其原因不仅包括材料本身的失效，还包括涂层与基材之间的结合力失效。对于涂层和基材结合较好，且在正常使用过程中没有出现涂层剥落、起泡等情况，可以认为涂层在使用寿命内保持了良好的防腐性能。将腐蚀前后的表面形貌和表面粗糙度进行对比分析，可以判断涂层失效类型。当腐蚀后表面出现疏松、蜂窝状或砂粒状、剥落、起泡等情况时，应重点对涂层失效原因进行分析。如：基材和涂层间结合较差、基材缺陷等。

4.5 涂层失效机理及改进措施

涂层失效的机理主要有两种：一是基材表面缺陷引起的涂层失效，如基材表面不平、存在凹陷、凹槽等，可以通过打磨消除缺陷后再进行涂装。二是基材本身缺陷引起的涂层失效，如基材存在裂纹、腐蚀介质侵入等。因此，在设计和施工中，应考虑选择合适的涂层类型及配套体系，采用合适的涂装方法等，避免涂层与基材之间发生界面反应。在防护涂层的耐久性验证过程中，应加强对基材表面处理的检查。对于有裂纹、缺陷等缺陷的基材，应避免在其上涂装涂料；对于存在凹坑等缺陷的基材，应将其打磨平整或进行修补；对于存在凹槽等缺陷的基材，应先清除表面锈蚀层后再涂装涂料。

5 应用实践与案例分析

5.1 典型化工设备涂层应用实例

某大型化工企业生产的反应釜等设备，在长期运行中因腐蚀发生泄漏事故。通过对反应釜等设备表面防护涂层材料进行分析，发现其表面防护涂层存在如下问题：①在生产中，温度达到 270℃ 时，会导致金属基材发生不同程度的氧化腐蚀；②在使用过程中，由于各种原因导致涂层材料发生脱落现象；③在使用过程中，由于频繁的刮擦造成涂层材料脱落。因此，确定采用 3M 公司的自粘陶瓷环防护涂层进行防腐防腐。该防护涂层材料经实验室耐久性能试验和实际工业环境（高温、腐蚀介质、高湿、强碱环境）综合性能验证，结果表明该防护涂层材料满足该设备使用要求^[4]。

5.2 耐久性验证结果与效果分析

实际应用表明，该涂层材料在耐高温、腐蚀介质、强碱环境下使用性能良好，涂层表面完整无裂纹和脱落，

涂层附着力强。为进一步验证 3M 公司自粘陶瓷环防护涂层的实际防腐效果,将该防护涂层材料用于该企业反应釜等设备表面进行防护。按照产品使用说明书对反应釜等设备表面进行清洗,然后将 3M 自粘陶瓷环防护涂层材料在反应釜表面均匀涂布,自然干燥 24h 后,检测表面完整无裂纹和脱落现象。

5.3 问题与改进建议

该企业反应釜等设备表面采用的 3M 公司自粘陶瓷环防护涂层材料在使用过程中出现了开裂、脱落现象,因为该涂层材料在现场施工过程中,由于喷涂设备出现问题,导致喷涂不均匀、涂层厚度不一致,造成涂层的开裂、脱落,同时也说明了 3M 自粘陶瓷环防护涂层材料在现场施工时出现的问题,即该涂层材料在现场施工时没有按照产品使用说明书要求施工。该企业反应釜等设备表面采用的 3M 公司自粘陶瓷环防护涂层材料在施工过程中存在问题,建议企业应加强对 3M 自粘陶瓷环防护涂层材料使用的监督和管理,保证施工过程中按照产品使用说明书要求施工。

6 讨论

6.1 防护涂层材料选型面临的挑战

目前,我国工业产品环境条件复杂,对涂层材料耐久性能提出了更高要求。涂层材料选型仍面临诸多挑战,包括:(1)缺乏耐腐蚀性能指标;(2)缺乏统一的评价标准和方法;(3)缺乏相应的评价体系和设备;(4)缺乏配套的检验设备和手段,检验方法不明确,试验条件不一致等。为了使化工设备防腐涂层材料选型更加科学、合理、可靠,建议:(1)完善防护涂层材料的耐腐蚀性能指标;(2)加强环境试验和电化学试验研究,建立完善的评价标准和方法;(3)制定并完善配套的评价体系和设备;(4)规范涂层材料的选型与应用。

6.2 新型涂层材料研发方向

目前,国内涂料行业正朝着环保、低碳、节能、高性能的方向发展,绿色涂料的开发与应用将是涂料行业未来的主要研发方向。同时,涂料行业还将加大对高性能涂层材料的研发投入,加快推进绿色涂料在化工设备中的应用。为了进一步推进绿色涂料在化工设备中的应用,需要开展以下工作:(1)加强绿色涂料原料和助剂的开发;(2)研发水性化、无溶剂化和非溶剂化等绿色涂料技术;(3)开发基于高性能涂层材料的节能减排技术,如提高耐腐蚀性能、提高表面张力、提高附

着力、降低涂层成本等;(4)制定并完善相关标准体系,规范涂料行业发展^[5]。

6.3 标准制定与行业应用推广建议

(1)在标准制定方面,应优先制定通用涂料及防腐配套产品的行业标准,并规范涂料产品的性能指标,如耐腐蚀性能、附着力、抗冲击性能、施工性能等;(2)在标准应用方面,应优先推广新标准,同时积极推动已有标准的修订和完善。特别是应加快推动 JB/T 5694-2019《化工设备表面防护涂层技术要求》的制定和推广应用;(3)在标准宣贯方面,应积极开展标准宣贯活动,增强行业人员对标准的理解和认识;(4)在标准开发方面,应加强标准与工程应用之间的有效衔接,将新标准中的一些技术要求转化为工程应用规范,以提高化工设备的防护性能和使用寿命。

7 结语

本文系统梳理了国内外常用的化工设备防腐涂料,重点介绍了其中部分材料的研发与应用现状,并对其进行了环境条件与使用寿命的相关验证,以此为基础提出了新型化工设备防腐涂料产品的研发方向。与此同时,本文还针对我国化工设备防腐涂料行业的发展现状和存在的问题,提出了我国化工设备防腐涂料行业应加强标准规范制定、推进产品质量提升、加强新产品研发、加大行业市场培育等建议。总之,本文通过系统梳理国内外常用化工设备防腐涂料,可以为我国化工设备防腐涂料的研发和应用提供参考依据,并对促进我国化工设备防腐涂层行业的技术进步和产业发展具有积极意义。

参考文献

- [1]王晨,龚清萍,丁诗炳.舰载航电产品结构件腐蚀防护设计[J].航空电子技术,2018,49(03):41-45.
- [2]刘虎,李序东,周兆辉,等.核电厂蒸汽发生器表面腐蚀与防护的研究进展[J/OL].中国腐蚀与防护学报,1-13[2025-10-16].
- [3]贾静焕,詹中伟,李钊,等.2A97 铝锂合金防护涂层在严苛海洋环境下的老化行为研究[J/OL].电镀与涂饰,1-6[2025-10-16].
- [4]张凌博,王立勋,巩建坤,等.工业热水锅炉内管道腐蚀与防护分析[J].工业加热,2025,54(09):79-84.
- [5]张余英,陈志埠.国家东南区域应急救援中心混凝土结构防水防腐涂装新技术[J].现代涂料与涂装,2025,28(09):69-72.