

海水淡化设备防腐工艺研究

杨云江

(山东沅纳环保科技有限公司, 山东 德州 253000)

摘要 随着海水淡化技术的不断发展,海水淡化设备的防腐问题日益受到人们的关注。本文概述了海水淡化设备中常见的点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀开裂和沉积物下腐蚀等腐蚀类型,深入分析了海水淡化设备的腐蚀机理,探讨了腐蚀介质、腐蚀电化学过程以及异种金属接触等因素对设备腐蚀的影响,并在此基础上重点研究了海水淡化设备的防腐工艺,包括防腐材料的选择、防腐涂层技术、电化学保护技术、焊接与连接技术以及设备设计与维护等方面,旨在为海水淡化设备的防腐工作提供理论依据和技术支持。

关键词 海水淡化设备;防腐工艺;防腐材料;防腐涂层技术;电化学保护技术

中图分类号:TQ15

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.036

0 引言

海水淡化设备运行时面临严重腐蚀问题,不仅会影响设备性能与效率,而且会提高维护成本甚至会造成安全事故。所以,对海水淡化设备防腐工艺进行研究,增强其耐腐蚀性对确保海水淡化系统安全、高效和稳定地运行有着重要意义。本文将对海水淡化设备防腐工艺做深入的研究,包括防腐材料选用、防腐涂层技术、电化学保护技术、焊接及连接技术和设备设计及维修。

1 腐蚀类型

1.1 点蚀

点蚀也称孔蚀、小孔腐蚀,它是发生于金属表面某些部位的一种腐蚀现象。这类腐蚀一般都集中于一些特定点,并形成小而深的腐蚀坑。点蚀的发生往往与金属表面的不均匀性、介质中的特定离子(如氯离子)以及腐蚀电位等因素有关。海水淡化设备中因海水含氯离子等腐蚀性物质较多而导致点蚀现象特别严重。点蚀开始阶段可能不显著,但是腐蚀坑随腐蚀加深而逐渐增大,甚至有可能造成设备穿孔断裂。另外,点蚀也加快了设备疲劳损伤和寿命。所以,对海水淡化设备采取有效防腐措施防治点蚀是关键^[1]。

1.2 缝隙腐蚀

缝隙腐蚀,作为海水淡化设备普遍存在的又一部腐蚀,它的产生机制不同于点蚀,但同时也给设备完整性及性能带来了严重的威胁^[2]。缝隙腐蚀多发生于金属部件间的狭窄缝隙或者接触面,这些部位受介质流动限制,氧气供给不足和腐蚀产物累积等因素影响,易形成微电池环境而加速腐蚀过程。海水淡化设

备缝隙腐蚀现象普遍存在于法兰连接处、螺栓及螺母缝隙处、设备内死角处等不易清理维修处。这些缝隙中的腐蚀介质(如海水)由于流动不畅,容易浓缩并积累腐蚀性物质,如氯离子等,进一步加剧了腐蚀的速率。

1.3 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking, SCC)是海水淡化设备中一种极具破坏性的腐蚀形式,它将材料受到的应力与具体的腐蚀环境相结合,由于材料应力小于屈服强度从而引发脆性断裂。该裂纹一般出现在装备焊接接头、高强度合金部件及承受残余应力部位,给设备结构完整性与安全性造成了显著威胁。海水淡化环境下应力腐蚀开裂敏感性通常与其化学成分、微观结构、应力状态及腐蚀介质性质等因素息息相关。海水中的高浓度氯离子和溶解氧是导致应力腐蚀开裂的主要因素,它们可以破坏材料的钝化膜,加速阳极的溶解过程,并在应力的作用下加速裂纹的产生和扩展^[3]。

1.4 沉积物下腐蚀

沉积物下腐蚀(Under-deposit Corrosion, UDC)是海水淡化设备中一种复杂且难以预测的腐蚀形式,它发生在设备表面沉积物覆盖的区域下方。这些沉积物可为海水悬浮颗粒、生物污损,也可为设备运行时形成的固体物质。沉积物的出现不仅妨碍设备同海水进行物质交换,而且形成含有高浓度腐蚀性物质及低氧条件的特殊微环境,使腐蚀过程更加严重。沉积物下腐蚀发生机制涉及诸多因素交互作用,主要表现在沉积物特性、腐蚀介质成分、金属材料耐蚀性和沉积

物下微环境。沉积物里的某些元素,例如硫酸盐还原菌和其他微生物,可以提高金属腐蚀的速度。

2 海水淡化设备腐蚀机理分析

2.1 腐蚀介质

在腐蚀介质中,是指接触到设备而诱发腐蚀反应的材料,它的成分、浓度、活性等因素直接影响着腐蚀发生的速度和种类。在海水淡化设备的应用中,主要的腐蚀介质是海水以及其内部的溶解成分,例如氯离子、硫酸根离子、镁离子等,还可能伴随着微生物和悬浮粒子的存在。海水中氯离子浓度高,是诱发许多腐蚀类型发生的关键^[4]。氯离子对金属表面钝化膜有损伤作用,使本来比较稳定的金属表面容易被侵蚀。另外,氯离子对局部腐蚀现象如应力腐蚀开裂、点蚀也有促进作用。在特定的环境条件下,硫酸根离子有可能与金属离子发生结合,生成腐蚀性物质,从而进一步加快腐蚀进程。海水除溶解物质以外,微生物及悬浮颗粒亦不可忽略。微生物,如硫酸盐还原菌,有能力通过其代谢过程生成具有腐蚀性的物质,如硫化氢,这有助于加速金属的腐蚀过程。设备表面可能会有悬浮颗粒的沉积,这可能导致沉积物下的腐蚀风险。这些粒子也可用作阴极去极化剂来促进腐蚀反应。

2.2 腐蚀电化学过程

2.2.1 氯离子对金属钝化膜的破坏作用

腐蚀电化学过程对海水淡化设备腐蚀机理起关键作用。其中氯离子对金属钝化膜损伤效果特别显著,它是诱发许多腐蚀现象发生的关键因素。钝化膜是在一定条件下于金属表面生成的保护性薄膜,它能明显地延缓金属腐蚀速率。但海水中浓度过高的氯离子穿透性极强、反应性大,可破坏水表面保护膜使金属表面与腐蚀介质再次接触^[5]。氯离子损伤钝化膜有两个机理:一是氯离子能吸附到金属表面并与钝化膜上阳离子进行置换反应,引起钝化膜组成及组织的改变,使保护性能下降;二是氯离子能促使钝化膜部分区域溶解并产生细小腐蚀坑,在氯离子不断作用下腐蚀坑会逐渐增大并最终使钝化膜彻底失效。

2.2.2 氧作为阴极去极化剂的作用

海水淡化设备腐蚀电化学研究中,氧气作为关键阴极去极化剂对腐蚀反应动力学过程有明显影响。氧对电池去极化作用表现为腐蚀电池阴极反应过程中氧以电子受体形式参与还原反应以加快腐蚀进程。在海水这种溶解氧丰富的环境下,氧气去极化效果特别明显。当海水中的氧分子接触到金属表面,它们可以吸收来自阳极的电子,并被还原为氢氧根离子(OH^-),

这个过程被称为氧的阴极还原反应。这种化学反应不只是减少了阳极生成的电子和降低了阳极的电位,还加速了腐蚀产物,如金属氧化物和氢氧化物的形成。当氧气继续发生还原反应时,腐蚀电池电流密度升高、腐蚀速率加快。

2.2.3 异种金属接触产生的腐蚀效应

海水淡化设备建设与运行中异种金属接触问题广泛存在。当不同种类的金属在电解质(如海水)中相互接触时,由于它们之间的电位差异,会形成腐蚀电池,导致电化学腐蚀的加速。这种由不同金属接触引发的腐蚀现象,被称作电偶腐蚀或接触腐蚀,它在海水淡化设备的腐蚀问题中占有关键地位。电偶腐蚀轻重取决于许多因素,其中异种金属电位差、金属表面状态、电解质性质和接触面积。电位较负的金属(即阳极)会加速腐蚀,而电位较正的金属(即阴极)则受到保护。海水淡化设备一旦发生不恰当的设计或者维修,异种金属的接触就会造成点蚀或者缝隙腐蚀等严重局部腐蚀现象,甚至会诱发设备突然发生故障。

3 海水淡化设备防腐工艺研究

3.1 防腐材料的选择

海水淡化设备防腐过程中因海水环境特殊,对选用材料提出了更高的要求,不但要有优良的耐腐蚀性能,而且还要有较好的机械性能、加工性能及焊接性能。因此,在选择防腐材料时,需要全面考虑多个变量,这包括材料的化学构成、微观构造、抗腐蚀机制以及其与设备其他组件的兼容性等。目前,海水淡化设备常使用的防腐材料有不锈钢、钛合金、镍基合金和一些特种涂层材料。不锈钢由于具有耐蚀性好、成本比较经济等优点而成为众多海水淡化设备中的首选。钛合金因其出色的抗腐蚀能力和强度,特别适合于那些对材料性能有更高要求的应用场景。由于镍基合金在高温、压力和磨损方面的卓越性能,它在某些特定区域得到了广泛应用。另外,伴随着材料科学的不断进步,新型的防腐涂层材料,如纳米复合涂层和陶瓷涂层等,也逐步展示了其在海水淡化设备防腐方面的巨大潜力。

3.2 防腐涂层技术

防腐涂层技术,作为海水淡化设备防腐过程的一个重要环节,其原理是在受保护金属的表面上形成致密且耐蚀性优良的涂层,为了隔绝金属和腐蚀介质直接接触,达到延缓腐蚀速率和延长装置寿命的效果。防腐涂层在选用与设计时,需要考虑涂层耐蚀性、附着力、硬度、耐磨性、耐老化性及施工性能等诸多因素。海水淡化设备通常使用的防腐涂层材料有环氧树脂、

聚氨酯、聚脲、玻璃鳞片和一些特种功能涂料。这类涂层材料在不同固化机制及耐蚀机理下表现出不同的耐蚀性。如环氧树脂涂层由于具有附着力好、耐化学性能好、电绝缘性好等优点而被广泛地应用于海水淡化设备内部管道及储罐。聚氨酯的涂层因其出色的柔韧度和抗磨损特性,特别适合于设备中的动态部分和容易受损的区域。聚脲涂层由于其具有极高强度及耐冲击性等优点常被用于装备外部防护及重载部件。

3.3 电化学保护技术

电化学保护技术作为海水淡化设备防腐工艺的又一关键技术,其原理是利用电化学原理改变金属表面电位状态来延缓或者抑制腐蚀反应。其中阴极保护技术与阳极保护技术在电化学保护领域中占据了两种主流手段。阴极保护技术从字面上理解就是将阴极电流作用在受保护的金属上,使之电位负移到腐蚀电位之下,以抑制阳极溶解反应来达到减缓腐蚀之目的。海水淡化设备常用的阴极保护技术有牺牲阳极法和外加电流法。牺牲阳极法是通过与被保护金属电连接一种电位更负的金属(如锌、铝或镁合金),使其作为阳极优先腐蚀,从而保护阴极金属不受腐蚀。外部电流法则是通过向受保护的金属施加阴极电流,从而达到电化学保护的目。阳极保护技术的核心思想是,通过向受保护的金属施加阳极电流,使其电位向钝化区正方向移动,从而形成一层致密的钝化膜,有效地阻止腐蚀反应的发生。该方法尤其适用于不锈钢、钛合金等能够在一定电位范围内生成稳定钝化膜金属。在用于海水淡化的设备里,阳极保护技术经常被应用于那些对耐腐蚀性有极高要求,并且难以通过其他途径进行有效防护的组件。

3.4 焊接与连接技术

由于海水环境对于金属材料有着异常剧烈的腐蚀,所以,保证焊接接头以及连接部位耐腐蚀性好、强度高以及密封性好等特点是保证设备能够长时间稳定工作的重点。在焊接技术上,除常规电弧焊和气体保护焊之外,又开发了高精度低热输入焊接技术,如激光焊和电子束焊,这些新途径对减小焊接变形,改善焊缝质量显示出了明显的优越性。对海水淡化设备来说,选用合适的焊接方法及参数、优化焊接工艺对确保焊缝耐蚀性及强度具有重要意义。同时,焊接接头的表面处理,如喷砂、酸洗钝化等,也是提高其耐蚀性能的有效手段。在连接技术上,除焊接以外,大量使用螺栓连接、法兰连接和卡箍连接的机械连接。这些连接方式,在设备装配、检修、更换零件等方面,都有

操作简单、拆装方便等优点。但在海水环境中,机械连接部位同样容易被腐蚀,所以,需要使用耐腐蚀材料、密封垫片以及涂层来改善连接部位耐蚀性与密封性。

3.5 设备设计与维护

海水淡化设备防腐策略当中,设备设计和检修是必不可少的两部分。设备设计的好坏不仅关系着设备性能及效率的高低,而且对设备耐腐蚀性及使用寿命也有着直接的影响。合理地进行设备设计要充分考虑海水腐蚀性、设备运行环境和期望维护周期等因素,使用耐腐蚀材料并优化结构布局、降低了应力集中及腐蚀敏感区,使装置耐蚀性得到根本改善。为了确保设备能够长时间稳定工作并延长其使用寿命,设备的维护显得尤为关键。定期检查和保养可以及时发现和应对可能出现的腐蚀问题,避免腐蚀继续扩大。维护工作主要是但不仅限于涂层修复、腐蚀产物清洗、紧固件更换和焊接接头检验。另外,依据设备运行数据及腐蚀监测结果制定出合理的维护计划及腐蚀控制措施是确保设备安全平稳运行的一个重要途径。

4 结束语

海水淡化设备防腐过程是一项复杂的系统工程,要考虑到各种技术与策略。采用合理选用防腐材料、优化涂层技术、实行电化学保护、强化焊接和连接质量及科学进行设备设计和维修等措施,可显著改善设备耐腐蚀性能、延长其使用寿命并降低维修成本。今后随着材料科学、电化学、焊接技术及设备设计的发展,海水淡化设备防腐工艺也会进一步改进与革新,为海水淡化行业实现可持续发展提供更稳固的技术支撑。

参考文献:

- [1] 李阳,赵晓明,张明,等.海上稠油热采平台海水淡化锅炉补给水处理系统防腐设计[J].石油化工设备,2023,52(04):69-75.
- [2] 李建同,李亚楠.海水淡化仪表选型一般原则[J].仪器仪表用户,2023,30(08):104-108.
- [3] 许金堂.船舶和海洋工程结构的防腐蚀技术分析[J].船舶物资与市场,2023,31(01):41-43.
- [4] 丁序海,侯吉浩,魏乾柱,等.电沉积纳米墙仿生结构涂层及其海水防腐防污研究[J].电镀与精饰,2023,45(07):33-42.
- [5] 胡杰珍,王沛林,邓培昌,等.海水全浸区钢铁的防腐蚀技术研究进展[J].钢铁,2023,58(12):1-11.