

氯碱化工设备与管道的腐蚀问题与防护对策

张同峰 孙永雪 刘广杰

(鲁西化工集团股份有限公司氯碱化工分公司, 山东 聊城 252000)

摘要:随着我国工业的迅速发展,化学工业规模越来越大。在氯碱化工等化工行业中,原料、中间产品、成品等各种材料都要在不同的设备和装置之间传送,管道具有良好的密封性、低阻力等优点,可以保证材料在输送过程中的稳定和安全,防止材料的泄露和损失,保证生产过程的流畅。氯碱化工设备与管道腐蚀问题日益突出,严重影响了企业的生产效率和经济效益,对氯碱化工设备和管道腐蚀问题进行深入研究,并提出相应的防护措施,是非常有意义的。

关键词:氯碱化工设备;管道;腐蚀问题;防护对策

0 前言

管道对温度、压力等工况的适应能力较强。在化工生产过程中,物料通常需要在一定的温压状态下输送,管道能承受一定的温压波动,保证输送过程中的物料能够满足生产需要。氯碱化工设备和管道的腐蚀一直伴随着腐蚀,成为制约氯碱化工高效安全运行的“瓶颈”。在生产过程中,氯、盐、碱等强腐蚀性介质会与设备和管道发生复杂的腐蚀反应。氯盐腐蚀会在设备表面形成蚀坑,盐蚀造成管道内部结垢和堵塞,碱蚀破坏设备密封性能,电化学腐蚀加速金属材料损耗。这些腐蚀问题不仅会导致设备损坏,生产效率降低,而且会造成材料泄漏,环境污染,甚至危害人身安全,给企业造成重大经济损失和不良社会影响。

1 预防氯碱化工设备与管道腐蚀的意义

1.1 预防腐蚀可以减少设备与管道的泄漏风险

氯碱化工设备和管道在长时间运行过程中,受到氯、盐、碱等介质的长期侵蚀,造成设备和管道材料的腐蚀。腐蚀将导致设备和管道壁厚持续减薄,从而降低结构强度。当设备和管道之间的壁厚减薄到一定程度后,它的承压能力就会大大下降。氯碱化工生产过程中,设备和管路内常处于高压状态,当管壁厚度不够时,将不能有效地抵抗内压而导致破裂。此外,腐蚀还会在设备和管道表面形成非均匀蚀坑和裂纹,形成应力集中点,并在外界机械或内压作用下极易诱发裂纹扩展,造成设备和管道泄漏。泄漏不仅导致材料浪费、生产成本上升,而且可能造成环境污染,严重时会引发安全事故,严重威胁企业正常生产秩序及员工生命安全。采取有效的防腐措施,可有效地降低设备及管道的腐蚀速度,保证管道壁厚及结构完整性。

如选用耐腐蚀性好的材料生产设备和管道,可从根本上提高防腐性能;采用先进的防腐蚀涂料技术,在设备和管道表面形成一层防护屏障,防止腐蚀性介质对管道的腐蚀;定期检查、清理设备及管道,及时发现并修补腐蚀缺陷,避免腐蚀进一步恶化^[1]。

1.2 预防腐蚀可以减缓设备与管道的腐蚀速度

氯碱化工设备和管道在生产过程中不可避免地要与腐蚀性较强的氯、盐、碱等介质接触。这些介质会在设备和管道的金属表面发生化学反应,使金属原子逐渐脱离,生成腐蚀产物。时间越长,侵蚀越深,侵蚀速度就越快。例如,氯和金属发生反应,产生氯化物,进一步加快金属腐蚀,这是一个恶性循环。另外,设备和管道在运行过程中,温度和压力等条件的变化,也会加速腐蚀反应,使腐蚀速率进一步加快。当腐蚀速率过快时,会导致设备及管道性能急剧恶化,严重影响氯碱工业的稳定与经济运行。选用耐腐蚀性能优良的材料,从本质上提升设备及管道的抗腐蚀性能,提高其对腐蚀性介质的抵抗力,降低腐蚀反应的发生几率及速率。利用科学的防腐蚀涂料技术,在设备和管道表面形成致密的保护层,阻断腐蚀介质与金属基体的直接接触,阻断腐蚀反应路径^[2]。

1.3 预防腐蚀可以提高生产效率

如电解过程中,若槽道发生腐蚀、漏液,不仅损失了大量的电解质,而且对电解工艺稳定性及效率也有很大的影响。腐蚀也会造成设备和管道的堵塞,如盐水管道内的腐蚀产物会逐渐累积,堵塞管道,阻碍盐水的流通,阻碍电解液的正常流通,降低电解槽的电流效率,降低氯气和氢气的产率。此外,由于腐蚀改变了设备的导热特性,造成热量损失,导致设备和

管道的腐蚀，增加了生产过程的能耗。设备及管道的良好运转，是保证物料顺利输送、反应正常、提高生产率的重要保证。如：电解槽管路无腐蚀漏失，电解液稳定循环，保证了电解效率，提高了氯气、氢产率。同时，设备和管路畅通，减少了因堵塞造成的停机和维修次数，减少了生产中断时间，保证了生产的持续和高效率。在此基础上，本项目还可实现设备导热性能的维持，提高能源利用率，减少生产能耗，提高生产效率，提高经济效益^[3]。

2 氯碱化工设备与管道的腐蚀问题

2.1 氯气腐蚀

氯气是氯碱化工生产的主要产物，也是造成设备腐蚀的主要原因，氯气的化学性质比较活泼，其对设备的腐蚀性和温度成正比，温度越高造成的腐蚀性也就越强。氯在金属表面上形成蚀坑或斑痕，是一种新的金属材料。电解槽阳极材料在氯气腐蚀过程中会发生严重腐蚀，甚至会发生脱落、穿孔等现象，从而影响电解过程的稳定性与效率，导致氯气、氢气的产量下降，同时也会增加生产能耗与成本。腐蚀造成金属表面粗糙化，破坏原有密封面，使氯从密封不严密的地方漏出。氯气泄漏不仅会造成原料损失，增加生产成本，而且会危及环境及人身安全。氯气是一种具有强烈刺激性、毒性的有毒物质，一旦泄漏，不仅会对人体的呼吸道、眼睛等造成伤害，还会对周围的动植物造成危害，严重时还会引起环境污染事故，给企业带来严重的法律责任和经济损失^[4]。

2.2 盐酸腐蚀

盐酸也是氯碱化工生产中的主要产物之一，同样具有很强的腐蚀性，研究表明，在氯碱化工生产中产生盐酸的腐蚀强度，比化学基础试剂强出几十倍乃至百倍以上。盐酸可以和多种金属发生反应，会对机械设备造成严重腐蚀。盐酸在有氧和无氧环境中，对金属造成的腐蚀程度也不尽相同。比如：在无氧环境下，盐酸对铁的腐蚀程度比较大，但并不会对铜造成腐蚀，而在有氧的环境下，盐酸对铜和铁都有非常严重的腐蚀。其实盐水自身并不具有腐蚀性，但在氯碱化工生产中，可跟金属一起来腐蚀电池，导致金属电子溶解。从中可以看出，在进行氯碱化生产过程中需要对相关设备进行防腐处理，才能确保各项得以顺利开展^[5]。

2.3 碱液腐蚀

虽然碱不是氯碱化工的主要产物，但却是氯碱化

工生产的直接产物之一，在氯碱生产中碱贯穿整个生产过程。其具有的自身腐蚀性对化工设备可造成严重影响。如果使用碳钢、铜等金属设备，则会对这些设备造成严重的破坏，与碱性介质中的氢氧根与金属表面发生化学反应，形成了一种新的金属氢氧化物。例如，在氢氧化钠溶液槽中，由于碱液的不断侵蚀，罐体金属表面出现大面积锈斑、蚀坑、壁厚持续减薄等现象，严重影响其承载力与结构稳定性，增加泄漏、破裂风险，影响氯碱化工生产的连续安全运行。碱液对非金属密封材料如橡胶和塑料有一定的腐蚀作用，使其变形，老化，破坏密封性能。例如，碱液输送管道法兰接口处，由于碱液的侵蚀，密封垫可能发生泄漏，造成碱液泄漏。这不仅会造成原料的损失，而且会对周边环境及设备产生二次腐蚀，增加生产安全隐患，影响氯碱工业的稳定与经济效益。

2.4 电化学腐蚀

电化学腐蚀过程中，金属表面形成正负极，阳极区金属原子因失去电子而发生氧化，形成溶于腐蚀介质的金属离子；阴极区则发生析氢、氧还原等还原反应。笔者提出了一种新的电化学腐蚀新方法——电化学腐蚀法。如电解池电极材料因电极电势差异，部分电极区域易发生电化学腐蚀，造成材料损耗、性能退化，从而影响电解效率及产品品质。同时，电极材料的腐蚀也会导致电极/电解质接触电阻增大，电流传导效率下降，能源消耗增加，从而降低氯碱化工的经济效益。电化学腐蚀过程中，金属表面局部应力集中，与腐蚀介质中活性离子发生交互作用，使金属沿晶界处或沿晶内扩展。这类裂纹具有隐蔽性、突发性等特点，一旦发生裂纹将迅速扩展，造成设备和管道的突发性破坏。

3 氯碱化工设备与管道的防护对策

3.1 选择抗腐蚀材料

在氯碱化工设备和管道防腐措施中，防腐蚀材料的选用是关键，优化材料组成及微观结构，实现材料耐腐蚀性能的大幅提升。例如，使用富含镍、钛等元素的高镍、钛合金等材料，可在金属表面生成致密的氧化膜或钝化膜，将氯、盐等腐蚀性介质与金属基体直接接触，防止腐蚀反应发生。另外，在合金中加入适量的Cr和Mo，也可进一步改善其抗腐蚀性能。铬可在金属表面生成稳定的铬氧化层，而钼可提高其抗氯盐腐蚀能力。通过对合金成分配比的精确控制，达到最优防腐效果，达到延长设备和管道使用寿命、减

少维修费用的目的。

利用镀层技术，在金属表面镀一层具有耐蚀性能的金属或合金，如镍镀层、铬镀层等。该涂层能为金属基体提供一道额外的保护层，即使在基体表面出现微小缺陷时，该涂层还能有效地阻止腐蚀性介质的入侵，从而延缓腐蚀进程。

3.2 使用防腐涂层

通过对涂层成分及结构的合理设计，实现腐蚀性介质与金属基体的直接接触。例如，使用环氧树脂涂料，这种涂料具有优良的附着力和抗化学腐蚀性能。环氧树脂涂料能在金属表面形成一层能抵抗氯、盐等腐蚀性介质侵蚀的致密膜。此外，将纳米二氧化硅、氧化铝等纳米材料引入环氧树脂涂层中，进一步提高涂层的致密度及力学强度，提高涂层在复杂环境下的稳定性与耐久性。

通过对涂料配方及施工工艺的优化，保证涂料在设备及管道表面均匀覆盖，形成牢固的保护层，有效延长设备及管道的使用寿命。除传统的有机涂料外，无机防腐蚀涂料也可用于设备和管道的防腐蚀。如热喷氧化铝、氧化锆等陶瓷涂层。这类陶瓷材料具有很高的化学及热稳定性，在高温高压等苛刻条件下仍能保持良好的防护性能。采用热喷涂工艺可在金属基体上形成良好的冶金结合，涂层不易脱落，同时具有良好的耐磨、耐冲击性能。

3.3 定期对设备与管道进行检查、清洗和维护

制定科学的检修方案，能够及时发现设备和管道中存在的隐患。例如，利用超声检测技术测量管道壁厚，可以准确地探测因腐蚀引起的壁厚减薄量，进而评价管道的承压能力与安全。另外，也可利用内窥镜对电解槽内腐蚀情况进行检测，以便及时发现和处理腐蚀缺陷，避免其进一步发展。

建立设备巡视档案，记录每次巡视的结果及处理措施，为设备维修、更新提供依据。定期检验可以有效地防止设备和管道突发故障，减少生产风险，保证氯碱化工生产的连续稳定。根据氯碱化工设备、管道的特点，采用化学清洗、机械清洗等清洗方式，对其进行清洗。化学清洗能有效地清除设备及管道表面的腐蚀产物及污垢，常用的化学清洗剂有酸性、碱性清洗剂等。机械清洗是利用高压水射流、刷刷等物理手段来清洗设备和管道，使其表面清洁无残留物。设备的保养工作主要包括润滑，紧固，调试等，如泵轴承的润滑，以保证泵的正常运行；管接头要拧紧，以防

渗漏。

3.4 合理控制氯碱生产过程中的温度、压力和 pH 值

在氯碱化工生产过程中，为了减缓设备和管道腐蚀，必须对温度进行精确控制。高温会加快腐蚀介质和金属间的化学反应速度，加剧腐蚀程度。如电解时，电解槽温度过高，会使电解液中氯离子活性增加，对金属构件的腐蚀反应加剧，从而缩短设备寿命。为此，在电解槽、反应塔等关键设备上加装温度传感器及自动控制系统，对各关键设备的温度进行实时监控与调整，使之处于合适的温度区间。例如，将电解槽温度控制在 80℃ 左右，可有效地降低氯离子对金属的侵蚀作用，并减缓其腐蚀速度。在设备和管道防腐中，适当地控制压力也是十分重要的。压力过大，不但增加了设备的机械负荷，而且使腐蚀性介质渗透率增加，加速了腐蚀过程。举个例子来说，当压缩机工作压力太大时，氯气就会和压缩机内的金属零件接触得更紧密，腐蚀性更强，从而加剧压缩机零件的腐蚀。为此，通过设置压力传感器、压力调节阀等设备，实时监测、调整生产过程中的压力，使之处于安全、合理的范围之内。

4 结束语

随着我国工业的快速发展和化学工业的升级，氯碱化工设备和管道的腐蚀问题虽然严峻，结合智能传感技术和物联网技术，实现对设备腐蚀状态的实时监控和预警，提前进行防护。另外，还应制定更加严格行业标准和规范，引导企业加强设备维修和管理，提高防腐意识和技术水平。在多个方面的共同努力下，预期可以大幅延长氯碱化工设备和管道的使用寿命，降低生产成本，保证生产安全性，促进氯碱化工产业向绿色、高效、可持续发展的方向迈进，促进整个化工行业的整体升级和经济的高质量发展。

参考文献：

- [1] 吴兰. 氯碱化工生产过程中的腐蚀及防护探讨 [J]. 石化技术, 2024, 31(11):62-64.
- [2] 蒋非. 氯碱化工企业设备安全生产管理措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(21):38-40.
- [3] 青春, 常桂英, 张散斯尔. 氯碱化工生产过程中的腐蚀及防护研究 [J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(12):6-8.
- [4] 韩振岐. 关于氯碱化工设备安装过程中防腐控制措施探讨 [J]. 现代制造技术与装备, 2019(08):191+193.
- [5] 代九磊. 氯碱化工生产过程中的腐蚀及防护 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(11):169.