

解决循环水处理装置腐蚀结垢及防护，降低运营成本

石早宁（国能新疆化工有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘要：循环水处理装置的腐蚀与结垢严重影响设备效能与运营成本，同时缩短设备使用寿命。腐蚀表现为金属材料在化学或电化学反应中逐渐破坏，导致设备效率降低与结构损害。结垢则由水中矿物质沉积形成，减少热交换效率。高昂的维护与运营成本以及设备寿命减短成为不可忽视的经济负担。研究提出了水质优化、材料与设备改进、以及运维策略作为有效的防护措施，通过实例证明了这些措施的有效性。

关键词：循环水处理装置；腐蚀；结垢；水质优化；运营成本

1 循环水处理装置腐蚀与结垢的影响

1.1 设备效能降低

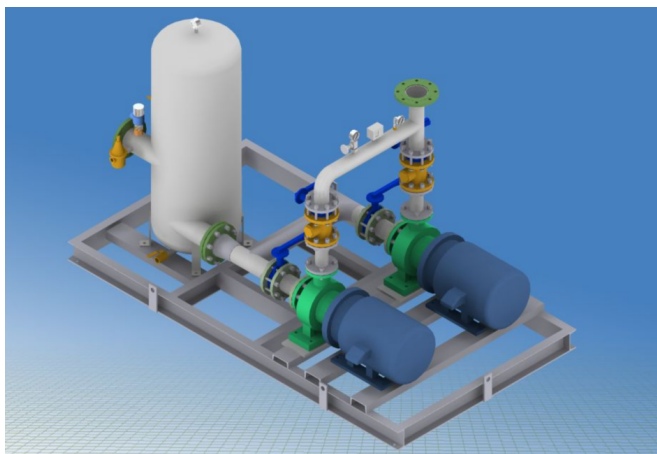


图1 循环水处理系统

腐蚀和结垢是循环水处理系统（见图1）中普遍存在的问题，它们直接影响设备的运行效率和效能。腐蚀是指金属材料在水和其他化学物质的作用下发生的化学或电化学反应，这种反应导致金属材料逐渐破坏。腐蚀可能造成设备内部金属表面的薄弱化，从而影响其结构完整性和稳定性。例如，在热交换器中，腐蚀会导致金属管道薄弱，进而减少热传导效率，使得整个系统的能效降低。结垢则是水中溶解的矿物质（如钙、镁、碳酸盐等）在设备表面沉积形成的硬壳。这种沉积物不仅减少了管道的有效直径，降低了水流速度，还会影响热交换的效率^[1]。在热交换器中，结垢会导致传热表面的热阻增加，这意味着需要更多的能量来维持相同的热交换效率，从而导致能耗增加。腐蚀和结垢还可能导致设备过早磨损或损坏，需要频繁的维护和更换部件，这些都会进一步降低系统的整体效能。随着时间的推移，这种效能的持续下降会导致整个循环水处理系统的效率和产出显著下降，增加

了运行和维护的成本，同时也减少了设备的总体使用寿命。

1.2 维护与运营成本上升

当循环水处理装置遭受腐蚀和结垢时，维护与运营成本的上升成为一个不可避免的后果。这一现象可以从多个方面进行解析。腐蚀和结垢对设备的损害不仅限于其功能性降低，更直接地导致了维护成本的增加。设备表面的腐蚀或内部的结垢需要通过定期的清洗、维修或更换部件来解决，这些操作不仅耗时，而且成本昂贵。例如，在清除热交换器中的结垢时，可能需要使用特殊的化学清洗剂或机械清洁设备，这增加了材料和劳务费用。此外，当设备因腐蚀和结垢而效能降低时，为了达到原有的运行标准，系统可能需要消耗更多的能源。例如，热交换效率的下降意味着需要更多的燃料来加热或更多的电力来运行冷却系统，从而导致能源成本的增加。防护措施本身也是一笔不小的开支。虽然这些措施是必要的，以减少长期的维护成本和延长设备寿命，但它们在短期内会增加运营成本。例如，引入水质优化措施，如加入化学添加剂，需要定期购买这些添加剂，同时还可能需要升级监测和控制系统以确保水质的稳定。定期维护和检查也构成了运营成本的一部分。为了及时发现和解决腐蚀与结垢问题，需要定期进行设备检查和维护。这不仅包括直接的维修成本，还包括因设备停机而导致的生产效率降低或间接的经济损失^[2]。

1.3 设备寿命缩短

设备寿命的缩短是循环水处理装置遭遇腐蚀和结垢时常见的问题。这种影响可从材料疲劳和持续损伤的角度来理解。腐蚀导致的金属材料损失是一个逐渐累积的过程。在设备的正常使用过程中，腐蚀不断削弱金属的结构完整性。随着时间的推移，这种削弱会导致设备无法承受正常的操作压力，从而增加了发生

故障的风险。例如，腐蚀可能会导致管道薄弱，进而在压力下发生破裂，这类突发故障不仅影响运行安全，也显著缩短了设备的有效寿命。结垢则以不同的方式影响设备寿命。积累的垢层增加了系统运行的负担，尤其是在热交换器等关键部件上。结垢不仅降低了热效率，还可能导致过热和局部热应力，这些热应力会加速设备部件的磨损和损坏。长期来看，这意味着这些部件需要更频繁地维护和更换，从而缩短整体设备的使用寿命。腐蚀和结垢也使得设备需要更频繁的维护和维修。频繁的维护不仅增加了运行成本，还可能导致设备因为多次拆卸和重装而加速老化。每次维护都可能对设备的部件造成额外的机械应力，加速磨损过程。

2 防护措施

2.1 水质优化

水质优化是针对循环水处理装置腐蚀与结垢问题的核心策略之一。这主要涉及软化处理和化学添加剂的应用，它们共同作用于水质，以减少腐蚀和结垢的风险。软化处理的目的是去除水中的硬度离子，如钙和镁，这些离子是造成结垢的主要因素。通过软化处理，可以显著降低水中的硬度，从而减少硬垢的形成。这种处理通常通过离子交换树脂来实现，该树脂能有效地从水中吸附硬度离子并释放出钠离子。此过程不仅有助于预防热交换器和管道内部的结垢，还可以提高整个系统的运行效率和寿命^[3]。化学添加剂的应用则更为广泛，包括阻垢剂、腐蚀抑制剂和生物剂等。阻垢剂能够干扰结垢过程中晶体的形成和生长，从而防止或减少结垢的产生。腐蚀抑制剂则是通过在金属表面形成保护膜来抑制腐蚀过程，这种保护膜能够阻隔金属与腐蚀性介质之间的接触。此外，一些化学添加剂还包括生物剂，用于控制微生物的生长，因为微生物的代谢过程也可能加速腐蚀和结垢的形成。

2.2 材料和设计优化

材料和设计优化扮演着至关重要的角色。这包括选择抗腐蚀材料和改进设计以减少死角。抗腐蚀材料的选择是确保长期稳定运行的关键。在环境中存在腐蚀性物质时，传统的金属材料可能无法承受长期的腐蚀压力。因此，采用抗腐蚀性更强的材料，如不锈钢、钛合金、或特种塑料和复合材料，能显著提高设备的耐腐蚀性。这些材料能够抵御腐蚀性化学物质的侵蚀，从而延长设备的使用寿命，并减少因腐蚀导致的维护和更换成本。设计优化方面，重点在于减少设备内部

的死角。死角是指水流难以到达的区域，这些区域容易积聚污垢和微生物，成为结垢和腐蚀的热点。通过改进设计，如优化管道布局、平滑内壁表面、增加流体动力学效率，可以确保水流均匀通过设备的每个部分，减少停滞区域的形成。这样不仅有助于减少结垢和腐蚀的风险，还能提高整体的运行效率。例如，在热交换器的设计中，采用螺旋或板式设计可以增加流体的湍流程度，这有助于防止污垢的沉积。同样，在储水罐或反应器的设计中，确保无死角可以有效避免污染物的积累和生物膜的形成。

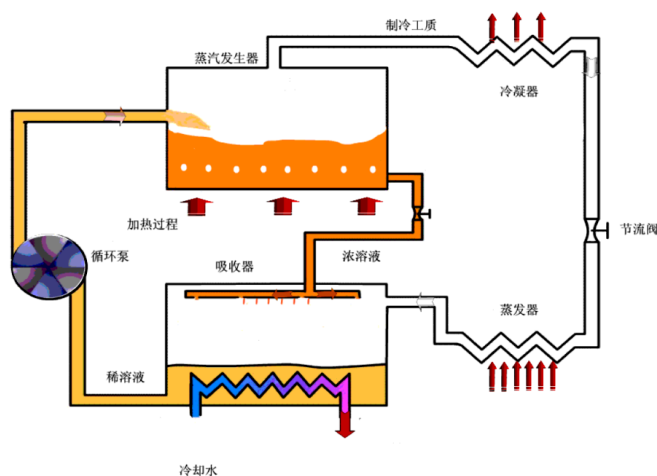


图2 某化工厂的循环水系统

2.3 运维策略

循环水处理装置中的定期监测与维护是确保系统高效运行和延长设备使用寿命的关键组成部分。通过实施这些策略，可以及时发现并处理腐蚀与结垢等问题，减少意外停机的风险，并优化运行成本。定期监测包括对循环水的化学成分、温度、流速以及系统压力等关键参数的持续检查。这些检查有助于识别腐蚀和结垢的早期迹象，以便采取相应措施避免其恶化。监测可以使用在线传感器进行，这些传感器能够提供实时数据，使运维团队能够快速响应任何异常情况。维护工作涵盖了从清洁、调整到更换损坏部件的一系列活动。为了减少腐蚀和结垢对设备性能的影响，定期进行清洗是必要的。此外，检查和更换保护性涂层、密封件和腐蚀已经显著的部件，能够防止小问题成为导致设备失效的大问题。预防性维护计划则是一个全面的策略，它基于定期监测的数据，按照预定的时间表执行必要的维护任务。这种计划通常包括对所有关键设备的定期检查，以及根据制造商的指南和行业最

佳实践对部件进行更换和修理。计划的执行有助于确保设备在其设计的使用寿命内保持最佳性能,同时降低紧急修理的需要和相应的成本^[4]。

3 某工业循环水系统腐蚀案例

3.1 案例背景

某化工厂的循环水系统主要用于冷却反应器和冷凝器(图2),系统中的金属材料包括碳钢、不锈钢和铜合金。系统的补充水为地下水,水质较硬,含有较高的氯离子和硫酸根离子。系统的循环水浓缩倍数为5,水温为30℃,pH值为7.5,溶解氧为8mg/L。系统的水处理措施为添加磷酸盐类缓蚀剂和聚羧酸类阻垢剂,每周进行一次氯消毒。

3.2 腐蚀现象及其影响

系统运行一年后,发现换热器的铜管出现点蚀和穿孔,碳钢管板出现均匀腐蚀和电偶腐蚀,不锈钢水室出现应力腐蚀开裂。系统的换热效率降低,冷却水流量减少,导致反应器和冷凝器的温度升高,影响生产效率和产品质量。系统的维修费用增加,设备的使用寿命缩短。系统的金属腐蚀速率和腐蚀形态如表1所示:

表1 金属腐蚀速率和腐蚀形态(采取措施前)

金属材料	腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀形态
铜管	0.8	点蚀、穿孔
碳钢管板	0.2	均匀腐蚀、电偶腐蚀
不锈钢水室	0.05	应力腐蚀开裂

3.3 解决措施与结果

针对系统的腐蚀问题,采取了以下措施:更换铜管为钛管,提高换热器的耐蚀性能。调整水处理剂的种类和用量,使用含氮类缓蚀剂和聚丙烯酰胺类阻垢剂,提高水质的缓蚀和阻垢能力。增加水质的监测频率,定期检测水中的氯离子、硫酸根离子、溶解氧、pH值等指标,及时调整水处理参数。减少氯消毒的次数和剂量,避免氯对不锈钢的腐蚀作用,同时使用非氧化性杀生剂,控制水中的微生物数量。定期对系统进行清洗和检查,及时发现和处理腐蚀问题,延长

设备的使用寿命。采取以上措施后,系统的腐蚀问题得到了有效的控制,系统的换热效率恢复正常,冷却水流量增加,反应器和冷凝器的温度降低,生产效率和产品质量提高。系统的维修费用减少,设备的使用寿命延长。系统的金属腐蚀速率和腐蚀形态如表2所示:

表2 金属腐蚀速率和腐蚀形态(采取措施后)

金属材料	腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀形态
钛管	0.01	无
碳钢管板	0.05	均匀腐蚀
不锈钢水室	0.01	无

循环水处理装置的腐蚀与结垢是影响系统效能和寿命的重要因素,应根据系统的具体情况,采取综合的防护措施,包括水质优化、材料和设计优化、运维策略等,以达到降低腐蚀速率、提高换热效率、减少维修费用、延长设备寿命的目的。

4 结论

腐蚀与结垢对循环水处理装置构成严重威胁,导致设备效能下降,运营成本上升,并减少设备寿命。通过案例分析,证实水质优化、选择抗腐蚀材料、设计优化以及严格的运维策略能显著减少腐蚀与结垢的发生。实施这些措施后,设备的换热效率得到恢复,维护费用减少,设备寿命延长。因此,综合防护措施的实施是确保循环水处理系统高效稳定运行的关键,对于节约成本与提升生产效率具有重要意义。

参考文献:

- [1] 卫炳森,陈峰,高炬.循环水系统结垢、腐蚀原因及处理措施[J].化学工程与装备,2022(04):40.
- [2] 佚名.工业循环水腐蚀结垢预测系统设计与实现[J].化工自动化及仪表,2018,45(02):5.
- [3] 郭文新.工业循环水管道结垢和腐蚀分析[J].化工设计通讯,2018,44(11):1.
- [4] 王创业,丁达建,张峰.探析循环水结垢和腐蚀机理与控制对策[J].建筑工程技术与设计,2018(03):61.