

化工企业循环水系统节水节能技术改造及经济效益研究

李永俊 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 化工行业作为一个高耗水和高耗能的行业, 循环水系统的效率直接关系到企业生产和环境绩效。本文通过对循环水系统中存在的一些问题进行分析, 详细说明了各种节水节能技术改造对策, 同时对经济效益进行了全方位多角度的综合分析, 希望给化工企业循环水系统绿色、低碳改造提供一个可行的技术方案和决策支持, 帮助企业在技术改造过程中达到节水节能和提高经济效益双赢促进产业发展。

关键词: 化工循环水; 节水改造; 节能技术; 经济效益

中图分类号: TQ085.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0067-03

Research on Water and Energy Conservation Technology Upgrades and Economic Benefits of Circulating Water Systems in Chemical Enterprises

Li Yongjun (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: As a water-and energy-intensive industry, the chemical sector's production efficiency and environmental performance are directly influenced by the effectiveness of its circulating water systems. This study identifies key challenges in circulating water systems, proposes comprehensive water-saving and energy-efficient retrofit solutions, and conducts a multi-dimensional economic impact analysis. The research aims to provide actionable technical frameworks and decision-making support for green, low-carbon system upgrades, enabling enterprises to achieve dual benefits of resource conservation and economic growth during technological transformation, thereby fostering sustainable industrial development.

Keywords: chemical circulating water; water-saving renovation; energy-saving technology; economic benefits

循环水体系对于化工生产意义重大, 实现了冷却水流循环, 从而排除热能, 保证了设备可以高效率工作于适宜温度范围内, 然而伴随我国化工行业规模不断扩大, 企业用水量亦在提升, 众多化工企业循环水装置正面临着严峻的水量降低和能量运用效率不高的挑战, 这些问题不仅增加了企业的运营成本还给自然环境带来了巨大的压力, 面对不断加剧的水资源短缺问题及对能源利用率要求越来越高, 如何开展化工领域的循环水体系节水和高能设备革新就显得尤为重要。正确进行技术创新不仅可以帮助企业缩小生产总投入并提高效益, 还能提升其社会担当, 落实长远发展规划。对于深入研究技术革新所产生的潜在经济优势, 会为各企业更准确地估算技术更新的现实性和预期效益提供参考依据。

1 化工企业循环水系统现状及问题分析

1.1 水资源浪费

循环水系统工作时, 利用水蒸发散热使水温下降, 但其蒸发过程将造成水资源的巨大损耗, 而冷却塔吹风又带走了一部分水, 这在总用水量里占了一小部分, 为调控循环水杂质、盐分及其他浓度并预防结垢与腐蚀需定期排污, 不合理地对排污控制使得大量的可利用水资源排放出来从而导致水资源浪费, 有些企业因没有准确的对水质进行监测以及排污控制措施, 经常

会过量排污以保障系统的安全运行, 而忽略了对水资源高效利用^[1]。

1.2 能源消耗

冷却塔内风机、水泵和其他设备运行时需耗费较多电能, 风机的作用是加快空气流动、促使水分蒸发散热, 而水泵的作用就是对循环水进行运输, 有些陈旧的冷却设备工作效率不高且能耗大, 如风机风量调节不尽合理、水泵选型不符合实际要求等造成能源浪费, 换热器作为循环水系统完成热量交换的重要装置, 但是有些换热器因设计不合理、结垢现象比较严重、传热效率下降等问题, 在取得同样换热效果时, 循环水量需增加或者循环水温升高就会使水泵能耗增大、冷却塔负荷加重进而加剧能源消耗。

1.3 水质管理

循环水中含有的钙、镁及其他离子及溶解氧都会在特定条件下引起装置与管道结垢、腐蚀等现象, 结垢使换热器传热效率下降, 能耗上升, 腐蚀又减少了设备的寿命并加大了维护成本, 水质管理不到位, 例如缓蚀阻垢剂加入量不尽合理等都可能加重结垢与腐蚀等问题。循环水系统中温度及水质等条件适合微生物的生长与繁殖, 其大量繁殖将产生生物黏泥并吸附于设备表面, 从而影响传热效率, 并可能发生腐蚀, 常规杀菌灭藻措施收效甚微, 而过量施用化学药剂则

会造成对环境的污染。

2 化工循环水系统能效与水效关键影响因素分析

2.1 影响化工循环水系统能耗的关键因素

①水泵与风机效率。水泵的性能和选择以及其操作条件和维护质量对其工作效率有着密切的关系，而风机主要用来改善冷却塔中的空气流动情况并加快循环水的降温过程，并且风机的使用效率受到多种因素影响，如果不及时进行设备保养将使设备工作效率下降并且增加能源消耗，因此对设备进行合理的型号选择、标准的工况监控以及定期的维护检查就成为了保证设备高效率运作的核心。②系统阻力。循环水系统中的阻力是指循环水在输水过程所要克服的沿程电阻和局都的总和，其阻力大小直接关系到水泵对所需扬程的影响，然后再联系到水泵的消耗量。系统的阻抗同管道的设计布局，设备部件的损失以及循环水的水质都有一定的联系，而管径，长短，流向以及弯头个数等都会影响阻抗的基础数值，由于设备部件损失，水质较差等原因造成流通的截面积变大，摩擦力加大，从而使阻抗进一步提高，系统漏损还可能间接地提高阻抗使水泵的负载增大，提高了能源消耗，所以控制好系统阻抗是减少系统能量浪费的一个重要步骤^[2]。

③换热温差。换热温差决定循环水需要循环量，温差大则需要循环水就多，水泵运行负载和能耗也就越大，适当增加换热温差可以降低循环水流量和水泵能耗，换热温差主要取决于工艺介质温度、循环水进水温度以及换热设备传热系数和换热面积等因素，对各个要素进行合理的调节是确保换热效率和控制能耗的重点。④运行负荷。在化工生产过程中存在着负荷波动的问题，循环水系统的运行负荷需要准确地和工艺生产负荷进行匹配，合理性对整个系统能效有着直接的影响，运行负荷表现为循环水量大、水泵和风机等运行台数多、转速调节困难，与负荷不相适应将导致能耗浪费，在调节运行负荷时，调节的方式同样会对能耗产生影响，相比于传统的节流调节手段，变频调节能够使负荷得到精确匹配，从而有效地减少能源消耗。

2.2 影响化工循环水系统水效的关键因素

①浓缩倍数。提高浓缩倍数可以在确保循环水水质达标且不会对设备造成腐蚀和结垢的情况下增加水资源复用率并减少水耗。浓缩倍数主要取决于循环水的品质，补充用水的品质，排泄水量以及水处理的技术等因素，其中补充用水的品质构成其基本要素，而所采用的水处理方法则直接影响到循环水中水质的稳定程度，排污量的多少直接决定了浓缩倍数的大小，各种影响要素的共同作用对于改善水效率起着至关重要的作用。②蒸发损失。蒸发损失有其必然性，蒸发

损失的多少与循环水的冷却负荷、环境温度和湿度以及冷却塔的冷却效率等因素有关，对相关参数进行合理的调节可以降低不必要蒸发损失，促进水资源高效利用，并根据生产实际进行水效优化，对冷却负荷分配进行了优化并改进了冷却塔的工作状况。这样既保证了冷却效果又减少了蒸发损失。③风吹损失。风吹损失是指循环水流经冷却塔时由于风力的影响而导致的水分流失现象，虽然损失程度比蒸发损失要低，但是在水的效率方面仍然是一个不可忽略的因素，风吹损失与冷却塔种类、风机工作参数、填料情况以及除水器性能等息息相关，合理地进行冷却塔结构设计和除水器具有良好的性能才能有效地截获随气流输送的水滴并降低损失，对风机的运行参数进行标准设置、对填料和除水器等设备定期进行保养可以减小风吹造成的损失从而进一步提高系统的用水效率^[3]。④排污控制。排污控制以确保循环水水质达到生产需求为前提条件下，将排污量降至最低限度，受到浓缩倍数，水处理工艺和水质监测水平等因素的影响，在改善水质监测体系的基础上，综合浓缩倍数对排污量进行合理的调节，并与高效的水处理工艺相配合，可以在保证系统平稳运行的前提下使排污损失最小，促进水资源的高效利用。

3 工业循环水处理技术改进策略

3.1 优化膜分离技术

针对石化行业工业循环用水特性，考虑水质、处理尺度、处理目的等，对膜组件进行了理性选配，针对水中悬浮颗粒、胶体及部分微生物去除，可首先采用微滤或者超滤膜进行处理，如果需进一步除去溶解性盐类、有机物及其他物质，可以选择使用纳滤或者反渗透膜，同时还应注重该膜材料、孔径分布和通量的性能指标，保证其组件能有效地稳定运转，整合了不同种类的膜组件搭建了多级膜分离系统对循环水进行了深度处理并对其运行过程进行了分析，对膜系统中运行参数例如作业压力，流量，温度进行了优化来提高膜分离效率和减少能源消耗。

3.2 改进化学处理技术

研究开发一种高效、环保、多功能缓蚀阻垢剂，该类缓蚀阻垢剂既能有效地抑制造成结垢及腐蚀的作用，又要有较好的生物降解性能以降低对环境污染程度，通过对缓蚀阻垢剂分子结构进行优化，改善在不同水质条件下的适应能力，增强同水中各离子及物质之间的交互，进而提高了缓蚀阻垢作用。制订精细化化学清洗方案并针对循环水系统结垢、腐蚀状况及设备材质选用适宜清洗剂及清洗工艺，清洗时对清洗剂浓度、温度和清洗时间参数进行了严格把控，在保证

清洗效果的前提下, 以免设备受到过度锈蚀, 另外加强清洗废液处理与回收利用以降低污染^[4]。

3.3 拓展生物处理技术

在石化企业循环水系统或者有关环境当中筛选能适应高盐、高有机物和其他复杂水质条件的优势微生物菌群, 利用基因工程和驯化培养的方法, 对所选微生物菌群进行了优化, 增强在污水中降解污染物的能力与适应性, 改良了活性污泥法和生物膜法等常规生物处理工艺, 更加适合于石化企业工业循环水治理, 通过固定化微生物技术使筛选培养出来的微生物菌群固定于载体中, 提高了微生物浓度及稳定性以及强化了生物处理的作用, 同时结合了膜生物反应器这一新的生物处理技术来有效地分离泥水, 从而提升了循环水中水的处理效率及质量。

3.4 升级监测与控制系统

采用了先进的在线监测手段持续监控循环用水的关键指标, 借助多种精密仪器确保监测工作既精准又高效, 通过收集在线监测的数据信息能够实时了解循环水系统的整体运作状态从而为后续的水质处理方案的调整与优化奠定坚实的基础, 还引进了一个智能化的管理系统该系统可以根据实时采集的在线数据以及预先设置好的操作方针来自动地调节水处理设备的工作参数和所需化学试剂的使用量, 结合人工智能与大数据深度学习方法深入剖析循环水系统运行过程中的各项数据, 以便更好地识别潜在故障并据此制定有效的预防及应对方案^[5]。

4 化工企业循环水系统节水节能技术改造经济效益分析

4.1 直接经济效益

虽然实施节水和节能的技术升级需要大量的资金来购买和安装设备, 这些设备的成本会因为种类、尺寸以及品牌的不同而有所不同, 并且在安装和调试的过程中涉及到多项活动都与工程的复杂性有着一定的联系, 而技术和研发咨询成本组成投资成本但是从长期来看, 上述投资都是为了后续收益打下根基, 经过改进的冷却及换热设备的能源效率有所提升虽然智能控制系统及其他新型设备的使用增加了能源消耗, 但在总体上减少了能源的耗费成本, 该智能控制系统能够准确地给药以减轻药品的浪费并进一步降低用药成本, 新装备及工艺降低了装置的磨损和腐蚀、减少了维修材料的开销, 虽然一些特殊的原材料可能会导致更高的费用, 但从长远看这种趋势正在逐渐减弱, 智能控制系统的应用实现了自动化的运营管理, 从长远角度来看人工的开销将会逐步降低。

通过对冷凝水和排污水的再利用等手段来节约对

新鲜水资源的使用, 并直接降低了化工企业在用水方面的高成本, 减少了废水排放从而减少了污水处理费用, 提高了经济效益。对冷却、换热设备进行节能改造降低能源消耗, 降低电费开支, 当能源价格上涨时效益显著, 并避免了由于能耗超限而受到惩罚, 节约了潜在成本。

4.2 间接经济效益

通过节水节能的技术改进可以有效地减少设备的结垢、腐蚀以及微生物的繁殖问题, 从而延长了设备的使用期限, 并降低了设备的维护和替换成本, 设备工作更加平稳, 减少了由于故障而造成的生产中断现象, 提高了生产效率, 增加了产品的输出, 给企业带来了更大的经济效益。在确保生产连续性的同时也促进了企业在市场上供应能力和市场竞争力的提高, 企业应该优先选择投资回收期较短, 内部收益率较高, 净现值大于零的投资工程, 在充分考虑技术是否可靠, 确保产品能够平稳进行的前提下获得较好的经济效益, 增强了企业的全面抗风险能力与可持续发展的潜力。

5 总结

综上所述, 化工企业在循环水系统中进行节水节能的技术改造对其可持续发展有着至关重要的作用, 采取技术改造策略能够有效地解决循环水系统目前存在的水资源浪费严重、能源消耗大以及水质管理困境等, 化工企业推动循环水系统节水节能技术改造要充分认识到技术改造工作的必要性与迫切性, 对改造技术与方案进行科学合理的选取, 并且实时关注行业中的技术发展情况, 持续优化与完善改造措施, 使其符合市场环境的变化以及节能减排的需求, 从而为企业长远发展打下坚实的基础。

参考文献:

- [1] 张海荣, 韩鹤, 赵海明. 基于数学模型的大型工业循环水系统节能优化研究 [J]. 当代化工研究, 2024(05):88-91.
- [2] 王娇梅. 化工企业循环水系统节水节能技术改造的实践研究 [J]. 化工设计通讯, 2023,49(08):110-112.
- [3] 姜慧超. 石化企业循环水系统节能案例及节水措施研究 [J]. 天津化工, 2022(06):85-88.
- [4] 宋伟刚. 化工企业循环水系统节水节能技术改造分析 [J]. 化工设计通讯, 2021(08):153-154+158.
- [5] 李善英, 钟芳. 低碳形势下化工工艺节能技术的发展 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025(05):163-165.

作者简介:

李永俊(1987-), 男, 广东潮州人, 本科, 助理工程师, 从事工业水处理生产操作。