

化工行业循环水系统节能技术应用探讨

李光裕

(深圳信隆环境有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要 随着能源问题日益严峻, 化工企业对节能降耗的需求不断增加。循环水系统作为化工生产中的重要组成部分, 其能耗占比较大。通过对循环水系统节能技术的研究与应用, 可以有效降低化工企业的能源消耗和运营成本, 提高企业的经济效益和竞争力。本文介绍了化工行业循环水系统的工作原理和特点, 分析了其能耗组成和节能潜力, 详细阐述了几种主要的循环水系统节能技术, 包括优化设计、智能控制、高效水泵和冷却塔技术等, 并探讨了这些技术在化工企业中的实际应用案例, 对化工行业循环水系统节能技术的发展趋势进行了展望, 以为同行业人员提供借鉴。

关键词 化工行业; 循环水系统; 节能技术

中图分类号: TQ085

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)12-0040-03

在化工行业中, 循环水系统是保障生产过程顺利运行的关键设施之一。它为各种化工设备提供冷却用水, 确保设备在适宜的温度下运行。然而, 循环水系统的能耗较高, 约占化工企业总能耗的 10% ~ 30%。随着能源价格的不断上涨和环保要求的日益严格, 化工企业迫切需要采取有效的节能措施, 降低循环水系统的能耗。因此, 研究和应用循环水系统节能技术具有重要的现实意义。

1 循环水系统概述

循环水系统作为工业生产及建筑运行中的关键环节, 实现了水资源的循环再利用与高效管理。该系统通过构建闭合或开放的循环流程, 将使用过的水经过处理后再次投入使用, 从而大幅减少了新鲜水资源的消耗及废水排放。循环水系统的核心在于其闭环设计, 水在系统中被循环往复地利用。水被泵送至各个需要冷却或处理的设备中, 完成其使命后, 含有热量或杂质的水被收集并输送至处理单元。在处理单元中, 通过物理、化学或生物方法, 对水质进行净化与调节, 确保水质满足再次使用的标准。

2 化工行业循环水系统的工作原理和特点

2.1 工作原理

化工行业的循环水系统主要包括冷却塔、循环水泵、换热器及各类管道等关键组件, 它们协同运作以实现高效冷却和循环利用水资源的目的。其工作过程如下: 冷却塔对循环水进行降温处理后, 通过循环水泵的驱动作用, 将水传输至各处换热器。在换热器内,

循环水流体与热载体实现高效的热能交换, 热载体的热能转移至循环水中, 导致循环水温度显著提升。经过热交换过程后, 热水紧接着被输送至冷却塔。在冷却塔中, 热水通过与外界空气进行高效的热交换及部分水分的蒸发过程, 将所携带的热量释放至环境中, 从而实现水温的显著下降。当水温降至特定阈值时, 经过冷却的循环水便会重新流入循环水泵的进口端, 以此建立起持续不中断的循环机制^[1]。在大规模化工企业内, 循环水系统的每小时处理能力可达到数千立方米。循环水从冷却塔流出时的温度大致维持在 30℃, 通过换热器吸收热量后, 水温可能提升至 40℃或以上。在冷却塔内, 借助于与空气的高效热交换与水分蒸发过程, 水温得以迅速恢复至初始水平, 从而为后续的热交换周期做好充分准备。

2.2 特点

2.2.1 流量大、扬程高

化工生产过程往往需要大量的冷却用水, 以确保各种化工设备在适宜的温度下运行。这就决定了循环水系统的流量通常非常大。为了克服管道阻力以及换热器等设备的压力降, 循环水泵需要提供较高的扬程。一般来说, 化工行业循环水系统的水泵扬程可能在几十米甚至更高。

高流量和高扬程的特点对循环水系统的设备选型和运行管理提出了较高要求。一方面, 需要选用大功率、高性能的循环水泵, 满足大流量和高扬程的需求。另一方面, 在管道设计和布局上, 要充分考虑降低阻力损失, 确保循环水能够顺畅地流动。

2.2.2 运行时间长

循环水系统在化工生产中需要连续运行,以保证化工生产过程的不间断进行。这是因为化工生产通常是一个连续的过程,一旦循环水系统停止运行,可能会导致化工设备温度升高,影响生产的正常进行,甚至可能引发安全事故^[2]。长时间的连续运行不仅对设备的可靠性和稳定性提出了严格要求,也使得系统的能耗问题更加突出。为了确保循环水系统的长期稳定运行,需要定期对设备进行维护保养,及时发现和解决潜在的问题。

2.2.3 水质要求高

循环水中通常含有一定的杂质和腐蚀性物质,如不进行处理,会对管道、换热器等设备造成腐蚀和结垢,严重影响系统的正常运行。水中的溶解氧、二氧化碳等会与金属管道发生化学反应,导致管道腐蚀。而水中的钙、镁等离子在一定条件下会形成水垢,附着在换热器表面,降低传热效率。

3 高效节能工业循环水系统

3.1 冷却塔节能改造

3.1.1 增加高压变频器

对每台冷却塔风机增加高压变频器,实现风机的变频调节。这一措施允许根据冷却水出水温度和湿球温度的变化,实时调节风机风量,从而降低风机能耗。具体做法包括安装变频器、调整控制程序以及接入冷却水出水温度和湿球温度的监测数据,使风机风量与实际需求相匹配^[3]。

3.1.2 优化散热面积

采用冷却塔分塔散热技术,充分利用冷却塔的填料面积和自然冷源进行散热。通过同步调节各冷却塔的风机风量,使得冷却水出水温度更低,从而为冷却水泵的调节提供更好的基础条件。在具体实施中,需要分析各冷却塔的实际运行情况,合理分配风机运行时间和风量。

3.1.3 增加能效控制设备

安装冷却塔能效控制设备,实现对冷却塔出水温度的实时监测和自动调节。通过设定目标出水温度,控制设备自动调节风机风量,确保系统能效最大化。

3.2 冷却泵节能改造

3.2.1 增加高压变频器

对每台冷却泵增加高压变频器,实现水泵的变频启停和调节。根据末端负荷需求,自动调节水泵的运行流量和台数,降低能耗。具体措施包括安装变频器、改造水泵控制系统以及接入流量、压力等监测数据,确保水泵在高效区间运行。

3.2.2 优化阀门开度

通过变频调节消除水泵出口阀门阻力,确保阀门全开,减少因阀门未全开而消耗的水泵能耗。在具体实施中,需要监测水泵出口阀门的开度情况,并通过变频调节来降低阀门阻力,提高水泵的运行效率。

3.2.3 建立能效监测体系

建立能效监测体系,实时监测水泵的流量、压力、温度等参数,并计算水泵效率和输配系数等指标。通过对比分析各项数据,找出能效瓶颈并优化调节策略。在具体实施中,需要选择合适的监测设备和软件平台,并确保数据采集的准确性和实时性。

3.3 整体节能优化技术

3.3.1 最不利点回水自动保压

通过设置重要换热末端或最不利回路的参数监测与保护,确保整个循环水系统的压力稳定。通过调节冷却塔入口阀门和采用变频保护联动机制,保障压力最不利点的表压为正值,避免系统出现吸空现象。具体措施包括安装压力监测传感器、调整阀门控制策略以及接入监控系统等。

3.3.2 重要末端温度压力保障

通过对重要换热末端或最不利回路的温度、压力等参数进行实时监测和调节,确保末端设备的运行安全和高效。具体做法包括设置参数监测点、接入监控系统和实施联动控制策略等。当监测到温度或压力异常时,系统会自动采取相应措施进行调节和保护。

3.3.3 提升冷水池液位

在条件允许的情况下,尽可能提升冷水池的液位以降低水泵的功率消耗。具体做法包括改造水池结构、增加进水管道路以及调整水位控制策略等。以 1 600 kW 的大泵为例,每提升 1 m 液位可节约约 30 kW 的水泵功率。这一措施可以显著降低系统的整体能耗。

3.3.4 能效指标监测与对比

建立工业循环水系统的能效指标自动监测体系,实时监测并记录各项能效指标数据(见表 1)。通过横向和纵向对比分析这些数据,找出系统的能效瓶颈并提出优化建议。

4 循环水系统整体优化方法

4.1 全面诊断与系统性评估

在循环水系统优化的初始阶段,首要任务是进行全面的系统诊断与系统性评估。这一过程不依赖于即时的数据快照,而是着眼于系统的长期运行记录、设备状态、水质分析报告及能耗数据等多维度信息。通过非侵入式的在线监测与定期的人工巡检相结合,我们能够捕捉到系统潜在的性能瓶颈与能效损失点。结

合专家系统评估，对系统的整体健康状况、运行效率及未来发展趋势进行预判，为后续的优化改造提供坚实的数据支撑和理论依据。

4.2 精准施策，综合技术改造

基于全面诊断的结果，制定针对性的技术改造方案是循环水系统优化的关键环节。改造并非盲目追求最新技术或设备的堆砌，而是根据系统实际需求，采取“量体裁衣”的策略。例如，针对流速不均问题，可通过优化管道布局、增设流量调节阀等措施，实现水流的均衡分配；对于换热效率下降，则可能涉及换热器清洗、更换高效换热元件或引入新型节能技术如热管技术等。智能控制系统的集成也是提升系统整体性能的重要手段，通过自动调节水泵转速、优化运行参数等，实现系统能耗的精细化管理^[4]。

表 1 工业循环水能效指标

能效指标	计算公式	参数说明
循环水系统效率及单台水泵效率	$\eta = \frac{\gamma g Q H}{1000 W}$	γ : 水的密度 g : 重力加速度 Q : 循环水量 H : 实际扬程 W : 电耗
冷却塔效率	$\Phi = \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_s}$	t_1 : 冷却塔出水温度 t_2 : 冷却塔进水温度 t_s : 湿球温度
动力匹配度	$D_{power} = \frac{H - \Delta P}{H} \times 100\%$	H : 额定扬程 ΔP : 水泵进出口压差 变频时额定扬程相应换算
热力匹配度	$D_{heattans} = \frac{\Delta T - \Delta t}{\Delta T} \times 100\%$	ΔT : 设计温差 Δt : 测量温差
冷却泵输配系数	$WTE_{CW} = \frac{Q \Delta t}{W_p}$	Q : 循环水量 Δt : 测量温差 W_p : 冷却泵电耗
冷却塔输配系数	$WTE_{CT} = \frac{Q \Delta t}{W_t}$	Q : 循环水量 Δt : 测量温差 W_t : 冷却塔电耗
工业循环水系统能效比	$CTIR = \frac{Q \Delta t}{W_p + W_t}$	Q : 循环水量 Δt : 测量温差 W_p : 冷却泵电耗 W_t : 冷却塔电耗

4.3 强化水质管理，提升防腐效能

水质是影响循环水系统稳定性和寿命的关键因素之一。因此，在优化过程中，必须加强对水质的监测

与管理。这包括建立严格的水质监测体系，定期检测水中硬度、碱度、氯离子含量、微生物指标等关键参数，确保水质符合设计要求。根据水质分析结果，适时调整水处理方案，如采用化学药剂处理、物理过滤、生物处理等多种手段，有效控制水垢、腐蚀和微生物滋生等问题。注重防腐措施的升级换代，采用高性能的防腐涂料、缓蚀剂及阴极保护等技术，延长设备使用寿命，减少因腐蚀导致的停机维修次数。通过水质与防腐管理的双重强化，为循环水系统的长期稳定运行提供有力保障。

4.4 优化运行与维护策略，实现持续改进

循环水系统的优化并非一蹴而就，而是一个持续改进的过程。因此，制定科学合理的运行与维护策略至关重要^[5]。建立完善的运行管理制度，明确各级人员的职责与任务，确保系统日常运行的规范性和有效性。利用先进的监控与诊断技术，实现系统运行的远程监控与实时预警，及时发现并处理潜在问题。建立设备维护档案，记录每次维护的时间、内容、效果等信息，为后续的维护决策提供依据。鼓励技术创新与经验交流，定期组织技术人员培训，引入新的管理理念和技术手段，不断提升系统的维护水平和管理效率。

5 结束语

化工行业循环水系统的节能技术对于降低企业能耗、提高经济效益和竞争力具有重要意义。通过优化设计、智能控制、高效设备和水质管理等技术的应用，可以有效地降低循环水系统的能耗。随着科技的不断进步，循环水系统的节能技术将不断发展和完善，为化工企业的可持续发展提供有力支持。在实际应用中，化工企业应根据自身的实际情况，选择合适的节能技术和方案，不断探索和创新，以实现循环水系统的高效、节能、环保运行。

参考文献:

- [1] 马健,朱玉,顾红波.工业冷却循环水系统节能与环保探讨[J].节能与环保,2021(12):39-40.
- [2] 祝贵威.煤化工循环冷却水系统治理[J].现代工业经济和信息化,2021,11(02):61-62.
- [3] 杨丽娜,范一丁.大型循环水系统节水方案的对比分析[J].中国新技术新产品,2020(09):128-129.
- [4] 薄卫东,杨卫锋,高强,等.循环水系统节能优化探讨[J].山东化工,2020,49(01):89.
- [5] 范金勇.石油化工循环水系统节能优化技术探析[J].化工管理,2019(33):57-58.