

# 化工厂区循环水系统的优化设计与运行效率分析

曹凯乐

中石化工程建设有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]** 化工厂区的循环水系统在满足生产冷却与热交换需求的同时, 常面临能效低下、能耗过高以及水质管理不到位等问题, 这不仅导致资源的浪费, 还可能引发环境污染。随着环保法规日益严格, 化工行业迫切需要通过技术创新与系统优化, 提高能源使用效率。尽管已有许多企业着手进行节能改造, 但由于不同厂区条件的差异, 如何根据实际情况量身定制优化方案依然是一项重大挑战。因此, 为化工厂区提供切实可行的循环水系统优化方案, 以促进节能减排并推动行业朝着可持续发展的目标迈进。

**[关键词]** 化工厂; 循环水系统; 设计; 运行效率

DOI: 10.33142/aem.v6i12.14893

中图分类号: TM621.4

文献标识码: A

## Optimization Design and Operational Efficiency Analysis of Circulating Water System in Chemical Plant Area

CAO Kaile

ZhongShi Chemical Engineering Construction Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The circulating water system in chemical plant areas often faces problems such as low energy efficiency, high energy consumption, and inadequate water quality management while meeting the needs of production cooling and heat exchange. This not only leads to resource waste, but also may cause environmental pollution. With increasingly strict environmental regulations, the chemical industry urgently needs to improve energy efficiency through technological innovation and system optimization. Although many companies have started energy-saving renovations, tailoring optimization plans based on actual conditions in different factory areas remains a major challenge. Therefore, providing practical and feasible optimization solutions for the circulating water system in chemical plant areas to promote energy conservation and emission reduction, and to drive the industry towards sustainable development goals.

**Keywords:** chemical plant; circulating water system; design; operating efficiency

### 引言

随着能源短缺和环境污染问题的日益加剧, 化工行业面临着节能降耗与环保的巨大压力。作为化工厂区的重要基础设施, 循环水系统的运行效率直接关系到能源消耗、设备性能以及环境排放水平。该系统的优化设计与运行, 不仅能有效降低企业的运营成本, 还能促进绿色可持续发展。通过科学设计、智能调度以及实时监控等手段, 提升化工厂区循环水系统的整体效率, 减少能耗与排放从而为化工企业的绿色转型提供有力支持。

### 1 化工厂区循环水系统概述

化工厂区的循环水系统是保障生产过程中的热量交换与设备冷却的核心设施, 主要功能在于通过水流带走生产过程中产生的废热, 从而确保设备与工艺的正常运转。该系统由水源、水泵、管网、冷却塔、热交换器等多个组成部分构成, 这些设施协调配合形成一个封闭的循环, 确保水资源的高效利用与持续供应。在设计化工厂区的循环水系统时, 不仅需要满足不同工艺与设备对冷却水温度和流量的严格要求, 还必须同时考虑节能与环境保护的目标。相较于其他类型的循环水系统, 化工厂区的循环水系统面

临的挑战更加复杂。由于化工生产过程中涉及多种化学物质及高温环境, 水质控制成为设计中的重点, 水中的杂质若未得到有效控制, 可能会导致设备的腐蚀或结垢, 影响系统的稳定运行。此外, 考虑到工厂负荷波动较大, 系统的灵活调节与高效运行显得尤为关键。循环水系统不仅仅是用于冷却的工具, 它还在提升能源利用效率、降低运营成本及减少环境影响方面, 发挥着至关重要的作用。

## 2 化工厂区循环水系统的设计策略

### 2.1 系统设计的基本要求

化工厂区循环水系统的设计必须满足多个基本要求, 确保其稳定性、可靠性与高效性。在系统设计中, 应根据厂区生产负荷的波动, 合理配置水源、水泵、管网及冷却设施, 确保在各种生产工况下都能提供充足的冷却能力。水量的充足性与流速的合理性, 尤其需要在设计过程中重点关注, 流量过低或过高都会导致热交换效率降低或设备损伤, 因此必须进行精确调控。水质控制在系统设计中的重要性不容忽视, 特别是在化工生产中常涉及多种化学物质, 这些物质可能污染水质, 必须采取有效的水处理手段, 防止水中的悬浮物、细菌或腐蚀性物质对设备造成不良影

响。水质控制不仅要确保设备的安全运行，还应符合相关环保标准，以避免水体污染及排放污染物对周围环境的负面影响。节能设计是提升系统经济效益与环境效益的关键，高效设备的选用，如高效水泵与节能型冷却塔应优先考虑，优化管网布局减少水流阻力与能量损失，对于降低能耗至关重要。引入自动化调控系统也是设计中的重要环节，合理的运行调度不仅能降低能耗，还能增强系统的灵活性与稳定性。系统设计还应具备充分的冗余度与可扩展性，以便应对未来厂区负荷变化或扩建需求。此外，系统的安全性必须得到全面保障，必要的防护措施应已落实，以确保在突发情况发生时，系统能够迅速启动应急处理，保障生产安全与稳定运行。

## 2.2 水泵与管网设计优化

水泵与管网在循环水系统中占据着至关重要的位置，其设计优化直接影响系统的运行效率与稳定性。水泵的选型应根据厂区冷却需求、各生产环节的负荷及水流量要求进行合理确定，通过精准选择水泵的型号、功率及流量范围，系统能够在不同工况下高效且稳定地运行。尤其在负荷波动较大的情况下，水泵需具备较强的调节能力，以避免频繁启停或超负荷运行，从而有效延长设备使用寿命并减少能耗。管网设计中，合理布局与流动方向的优化尤为关键，应尽量减少管道的弯头及长度，以减少水流阻力与能量损失。管道直径的选择需综合考虑流量需求与水流速度，既要避免过大造成资源浪费，又要防止过小导致水泵负担加重。系统设计时必须避免出现死角及局部流速过低的区域，因为这些地方容易积累沉淀物，最终导致管道堵塞或腐蚀。在大型化工厂区中，分区供水方案的设计尤为重要，可确保各个区域的冷却水需求得到精确满足，避免局部水压不稳定。管网系统设计还需具备足够的冗余性，确保在设备发生故障或进行维护时系统仍能正常运行，管网的监测与控制系统也是设计优化的关键部分，通过实时监控管网的压力、流量、温度等参数，异常情况能够及时识别，防止因系统失调导致故障或能耗增加。

## 2.3 冷却塔与热交换器的设计优化

冷却塔与热交换器在化工厂区循环水系统中扮演着至关重要的角色，尤其在热量传递与水温控制方面。为了确保高效运行，冷却塔的设计必须综合考虑厂区的负荷需求及环境条件。冷却塔类型的选择应根据气候、季节变化以及水源条件进行决策。例如，在湿度较高的地区，由于干式冷却塔具有较少的水蒸发特性，它通常能在能效上表现更优，而在水资源紧缺的区域，湿式冷却塔则由于其蒸发效应而能达到较高的冷却效率，因而更为常见。冷却塔设计过程中，风量、风速与水流速的合理匹配是提高热交换效率的关键，设计时应尽量避免水流的逆流与涡流现象，这些现象可能会影响热交换效果，填料的选择在冷却塔设计中至关重要，填料的表面积及导热性能直接决定了热交

换效率，采用高效的填料材料可以显著提升冷却塔的散热能力，从而降低能耗减少设备的运行成本。热交换器作为循环水系统中的另一关键设备，其设计优化主要聚焦于提升传热效率。在选择合适的热交换器类型时，应综合考虑热负荷、传热面积、流体流动方式及后期的维护难易度。常见的热交换器类型包括壳管式、板式与空气冷却式等，针对不同场景与工况，需选择最适合的类型。设计过程中还需确保水流在热交换表面上的停留时间合适，避免短路流动现象导致热交换不充分，同时，管道内应减少污垢的沉积以降低清洗频率。热交换器的性能还与材料的选择密切相关，由于化工厂区的循环水常含有一定的腐蚀性物质，因此，热交换器的材料必须具备较强的抗腐蚀性 with 耐久性，以保证其长期稳定运行，减少维修频率与成本。

## 2.4 水质控制与污水处理策略

在化工厂区的循环水系统中水质控制至关重要，尤其是在防止化学反应、设备腐蚀以及结垢等问题对系统运行效率与设备寿命造成不利影响的情况下。有效的水质管理要求确保循环水的清洁、稳定以及适宜的化学特性，从而保障各项设备的正常运行。水中的悬浮物与杂质需经过预处理，通常通过过滤器与沉淀池等设备去除较大颗粒物。同时，为防止管道与设备内部结垢，水中应加入缓蚀剂与防垢剂，控制水中钙、镁离子的浓度从而降低水垢的生成风险。除了物理过滤与化学添加剂的使用，定期检查水中的pH值、氧化还原电位(ORP)、硬度、总溶解固体(TDS)等指标，确保水质始终维持在设计要求的范围内，通过在线监测系统可实时采集水质数据，并根据其变化动态调整水处理措施，以避免水质波动对系统运行产生负面影响。除了水质控制，废水处理策略同样至关重要，特别是在处理厂区产生的废水方面。废水不仅来源于生产过程中排放的废水，还包括循环水系统中的污染水，为了防止水源污染，化工厂区通常会配备废水处理设施，采用物理、化学或生物方法进行污水净化。常见的污水处理方法包括絮凝沉淀、化学氧化与生物滤池等。处理后的污水需达到排放标准，或经过进一步处理后实现循环利用，从而减少水资源浪费并有效控制环境污染。针对不同生产需求，污水处理设施的设计必须具备一定的定制化，以确保能高效去除有害物质，满足环保法规要求。

## 2.5 节能与环保设计考虑

在化工厂区循环水系统的设计中，节能与环保已成为不可或缺的重要因素。节能设计的核心在于提升系统整体效率与降低能耗，尤其是作为主要能耗设备的水泵与冷却塔选择尤为关键。高效、低能耗设备的采用可显著降低系统能耗，例如变频驱动的水泵，通过根据实际负荷调整转速，避免了无谓的能量浪费，水泵与管网的匹配优化，也能有效减少管道摩擦损失，从而提升能源使用效率。在冷却塔的设计中，选择适当的风机与高效填料，不仅提升了

散热效率还有效减少了能耗，确保冷却任务的完成<sup>[1]</sup>。在环保方面，水资源的可持续利用是设计中的重点之一，为减少水资源浪费，循环水的利用率应尽可能提高，闭路循环或多级回用系统的实施能最大限度地减少排放。同时，先进的水处理技术，如膜过滤与紫外线消毒不仅有效改善水质，还能减少化学药剂的使用，进而降低对环境的潜在污染。噪音与废热处理在环保设计中同样不可忽视，水泵、风机及冷却塔等设备产生的噪音与废热若不加以控制，将对周围环境产生不利影响，在设计过程中噪音控制措施应得以充分考虑，如使用隔音材料及合理布局设备，以减小噪音的传播。而废热的回收与再利用，则通过热交换系统将多余的热量转化为可用能量，既有助于降低能源消耗，也可减少温室气体的排放，从而增强系统的环保性能。

### 3 化工厂区循环水系统的运行效率分析与评估方法

#### 3.1 运行效率的衡量指标与分析方法

化工厂区循环水系统的运行效率对能源消耗、设备维护成本以及环保效果有着直接影响，因此，对其整体效率进行评估显得尤为重要。作为系统效率评估的基础，水流量与热交换效率不可忽视，水流量的稳定性与合理的热负荷分配，确保了系统在负荷变化情况下的高效运行。而热交换效率则体现了冷却水与生产设备之间热量转移的效果，通过优化热交换器的设计，热交换效率可以大幅提升，从而有效减少能源损耗<sup>[2]</sup>。能效比（COP）是衡量设备能耗与工作效果之间关系的重要指标，直接反映了系统运行的能源使用情况。在水泵与风机等设备中，能效比的提高意味着在完成相同工作量时能耗的减少，设备引入变频驱动技术后能够根据系统负荷的变化进行调整，这一调整无疑提高了整体能效，并降低了长期的运行成本。水质稳定性同样对系统效率产生重要影响，水质的波动往往会引发设备结垢、腐蚀等问题，从而影响系统的运行效率，通过实时监测水质指标（如 pH 值、硬度、TDS 等）并结合自动化控制系统，可以确保水质始终维持在理想范围内，从而避免水质变化导致的能效损失。在评估循环水系统运行效率时，常用的分析方法包括热平衡法、能量分析法及生命周期评估法。热平衡法通过计算冷却水的热负荷与排放热量，评估了热交换效率；能量分析法从全局能耗的角度出发，识别出节能潜力；生命周期评估法则关注系统从设计到运行全过程中的能效表现，有助于发现各环节的优化空间。

#### 3.2 能效分析与优化手段

能效分析在评估化工厂区循环水系统的运行状态及节能潜力方面，起着至关重要的作用，通过深入分析系统各个环节的能耗状况，能效瓶颈得以识别，从而为优化方案的制定提供了宝贵依据。水泵作为能效分析中的关键组

成部分，其运行效率与水流量密切相关，通过对流量、扬程及功率消耗的分析，可以评估水泵的能效表现，在负荷波动较大的情形下，采用变频驱动技术（VFD）能够根据实际需求调整水泵转速，避免过度能耗<sup>[3]</sup>。此外，水泵的选型应精准匹配系统的实际需求，选型不当会导致能源浪费。水泵过大或过小均会影响能效，精准匹配是优化能效的关键所在。冷却塔与热交换器的能效分析同样不可忽视，冷却塔的性能受到环境温度、湿度及水流量的影响较大。在设计及运行阶段，风机转速与水流量的合理匹配至关重要，高效的冷却塔通常采用优化设计的填料与风机，这不仅提高了热交换效率也有效降低了能耗。对于热交换器而言，优化设计涉及增加换热面积、降低流体阻力以及确保流动均匀性，这些措施能够显著提升热交换效率，减少能量损失。管网优化设计是提升能效的另一个关键环节，通过合理规划管道布局、减少管道长度及弯头数量可以有效降低水流阻力，从而减轻水泵负荷减少能耗。同时，管网的定期清洁与防止污垢沉积，能够确保流体流动通畅，进一步提高系统效率。在优化手段方面，实施动态监控与自动化控制系统被认为是提升能效的有效途径，通过实时监测系统的运行状态，尤其是水流量、温度、压力等关键参数，能够根据数据变化及时调整运行策略，避免无效能量消耗。此外，系统可根据负荷变化自动调整水泵、冷却塔风机等设备的工作状态，以实现更精准的能效控制。

### 4 结语

化工厂区循环水系统的优化，不仅涉及能效的提升还直接影响能源成本的控制与环境保护的水平。通过优化系统设计、实施智能调度以及加强能耗监控，运行效率能够显著提升，能耗与排放将大幅减少，从而实现经济效益与环保目标的双重保障。展望未来，随着技术的不断进步与绿色发展理念的深入推广，循环水系统将朝着更加智能化与自动化的方向发展。此趋势不仅促进了节能减排的实现，也有助于提升企业在可持续发展方面的竞争力。

#### [参考文献]

[1] 庞子涛, 付宝华, 白冰. AFT Fathom 在某大型化工厂循环水系统水力学计算中的应用[J]. 工业用水与废水, 2024, 55(2): 72-75.

[2] 吴春晓. 石化企业循环水系统水泵及冷却塔节能优化分析[J]. 天津化工, 2022, 36(5): 85-87.

[3] 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(8): 110-112.

作者简介：曹凯乐（1992.5—），毕业院校：河北建筑工程学院，所学专业：给水排水工程，当前工作单位：中石化工程建设有限公司，职务：给水排水工程师，职称级别：工程师。