

# Analysis on energy saving technology of circulating water system in chemical plant

Xiaoyu Liu

Sinopec Group Ningbo Engineering Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315103, China

## Abstract

The circulating water supply system in chemical plants serves as a critical component for maintaining production continuity and equipment thermal balance, with its operational efficiency directly impacting energy consumption and production costs. As cooling systems age, issues such as insufficient cooling tower efficiency, water resource waste, and high fan energy consumption have become increasingly prominent, severely limiting system energy-saving potential. This study focuses on a typical circulating water plant, conducting systematic technical analysis of cooling tower components including packing, water distribution, water collection, and power systems. By integrating thermal calculations with field operation data, we propose concrete energy-saving retrofit strategies. Through structural optimization, enhanced heat exchange efficiency, and reduced ineffective energy consumption, the system's overall performance is significantly improved. Research findings demonstrate that reasonable retrofits can effectively regulate circulating water volume and control fan energy consumption while maintaining cooling capacity, offering both economic benefits and practical engineering value.

## Keywords

circulating water supply system; cooling tower retrofitting; energy-saving technology; water regulation; fan optimization

## 化工厂区循环给水系统节能技术分析

刘笑宇

中国石化集团宁波工程有限公司, 中国·浙江宁波 315103

## 摘要

化工厂区循环给水系统是维持生产连续性与设备热平衡的关键环节, 其运行效率直接关系到能源消耗与生产成本。随着冷却系统运行年限的增长, 冷却塔能效不足、水资源浪费、风机能耗高等问题逐步显现, 严重制约系统节能水平。本文以典型循环水场为研究对象, 围绕冷却塔的填料、配水、收水及动力系统进行系统性技术分析, 结合热力计算与现场运行数据, 明确提出节能改造路径。通过优化结构配置、提高换热效率、降低无效能耗, 显著提升系统整体运行性能。研究结果表明, 在保证冷却能力的前提下, 经过合理改造可有效实现循环水量调节与风机能耗控制, 具备良好的经济效益与工程推广价值。

## 关键词

循环给水系统; 冷却塔改造; 节能技术; 水量调节; 风机优化

## 1 引言

化工行业作为高耗能产业, 其生产流程高度依赖于高效稳定的循环冷却水系统。冷却塔作为热量释放的末端设备, 其运行性能对整个循环系统的热效率和资源消耗水平具有决定性影响。随着装置运行周期延长, 传统冷却塔普遍面临换热能力下降、配水不均、能耗上升等问题, 导致系统冷却能力不足, 水电资源浪费严重, 成为制约节能降耗的重要瓶颈。在双碳战略背景下, 推动化工厂区循环给水系统的节能技术升级已成为提升能源利用效率的关键路径。本文立足

典型冷却塔运行现状, 系统剖析其能耗问题与技术瓶颈, 通过改造设计的实际应用, 探讨节能降耗的有效策略与路径, 旨在为同类型化工企业提供可借鉴的技术解决方案。

## 2 化工厂区循环给水系统运行现状

### 2.1 循环水系统基本组成与功能

化工厂区循环给水系统主要由冷却塔、循环泵、管网系统、配水与收水设施、换热设备等构成, 形成一个封闭回路。高温介质经换热器加热循环水, 热水经管网输送至冷却塔, 通过填料与空气进行热质交换, 部分水蒸发带走热量, 降低水温后回流至冷却设备, 实现水资源的再利用。系统具备热量转移、水资源回收、设备冷却保障等多重功能, 是保障化工生产连续性和安全性的基础设施。其运行状态直接影

【作者简介】刘笑宇(1985-), 男, 回族, 中国新疆昌吉人, 本科, 工程师, 从事化工厂区给水排水设计研究。

响换热设备的效率、工艺控制的稳定性以及整体能耗水平，因此循环系统的高效稳定运行是推动化工厂节能降耗的核心任务。

## 2.2 典型运行参数与负荷特征

以2#循环水场为例，系统设计供水能力为7500m<sup>3</sup>/h，其中2#场承担4000m<sup>3</sup>/h，3#场承担3500m<sup>3</sup>/h。各自配套冷却塔及循环泵布置形成并行结构，其中2#循环泵房配置4台循环泵，对应2座2250m<sup>3</sup>/h冷却塔。系统设计依据进出塔水温差进行负荷计算，并依据塔体结构、风量、水量、填料性能等因素确定运行参数。在运行过程中，冷却能力与循环水量、进塔温度、出塔温度之间存在密切耦合关系。为保证出水温度稳定，需持续监控水量变化、风机转速与冷却效率。冷却塔风量设计为1575700m<sup>3</sup>/h，体现出大型化工厂对空气流动能力的高要求。系统负荷波动大、对环境气象高度敏感，是其显著特征。

## 3 冷却塔节能潜力分析

### 3.1 水量、风量与冷却能力的热力关系

冷却塔冷却能力与水量、风量之间呈现耦合增强关系。水量提升可增强单位时间内热传递总量，在保证热负荷不变条件下，出水温度下降趋势明显。设计水量为2000m<sup>3</sup>/h的单塔，经测算在保持95%冷却能力前提下可上调1%~2%水量，若不考虑冷却能力影响，可扩容3%~10%。风量对蒸发散热能力影响更显著，1575700m<sup>3</sup>/h的设计风量可强化空气对水汽的承载能力，提升焓差。风量提升加速水分子扩散，提高冷却塔表面散热速率，增强气水接触的动态交换效果。然而当风量超过合理区间，出现气流短路，造成冷却效率降低和风能浪费，反而削弱系统运行稳定性。水量与风量需匹配协调，形成热交换的最优耦合比。

### 3.2 填料结构对换热效率的影响

原塔采用片间距33mm的大波距填料，单位体积换热面积仅为115m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，需依赖高风量实现同等冷却任务，不仅通风阻力偏低，且气水接触时间不足，降低热交换效率。改造后填料采用波形双向斜波结构，片间距压缩至19mm，单位体积换热面积提高至168.38m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，提升1.46倍。填料厚度为1.22m，堆放方式改为单层布置，通过密集排列提高水膜分布均匀性，增强下淋水的分散性能。粘结填料搁置在新增玻璃钢支撑上，有效缩减挡风面积，改善进风截面流场结构。高效填料增强单位体积换热能力，满足较低气水比下的换热要求，在不增加风量基础上实现同等甚至更优的冷却效果，为系统节能奠定热力基础。

## 4 节能改造关键技术路径

### 4.1 填料系统优化与换热面积提升策略

原冷却塔填料采用波距33mm的大波距结构，单位体积换热面积仅为115m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，在高风量驱动下仍难以满足热交换效率要求。改造后选用片间距19mm的双向斜波高效

填料，其单位体积换热面积提升至168.38m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，换热能力增强近1.5倍，填料高度设计为1.22m，采用单层布置方式，同时填料安装方式改为搁置在玻璃钢支撑结构上，最大限度释放进风通道，提升流场均衡性与气水接触密度。填料结构的优化显著提升了水膜分布的均匀性与厚度稳定性，使下淋水形成更大面积的热质交换界面。系统在相同循环水量与风量条件下，其冷却能力得以大幅提升，为整体冷却效率提升与能耗控制奠定热力基础。

### 4.2 配水系统的均匀性设计与水力损失控制

原有配水系统存在喷头数量少、布置不合理、水量分布不均等问题，导致填料受水不均，局部冲刷严重，引发冷却效率下降与结构损伤。改造方案采用下喷溅自动稳压管式枝状配水系统，主管材质为玻璃钢，支管采用UPVC，喷头更换为蜗壳式旋喷喷头，喷头间距0.764m，单个喷头覆盖面积为0.56m<sup>2</sup>，可实现充分搭接和均匀布水。该型喷头在1.5米水头下可稳定运行，具有抗水力波动能力强、布散效果稳定的特点，适用于70%至130%运行水量范围。配水系统增加热镀锌钢支撑，确保设备稳定运行并降低安装误差带来的偏流问题。通过改善配水均匀性，有效减少水力损耗，提升填料换热效率，进而增强系统整体的能效水平。

## 5 节能改造后的运行效果评估

### 5.1 冷却能力提升对工艺系统的保障作用

本次冷却塔技改工程显著提高了系统的冷却能力，对保障化工装置的热力工况稳定运行发挥了关键作用。原冷却塔T01A与T01B的冷却能力分别为80.9%和91.1%，远低于国家标准《GB/T 7190.2-2018》中要求的95%冷却性能。技改后，通过更换比表面积达168.38m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>的双向斜波高效填料，改善热交换通道，提高水气接触密度，有效增强了蒸发潜热释放能力，满足冷却负荷的实际需求。在新填料堆高1.22m、喷头分布密度加强、风机风场优化的综合作用下，冷却塔出水温度可降低0.3℃，提升了设备出口介质的温控稳定性。经测算，系统在不突破原设计2250m<sup>3</sup>/h循环水量的前提下，其冷效已满足连续高温工况下的冷却需求，保障了后续换热设备的工艺参数精度和设备安全运行的连续性。

### 5.2 电耗与水耗的节约分析

节能改造后的冷却塔在维持冷却能力不变的基础上，系统整体电耗和水耗明显下降。风机系统经过空气动力计算优化叶片角度，使风机运行点稳定于高效区，年运行6000小时节电量可达384750kWh，按照电价0.38元/kWh计算年节电费14.6205万元。冷却塔漂滴控制通过更换为片间距30mm的三维四折蜂窝式收水器实现，飘滴损失率从原0.1%降至0.0005%。按双塔配置运行时间8000小时测算，系统年节水量为35824吨，水费节约为7.523万元。喷头更换为蜗壳式旋喷喷头，运行水头仅1.5米，降低泵组扬程要求，进一步控制了配水系统能耗。同时配水均匀性提升，减少冷

却盲区，间接降低了无效水损耗。水电资源的双向节约有效减轻了装置运行负担，提升系统整体能效水平，具备良好的运行经济性。

## 6 节能技术经济性与可复制性分析

### 6.1 项目投资结构与经济回报测算

2# 循环水场冷却塔节能技改项目总投资为 145 万元，其中固定资产投资为 135 万元，包含填料更换、配水系统重构、收水器更新、风机优化、支撑结构调整等多个工程子项。填料系统优化占据项目投资的核心比例，采用高比表面积改性 PVC 材质填料，共计 350 套，配套新增玻璃钢支撑结构总重约 3000kg。收水器更换面积为 165m<sup>2</sup>，辅以 1100kg 钢支撑结构，提升结构稳定性。按当前投资测算，项目静态回收期为 6.55 年，回收周期适中，具备长期节能运营价值，对资金投入具有良好的资本回报预期和运营可持续性。

### 6.2 节能效果的量化指标及其评价方法

项目节能成效通过多项量化指标进行评估，涵盖冷却能力、水耗、电耗与结构参数四个维度。冷却能力依据冷却能力试验标准，通过 T01A 与 T01B 的冷效提升至 95% 以上进行定量判断。电耗指标由风机年运行 6000 小时节能 384750kWh 作为对比基线，形成年度能耗削减曲线。水耗通过收水器飘滴率由 0.1% 降至 0.0005% 推导，节水效益在年度补水对比中表现明显。配水系统优化后，喷头布置间距为 0.764m，单喷头覆盖面积为 0.56m<sup>2</sup>，布水均匀性通过现场分布测试数据验证，冷却过程热分布趋于均衡。填料性能提升量化为单位体积换热面积从 115m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 增至 168.38m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>，构成热交换效率提升的基础数据。综合评价体系结合运行前后实测数据与经济指标，构建科学完整的节能评估模型，确保节能成效的工程可复现性与运行可持续性，表 1 为该方案的 2# 冷却塔单台冷却塔材料明细。

表 1 该方案的 2# 冷却塔单台冷却塔材料明细

序号	名称	单位	数量	材质
1	淋水填料 (1830×1220×305mm) 含粘结剂含支架	套	350	改性 PVC
2	收水器 (三维四折型), 含粘结剂	m <sup>2</sup>	165	改性 PVC
3	配水主管 DN500	米	16	玻璃钢 FRP
4	配水支管 DN250	米	110	UPVC
5	管道支吊架和紧固件	kg	420	316L
6	喷头	套	128	PP
7	配水层增加钢支撑 - 热镀锌防腐	kg	3000	
	收水器增加钢支撑 - 热镀锌防腐	kg	1100	
8	拆旧塔现有填料配水系统等	套		
9	钢混框架实体墙填充			
10	玻璃钢维护面板拆下和安装			

### 6.3 化工厂区其他系统推广应用的适应性讨论

本次冷却塔节能改造项目技术方案在不改变塔体结构前提下，通过更换填料、优化配水、收水与风机系统实现冷效恢复与能耗削减，为同类型冷却系统改造提供成熟范例。在化工企业中，冷却塔广泛应用于反应器、换热器及压缩机等设备冷却环节，普遍存在填料老化、水量分布不均、风机无效功率损耗等问题。该改造方案所用结构材料如改性 PVC 填料、FRP 配水主管、UPVC 支管等均具备工业化批量生产能力，施工便捷，成本控制良好。适用于石化、电力、冶金等行业中运行年限超过十年的开式冷却塔系统。结合热负荷分布调整水风比配比，可在不影响工艺的基础上有效实现系统升级与能源降耗。

的核心设备，其能效水平对整体工艺稳定性与资源利用效率具有决定性影响。通过填料、配水、收水和风机系统的协同优化，不仅有效提升了冷却能力，还实现了显著的电耗与水耗节约，验证了节能技术的可行性与经济性。该技术路径具备良好的可复制性和推广价值，为类似工业冷却系统提供了切实可行的改造思路与工程实践依据。

### 参考文献

- [1] 徐虎,马志强. 建筑给排水施工中的常见问题及策略——以化工厂区建设施工为例[J].石化技术,2024,31(12):320-321.
- [2] 刘明瑞,辛艾智. 化工厂给排水车间设备运行与维护[J].中国金属通报,2021,(03):113-114.
- [3] 刘辉. 中小型化工厂的消防给排水设计探讨[J].住宅与房地产,2020,(30):61+66.
- [4] 黄宇洲,伍一专. 中小型化工厂消防给排水现状及优化措施探究[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(10):138-139.

## 7 结语

通过对化工厂区循环给水系统的运行特征、节能潜力与关键改造路径的系统分析可以看出，冷却塔作为循环系统