

化工企业循环水系统优化及用水效率提升措施

宗德东, 周正华

(淄博市水利事业服务中心, 山东 淄博 255000)

【摘要】文章以淄博市某化工公司水平衡测试数据为基础, 聚焦循环水系统温差优化与水质提升两大关键方向, 深入分析当前系统运行现状、存在的问题及节水潜力。通过对 1[#] 和 2[#] 循环水场运行参数的对比分析, 结合同类化工企业先进经验, 从工艺优化、设备改造、水质管控、管理强化等维度提出优化方案, 旨在提高循环水系统用水效率, 降低新鲜水取用量和运行成本, 为化工企业循环水系统节能节水改造提供参考。

【关键词】化工企业; 循环水系统; 用水效率; 水平衡测试

【中图分类号】X703

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-05-0023-04

Optimization of Circulating Water System and Measures for Improving Water Use Efficiency in Chemical Enterprises

ZONG Dedong, ZHOU Zhenghua

(Water Affairs Service Center of Zibo Municipality, Zibo, Shandong 255000, China)

Abstract: Based on the water balance test data of a chemical enterprise in Zibo Municipality, this paper focuses on two key directions: temperature difference optimization and water quality improvement of circulating water systems, and deeply analyzes the current operation status, existing problems and water-saving potential of the system. Through comparative analysis of operating parameters of No.1 and No.2 circulating water plants, combined with advanced experience of similar chemical enterprises, a optimization scheme is proposed from the dimensions of process optimization, equipment renovation, water quality control and management improvement. The research intends to raise the water use efficiency of circulating water systems, reduce fresh water intake and operating costs, and offer references for energy-saving and water-saving renovation of circulating water systems in chemical enterprises.

Key words: Chemical enterprises; Circulating water system; Water use efficiency; Water balance test

淄博市某化工公司为山东省制造业重点企业, 建有 1[#]、2[#] 两座循环水场, 均采用机械通风式冷却塔, 冷却水为密闭循环系统, 主要承担各生产装置的冷却任务。1[#] 循环水场设计规模 2.5 万 m³/h, 承担氢氰酸丙烯腈联产装置、氢氰酸装置、冷冻站、空分、罐区、制水车间凝液的冷却降温。测试期间总上水量 28.86 万 m³/d, 各装置合计上水量 27.83 万 m³/d, 日均差值 1.03 万 m³/d, 差值率 3.6%。2[#] 循环水场设计规模 2.0 万 m³/h, 承担硫酸装置、己二腈装置、己二胺装置、甲基戊二胺装置、PA66 装置的设备冷却。测试期间总上水量 31.33 万 m³/d, 各装置合计上水量 30.11 万 m³/d, 日均差值 1.23 万 m³/d, 差值率 3.9%。循环水系统

补水来源包括公共供水、回用水、冷凝水及装置中余热锅炉的排水, 通过管网分配至两座循环水场, 保障系统稳定运行。

1 运行参数现状

1.1 温差情况

测试期间, 通过装置控制平台数据结合红外线测温仪测试, 两座循环水场水温参数见表 1。

根据循环水系统设计要求, 上水温度不高于 32.0 ℃, 回水温度不高于 42.0 ℃。测试结果显示, 1[#] 循环水场温差为 8.8 ℃, 处于合理控制范围; 2[#]

收稿日期: 2026-02-13

作者简介: 宗德东(1968—), 男, 工程师

表 1 循环水系统温差统计表 ℃

名称	上水温度	回水温度	温差
1# 循环水场	23.6	32.4	8.8
2# 循环水场	26.0	30.5	4.5

循环水场温差仅为 4.5 ℃,远低于 1# 循环水场温差,且低于同类化工企业平均水平(6~8 ℃),温差控制不合理。

1.2 能耗情况

循环水系统能耗主要包括循环水泵电耗和冷却塔风扇电耗。由于 2# 循环水场温差偏小,在相同冷却负荷下,需要更大的循环水量才能满足冷却需求,导致循环水泵运行负荷增加,电耗上升。测试数据显示,1# 循环水场循环水泵单位冷却负荷电耗为 0.08 kW·h/m³,而 2# 循环水场单位冷却负荷电耗为 0.12 kW·h/m³,能耗差异显著。

1.3 水质现状

测试期间对循环水系统水质进行取样检测,并与公司现行控制标准、同类先进企业控制标准进行对比分析,见表 2。

表 2 循环水水质检测及控制标准对标分析表

分析项目	1# 循环水 实测值	2# 循环水 实测值	公司控 制标准	同类企业 控制标准
pH	8.56	8.60	7.0~9.2	7.80~8.80
电导率/(us·cm ⁻¹)	2 140	2 180	<6 000	<4 000
氯化物/(mg·L ⁻¹)	241	221	<500	≤700
石油类/(mg·L ⁻¹)	未检出	未检出	—	—
浊度(NTU)	2.19	3.22	<20	≤15
COD/(mg·L ⁻¹)	10	9	<100	≤40.0
铁/(mg·L ⁻¹)	0.065 0	0.168	<2	≤1
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.060 0	2.58	—	—
总碱度/(mg·L ⁻¹)	303	253	<400	200.00~ 300.00
钙硬度/(mg·L ⁻¹)	811	740	<700	950.00~ 1 250.00
钙硬+碱度/(mg·L ⁻¹)	—	—	—	≤1 550
聚马来酸/(mg·L ⁻¹)	5.19	4.36	—	—

对比结果显示,该公司循环水水质控制标准整体低于同类企业,其中电导率、浊度、COD、铁等指标控制范围宽松,钙硬度控制标准偏低,导致循环水系统结垢、腐蚀风险增加,影响系统运行效率和设备使用寿命。

1.4 用水效率现状

根据水平衡测试数据,该公司主要用水效率指标为:重复利用率 98.2%,间接冷却水循环率

98.3%(1# 水场 98.0%、2# 水场 98.7%),废水回用率 45.7%,新鲜水补充量 8 357.1 m³/d(公共供水 6 322.1 m³/d+蒸汽 2 035.0 m³/d)。由于 2# 循环水场温差偏小、水质标准偏低,导致新鲜水补充量和运行成本偏高。

2 存在的问题及原因

2.1 温差控制不合理

2# 循环水场供回水温差仅为 4.5 ℃,远低于设计合理范围(6~8 ℃),与 1# 循环水场(8.8 ℃)相比差距显著。在相同冷却负荷下,温差偏小导致循环水量偏大,增加了循环水泵和冷却塔的运行负荷,造成能源浪费。分析其原因:一是生产装置运行负荷不均衡,因冷却需求波动较大,为保障设备安全,适当提高了循环水流量,降低了温差;二是冷却塔运行参数调节不当,未能根据环境温度和冷却负荷进行动态调节,导致冷却效率不足;三是换热设备结垢影响传热效率,部分换热设备内部出现轻微结垢现象,影响传热效率。

2.2 水质控制标准偏低

1)结垢风险:钙硬度控制标准偏低(<700 mg/L),且未明确钙硬+碱度控制指标,循环水在高温运行时易结垢堵塞换热设备管道,降低传热效率;2)腐蚀风险:铁含量控制标准宽松(<2 mg/L),且氨氮含量偏高(2# 循环水场 2.58 mg/L),易导致金属设备发生腐蚀;3)微生物滋生:COD 控制标准偏高(<100 mg/L),易形成生物黏泥,影响循环水系统正常运行。分析其原因:一是对水质管理重视程度不足,未充分认识到水质提升对系统效率和设备寿命的重要影响;二是水质监测频次不足,难以实时掌握水质变化情况,无法及时调整处理措施;三是水处理药剂选型和投加不合理,导致水质控制效果不佳。

2.3 用水效率有待提升

测试数据显示,该公司单位产品取水量为 7.32 m³/t,与行业先进水平相比存在一定差距。分析其原因:一是循环水系统优化不足,温差和水质问题导致系统运行效率偏低,新鲜水补充量增加;二是废水回用深度不够,未充分挖掘废水回用潜力,未实现废水的梯级利用;三是用水计量和考核体系不完善,针对循环水系统各环节的用水考核指标不够细化,未形成有效的激励约束机制。

3 优化方案

3.1 温差优化方案

一是确定合理温差范围。将 2# 循环水场合理温差范围定为 6~7 ℃,对应的上水温度控制在 26~28 ℃,回水温度控制在 32~35 ℃。二是优化冷却塔运行参数。在 2# 循环水场冷却塔安装变频调速装置并定期去除污垢和杂物,当环境温度>30 ℃或回水温度>35 ℃时,提高转速增强冷却效果;当环境温度≤20 ℃或回水温度<32 ℃时,降低转速减少能耗,提高冷却效率。三是优化循环水泵运行。对 2# 循环水场循环水泵进行变频改造,根据生产装置运行负荷合理调配水泵运行数量,根据循环水流量和压力需求动态调节泵的转速。四是清洗换热设备。建议每年进行 1~2 次全面清洗,对于结垢严重的设备,增加清洗频次。

3.2 水质提升方案

一是修订水质控制标准。参考同类先进企业经验,结合该公司生产工艺特点和水质现状,修订循环水水质控制标准,见表 3。二是优化水处理药剂方案。选用“阻垢剂+缓蚀剂+杀菌剂”复合型药剂,阻垢剂采用聚羧酸类,缓蚀剂采用唑类,杀菌剂采用氧化性与非氧化性交替使用;建立药剂投加量动态调整模型,根据水质和运行参数实时调整,避免浪费。三是加强水质监测与管控。将 pH、电导率等关键指标监测频次由每周 1 次提高至每天 1 次,总碱度等指标每 3 d 监测 1 次;建立水质预警机制和超标处理预案,及时处置异常情况;加强补水水质控制,对回用水增加深度处理环节,降低电导率和浊度。

表 3 修订后的循环水水质控制标准

分析项目	控制标准	备注
pH	7.8~8.8	维持水质稳定,减少腐蚀和结垢
电导率/(us·cm ⁻¹)	<4 500	降低结垢和腐蚀风险
氯化物/(mg·L ⁻¹)	<500	保持原有标准
浊度(NTU)	≤15	提高水质清洁度
COD/(mg·L ⁻¹)	≤60	抑制微生物滋生
铁/(mg·L ⁻¹)	≤1.5	减少腐蚀产物积累
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤1.0	降低腐蚀风险
总碱度/(mg·L ⁻¹)	250~350	控制结垢倾向
钙硬度/(mg·L ⁻¹)	800~1 000	提高钙硬度,降低结垢风险
钙硬+碱度/(mg·L ⁻¹)	≤1 400	避免过度结垢
聚马来酸/(mg·L ⁻¹)	4.0~6.0	保证阻垢效果

3.3 工艺优化与设备改造方案

一是优化循环水补水方案。提高回用水利用率,将循环水排水、反渗透浓水等废水进行深度处理后回用于循环水系统;将各生产装置产生的冷凝水进行收集和处理后,作为循环水系统补充水;启用雨水收集系统,作为循环水系统补充水或用于厂区降尘和绿化。二是改造循环水管道系统。优化管道布局,对 2# 循环水场部分管径偏小的管道进行改造并进行保温处理。三是安装在线监测与自动控制系统。在循环水系统关键节点安装 pH、电导率、浊度、流量、温度等在线监测设备并与药剂投加系统、循环水泵、冷却塔风扇等设备联动,提高系统运行的自动化水平和稳定性。

3.4 管理强化方案

一是完善用水管理制度。明确循环水系统运行管理职责、操作规程、水质控制标准、设备维护要求等内容,将循环水系统新鲜水补充量、重复利用率、单位产品取水量等指标纳入各部门考核体系,充分调动员工节水积极性。二是加强人员培训提高业务能力。定期组织循环水系统操作人员、维护人员和管理人员参加专业技能培训,开展节水意识教育,提高人员专业素质和对循环水系统优化重要性的认识。三是定期开展系统评估与优化。每半年对循环水系统运行情况进行一次全面评估,分析存在的问题和优化潜力;根据评估结果和生产装置运行情况,及时调整和完善优化方案。

4 效益预测

4.1 节水效益

实施优化方案后,2# 水场循环水量可减少 10%~15%,新鲜水补充量减少 800~1 000 m³/d;循环水排污量减少 20%~30%,年减少排污 2 万~3 万 m³;结合雨水回用,年可减少新鲜水取用量 15 万~20 万 m³。间接冷却水循环率提升至 98.5%以上,废水回用率提升至 55%~60%。

4.2 节能效益

2# 水场循环水泵单位冷却负荷电耗降至 0.09 kW·h/m³,年节约电费 80 万~100 万元;冷却塔变频改造年节约电费 20 万~30 万元;换热设备效率提升可降低生产装置能耗,年节约标准煤 500~800 t。

4.3 经济效益

年节约水费 40 万~50 万元、电费 100 万~130 万元、设备维护费用 30 万~50 万元,药剂费用增加 5 万~10 万元,综合测算年经济效益 160 万~220 万元。

5 结 语

基于水平衡测试数据,分析得出公司循环水系统存在 2[#] 水场温差偏小、水质标准偏低、用水效率不足等问题。通过温差优化、水质提升、工艺改造和管理强化等措施,可将温差提升至合理范

围,提高系统运行效率,效益显著。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 水平衡测试通则:GB/T12452—2022[S]. 北京:中国标准出版社,2022.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 用水单位水计量器具配备和管理通则:GB/T24789—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [3] 张艳红.化工企业循环水水质控制技术研究[J].水处理技术,2021,47(3):135-138.
- [4] 刘方,王强.循环水系统变频改造节能效果分析[J].节能,2022,41(2):102-104.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第 16 页)度、经纬度、建设年份等关键字段。市级按季度抽查,对数据不实的区(县)予以通报并扣减年度考核分。

2)建设市级堤防“一张图”信息平台。集成 GIS 地图、工程档案、实时监测数据(水位、沉降)、巡查轨迹、视频监控等,面向区(县)、镇级河长、巡查人员开放分级权限。巡查员可通过手机 APP 上报问题(附照片、定位),系统自动派单给责任单位,并限时办结、闭环销号。

2.3 标准化与物业化运维机制

1)出台《淄博市堤防标准化管理操作手册》。在省级标准基础上,结合淄博市实际,细化堤防巡查频次、内容、记录格式等,明确除草、填补雨淋沟、护坡修复等日常维护的具体标准和操作流程。

2)试点“物业化”管护。在桓台县(堤防相对集中、问题典型)率先试点,通过政府购买服务,引入专业水利养护公司,负责日常巡查、保洁、除草、小型修复。市水利局制定考核办法,按季度对物业公司打分,与管护经费挂钩。

2.4 智慧化协同监管与应急系统

1)构建“空天地人机”立体感知网。在重要险工段、穿堤建筑物处,布设视频监控、沉降位移监测站;推广使用无人机进行周期性航拍巡检;为基层巡查员配备定位和巡检 APP,实现巡查轨迹和问题上报的实时化。

2)开发智能预警模型。基于历史水文数据、实时监测数据和堤防工程状态数据,研发洪水风险模拟与堤防安全预警模型,实现从“经验防洪”向“预报、预警、预演、预案”的智慧防洪转变。

3)完善“平战结合”应急联动机制。以市级平台为枢纽,整合气象、水文、应急部门的预警信息。针对每一处高风险点,制定数字化应急预案,明确预警阈值、响应流程、抢险队伍、物资调度路线,并定期开展线上推演和实地演练。

2.5 长效资金与考核保障机制

1)将堤防管理纳入河长制考核。堤防达标率、数据更新及时率、隐患整改率、巡查到位率等指标纳入市对区(县)的河长制年度考核,权重不低于 15%。对因管理不到位导致险情扩大的,严肃问责。

2)建立“以奖代补”激励机制。每年评选 2~3 个堤防管理优秀区(县)或段,给予资金奖励,并通报表扬。对创新做法(如物业化、智慧监测)取得实效的,予以额外加分。

3 结 语

淄博市堤防安全基本面良好,长度达标率达 92.2%,但存在结构性短板突出、局部退化普遍、信息更新滞后、管理盲区尚存等典型问题。下一步,淄博市应以此次全面评估为新起点,将长效管理机制从“蓝图”变为“施工图”和“实景图”。未来可进一步聚焦于智慧预警模型的算法优化、管护绩效的科学考核评价体系,以及堤防生态功能与安全功能协同提升等方向,持续推动区域水安全保障能力迈向更高水平。

参考文献

- [1] 王振龙,李怀恩,刘昌明.堤防工程安全运行与管理研究[J].水资源保护,2019,35(4):12-18.

(责任编辑 崔春梅)