

浅谈循环水系统节能降耗

成 浩

(山西兰花科技创业股份有限公司新材料分公司)

摘 要：循环水系统凉水塔采用水轮机驱动风机,替代传统电机减速机驱动方案,从源头削减驱动能耗;同时,在循环水泵过流部件表面增设超滑陶瓷涂层,在不降低系统运行负荷、保障工艺需求的前提下,有效降低水泵运行功率,实现循环水系统整体能耗的显著下降。

关键词：水轮机;超滑涂层;陶瓷涂层;循环水泵节能

1 前言

兰花科创新材料分公司循环水系统于2015年建成投运,包括6套4900m³/h凉水塔、5台8750m³/h循环水泵、循环水加药系统及循环水辅助系统。循环水系统分别于2018年进行水轮机改造,2022年进行循环水泵超滑陶瓷涂层改造,循环水系统能耗大幅度降低。

2 原循环水系统现状

循环水系统自2015年建成投运以来,运行稳定,供水温度26~30℃,压力0.5Mpa,流量26000~31000m³/h,循环水系统的主要用能设施在凉水塔风

机和循环水泵两个区域,能耗约5224万KW,改造前循环水能耗明细见表1。

表1 改造前循环水能耗明细表

区域	项目	能耗(kW)	备注
凉水塔风机能耗	装机功率	185kW	本表仅统计凉水塔风机和循环水泵运行数据
	风机运行数量	6台	
	年均运行功率	125kW	
	年运行能耗	6000000kW	
循环水泵能耗	装机功率	1600kW	
	水泵运行数量	4台	
	年均运行功率	1445kW	
	年运行能耗	46240000kW	
合计	年运行能耗	52240000kW	

3 改造内容

3.1 凉水塔水轮机改造

新材料分公司北高南低,循环水系统在南区,循环水自北区流回循环水系统,回水压力均值为0.25Mpa,具有较高的势能。

3.1.1 轴功率匹配校核

冷却塔节能改造只有在“水轮机输出轴功率 \geq 原电机输出轴功率”的基础条件下,才具备实施成功改造的技术条件。

3.1.2 现风机轴功率计算

$$W_{\text{电}} = (W \times I_2 \times \eta) / I_1 = (185 \times 185 \times 0.83) / 332 = 85.6(\text{kW})$$

式中: I_1 —风机电机额定电流(332A)

I_2 —风机电机运行电流(185A)

W —电机额定功率(185kW)

η —传动装置效率($\eta_{\text{电机}} \times \eta_{\text{减速机}} \times \eta_{\text{传动轴}} = 0.94 \times 0.9 \times 0.98 = 0.83$)

3.1.3 按现场风机匹配水轮机输出轴功率,则水轮机做功压力计算:

$$H = W_{\text{电}} / (9.81 \times Q \times \eta) = 85.6 / (9.81 \times 1.06 \times 0.92) = 8.9(\text{m})$$

式中: g —水容重($9.81 \times 10^3 \text{kg/m}^3$)

Q —水轮机进水量($3800 \text{m}^3/\text{h} = 1.06 \text{m}^3/\text{s}$)

η —水轮机效率(0.92)

依据以上计算,水轮机转速达到额定转速所需的做功压力为8.9m。

3.1.4 水轮机入水压力(表压)计算:

H = 水轮机做功压力 - 水轮机出水口至布水器位差 + 布水压力 = $8.9 - 4 + 1.5 = 6.4\text{m}$;

3.1.5 改造后系统运行状况分析:

改造后水轮机达到额定转速所需的回水压力(以回水母管为参考点):

该系统塔顶至回水母管位差 $H_1 = 14\text{m} +$

$1.8\text{m} = 15.8\text{m}$;

水轮机进水管中心离塔顶高度 $H_2 = 1.0\text{m}$;

水轮机入水压力 $H_3 = 6.4\text{m}$;

故改造后以回水母管为参考点的回水压力计算如下:

$$H_1 + H_2 + H_3 = 15.8 + 1.0 + 6.4 = 23.2\text{m}$$

压力点分布图见图1:

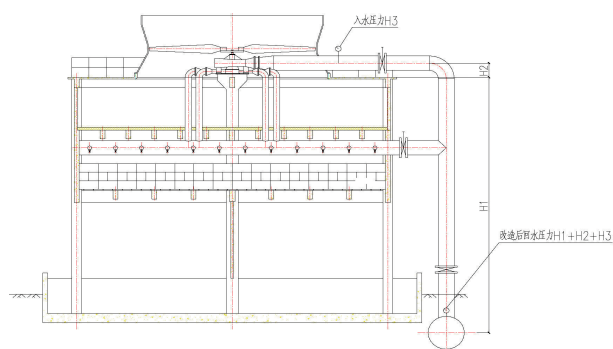


图1 改造后回水压力点分布图

3.1.6 按现场风机运行工况条件分析改造可行性

冷却塔改造后水轮机达到风机额定转速所需回水压力(以回水母管为参考点)为23.2m,现系统回水压力为25m,现系统回水压力远大于水轮机满负荷运行所需的回水压力,故现系统节能改造是完全可行的。

另现系统回水压力大于水轮机运行所需的回水压力,改造后如保持现风机运行,则上塔阀门不能全开,让阀门闭压有3.8m的余量,这样才能保证回水压力为25m,也达到工艺回水压力要求^[1],使改造前后各工艺段参数运行一致。

3.1.7 结论

经过对循环水系统核算,利用水轮机代替电机驱动风机做功,理论计算完全符合改造条件。

通过水轮机代替电机驱动风机技术改造后,风机负荷完全满足工艺使用要求,六台电机全部取消,每年可节省600万kW动力电消耗。

3.2 循环水泵陶瓷涂层改造

3.2.1 超滑陶瓷涂层原理

超滑陶瓷涂层的核心原理是通过材料组分设计、微观结构调控和表面能优化,构建兼具陶瓷材料高硬度、耐磨损特性与超低摩擦系数的功能表面,其“超滑”效果本质是“物理结构润滑+化学表面改性”的协同作用。

3.2.2 超滑陶瓷涂层作用

超滑陶瓷涂层原使用场景为轮船、军舰外部涂装,减少与海水的摩擦力,提高燃油经济性和航速。后经技术下放,该涂层可用于大型风机、水泵等设备内部涂装,降低设备与物料的摩擦系数,同时降低运行功率。经过实验论证,即使是不锈钢材质水泵进行超滑陶瓷涂层改造,改造前后仍有6%的节能空间^[2]。

3.2.3 循环水泵陶瓷涂层节能改造

循环水泵自2016年投运,循环水泵运行正常,经与技术方实际核查,初步估算节能量约为6%~12%,循环水泵平均运行功率1445KW,按平均节电率9%计算,单台循环水泵可节省动力电144.5kW。

经过循环水泵陶瓷涂层节能改造,在循环水系统正常运行工况下,节选与改造前同一系统负荷,进行节点率计算,节电率为10.38%,循环水泵投入运行后,电耗对比情况见表2。

3.2.4 结论

经过对循环水泵进行超滑陶瓷涂层改造^[3],在不改变工艺条件的基础上,循环水泵可降低10.38%

动力电消耗,通过核算每年可节省480万kW动力电。

4 运行效果

循环水系统经水轮机节能改造与超滑陶瓷涂层节能改造后,实现了“稳定运行”与“节能降耗”的双重目标:

满足工艺要求:改造后系统供水压力、流量、温度等核心参数精准匹配生产工艺标准,波动幅度控制在允许范围内,保障生产连续稳定推进;

运行状态可靠:设备启停响应迅速,运行过程中无异常振动、泄漏等问题,关键部件(水泵叶轮、管道内壁等)因超滑陶瓷涂层的耐磨损、低摩擦特性,运行阻力显著降低,系统整体稳定性大幅提升;

能耗显著下降:水轮机的能量回收功能与超滑陶瓷涂层的减阻特性形成协同效应,有效减少系统运行能耗损耗,为后续经济效益提升奠定坚实基础。

5 经济效益

本次改造在保障生产工艺连续稳定运行的前提下,取得了显著的直接经济效益与附加效益:

5.1 直接收益

改造后每年可节省动力电1080万kWh;按工

表2 循环水泵改造前后电耗对比表

项目	改造前参数	改造后参数	每小时节电量kW/h	实际单台节电率(%)
循环水平均流量	27728.75m ³ /h	27881.51m ³ /h		
循环水上水总管压力	0.502Mpa	0.479Mpa		
循环水回水总管压力	0.245Mpa	0.24Mpa		
1#泵小时耗电量	1419.9kW/h	1300.54kW/h	119.36	8.41
2#泵小时耗电量	1451.3kW/h	1267.18kW/h	184.12	12.69
3#泵小时耗电量	1472.83kW/h	1324.19kW/h	148.64	10.09
4#泵小时耗电量	1422.77kW/h	1275.84kW/h	146.93	10.33
5#泵小时耗电量	1447.1kW/h	—		—
平均节电率				10.38

业电费 0.5 元 /kWh 计算,每年可直接节省电费支出 540 万元;

5.2 附加效益

超滑陶瓷涂层的耐磨损、耐腐蚀特性,大幅提升了水泵叶轮、管道等关键部件的使用寿命,减少了备件更换成本及停机维护时间,间接提升了生产运营效率,进一步放大了改造的综合效益。

结束语

综上所述,循环水系统通过水轮机节能改造与超滑陶瓷涂层节能改造,在完全满足生产工艺要求的基础上,实现了运行稳定性与节能效益的双重提升。此次改造既践行了节能降耗的绿色发展理念,

又为企业创造了可观的经济价值,为同类工业系统的节能升级提供了切实可行的参考范例,具有良好的推广意义与应用前景。

参考文献:

[1]《石化企业循环水系统节能优化研究》:中国石油大学(北京)2024 年的学位论文,研究了石化企业循环水系统的节能优化。

[2]《化工企业循环水系统节水节能技术改造的实践研究》:发表于《化工设计通讯》2023 年第 8 期,介绍了化工企业循环水系统的节水节能改造实践。

[3]《工业循环冷却水系统水质提升实践》:载于《石油天然气学报》2020 年第 4 期,阐述了工业循环冷却水系统水质提升的方法与实践。

(上接第 46 页)

指标,加氢反应需加入大量新鲜催化剂,导致加氢反应器内催化剂浓度波动较大,造成己内酰胺成品指标中 PM 值波动较大(19000S-26000S 范围内波动);该系统投用后,解决了上述问题,己内酰胺成品指标 PM 值稳定控制在 29000S(己内酰胺优等品指标 PM 值 \geq 20000S)。

(5)解决了催化剂流失问题,延长后系统生产运行周期

当催化剂大量流失至后系统时,对己内酰胺高速纺指标中的水不溶物、杂质等指标会造成影响,此时需停车对流失至系统储罐内的催化剂进行彻底清理,保证己内酰胺达到高速纺指标(高速纺指标优于己内酰胺国标中优等品指标)。

(6)大幅减少废雷尼镍催化剂危废量的产生

随着雷尼镍催化剂使用量大幅减少,废雷尼镍催化剂的产生量也跟着也大幅减少,净化现场环境

的同时又减少了企业危废处理费用,使加氢反应系统运行更加安全可靠。

4 结论

催化剂强制循环系统在加氢反应装置的开发应用,不仅精准满足工艺基础要求,更实现三大核心突破:

(1)保障系统长周期稳定运行,提升生产连续性;

(2)大幅降低催化剂消耗,直接压缩原料成本;

(3)显著减少职工劳动量,优化作业效率与劳动环境。

该技术改造为企业创造年均近 500 万元直接经济效益,同时深度契合绿色低碳发展理念,实现了经济效益与社会效益的双重提升,应用价值显著。