

基于冷却塔热力性能强化的制酸循环冷却水系统改造

刘明, 杨国年, 李昱龙

(广西金川有色金属有限公司, 广西防城港 538002)

[摘要] 本文介绍了160万t/a制酸生产线配套的循环冷却水系统的节能改造设计与实践,通过数据分析和现场调研确定了换热器循环水温度较高的主要原因,并定位了系统能耗浪费的主要环节。在此基础上通过更换填料等方式提升了冷却塔的热力性能,同时结合局部增压等供水手段降低了系统对于供水泵站流量和扬程的需求,最终取得了年节电340万度、节水50万t的显著效果。

[关键词] 循环水; 换热器; 冷却塔; 节电; 节水

[中图分类号] TQ11 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2023)03-0069-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.03.013

0 引言

循环冷却水系统属于冶金、化工和石化等诸多过程工业门类的公用工程,用于向工艺末端供给温度较低的冷却水冷却设备或物料,而吸热后的冷却水送至冷却塔再冷却,并通过泵站输送循环使用。循环冷却水系统运行过程中的水泵和风机等动力设备消耗了大量的能量,而且冷却水通过冷却塔冷却散热的过程中也存在一定损失,故针对循环冷却水的节电和节水改造具有十分重要的意义,进而也受到了人们的广泛关注^[1]。

工业循环冷却水系统的节能改造可以从泵站、冷却塔、管网和工艺末端换热器等方面展开^[2-4],相关的文献报道较多,但节能手段比较单一、节电和节水效果比较有限。张翻辉^[5-6]和张智勇^[7]等人提出了一种指导工业循环水系统节能的MOAR理论,认为其节能分为管理系统运行、优化工艺需求、调整能量供给和提升元件等效等四条基本途径。在该理论指导下,新浦化学(泰兴)有限公司孙健红^[8]开展了

聚乙烯项目循环冷却水系统的节能改造和能效管理,取得了30%的系统节电率。

本文参照MOAR节能理论,针对广西金川有色金属有限公司化工分厂制酸循环水系统开展了系统节能诊断与设计改造研究,并介绍了节能改造实践经验以及节电节水效果。本文的工作对制酸循环水系统的节能改造工作具有一定的借鉴意义。

1 循环水系统节能诊断

1.1 工艺与动力设备介绍

广西金川有色金属有限公司化工分厂160万t/a制酸生产线配套有循环冷却水系统用于硫酸冷却。循环冷却水系统的工艺如图1所示:冷却塔将高温循环冷却水冷却后汇入水池,泵站从水池抽水并通过管网送入制酸工艺末端的换热器与硫酸进行热交换,温度升高后的循环水再返回冷却塔冷却和循环使用。其中,工艺末端主要由稀酸板式换热器、干燥酸冷却器、二吸酸冷却器、成品酸冷却器、贫液冷却塔板式换热器、再生气冷却器板式换热器和冷冻机组用换热器等换热设备组成。

图1中循环冷却水系统的主要动力消耗包括水泵和冷却塔风机,同时冷却塔运行过程中因飞溅和蒸发因素存在一定的水耗。水泵共计四台,两用两备,长沙天鹅工业泵股份有限公司生产的800HLBS-45立式长轴泵,其基本参数如表1所示;水泵配套电机由上海电气集团上海电机厂有限公司生产,基本参数如表2所示;冷却塔属于挤拉玻璃钢逆流式

[收稿日期] 2023-01-26

[第一作者] 刘明(1965—),男,安徽合肥人,电气高级工程师,大学学历,主要从事设备的运行维护、技术改造及工程项目管理等工作。

[引用格式] 刘明,杨国年,李昱龙.基于冷却塔热力性能强化的制酸循环冷却水系统改造[J].有色设备,2023,37(3):69-73.

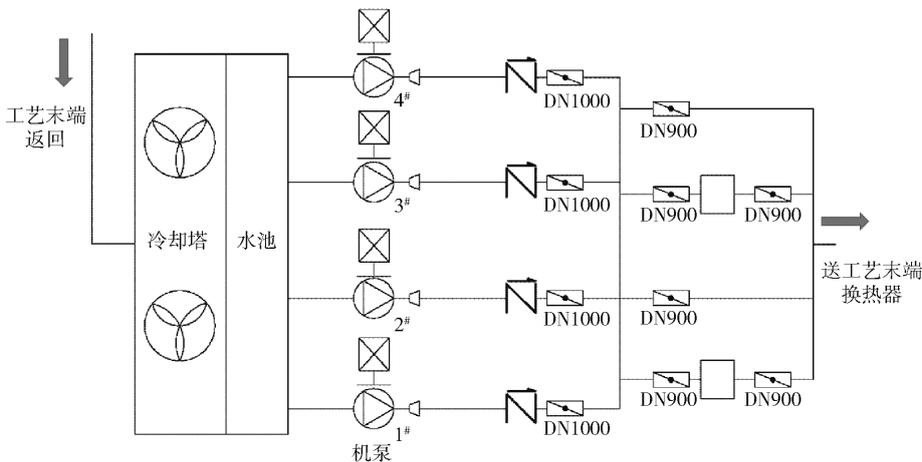


图 1 制酸循环冷却水系统工艺图

工业冷却塔, 型号为 F460A63E4.002A, 共计两台, 基本参数如表 3 所示。

表 1 水泵基本参数表

参数名称	数值
额定流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	4 000
额定扬程/m	45
额定效率/%	75
额定转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	590
最高输送水温/ $^{\circ}\text{C}$	80
配套电机功率/kW	710

表 2 水泵配套电机基本参数表

参数名称	数值
额定电压/V	10 000
额定电流/A	60.3
额定功率/kW	710
功率因素	$\cos\phi 0.731$
转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	591
工作制	S1

表 3 冷却塔基本参数表

参数名称	数值
总循环水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	9 000
设计进水温度/ $^{\circ}\text{C}$	42
设计出水温度/ $^{\circ}\text{C}$	32
参考湿球温度/ $^{\circ}\text{C}$	28.3
高程/m	6.83
单风机轴功率/kW	179.2
单风机设计风量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	840
漂水损失率/%	$< 0.000 5$
设计蒸发损失/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	133.6
最高水量保证率/%	105

1.2 末端换热器运行诊断

MOAR 系统节能理论认为系统节能改造应从优化末端工艺需求出发^[9]。2017 年 9 月下旬, 对工艺末端各用水单元进行系统检测, 发现以下三个方面的突出问题。

1) 稀酸板式换热器(设计流量 $2\ 655\ \text{m}^3/\text{h}$, 实测流量 $2\ 150\ \text{m}^3/\text{h}$)和成品酸板式换热器(设计流量 $413\ \text{m}^3/\text{h}$, 实测流量 $125\ \text{m}^3/\text{h}$ 和 $110\ \text{m}^3/\text{h}$)的运行流量均小于设计流量。

2) 最终酸冷却器、干燥酸冷却器及成品酸冷却器设计总流量约为 $5\ 638\ \text{m}^3/\text{h}$, 实际运行流量约为 $6\ 850\ \text{m}^3/\text{h}$, 运行水量超过设计水量约 20%, 运行水量分布不平衡, 严重偏离了设计值。

3) 稀酸板式换热器、最终酸冷却器、干燥酸冷却器及成品酸冷却器、贫液冷却塔板式换热器、再生气冷却器板式换热器各用水点进口水温均超过设计水温, 给生产稳定性带来一定的隐患。

经初步分析, 导致上述现象的主要因素大致分为以下三个方面。

1) 冷却塔长期在酸性恶劣环境下服役, 热力学性能下降。

2) 由于循环水并没有经过加药和净化处理, 且过滤器和排污设备的维护不到位, 长期以来水质较差, 造成管道和换热器的结垢与堵塞, 进而导致换热性能下降。

3) 再生气冷却器与贫液冷却器为整个制酸生产线的最高用水点, 虽然其用水量仅为 $225\ \text{m}^3/\text{h}$, 但为满足其供水压力需求而提高了整个输水管网的母管供水压力, 造成配水失衡和能耗浪费。

为了尽量降低对日常生产任务的影响,主要从循环冷却水系统进行改造,重点改造冷却塔和泵站以满足工艺末端输水流量和进水温度要求,同时尽可能地实现电耗和水耗的降低。

1.3 冷却塔热力性能诊断

根据 MOAR 系统节能理论提升元件能效的系统节能原则^[9],对冷却塔热力性能进行分析。记录冷却塔 2017 年 4 月 5 日~6 月 25 日的进出水温度,如图 2 所示。图中可发现整体呈现上升趋势,而在 5 月则尤为明显。6 月 5 日进出水温度达到最高值,分别为 46.1 °C 和 41.4 °C。进出水温差整体保持在 3~6 °C 之间,最低温差发生在 6 月 15 日,仅为 2.6 °C。对照表 3 所列冷却塔的出厂性能参数,可以判断出冷却塔的热力性能远远低于出厂设计值。



图 2 冷却塔进出水温度记录值

对冷却塔进行现场实测和调研,发现了以下三个方面的问题。

1) 冷却塔实测风量 610 m³/s, 比设计风量值 840 m³/s 减少 27% 以上,其原因在于风机的配套电机功率偏低,且风机长期使用过程中因叶片和传动部件老化带来了效率下降问题。

2) 循环水长期没有净化和过滤处理,导致循环水水质较差,造成冷却塔内填料和喷头的堵塞,从而影响冷却塔内风的正常流动和换热效果。

3) 冷却塔内部布水喷头布置不合理,喷头距离填料太近导致喷淋水无法充分分散,喷头、补水管、收水器等构件损坏和老化严重,造成明显的漏水、布水分布不均匀、飘水损失和蒸发损失较大等不良后果。

1.4 泵站能效诊断

除了冷却塔外,还需要对泵站进行实际运行能效的检测和诊断。检测过程 1[#]和 3[#]水泵开机运行,流经单泵的流量约 5 000 m³/h,1[#]和 3[#]水泵的实际

运行效率分别为 67% 和 63.5%。对照表 1 的水泵设计参数可知,水泵的实际流量值比额定流量高 25%,大大偏离额定区域,处于大流量运行点,这同时导致水泵的实际运行效率比额定效率低 8 到 12 个百分点,电耗浪费十分严重。

2 节能改造方案设计

根据能效诊断结果开始节能改造方案的设计,主要思路是对现有冷却塔进行改造,更换高效调料,提高冷却塔的热力性能,降低工艺末端换热器的进口水温;在此基础上再进行流量优化,即根据 MOAR 理论调整能量供给的原则^[9],更换水泵并进行适当的管网改造。

2.1 冷却塔热力性能强化措施

冷却塔自身的热力性能由其冷却数 N 决定,冷却数 N 可采用辛普森近似积分法求得,见式(1)。

$$N = \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w dt}{h_t'' - h_1} \quad (1)$$

当冷却塔进出口水温差低于 15 °C 时,可将式(1)近似展开并化简成式(2)。

$$N = \frac{C_w \Delta t}{6} \left(\frac{1}{h_2'' - h_1} + \frac{4}{h_m'' - h_m} + \frac{1}{h_1'' - h_2} \right) \quad (2)$$

式中: C_w —水的比热,取 4.186 kJ/kg·°C; Δt —水温差,°C; h_2'' 、 h_m'' 和 h_1'' —空气温度分别为出塔水温、平均水温和进塔水温时的饱和空气比焓,kJ/kg; h_1 、 h_m 和 h_2 —分别表示进塔空气、平均状态空气及出塔空气的比焓,kJ/kg。

在设计参数下,查阅相关空气物性表^[10],计算得到冷却数 N 为 1.75。为了使得填料特性数大致等于冷却数,通过迭代计算确定气水比 $\lambda = 0.845$ 为该冷却塔的合理设计值。气水比 λ 的定义见式(3)。

$$\lambda = \frac{G}{Q} \quad (3)$$

式中: G —进塔空气的质量流量,kg/h; Q —冷却水的质量流量,kg/h。

填料的热力性能用填料特性数 Ω 表示,在气水比 λ 确定的情况下,填料特性数的大小与填料的类型和尺寸有关,见式(4)。

$$\Omega = A \lambda^m \quad (4)$$

式中: A —常数; M —经验指数。

在以上基础上进行填料的设计选型,选择的某

S 型高效填料的 A 值和 m 值分别为 1.69 和 0.54, 在此基础上根据热负荷进行填料的具体尺寸设计和计算, 具体计算过程可参见文献[9], 最终计算得到的填料参数如表 4 所示。

表 4 填料参数计算结果表

参数名称	参数值
填料体积/ m^3	430
填料长度/m	19.26
填料宽度/m	18.3
调料高度/m	1.22
填料过风截面积/ m^2	380
填料体积富余量/%	8.5
容积散质系数/ $(\text{kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1})$	19 867

按照表 4 的计算结果全部更换了冷却塔调料, 同时采取了以下改进措施。

1) 在原布水系统上方增加一层支撑梁, 将布水喷头的高度抬高 600 mm, 增加扩大布水喷头与填料之间的距离, 进而提高循环水的喷洒面积和水在空气中的滞留时间。

2) 更换布水支管和喷头, 提高布水均匀性。

3) 更换收水器, 降低飘水损失。

4) 对塔顶风机的减速器和传动轴进行维护保养, 调整风机叶片角度, 提高了风机的进风量和运行效率。

经测试, 改造后的冷却塔完全达到了表 3 的系统设计技术指标。

2.2 管网改造

针对循环水系统的再生气冷却器与贫液冷却器这一最高压力点, 考虑到用水量较低(仅 $225 \text{ m}^3/\text{h}$), 为了避免能耗浪费, 在再生气冷却器与贫液冷却器所属配水支管中加装局部增压泵进行分区供水, 进而降低整个整个输水管网的母管供水压力, 并改善了配水失衡性。与此同时, 根据 MOAR 系统节能理论管理系统运行的原则^[9], 加强对管网的日常监测和管理, 建立关键节点流量和压力的上下限控制制度并杜绝漏水现象, 有效地实现了管网高效和稳定运行。

2.3 主供泵站改造

由于冷却塔的热力性能提高且母管所需供水压力的降低, 系统对主供泵站的流量和扬程需求同时减小, 故在精确匹配管网运行点的基础上更换了原主供

泵站的 1[#]和 3[#]泵, 而将原来的 2[#]和 4[#]泵维持不变作为备用泵。更换后的水泵型号为 LCHC32/700-0-8, 基本参数如表 5 所示。

表 5 更换后的水泵基本参数表

参数名称	参数值
额定流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	4 500
额定扬程/m	28
额定效率/%	81
额定转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	740
最高输送水温/ $^{\circ}\text{C}$	80
配套电机功率/kW	500

与表 1 中的原水泵相比, 更换后的水泵额定流量增加了 $500 \text{ m}^3/\text{h}$, 能够更好地满足循环水系统大流量供水的实际需求; 同时额定效率提高了 6 个百分点, 配套电机功率从 710 kW 大幅度降至 500 kW, 功耗得到了显著下降。

3 结语

本项目在 2018 年 4 月完成节能改造, 至今已经无故障运行了五年多, 期间运行流量和输水压力稳定, 冷却塔出水温度始终控制在 $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内, 较好地保障了制酸工序的安全、稳定和高效生产。同时, 取得了较好的循环水系统节能效益: 年均节电超过 340 万度, 系统综合节电率约 30%; 冷却塔飘水和管网漏水现象得到有效抑制, 年均节水超过 50 万 t。以上改造实践证明本文提出的改造方案是可行的, 对制酸工业循环水系统节能工作具有参考价值。

[参考文献]

- [1] 汪家铭. 工业循环水系统节能优化技术及应用[J]. 合成技术及应用, 2014, 29(4): 52-54.
- [2] 胡俊. 循环水冷却塔节能改造必要性[J]. 铜业工程, 2014(4): 83-86.
- [3] 孙肖润, 王晓强, 孙攀. 水轮机在循环水系统中的应用[J]. 化工管理, 2014(10): 109.
- [4] 唐长忠, 汤中彩, 沈新荣. 工业循环水 WECS 改造技术的应用探讨[J]. 工业仪表与自动化装置, 2013(2): 58-61.
- [5] 张翻辉, 邓胜祥, 瞿英杰. MOAR 系统节能理论及在石油石化行业中的应用[J]. 能源与节能, 2015(8): 85-86+101.
- [6] 张翻辉, 邓胜祥, 瞿英杰. MOAR 系统节能理论 MOAR 理论在工业循环水系统节能中的应用[J]. 资源节约与

环保, 2015(10): 36-38.

(34): 252-253.

[7] 张智勇. 一种工业循环水系统的优化方法. 中国: 201210108862.7[P]. 2012-04-13.

[9] 瞿英杰, 张翻辉, 张智勇, 等. MOAR 系统节能理论与技术应用[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2016.

[8] 孙健红, 张翻辉. 基于换热器需求侧管理的循环水系统节能实践[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2015, 5

[10] 沈维道, 童钧耕. 工程热力学(第4版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.

Energy Saving Reconstruction of Recirculating Cooling Water System for Acid-making Based on Thermal Performance Enhancement of Cooling Tower

LIU Ming, YANG Guo-nian, LI Yu-long

Abstract: This paper introduces the design and practice of energy saving reconstruction of the recirculating cooling system for a 1.6 million t/a acid-making production line. Through data analysis and field research, main causes of the higher temperature water in heat exchangers have been found, and the main points of system energy waste have been located. On this base, the thermal performance enhances after packing replacement, and the need for flow rate and head lift of pumps decreases due to the local pressurization method. Finally, the electricity saving and water saving have achieved 3.4 million kWh and 0.5 million tons per year, respectively.

Key words: Copper matte; dehydration; grinding machine; heat transformation; energy saving ▲

期刊投稿系统上线通知

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况,本刊已开通“腾云”期刊全流程采编系统,投稿网址为 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。

首次投稿的作者请先注册,注册登录后就可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

《有色设备》编辑部