

铜冶炼制酸 SO₂ 风机高压变频调速 节能改造实践

李成学 王立平

(云南锡业股份有限公司铜业分公司, 云南 蒙自 661019)

[摘要] 云锡 10 万 t/a 铜冶炼项目制酸 SO₂ 风机运行方式为工频软启动, 存在效率低、故障率高、能耗损失大等问题。基于异步电机的转速与电源频率的正比关系, 选用高压变频器对制酸 SO₂ 风机进行调速节能改造。改造后, 制酸 SO₂ 风机采用变频调速控制运行, 性能稳定可靠, 年节电量 4 260 000 kW·h, 年创经济效益 150 万元以上, 节能效果显著。

[关键词] 铜冶炼; 烟气制酸; SO₂ 风机; 高压变频器; 调速; 节能改造

[中图分类号] TF811; TQ111.1 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2021)04-0033-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.04.008

Practice of Energy-saving Transformation of HV Frequency Conversion Speed Regulation of SO₂ Fan for Copper Smelting Acid-making

LI Cheng-xue, WANG Li-ping

Abstract: The operation mode of SO₂ fan for acid-making in Yunnan Tin Company 100 000 t/a copper smelting project was of soft start on power frequency, which has some problems such as low efficiency, high failure rate and large energy loss. Based on the direct relationship between the rotation speed and the frequency of power supply of asynchronous motor, high voltage frequency converter was selected to carry out speed regulation and energy-saving transformation of SO₂ fan for acid-making. After transformation, the SO₂ fan for acid-making was controlled by high voltage frequency converter, featured by stable and reliable performance. The annual electricity saving was 4 260 000 kW·h, the annual economic benefit was over 1.5 million CNY, indicating remarkable energy saving effect.

Key words: copper smelting; acid-making with gas; SO₂ fan; high voltage frequency converter; speed regulation; energy-saving transformation

0 前言

云锡 10 万 t/a 铜冶炼项目于 2012 年 3 月建成投产。项目主工艺流程采用领先世界的“顶吹熔炼-

顶吹吹炼-阳极炉精炼-永久不锈钢阴极工艺电解精炼”,其烟气制酸系统采用两转两吸工艺。项目投产后,年产电解铜 10 万 t,硫酸 44 万 t。制酸 SO₂ 风机是整个烟气制酸系统的最关键设备。本文分析了制酸 SO₂ 风机存在的问题,基于变频调速原理对制酸 SO₂ 风机进行了节能改造。

1 制酸 SO₂ 风机改造前存在问题

1.1 硫酸 SO₂ 风机型号及规格

考虑到系统的安全稳定运行以及生产波动的

[收稿日期] 2021-03-04

[作者简介] 李成学(1977—),男,云南富源人,机械工程师,主要从事设备管理工作。

[引用格式] 李成学,王立平.铜冶炼制酸 SO₂ 风机高压变频调速节能改造实践[J].有色冶金节能,2021,37(4):33-36.

需要,烟气制酸系统配置了一台西门子(STE)离心风机,即KK&K风机。该风机为单级压缩,垂直剖分结构,运行方式为工频软启动运行,由恒速电机

通过增速齿轮箱驱动,风量的调节通过前导向叶片的调节(IGV)来实现。制酸SO₂风机型号及规格见表1。

表1 制酸SO₂风机型号及规格

风机型号	进口流量/ Nm ³ ·h ⁻¹	进口压力/ kPa	出口压力/ kPa	全压/ kPa	叶轮转速/ r·min ⁻¹	进气温度/ ℃	增速 齿轮箱 型号	速比	电机 型号	额定 功率/ kW	额定 电压/ kV	额定 电流/ A	额定 转速/ r·min ⁻¹
STC-SO(SFP14)	172 000	72.1	130.1	58	4 350	50~60	ASR400-L-CW	1:2.883 7	AECK-S2	4 750	10	313	1 488

1.2 设计工况

烟气制酸系统接收由铜冶炼熔炼炉、吹炼炉和沉降电炉汇集而来的高浓度SO₂烟气。在风机选型中充分考虑了系统扩产的需要以及经济性和合理性,选择了比适应10万t/a铜规模稍大的风量和风压(放大设计余量约15%)。当铜产量扩大到15万t/a时,风机满负荷运行,完全可以适应烟气条件的变化,转化系统几乎不用做改造,就可以过渡到15万t/a的生产规模。制酸SO₂风机设计工况见表2。

表2 制酸SO₂风机设计工况

工作点	1	2	3
负载/%	100.0	84.3	29.1
进口流量/Nm ³ ·h ⁻¹	172 000	145 000	60 000
进口压力/kPa	72.1	73.1	81.1
出口压力/kPa	130.1	129.1	110.1
全压/kPa	58	56	29
叶轮转速/r·min ⁻¹	4 291	4 291	4 291
进气温度/℃	50~60	50~60	50~60
轴功率/kW	4 314	3 670	1 363
电机额定功率/kW	4 750	4 750	4 750
电机额定转速/r·min ⁻¹	1 488	1 488	1 488

1.3 实际工况

目前,在10万t/a铜规模下,因双顶吹炼铜工艺各种复杂工况下的烟气量变化,烟气制酸系统总烟气量发生波动,双顶吹炼铜工艺实际工况见表3。从表3可以看出,实际生产中,某个时刻可能只开一个炉子(有烟气),或同时开两个炉子(有烟气),也可能是两个炉子都不开(无烟气)。因此双顶吹炼铜工艺为后续烟气制酸系统生产提供的高浓度SO₂烟气是不均衡的。

实际生产运行中,制酸SO₂风机存在以下问题:1)风机效率低,运行偏离最佳工况点;2)启动对电机和电网冲击大,故障率高;3)前导向叶片节流调节能耗损失大;4)烟气制酸系统生产工艺要求每当制酸SO₂风机有较长时间的停机后,再次启动风机,转化器必须要有96~120h的升温时间,才能把温度升高到420℃左右,满足铜冶炼烟气制酸的条件。此时要求的风量较小,风压较低(打开升温副线阀抽气,系统没有铜冶炼烟气)。由此可见,烟气制酸系统生产过程中,存在着较大的节能空间。若采用变频调速的控制方式来调整制酸SO₂风机的转速,则可以根据不同工况下的制酸烟气量和压力,调整风机的转速。

表3 双顶吹炼铜工艺实际工况

转化器升温及每天 运行时间/h·d ⁻¹	熔炼炉(烟气)	沉降电炉(烟气)	吹炼炉(烟气)	烟气压力(全压)/kPa	烟气总流量/Nm ³ ·h ⁻¹
96~120h(启动风机)	无	无	无	17~20	60 000~65 000
6	无	无	有	20~30	65 000~85 000
6	有	有	无	20~30	70 000~110 000
12	有	有	有	40~48	130 000~150 000

2 制酸SO₂风机改造方案

2.1 变频调速原理

异步电机的转速^[1]由式(1)决定。

$$n = \frac{60f}{P}(1 - S) \quad (1)$$

式中: n ——转速,r/min;

f ——电源频率,Hz;

S ——转差率;

p ——电机极对数。

由式(1)可知,转速与电源频率成正比,即改变电源频率就可改变转速。根据这一原理,用变频器作为变频电源来调节电机的转速。变频调速不存在励磁滑差损耗和前导向叶片节流功率损耗,也不存在转差损耗,因此节能效果良好,而且电机调速范围大,可在0%~100%范围内改变转速,实现无级调速。此外,采用变频调速对制酸 SO₂ 风机进行改造,无需更换电机,控制方式更加灵活。

2.2 变频调速节能原理

根据流体机械相似性原理,流体流量和转速的一次方成正比,压力和转速的平方成正比,所需轴功率则和转速的立方成正比^[1-2],即:

$$Q_1 = Q_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \quad (2)$$

$$p_1 = p_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (3)$$

$$N_1 = N_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (4)$$

式中: Q_1 、 Q_2 ——流量, m³/min;

p_1 、 p_2 ——压力, Pa;

N_1 、 N_2 ——功率, kW;

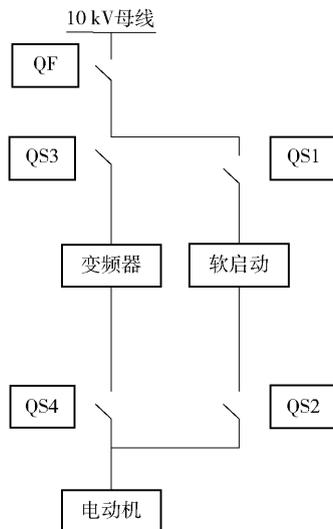
n_1 、 n_2 ——转速, r/min。

因此,当烟气制酸系统生产工艺减少烟气流量时,调小转速可使轴功率降低很多,从而可以节约大量的电能。

2.3 变频调速方案确定

根据现场实际运行要求,以产品功能完善、运行安全可靠为原则,制酸 SO₂ 风机高压变频调速节能改造选用北京利德华福一台额定功率 6 000 kW、额定电压 10 kV 的高压变频器,采用“一拖一手动旁路”结构。高压变频器采用 DCS“远程”控制方式,从制酸主控室 DCS 系统画面设定电机频率,通过变频器内置 PID 调节模块对电机转速形成自动控制。当电机的负荷变化时,可以方便地通过改变电机的供电频率控制电机转速,最后达到控制风机风量,使制酸 SO₂ 风机流量保持在设定值的目的。风机变频调速接线方式如图 1 所示。

风机变频调速系统由高压配电柜、高压变频器、高压隔离开关、电机组成。高压隔离开关带电部分安装在旁路柜内,保证任何物体和人员不会因意外而触电。高压隔离开关 QS2、QS4 不能同时闭合,在



QF—高压配电柜;QS1、QS2、QS3、QS4—高压隔离开关

图 1 制酸 SO₂ 风机变频调速系统一次接线方案

机械和电气上实现互锁;高压隔离开关 QS1、QS3 也有机械和电气互锁。变频器退出运行(故障或检修)时,通过手动方式使隔离开关作相应操作,将电机负载转入工频电网,切开变频调速系统,恢复原来的工频运行方式^[3-4]。

为了实现对变频器的保护,变频器对现场高压配电柜进行连锁,一旦变频器出现重故障,变频器发出命令,跳开高压配电柜。电机工频运行时,变频器撤消对高压配电柜的跳闸信号,使电机能正常通过高压配电柜合闸进行工频软启动。

3 改造后效果

3.1 安装调试

2017 年年度停产检修期间,对制酸 SO₂ 风机高压变频调速控制系统进行了改造安装。安装完毕后进行了一系列的调试试验,运行数据见表 4。

表 4 高压变频器节能效果运行数据

转化器升温及每天运行时间/h·d ⁻¹	烟气总流量/ Nm ³ ·h ⁻¹	原电机工 频运行 电流/A	现电机变 频运行 电流/A
96~120 h(启动风机)	60 000~65 000	100	50
6	65 000~85 000	120	85
6	70 000~110 000	160	125
12	130 000~150 000	245	220

从表 4 可以看出,改造后的变频调速风机具有较好的节能效果,特别在风机低流量时,节能效果更

明显。根据2017年5月26日至6月12日正式带烟气负载以来的数据分析(经改造安装的电能表计数统计),制酸SO₂风机共运行408 h,已经节约电能382 312 kW·h,节电率高达29.38%。若按照一个月的节电数据来平均,节电率将有所下降,但保守估计,15%左右的节电率是有保证的。除此之外,由于变频器的投入,风机10 kV电源支线的功率因数从0.9提高到0.98,减少了该支路的无功损耗,节能效果较好。

3.2 正常运行

调试试验完成后,制酸SO₂风机高压变频调速控制系统正式投用。经过两年多的生产实践应用,设备性能稳定可靠,节能效果显著,达到了预期的效果。制酸SO₂风机高压变频调速控制系统满足双顶吹炼铜工艺的生产实际要求,具有以下优点:1)效率提高,能耗降低;2)降低启动对电机和电网的冲击,故障率低;3)动态响应速度快,调节线性度好。

经统计,制酸SO₂风机采用变频调速控制运行,年节电量为4 260 000 kW·h,电价按0.36元/kW·h计算,年节电费为4 260 000 × 0.36 = 153.36万元。由此可见,采用变频调速控制系统,不仅解决了原来制

酸SO₂风机运行中存在的问题,而且降低了生产成本。

4 结束语

云锡10万t/a铜冶炼项目制酸SO₂风机高压变频调速节能改造,经过两年多的生产实践应用,设备性能稳定可靠,节能效果显著,年节电量4 260 000 kW·h,年创经济效益150万元以上。制酸SO₂风机高压变频调速节能改造满足云锡铜业分公司双顶吹炼铜工艺的生产实际要求,取得了较好的节能效果。

[参考文献]

- [1] 郭庆华. 风机变频改造节能技术的应用[J]. 风机技术, 2005(2): 43-45.
- [2] 李边荣. 变频器在我司工能技改中的应用[J]. 锡业科技, 2000, 1(2): 25-27.
- [3] 黄元培, 张学. 变频器应用技术及电动机调速[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998: 10-21.
- [4] 齐义禄. 节能降耗技术手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 5-16.

(上接第19页)

如果按电价0.35元/kW·h,吨铝现金流按照4 000元算,年创经济效益:77 551 × 1 000 × 0.35 + 24 966 × 4 000 = 1.27亿元。

6.2 社会环保效益

在不增加设备和人员的情况下,劳动生产率轻松得到提高,而且避免重复建设投资,减少土地占用,吨铝全氟化碳等温室气体的排放降低58.3%以上。在同等槽寿命的前提下,减少危险固体废物(大修渣)约5%,社会环保效益良好。

7 结束语

近年来,随着国内外电解铝技术的进步和发展,加上电解人才的积累和操作管理水平的提高,电解槽运行效果越来越好。因此,我国铝电解槽还具有强化电流、提高产量及提高劳动生产率的潜力。

某企业500 kA铝电解槽强化电流的成功实践,证明在电解槽全部使用国产材料的前提下,阳极电流密度仍有提高的空间,不久的将来,我国的电解槽阳极电流密度与国际先进水平会越来越靠近。希望此文能给500 kA及以上铝电解槽阳极电流密度设计及生产技术管理提供一些参考。

[参考文献]

- [1] 邱竹贤. 预焙槽炼铝(第3版)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [2] 姚世焕. 世界铝电解技术的趋势[R]. 中铝国际贵阳铝镁设计研究院, 2012.
- [3] 冯乃祥. 现代铝电解: 理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [4] 冯乃祥. 铝电解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.