

国内单系列处理烟气量最大的制酸装置介绍

肖万平

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文详细介绍了国内最大铜冶炼烟气制酸系统的工艺方案选择、工艺流程、工艺特点及系统配置、主要设备选型。制酸系统处理烟气量为 $29 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 硫酸产能为 1200 kt/a, 是目前国内单系列处理烟气量最大的一套。制酸采用绝热蒸发、稀酸洗涤、五段 3+2 III, I—V, IV, II 两转两吸流程, 尾气脱硫采用碱法脱硫, 污酸处理采用污酸净化浓缩回用工艺。工艺设计中充分体现了节能、发展循环经济的理念。

[关键词] 制酸装置; 工艺; 节能

[中图分类号] TQ111

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2014)06-0005-07

Introduction of the Largest Gasflow Treatment Sulfur Acid System in China

XIAO Wan-ping

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: The paper introduces process selection, technological process, process characteristics, system configuration and main equipment of sulfur acid system in copper smelting. The sulfur acid plant has the largest gasflow for $29 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ in a single series, the production capacity is 1200 kt/a. The system takes adiabatic evaporation, weak acid-scrubbing cleaning, "3 + 2" double conversion and double absorption. Process of tail-gas desulphurization is sodium-hydroxide treatment. The waste acid could be recyclable by purification and enrichment. The process design embodies the concept of energy saving and circular economy.

Key words: sulphuric acid plant; process; energy saving

某冶炼厂处理 100 万 t/a 铜冶炼项目冶炼采用富氧底吹熔池熔炼 + PS 转炉吹炼 + 阳极炉精炼工艺。熔炼、吹炼和精炼烟气经余热锅炉、静电除尘器后进入制酸系统。制酸系统处理烟气量为 $29 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$, SO_2 浓度约 14%, 硫酸产能为 1200 kt/a, 是目前国内单系列处理烟气量最大的一套制酸系统。制酸系统于 2013 年 8 月破土动工, 目前正在施工、安装, 预计 2015 年 6 月投入运行。

1 工艺方案的选择

制酸系统是冶炼的配套系统, 其工艺方案需结合冶炼烟气的特点、用户的需求确定。

在方案选择上, 冶炼工艺方案有 2 个, 其一为能耗低的超大规格富氧底吹熔池熔炼 + 环境友好、节能的

连续吹炼炉方案(简称“连吹方案”), 该方案冶炼烟气量小、 SO_2 浓度高、烟气量及 SO_2 浓度相对稳定, 制酸工艺适宜采用高浓度转化技术, 可回收中温位热能和低温位热能, 提高热能的回收利用水平; 其二为富氧底吹熔池熔炼 + PS 转炉吹炼 + 阳极炉精炼工艺方案(简称“PS 转炉方案”), 该方案的冶炼烟气量是连吹方案的 1.6 倍, SO_2 浓度降至 14% 左右, 且烟气量及 SO_2 浓度波动较大, 此时, 制酸工艺适合采用常规两转两吸方案。由于连吹方案暂时没有大规模生产实践的工程案例, 存在一定风险, 故最终确定 PS 转炉方案。

根据冶炼烟气的特点, 借鉴国内几套大型冶炼烟气制酸系统的成功经验, 制酸系统采用国内工艺技术, 一些关键设备、部件、材料采用进口。制酸系统净化、干吸采用目前国内外广泛应用的绝热蒸发、稀酸洗涤流程, 一级干燥、两次吸收、泵后冷却串酸流程, 转化可采用四段转化 3+1 III, I—IV, II 流程或 IV, I—III, II 流程, 也可采用五段转化 3+2 III, I—V, IV, II 流程或 V, IV, I—III, II 流程。结

[收稿日期] 2014-09-12

[作者简介] 肖万平(1976-), 男, 山西芮城人, 高级工程师, 大学本科, 主要从事冶炼烟气制酸和环保脱硫等方面的设计、咨询工作。

合用户的操作习惯和对转化率的要求,转化确定转化采用 3+2 III, I—V, IV, II 流程。

结合工业园区内有企业排放待处理的废碱液,可作为脱硫剂,故制酸尾气工艺采用碱法脱硫,脱硫副产 Na_2SO_3 作为原料送原有的 Na_2SO_3 制备系统。污酸处理采用污酸净化浓缩回用工艺,通过硫化、除氟、氯等过程,除去污酸中的砷、重金属离子、氟、氯后,经与热空气接触,实现污酸的浓缩,浓缩后的污酸可作为干吸工序的补充水。体现了废物再利用、变废为宝,发展循环经济的理念。

2 工艺描述及特点

制酸系统包括净化、干吸、转化、尾气脱硫、污酸处理等。

2.1 净化工序

2.1.1 流程简述

根据冶炼烟气的气量波动大、烟尘成分复杂的

特点,净化采用操作弹性大、除尘效果好、可减少污酸排放量的湍冲泡沫洗涤技术。具体流程为一级洗涤器——气体冷却塔——二级洗涤器——一级电除雾器——二级电除雾器。

一级洗涤器、气体冷却塔、二级洗涤器的循环稀酸系统是各自独立的。洗涤器、气体冷却塔间的串酸,采用泵后流程。通过液位控制,稀酸采用由稀向浓的串酸方式,最后污酸从一级洗涤器泵出口引出,经沉降槽固液初分离后,沉降槽底流送压滤机压滤,滤渣返回冶炼系统或外售;沉降槽上清液与压滤机滤液进上清液储槽,由上清液输送泵送往事故水高位槽和稀酸脱吸塔,从稀酸脱吸塔出来的稀酸自流至污酸储槽,经污酸泵送至污酸处理站。

在工艺设计中,专为电除雾器冲洗水设置了冲洗水槽系统,这样,可减少新水的用量,减少污酸排放量。

具体流程见图 1 净化流程图。

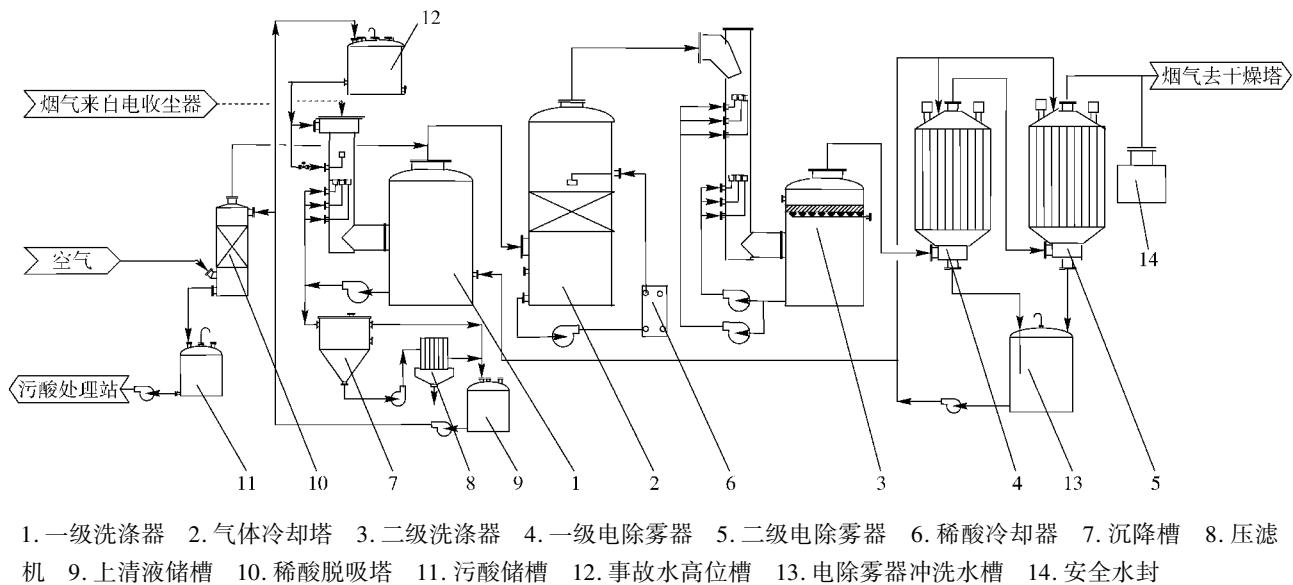


图 1 净化流程图

2.1.2 工艺特点

(1)净化工段洗涤器采用泡沫接触技术,允许气量波动大、气速高,除尘效率高;采用大开孔喷嘴,使液体不雾化,适用于含固量高的液体。这样,可使设备规格减小,减少污酸排放量,有利于减小占地、降低污酸处理设施投资及运行成本。

(2)电除雾器采用导电玻璃钢电除雾器,其沉淀极由六角形阳极管组成,结构紧凑、重量轻、寿命长、除雾效率高^[1]。

(3)稀酸冷却器采用换热效率高、占地面积小的进口产品。

(4)净化为密闭微负压操作,减少 SO_2 气体外溢,避免低空污染。

(5)提高水的重复利用率,减少新水的用量,减少污酸的排放量。

2.2 干吸工序

2.2.1 流程简述

来自二级电除雾器的洁净烟气进入干燥塔与喷

淋的93% H_2SO_4 逆流接触,烟气被干燥后经 SO_2 鼓风机增压后去转化工段。

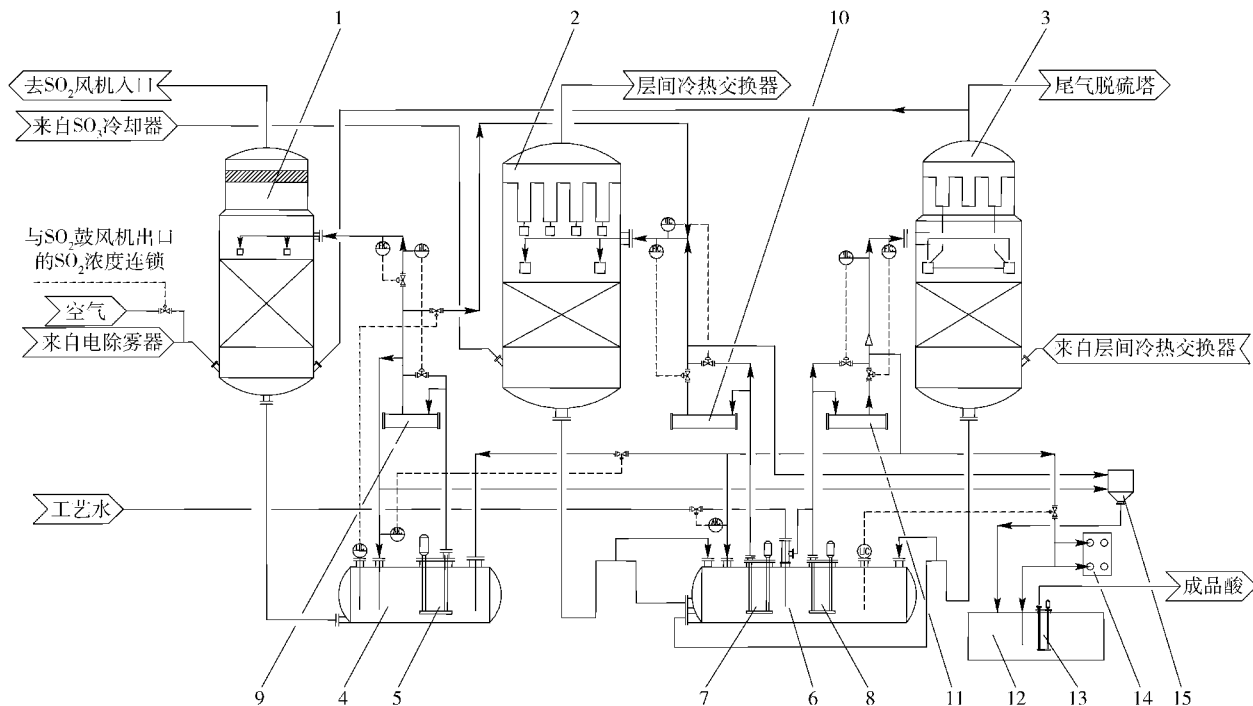
来自 SO_3 冷却器的烟气在中间吸收塔内与喷淋的98% H_2SO_4 逆流充分接触,烟气中的 SO_3 被溶解、吸收。烟气经中间吸收塔上部的捕沫器除去酸雾后排出进入层间冷热交换器。

来自层间冷热交换器的烟气在最终吸收塔内与喷淋的98% H_2SO_4 逆流充分接触,烟气中的 SO_3 被

溶解、吸收。烟气经最终吸收塔上部的捕沫器除去酸雾后排出进入尾气脱硫系统。

干吸塔的循环酸按着塔—泵槽—循环酸泵—阳极保护管壳式冷却器—塔进行循环,干吸塔循环槽之间通过液位、酸浓等参数实现自动串酸。产品98%酸由最终吸收酸冷却器后引出,经成品酸冷却器冷却后,送至地下槽。最后由地下槽泵送至酸库。

具体流程见图2干吸流程图。



1. 干燥塔 2. 中间吸收塔 3. 最终吸收塔 4. 干燥酸循环槽 5. 干燥酸循环泵 6. 吸收酸循环槽 7. 中间吸收酸循环泵 8. 最终吸收酸循环泵 9. 干燥酸冷却器 10. 中间吸收酸冷却器 11. 最终吸收酸冷却器 12. 地下槽 13. 地下槽泵 14. 成品酸冷却器 15. 取样罐

图2 干吸流程图

2.2.2 工艺特点

(1) 干吸塔采用碟形底结构,分酸器、捕沫器采用进口产品。确保干燥、吸收效果,出塔烟气的酸雾含量 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$,减少对下游设备的腐蚀。

(2) 泵槽采用卧式结构,干燥塔系统设置了一台卧式泵槽,两台吸收塔系统共用一台泵槽,强化混酸,简化了流程,减少了液位、酸浓等控制回路,有利于降低投资。

(3) 采用低位配置,取消了原来干吸塔的承重平台,同时,可降低循环泵的扬程。有利于降低投资和能耗。

(4) 干吸加水采用混酸器,克服以往集中加水,

造成局部酸浓度变化大、局部酸温度过高、加水管寿命短等不足。

(5) 自动化程度高,干吸酸泵槽间通过液位、酸浓度等控制回路实现自动串酸。增设了进塔酸温度、流量监测。

(6) 人工取样点由原来的两处,合并为一处,使人工取样罐处于微负压状态,降低人员的劳动强度,改善人员的劳动环境。

(7) 充分考虑节能及开车母酸用量,在最终吸收塔与干燥塔之间设置一气体管线,从最终吸收塔出口排放的热气体,直接返回干燥塔,不但有利于节能,而且节省干燥母酸用量。

(8)考虑转化预热升温的特点,在干燥塔气体进口管线上设置了空气管线。在开车升温阶段,可不启动净化工序,空气直接进入干燥塔干燥,经 SO_2 风机增压后进入转化工序。同时,该管线有调节进转化系统烟气 SO_2 及 O_2 浓度的作用。这样,可减少开车母酸的用量、减小净化的设备规格、降低能耗。

2.3 转化工序

2.3.1 流程简述

转化工艺采用五段3+2、Ⅲ, I—V, IV, II流程。

从 SO_2 鼓风机出来的烟气,依次通过冷热换热器、热热交换器,与三段转化、一段转化后的高温烟气进行换热后,气体升温至 390°C ,进入一段转化。在此,烟气中的大部分 SO_2 被转化成 SO_3 ,反应放出的热使烟气温度升高,为提高 SO_2 转化率,经热热交换器降温后进入二段转化。在此,烟气中的部分

SO_2 被转化成 SO_3 ,从二段转化出来的高温烟气经层间热热交换器降温后进入三段转化,烟气中的 SO_2 进一步转化为 SO_3 ,从三段转化出来的高温烟气依次经冷热换热器、 SO_3 冷却器降温冷却后,进入中间吸收塔。在中间吸收塔烟气中 SO_3 被充分吸收。出中间吸收塔的烟气,经过层间冷热换热器、中间热交换器、层间热热交换器,被五段转化、四段转化、二段转化后的高温烟气加热升温至 420°C ,进入四段转化,烟气中的 SO_2 进一步转化为 SO_3 ,出四段转化后的高温烟气经中间热交换器降温后进入五段转化,烟气中的 SO_2 进一步转化为 SO_3 ,出五段转化的高温烟气经层间冷热换热器冷却降温后进入最终吸收塔。转化预热升温系统采用燃油燃烧间接加热的方式。

具体流程见图3转化流程图。

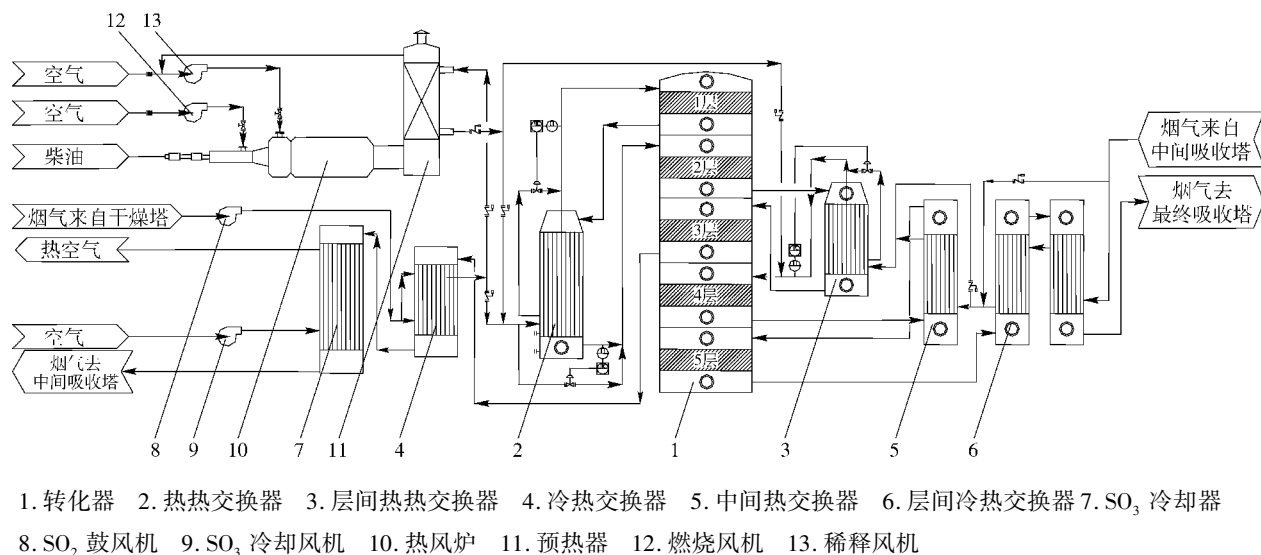


图3 转化流程图

2.3.2 工艺特点

(1)转化器主体材质采用304H,根据进各段转化的烟气特点,采用不同型号、规格的高效、低阻触媒。其中在一段转化床层设置了起燃温度低、抗粉尘能力强的钨触媒。转化器底座采用自滑式结构。

(2)转化热交换器选用新型急扩加速流缩放管气体换热器^[2]。具有传热效率高、阻力小、不宜结垢等特点,有利于降低能耗、减小设备规格及重量,降低投资。结合冶炼烟气的特点,在部分热交换器的下壳层及换热管的下端部采用316L材质,提高抗腐蚀能力。

(3)强化余热回收利用。根据用户对热空气的需求,将转化过程中的余热转移到空气,产生 250°C 左右空气送至下游用户。

(4)合理利用热能,降低能耗。在转化预热升温系统,将出预热器的 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 的燃烧烟气部分作为稀释风返回至热风炉,提高能源的利用效率。

(5)自动化程度高,转化各段进气温度均设有调节回路,并对一段转化出口烟气温度设置超温报警。

(6)节能。结合冶炼烟气量及 SO_2 浓度波动大的特点, SO_3 冷却风机采用变频电机,以降低能耗。

2.4 污酸处理工序

2.4.1 流程简述

污酸处理采用污酸净化浓缩回用工艺。来自净化的污酸进入硫化,去除污酸中的砷、部分重金属离子后,经压滤机压滤后,滤液进入除氟、氯系统,滤渣按固体危废处理。出除氟、氯系统的污酸进入浓缩系统。在浓缩系统,污酸与来自转化工序的热空气逆流接触,污酸中的水分被蒸发随热空气带走,达到浓缩效果,浓缩系统兼有除氟、氯的功能。

2.4.2 工艺特点

(1)污酸净化浓缩回用工艺有利于提高硫资源的利用率,减少废物排放量,符合清洁生产废物减量化、资源化的要求。

(2)与传统的硫化、中和工艺相比,减少了污酸中和过程中产生大量的石膏渣。

(3)有利于减少占地,降低污酸处理投资。

2.5 尾气脱硫

2.5.1 流程简述

尾气脱硫采用碱液脱硫。利用工业园区内其他企业排放的废碱液作为脱硫剂。脱硫产物亚硫酸钠溶液送至现有的亚硫酸钠制备系统。

来自最终吸收塔的制酸尾气在脱硫塔内与含氢氧化钠的循环液逆流接触,烟气中 SO_2 被吸收,出脱硫塔的烟气经尾气烟囱排空。

脱硫系统通过液位、pH 值等参数实现自动控制。

2.5.2 工艺特点

(1)该工艺简单、脱硫效率高、操作弹性大。

(2)利用周围企业的排放物作为脱硫剂,并将脱硫产物作为产品,实现废物再利用、变废为宝,符合发展循环经济的理念。

(3)控制过程成熟、可靠。

3 系统配置

本着工艺路线走向合理,原料、产品运送方便,减少占地等原则,考虑到该制酸装置毗邻原制酸装置,减少污染源排放点,将尾气烟囱设置为两套制酸系统共用,待尾气烟囱建成后,将择机拆除原制酸尾气烟囱。考虑物流运输及厂区环境,将硫酸成品库及装酸设施布置在物流出口附近。

制酸系统是目前国内单系列处理烟气体量最大的一套装置,工艺管线规格大(如浓酸管线 DN200 ~ DN950,气体管线规格 DN1800 ~ DN3300),尤其是

转化工序的高温管线,在配置上吸收国内其他大型冶炼烟气制酸装置的经验,根据应力分析,优化工艺管线配置,在不同的位置设置了补偿器、弹簧支架、滑动支架、限位拉杆、固定支架等,避免因局部应力过大,造成设备损坏、焊缝拉裂等现象的发生。

4 系统主要设备选型

该制酸系统是目前国内单系列处理烟气体量最大的一套装置,系统内大规格设备(如一级洗涤器逆喷管、 SO_2 鼓风机、转化器、换热器、大流量循环泵等)多,工艺设备的选型、材质的选择等显得尤为重要。一些关键设备、部件、材料采用进口产品。下面就该制酸系统的主要设备选型进行简单介绍。

4.1 转化器

转化器规格为 $\Phi_i 15000 \text{ mm} \times 28600 \text{ mm}$,主体材质:304H,采用 MECS 生产的低阻、高效触媒,在第一床层采用了铯触媒。转化器设计参数见表 1。

表 1 转化器设计参数

项目	设计参数
转化器一层入口烟气体量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	310000
转化器规格/ $d_i \times H$	$\Phi_i 15000 \text{ mm} \times 28600 \text{ mm}$
各触媒层	一层 二层 三层 四层 五层
烟气入口温度/ $^{\circ}\text{C}$	390 430 440 430 415
烟气出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	630 519 446 444 416
转化率分配/%	66.5 91.4 97.1 99.9 99.95
触媒装填量/ m^3	164 164 211 163 219

4.2 SO_2 鼓风机

为确保制酸系统的稳定运行,提高设备的利用率、减少占地面积,降低土建投资, SO_2 鼓风机采用单台配置,选用德国 SIEMENS 公司生产的单级离心式压缩机,型号为 SFP18。配有稀油站、进口前导叶调节装置、风机振动和喘振监测装置。 SO_2 鼓风机设计参数见表 2。

表 2 SO_2 鼓风机设计参数

项目	设计参数
流量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	336000
升压/kPa	69.5
电机功率/kW	9150

4.3 气-气换热器

转化气-气换热器采用急扩加速流缩放管换热器,该换热器换热效率高、换热面积小,可使换热器

的直径减小,从而减轻设备重量,节省投资。对于大型制酸系统,节省投资的效果是比较明显的。换热器规格及工艺参数见表3。

表3 换热器规格及参数

设备名称	设备规格/mm	换热面积/m ²	数量/台
I 换热器	$\Phi_i 6800 \text{ mm}/\Phi_i 8200 \text{ mm} \times 11500 \text{ mm}$	4065	1
II 换热器	$\Phi_i 6800 \text{ mm}/\Phi_i 8200 \text{ mm} \times 11500 \text{ mm}$	4065	1
III 换热器	$\Phi_i 6800 \text{ mm} \times 8800 \text{ mm}$	2410	1
IV 换热器	$\Phi_i 6800 \text{ mm} \times 8800 \text{ mm}$	2410	1
V 换热器	$\Phi_i 6600 \text{ mm}/\Phi_i 8000 \text{ mm} \times 12800 \text{ mm}$	6300	2
SO ₃ 冷却器	$\Phi_i 6800 \text{ mm}/\Phi_i 8200 \text{ mm} \times 14800 \text{ mm}$	7380	1

4.4 浓酸冷却器

干燥酸冷却器、中间吸收酸冷却器、最终吸收酸冷却器采用国产阳极保护管壳式酸冷却器,换热管为进口 316L 焊管。该冷却器具有换热效果好、寿命

长、投资省、运行成本低等特点^[3]。浓酸冷却器设计参数见表4。

4.5 其他主要设备选型

其他主要设备选型见表5。

表4 浓酸冷却器设计参数

设备名称	设备规格	换热面积/m ²	数量/台
干燥酸冷却器	$\Phi_i 1900 \text{ mm} \times 11880 \text{ mm}$, 换热管 $\varphi 19.05 \text{ mm} \times 1.65 \text{ mm}$ 3517 根	1863	1
中间吸收酸冷却器	$\Phi_i 2000 \text{ mm} \times 8850 \text{ mm}$, 换热管 $\varphi 19.05 \text{ mm} \times 1.65 \text{ mm}$ 3222 根	1127	1
最终吸收酸冷却器	$\Phi_i 1400 \text{ mm} \times 8350 \text{ mm}$, 换热管 $\varphi 19.05 \text{ mm} \times 1.65 \text{ mm}$ 1689 根	595	1

表5 其他主要设备

设备名称	设备规格
一级高效洗涤器	$\Phi_i 2750 \text{ mm}/\Phi_i 6800 \text{ mm} \times 21800 \text{ mm}$, 主体材质:FRP, 逆喷管:G-30
气体冷却塔	$\Phi_i 10000 \text{ mm} \times 15500 \text{ mm}$, 主体材质:FRP
二级洗涤器	$\Phi_i 2300 \text{ mm}/\Phi 6200 \text{ mm} \times 26750 \text{ mm}$, 主体材质:FRP
一级电除雾器	$F = 45 \text{ m}^2$ 主体材质:C-FRP
二级电除雾器	$F = 43 \text{ m}^2$ 主体材质:C-FRP
SO ₃ 冷却风机	流量 $588700 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 升压 14.2 kPa, 电机功率 2800 kW, 变频
预热器	$\Phi_i 4100 \text{ mm}/\Phi_i 5000 \text{ mm} \times 18000 \text{ mm}$
热风炉	$\Phi_i 2600 \text{ mm} \times 3650 \text{ mm}$
干燥塔	$\Phi_i 9000 \text{ mm} \times 15500 \text{ mm}$, 分酸器、除雾器进口
中间吸收塔	$\Phi_i 8400 \text{ mm} \times 20400 \text{ mm}$, 分酸器、除雾器进口
最终吸收塔	$\Phi_i 7900 \text{ mm} \times 14500 \text{ mm}$, 分酸器、除雾器进口
干燥酸泵槽	$\Phi_i 2900 \text{ mm} \times 12800 \text{ mm}$
吸收酸泵槽	$\Phi_i 2900 \text{ mm} \times 24800 \text{ mm}$
脱硫塔	$\Phi_i 6700 \text{ mm} \times 16800 \text{ mm}$

5 结语

该制酸装置是目前国内单系列处理烟气流最大的一套,工艺采用国内技术,设计强化了节能、循环经济、以人为本的理念。对我国大型冶炼烟气制酸系统设计具有很好的示范作用,标志我国在大型冶炼烟气制酸系统设计、设备加工等已接近或达到了世界先进水平。其在节能、优化配置、降低投资和运

(上接第 43 页)

炉事故,感应器水套和线圈全被烧毁,大量的铜液还

表 1 渗透电流实测数据

方式	感应器运行 功率/kW	渗透电流/A	
		左水冷套	右水冷套
1	125	40	88
2	200	60	110
3	400	95	135
4	600	140	180
5	800	220	260

流入了附近电缆沟,引发了二次事故,将铸造设备电缆全部烧坏,造成很大损失。

在吸取惨痛教训之后,操作人员密切监视漏炉电流变化。之后几年中分别出现过三次漏炉报警,技术人员进行了有效甄别,在渗透电流达到 50 A

(上接第 45 页)

准砝码荷重校验,秤体过载保护机械间隙为 0.22 mm 超差(正常为 1.3 ~ 1.5 mm),机械调整电子秤机构后荷重恢复正常。

3.2 伺服控制系统

2014 年 6 月 6—8 日,2#圆盘双伺服的主电机三次报过流停机,原因是由于现场电缆沟积水,导致伺服电机的编码器和电源电缆的电气绝缘降为 0,排水后更新伺服电机的编码器和动力电缆,系统恢复正常运行。

4 结束语

OUTOTEC 的自动定量圆盘浇铸机设备稳定可

营成本等方面的经验值得推广。

[参考文献]

- [1] 肖万平. 大冶硫酸三系列改造项目的设计与实践[J]. 中国有色冶金, 2013, (6): 40-43.
- [2] 邓先和, 黄维军. 急扩加速流缩放管气体换热器的结构及应用[J]. 硫酸工业, 2005, (5): 22-24.
- [3] 董四禄. 金川集团有限公司 700 kt/a 硫酸系统设计[J]. 硫酸工业, 2007, (6): 12-16. ▲

前,就作了感应器更换准备,并将旧感应器拆开检查耐火材料,发现铜液确实已渗透至水冷套附近,如不及时更换就会酿成漏炉事故。

4 结束语

金属渗透探测系统的应用,对熔沟的侵蚀和渗漏状况有了判断依据,因此,可以有效利用耐火材料使用寿命。根据渗透电流变化的历史曲线,合理安排生产,能够避免重大漏炉事故。该探测系统在有芯炉设备上具有极高推广价值。

[参考文献]

- [1] 赵涛, 周子民, 熊家政, 李勇. 喷流式感应体熔沟内金属熔体流动数值仿真[J]. 大学学报, 2010, 31(1): 53-57.
- [2] 李恩琪, 殷经星, 张武城. 铸造用感应电炉[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. ▲

靠、高效运行,其控制逻辑设计完善,能有效防止设备误操作;定量浇铸系统和伺服驱动系统程序有自诊断功能,主站和远程 I/O 从站和电气控制设备、气动阀等控制元件接口通过 PROFIBUS 总线网络与阳极浇铸 PLC 进行网络数据信息交换,具有故障自诊断功能,设备维护简单;OUTOTEC 在欧洲设计选型通用元器件时,就已经注意到产品的可靠性及其在全球的技术支持服务;大冶有色公司阳极自动定量浇铸机使用维护经过十年的设备技术消化吸收,已具有丰富的运行和维护实践。▲