

铜电解硫酸铜三效混流真空蒸发技术

王有维, 罗劲松, 钟 忠, 曾文斌, 王 伟, 杨 勇

(云南铜业股份有限公司西南铜业分公司, 云南 昆明 650102)

[摘 要] 铜冶炼行业中普遍采用电解液蒸发浓缩-冷却结晶生产硫酸铜副产品作为铜电解过程调节铜酸平衡的重要手段, 针对传统硫酸铜常规常压蒸发存在的蒸发效率低、蒸发时间长、蒸汽单耗高等共性难题, 西南铜业在对硫酸铜物料属性及其沸点与真空度关系分析的基础上, 研发出硫酸铜三效混流真空蒸发浓缩技术, 并成功产业化。该套技术实现了硫酸铜蒸发流程的全自动过程控制, 大幅度提高了硫酸铜的蒸发效率, 蒸汽单耗下降 45%, 同时回收二次蒸汽冷凝水 120 m³/d, 直接经济效益达 300 万元/年以上。目前该蒸发系统运行良好, 硫酸铜产品质量稳定, 实现了硫酸铜高效、节能、环保及全自动化生产, 解决了行业内的共性难题, 具有推广应用价值。

[关键词] 铜电解; 铜酸平衡; 硫酸铜结晶; 多效蒸发技术; 真空蒸发; 三效混流工艺; 节能高效

[中图分类号] TF811; TQ131.21 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)02-0060-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.02.008

生产硫酸铜副产品是铜电解精炼中调节铜酸平衡的重要手段, 同时也是脱除 Sb、Bi、Ca 等杂质的有效途径。目前国内外硫酸铜生产工艺主要有常压蒸发法、真空蒸发法等, 由于常压蒸发存在蒸汽单耗高、蒸发效率低等问题, 因此真空蒸发成为近年来广泛应用的硫酸铜生产技术, 江铜贵溪冶炼厂、金川铜业、东南铜业等国内大型冶炼厂均采用真空蒸发生产粗制硫酸铜。单效蒸发生产的粗制硫酸铜主品位为 83%~92%, 蒸汽单耗一般为 10~18 GJ/t。少部分企业采用二效蒸发, 例如二效全自动板式真空蒸发装置^[1-2]; 行业内对三效或多效的开发和应用未见报道。

在节能降耗目标不断提高的背景下, 传统常压和一效或二效真空蒸发已难于满足企业需求, 继续减少蒸汽消耗成为硫酸铜生产的关键。虽然某些冶炼企业、制盐厂、药业等已全套引进了多效蒸发系统的相关技术, 但其中换热器以列管式虹吸自循环居多, 存在物料结垢后难于清理、操作复杂、维护强度

大等缺点, 限制了其广泛使用^[3-11]。

云南铜业股份有限公司西南铜业分公司(以下简称“西南铜业”)采用传统常压蒸发浓缩+夹套式水冷结晶工艺生产硫酸铜, 蒸汽单耗高达 28.1 GJ/t, 成本居高不下。针对上述问题, 该企业在对真空蒸发工艺进行多方位了解基础上, 根据自身物料属性选用硫酸铜三效真空蒸发工艺, 并自主开发了全自动控制系统, 已成功产业化, 而且运行良好, 硫酸铜产品质量稳定, 实现了硫酸铜高效、节能、环保及全自动化生产, 解决了行业内的共性难题。

1 硫酸铜蒸发前液物料性质

1.1 密度与沸点关系

由于不同密度的硫酸铜蒸发前液杂质含量和溶解度存在差异, 因此沸点也不同, 硫酸铜溶液的沸点随着密度的升高而升高, 通过实验研究得出, 前液密度在 1.21~1.40 g/cm³ 时, 溶液的沸点在 100~108 ℃。表 1 为硫酸铜蒸发前液密度-沸点梯度。

1.2 沸点与真空度关系

水的沸点随着真空度的增大呈递减关系, 结合该企业的海拔高度, 对水的沸点与硫酸铜蒸发前液的沸点进行对比, 并进行差异化校正, 找出了相同条件下蒸发前液的沸点与水的沸点差 $\Delta C = 6$ ℃。电解液沸点与真空度的关系如表 2 所示。

[收稿日期] 2022-10-20

[第一作者] 王有维(1987—), 男, 云南普洱人, 硕士, 工程师, 主要从事铜电解生产技术研究及管理工作。

[引用格式] 王有维, 罗劲松, 钟忠, 等. 铜电解硫酸铜三效混流真空蒸发技术[J]. 中国有色金属, 2023, 52(2): 60-66.

表 1 硫酸铜蒸发前液密度-沸点梯度**Tale. 1** Liquid density-boiling point gradient of copper sulfate solution before evaporation

密度/(g·cm ⁻³)	沸点/℃
1.21	100
1.22	100
1.32	103
1.34	104
1.36	106
1.38	107
1.40	108

表 2 蒸发前液沸点与真空度关系**Tale 2** The relationship between liquid boiling point and vacuum degree of copper sulfate solution before evaporation

真空度/kPa	水沸点/℃	蒸发前液沸点/℃
-0.002 ~ +0.001	94.5 ~ 100	100 ~ 106
-0.04 ~ -0.06	76 ~ 87	82 ~ 93
-0.05 ~ -0.07	69 ~ 81	75 ~ 87

表 3 不同效数蒸发装置蒸汽节约量**Tale 3** Steam consumption of different effect evaporation device

效数	理论蒸汽消耗量		实际蒸汽消耗量		
	kg 蒸汽/kg 水	kg 水/kg 蒸汽	kg 蒸汽/kg 水	kg 水/kg 蒸汽	再增加一效节约蒸汽/%
一效	1	1	1.1	0.91	93
二效	0.5	2	0.57	1.75	30
三效	0.33	3	0.40	2.50	25
四效	0.25	4	0.30	3.33	10
五效	0.2	5	0.27	3.70	7

表 4 二次蒸汽的温度和汽化潜热**Tale 4** Secondary steam temperature and latent heat of gasification

效数	一效	二效	三效
二次蒸汽压力 P_i' /kPa	273.3	146.6	20
二次蒸汽温度 T_i' /℃	130.2	110.5	60.1
二次蒸汽的汽化潜热 r_i' /(kJ·kg ⁻¹)	2 177.3	2 231.0	2 354.9

由表 3 和表 4 看出,随效数增多,蒸汽节约越多,但并非效数越多越好,多效蒸发的效数受技术、经济等因素的约束,在多效真空蒸发中,随着效数的增加,总蒸发量相同时所需的生蒸汽量减少,生产费用相应降低,但效数与设备费呈线性递增。随着效数的增加,所节约的生蒸汽量越来越少,从一效到二

2 硫酸铜多效蒸发系统的开发

2.1 多效蒸发效数的确定

为充分利用热能,多效蒸发即通过蒸发过程中二次蒸汽的再利用,以减少生蒸汽的消耗,从而提高蒸发装置的经济性。生蒸汽的经济性,定义为蒸发每公斤水分所需要生蒸汽的量,是评判蒸发装置经济一个重要参数,计算公式见式(1)^[12]。

$$\Gamma = D/W \quad (1)$$

式中: Γ 为生蒸汽的经济性; D 为生蒸汽消耗量, kg/h; W 为蒸发量, kg/h。

各效的利用率计算如下所述。第一效:(D/W_1) = 1,即 $D = W_1$, 1 kg 生蒸汽在第一效中可产生 1 kg 的二次蒸汽;将此 1 kg 二次蒸汽(W_1)引入第二效又可蒸发 1 kg 水,即第二效, $W_2 = W_1 = D$, 1 kg 生蒸汽在双效中的总蒸发量 $W = W_1 + W_2 = 2D$, 因此 $W/D = 2$;以此类推,第三效 $W/D = 3$,……,第 n 效 $W/D = n$ 。不同效数的蒸汽节约量如表 3 所示,二次蒸汽的温度和汽化潜热见表 4^[13]。

效生蒸汽节约 93%,但四效到五效仅节约生蒸汽 10%,因此不能无限制地增加效数,最适宜的效数应使设备费和生产费总和为最小。

在一定操作条件下,蒸发器的理论总温度差为一定值,当效数增多时,由于各效温差损失之和的增加,使总有效温差减少,分配到各效的有效温差将会小至无法保证各效正常的沸腾状态,蒸发操作将难以进行。在蒸发操作中,为保证传热的有效性,每一效的温度差不能小于 5~7℃。对于非电解质溶液,因其沸点升高较小,可取 4~6 效,但对于电解质溶液,通常采用 2~3 效。基于硫酸铜蒸发前液属性、二次蒸汽潜热及综合性价比考虑,该企业进行了三效混流真空蒸发系统的开发。

2.2 硫酸铜电解液三效混流蒸发工艺流程开发

硫酸铜电解液三效混流真空蒸发工艺中电解液依次经过三效、一效和二效分离室在不同温度和真空度下蒸发浓缩,只需一效生蒸汽作为热源,一效、二效二次蒸汽分别作为二效、三效的加热介质,充分利用各效余热,大幅度提高硫酸铜的蒸发效率。

2.2.1 电解液走向

电解液依次经过进料泵和三效轴流泵进入三效板式换热器,通过二效二次蒸汽加热三效板式换热器,使电解液温度升高并接近沸点;混合物通过三效汽液混合连接管,进入三效汽液分离室内,含酸水蒸汽往上通过三效二次蒸汽管,进入有冷却水循环的板式冷凝器内,三效汽液分离室由于冷却水的板式换热作用产生负压真空,同时通过真空系统将一、二、三效抽真空实现负压,降低三效电解液蒸发的沸点;三效二次蒸汽通过三效二次蒸汽管进入板式冷凝器冷凝成水,三效未被蒸发的电解液回到三效汽液分离室继续循环加热。

当三效汽液分离室内电解液蒸发浓缩到一定密度(1.24 ~ 1.28 g/cm³)时,一部分通过控制阀和一效进料泵,打入一效汽液分离室,通过一效轴流泵进入一效板式换热器,通过生蒸汽对一效板式换热器进行加热;被加热的汽液混合物通过一效混合连接

管进入一效汽液分离室内,含酸水蒸汽向上通过一效二次蒸汽管进入二效板式换热器,未被蒸发的电解液回到一效汽液分离室继续循环加热。

当一效汽液分离室内电解液蒸发浓缩到一定密度(1.28 ~ 1.34 g/cm³)时,一部分通过控制阀和二效进料泵打入二效汽液分离室,通过二效轴流泵进入二效板式换热器,被加热的汽液混合物通过二效二次蒸汽进口管进入三效加热室内;其余部分在二效轴流泵作用下不断循环加热至设定的终点出液密度(1.36 ~ 1.38 g/cm³),一部分浓缩终点液通过控制阀二效出液泵排出进入终液槽。

其中分离室也称沸腾室,是用饱和蒸汽间壁加热使物料沸腾的部分,加热室为板式换热器加热部分,循环冷却塔用于提供冷却水源,板式冷凝器用于二次蒸气与冷却水的换冷设备。

2.2.2 生蒸汽及冷凝水走向

一效采用生蒸汽进行换热,产生的生蒸汽冷凝水回电解冷凝水系统供电解内部使用。

2.2.3 二次蒸气及含酸冷凝水走向

一效产生的二次蒸汽用于二效换热器进行换热,二效产生的二次蒸汽用于三效换热器进行换热,分别换热后产生的含酸冷凝水进入含酸汽水槽供电解系统回用。

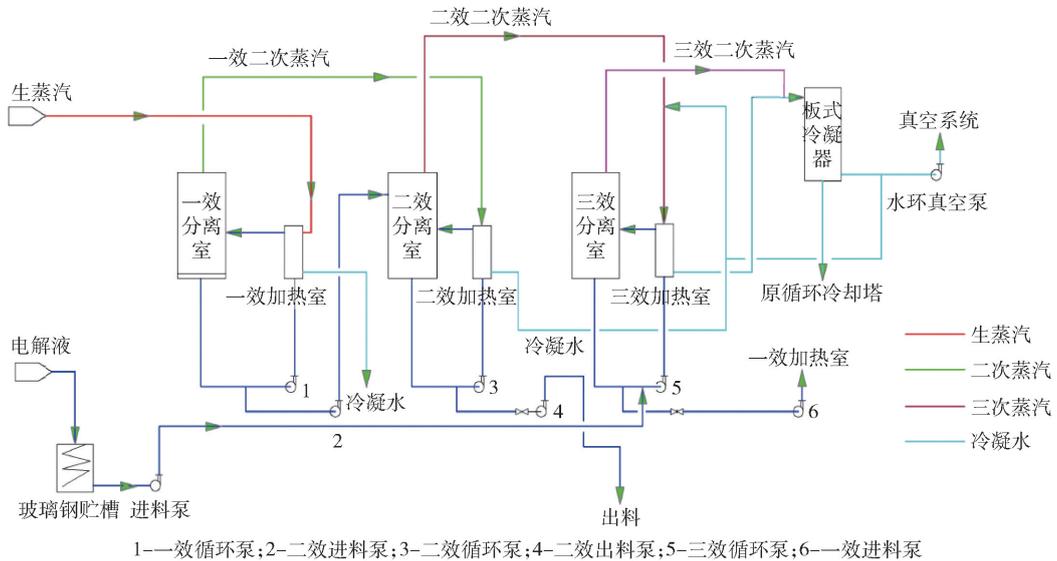


图1 硫酸铜电解液三效混流真空蒸发工艺

Fig. 1 Three-effect mixed flow vacuum evaporation process of copper sulfate electrolyte

2.3 硫酸铜三效混流蒸发全自动控制系统

该企业结合三效混流真空蒸发工艺流程的特

性,自主开发了全自动控制系统,对流程工艺参数、仪控信号、设备运行状态信号、故障报警信号

等进行远程监控,控制系统硬件配置与网络系统 如图2所示。

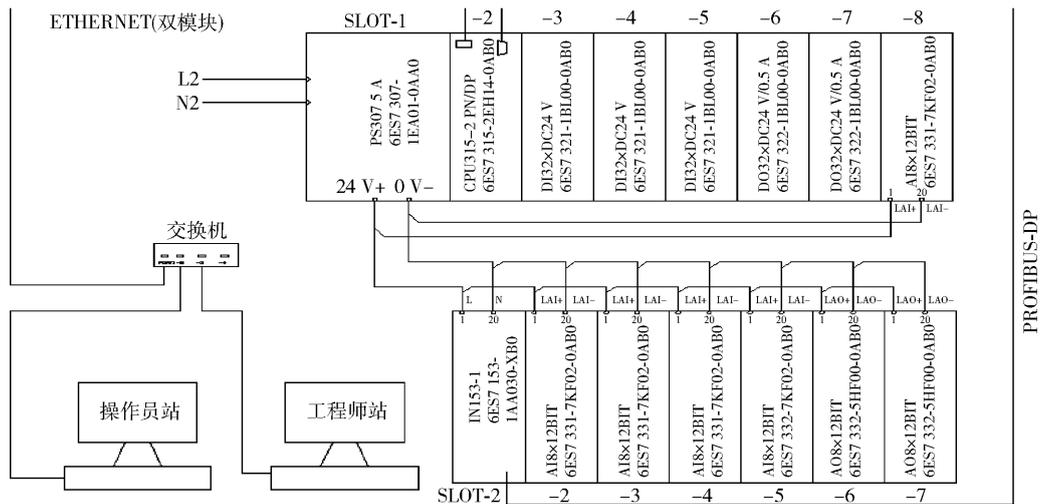


图2 控制系统硬件配置与网络系统

Fig. 2 Control system hardware configuration and network system

整个控制系统采用PLC对整个生产流程进行监视和控制,重要的工艺参数引至控制室,进行集中显示、记录、报警和控制。PLC控制系统由操作员站和控制站两部分组成,控制站与操作员站之间通过以太网网络连接,各种组合画面在操作员站上显示,控制站通过组态完成相关控制功能。

本系统按电-仪一体化考虑,生产过程中所有重要的检测控制信号、主要工艺运转设备的运行状态信号、泵的故障信号及电气连锁可从流程画面上监视,从而实现正常运行工况的监视和调整,异常工况的报警和紧急事故处理,整个生产过程通过操作员站进行集中监控管理,实现全自动过料变频控制。

此外,针对蒸汽压忽高忽低问题,该企业自主开发蒸汽-温度PID自动调节控制技术,根据一效分离室温度自动控制蒸汽开度,在节约蒸汽同时可以避免一效蒸汽压力过高造成安全方面的隐患。同时,采用液位连锁冷凝水放液(通过液位连锁真空系统自动排放含酸冷凝水)和时间控制冷凝水放液(设定放液时间实现周期性排含酸冷凝水)2种方式,从而有效保证真空度,不仅提高了自动化程度,而且还实现了冷凝水槽放液系统的“二保一”,增加自控的灵活性和保障性。

3 三效混流真空蒸发技术生产实践

3.1 蒸发前液成分

硫酸铜生产采用电解液化学成分见表5。从表

5可以看出,硫酸铜蒸发前液中杂质较多,尤其As、Ni含量较高,各杂质溶解度随着温度和酸度也发生梯度变化,对硫酸铜产品的质量造成一定影响。

表5 硫酸铜蒸发前液成分

Table 5 Liquid composition of copper sulfate solution before evaporation

化学成分	参数/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	化学成分	参数/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
H_2SO_4	166.1	Bi	0.20
Cu	46.57	Fe	1.54
As	6.43	Te	0.015
Ni	17.18	Cl	0.054
Sb	0.40		

3.2 三效混流真空蒸发工艺参数及技术指标

三效混流真空蒸发工艺参数见表6。

表6 三效混流真空蒸发工艺参数

Table 6 The parameters of three-effect mixed flow vacuum evaporation process parameters

参数名称	各效真空度/MPa	各效温度/ $^{\circ}\text{C}$	各效密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	液位/m
三效	-0.04 ~ -0.07	60 ~ 80	1.22 ~ 1.28	1.8
一效	+0.035 ~ -0.002	90 ~ 120	1.28 ~ 1.34	1.0
二效	-0.03 ~ -0.05	70 ~ 110	1.36 ~ 1.38	1.0

该硫酸铜三效混流真空蒸发浓缩工艺中,蒸汽采用顺流:一效生蒸汽→二效分离室→三效分离室

→板式冷凝器;浓缩液走向为混流:电解液→三效分离室→一效分离室→二效分离室。混流的特点是60~65℃的蒸发前液优先进入到三效内,在二效二次蒸汽短时间内加热至大于75℃就可以沸腾蒸发,

此外,一效生蒸汽压力在0.14 MPa时,即可满足三效混流真空蒸发系统的要求。

表7为该酸铜三效混流真空蒸发系统的生产性能列表,均达到了设计要求。

表7 三效混流真空蒸发生产技术指标

Table 7 The technical indicators of three-effect mixed flow vacuum evaporation production technical indicators

技术指标	处理量	蒸汽消耗量	含酸冷凝水	终点出液量
小时指标	9.5~11 m ³ /h	2.0~2.5 t/h	5~7 m ³ /h	6~8 m ³ /h
日指标	230~260 m ³ /d	50~60 t/d	120~160 m ³ /d	140~190 m ³ /d

3.3 三效混流真空蒸发二次蒸汽冷凝水成分及性质

表8为三效混流真空蒸发系统二次蒸汽冷凝水成分及工业软水指标对比,通过对比可知硫酸铜三效混流真空蒸发系统所产生的二次蒸汽冷凝水含铜0.63 g/L,含酸量1.61 g/L。在三效混流真空蒸发

系统中分离室顶部采用了独特的捕沫装置,因此二次蒸汽冷凝水的铜、酸含量均比常压蒸发系统低。此外,二次蒸汽冷凝水的电导率、氯根、硬度等含量符合软水控制指标。数据表明,三效混流真空蒸发产生的二次蒸汽冷凝水各项指标良好,可回用于电解系统。

表8 硫酸铜二次蒸汽冷凝水成分及性质

Table 8 Composition and properties of copper sulfate secondary steam condensate water

检测名称	硫酸/(g·L ⁻¹)	铜/(g·L ⁻¹)	硬度/(mg·L ⁻¹)	电导率/(μs·cm ⁻¹)	氯离子/(mg·L ⁻¹)
二次冷凝水	1.61	0.63	0.017	47.9	9.6
工业软水指标	—	—	≤0.03	≤300	≤12

3.4 生产实践效果

3.4.1 工艺技术指标对比

硫酸铜三效混流真空蒸发系统于2017年6月开始正常投入使用,投产至今系统稳定,各项指标良好。多效蒸发与常压蒸发相比,硫酸铜蒸汽单耗下降45%,按蒸汽单价30元/GJ进行计算(内部结算价),年节省蒸汽创效益224万元。三效混流真空蒸发系统仅需要一效生蒸汽作为热源,一效产生二次蒸汽加热二效电解液,二效二次蒸汽加热三效电解液,三效二次蒸汽和二效二次蒸汽通过板式冷凝器冷凝回收二次蒸汽冷凝水120 m³/d,按生产水11.9元/t(内部价),年节约成本约47万元。硫酸铜三效混流真空蒸发的成功开发与应用,每年创造

直接经济效益达300万元以上。

蒸发浓缩8 m³原始密度1.22 g/cm³的硫酸铜蒸发前液,采用常压蒸发达到出液密度1.36 g/cm³需要的蒸发浓缩时间为9 h,采用三效混流真空系统仅需要2 h,相同处理量条件下,三效混流真空蒸发工艺效率提高300%。

3.4.2 硫酸铜产品质量对比

该硫酸铜三效混流真空蒸发技术与现有结晶和离心分离技术进行有效配合,达到了良好的生产指标。表9为常压蒸发与三效混流真空蒸发工艺所产硫酸铜产品的杂质成分对比,图3为三效真空蒸发技术投产后硫酸铜主品位和水不溶物含量变化曲线图。

表9 常压蒸发工艺与三效蒸发工艺硫酸铜产品杂质含量对比

Table 9 Comparison of impurity content of copper sulfate products by atmospheric evaporation process and three-effect evaporation process

化学成分	As	Pb	Fe	Ni	Zn	Cd	Sb	Bi	%
常压蒸发	0.007 2	0.002 2	0.113	0.21	0.166	0.000 039	0.004 8	0.000 92	
多效蒸发	0.001 2	0.004 3	0.115	0.265	0.058	<0.000 1	0.002 2	<0.000 1	

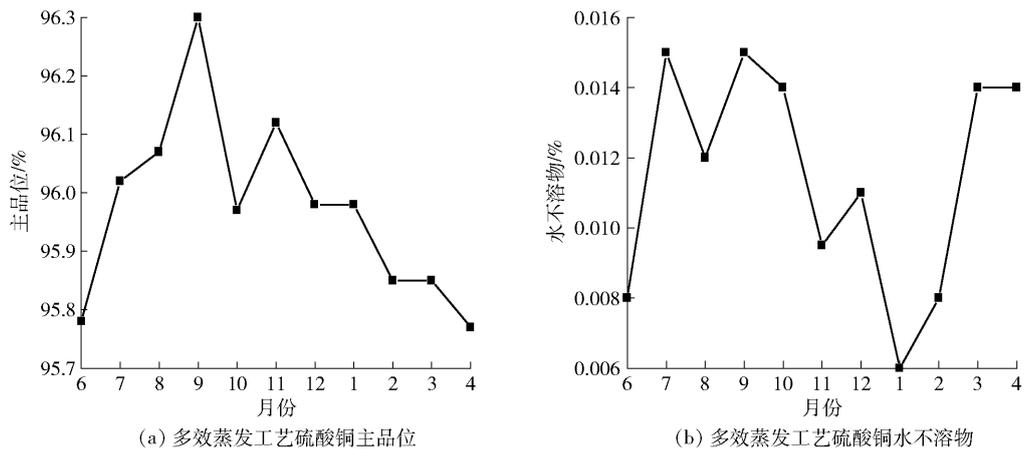


图3 三效混流蒸发工艺硫酸铜主品位、水不溶物含量变化曲线

Fig. 3 The change curve of main grade of copper sulfate and water insoluble content by three-effect mixed flow evaporation process

从图3产品主要品质曲线图可以看出,该技术成功开发与应用后,硫酸铜主品位稳定控制在95%~96%,水不溶物含量在0.005%~0.012%。

3.5 国内外同类技术对比

该三效真空蒸发工艺生产粗制硫酸铜与国内单

效真空蒸发工艺生产粗制硫酸铜的关键指标对比见表10。由表10可知,三效混流真空蒸发工艺技术指标明显优于单效真空蒸发,具有推广价值。

表10 国内外同类技术对比

Table 10 Comparison of similar technologies at home and abroad

序号	技术指标	西南铜业 常压蒸发	西南铜业三效 混流真空蒸发	国内单效 真空蒸发	国外同类技术
1	硫酸铜蒸汽单耗/(GJ·t ⁻¹)	28.17	16.62	18	未见规模化生产报道
2	粗制硫酸铜品位/%	94~95	95~96	83~92	

4 结论

西南铜业自主开发一套铜冶炼硫酸铜三效混流真空蒸发工艺流程及其全自动控制系统,并应用于粗制硫酸铜的生产,实践表明该系统运行良好,硫酸铜产品质量稳定,而且节约了蒸汽消耗,提升了自动化水平。

1) 硫酸铜三效混流真空蒸发工艺大幅度提高了蒸发效率,提高了自动化水平,降低了劳动强度;蒸汽单耗降低45%,回收的二次蒸汽冷凝水达到120 m³/d,可供电解其他工序使用;直接经济效益达到300万元/年以上。

2) 三效混流真空蒸发系统运行稳定,生产的副产品硫酸铜主品位稳定控制在95%~96%。

3) 该三效蒸发系统配套有全自动控制系统,包括

自主开发的“液位自动控制系统”和“时间自动控制系统”控制技术,能够确保真空蒸发系统的正常运行。

[参考文献]

- [1] 朱东升,刘仁杰,朱哲皓. 硫酸铜二效全自动板式真空蒸发装置: CN201410197359.2[P]. 2014.08.
ZHU Dongsheng, LIU Renjie, ZHU Zhehao. A two-effect automatic plate vacuum evaporation device for copper sulfate: CN201410197359.2[P]. 2014-08-13.
- [2] 华宏全,徐蕾. 多效蒸发浓缩技术在铜冶炼生产过程中的应用[J]. 有色冶金节能, 2020, 36(3): 20-22.
HUA Hongquan, XU Lei. Application of multi-effect evaporation concentration in copper smelting process[J]. Energy Saving of Nonferrous Metallurgy, 2020, 36(3): 20-22.
- [3] 钟金房. 911型高效节能三效浓缩器装置[J]. 中成药, 1996(6): 39.
ZHONG Jinfang. 911 high-efficiency energy-saving three-effect concentrator device[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 1996(6): 39.

- 1996(6): 39.
- [4] 朱怡. 多效真空浓缩器系统[J]. 硫酸工业, 1983(3): 63-64.
ZHU Yi. Multi-effect vacuum concentrator system[J]. Sulphuric Acid Industry, 1983(3): 63-64.
- [5] 陈俊, 王海元, 陈述梁, 等. 谈多效真空蒸发制盐改 MVR 蒸发制盐技术[J]. 中国井矿盐, 2022(6): 1-3.
CHEN Jun, WANG Haiyuan, CHEN Shulaing, et al. Brief introduction to the Mvr evaporative salt production technology from multi-effect vacuum evaporation[J]. China Well and Rock Salt, 2022(6): 1-3.
- [6] 高丽丽, 张琳, 杜明照. MVR 蒸发与多效蒸发技术的能效对比分析研究[J]. 现代化工, 2012(10): 84-86.
GAO Lili, ZHANG Lin, DU Mingzhao. Energy efficiency comparative analysis on MVR and multi-effect evaporation technology[J]. Modern Chemical Industry, 2012(10): 84-86.
- [7] 梁虎, 王黎, 朱平. 多效蒸发系统优化设计研究[J]. 化学工程, 1997(6): 48-55.
LIANG Hu, WANG Li, ZHU Ping. Optimal design of multiple-effect evaporation [J]. Chemical Engineering (China), 1997(6): 48-55.
- [8] 阮奇, 黄诗煌, 叶长桑, 等. 效蒸发系统优化设计目标函数的建立与求解[J]. 计算机与应用化学, 2001(1): 69-75.
RUAN Qi, HUANG Shihuang, YE Changshen, et al. Building and solving of the objection function for multi effect evaporation optimum design[J]. Computers and Applied Chemistry, 2001(1): 69-75.
- [9] 阮奇, 陈文波, 黄诗煌, 等. 复杂并流多效蒸发系统的数学模型与矩阵解法[J]. 中国工程科学, 2001(4): 36-41.
RUAN Qi, CHEN Wenbo, HUANG Shihuang, et al. The mathematics model and matrix method of complex concurrent[J]. Engineering Science, 2001(4): 36-41.
- [10] 刘晓华, 沈胜强, Klaus Genthner, 等. 多效蒸发海水淡化系统模拟计算与优化[J]. 石油化工高等学校学报, 2005, 18(4): 16-19.
LIU Xiaohua, SHEN Shengqiang, Klaus Genthner, et al. Simulation and optimization of MEE seawater desalination system[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2005, 18(4): 16-19.
- [11] 赵鹏, 孙军, 李成, 等. 多效蒸发与热压缩技术在制盐行业中的应用[J]. 苏盐科技, 2007(4): 1-4.
ZHAO Peng, SUN Jun, LI Cheng, et al. Application of multi-effect evaporation and thermal compression technology in salt industry[J]. Jiangsu Salt Science & Technology, 2007(4): 1-4.
- [12] 宋继田, 李丁, 叶京生, 等. 多效蒸发中最佳效数的确定[J]. 化工装备技术, 2002(4): 25-27.
SONG Jitian, LI Ding, YE Jingsheng, et al. Determination of the optimum number of effects in multi-effect evaporation [J]. Chemical Equipment Technology, 2002(4): 25-27.
- [13] 蒋国海. 多效蒸发末效二次蒸汽利用对节能的研究[J]. 四川食品与发酵, 2004(4): 49-51.
JIANG Guohai. Study on the multi-effect evaporating to save energy by utilizing final-effect second vapour[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2004(4): 49-51.

Three-effect mixed flow vacuum evaporation technology for copper sulfate solution in copper electrolytic process

WANG Youwei, LUO Jinsong, ZHONG Zhong, ZENG Wenbing, WANG Wei, YANG Yong
(Southwest Copper Branch, Yunnan Copper Co. Ltd., Kunming 650102, China)

Abstract: Electrolyte evaporation concentration-cooling crystallization is widely used in copper smelting industry to produce copper sulfate by-products, which is an important purification means to adjust the balance between copper and acid in copper electrolysis process. Common problems such as low evaporation efficiency, long evaporation time and high single steam consumption exist in conventional atmospheric evaporation of copper sulfate. Based on the analysis of the material properties of copper sulfate and the relationship between boiling point and vacuum degree, Southwest Copper Branch has developed a three-effect mixed-flow vacuum evaporation concentration technology for copper sulfate and successfully industrialized. This technology realizes the automatic control of copper sulfate evaporation process, greatly improves the evaporation efficiency of copper sulfate, reduces the steam consumption by 45%, and recovers the secondary steam condensate 120 m³/d, creating an annual economic benefit of more than 3 million Yuan. The evaporation system runs well, the quality of copper sulfate products is stable. It has advantages such as high efficiency, energy saving, environmental protection and fully automated production of copper sulfate, which solves the common problems in the industry and has the value of popularization and application.

Key words: copper electrolysis; the balance between copper and acid; copper sulfate crystallization; multi-effect evaporation technology; vacuum evaporation; three-effect mixed flow process; energy-saving