

引用格式:李鸿程,曾文斌,李继元,等.铜电解新型槽间导电排研发与应用[J].有色设备,2024,38(3):81-85.

LI Hongcheng, ZENG Wenbin, LI Jiyuan, et al. Development and application of a new type of conductive bar between the electrolyzers for copper electrolysis[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(3): 81-85.

铜电解新型槽间导电排研发与应用

李鸿程, 曾文斌, 李继元, 徐 撒, 沐亚玲, 杨富跃

(云南铜业股份有限公司 西南铜业分公司, 云南 昆明 650102)

[摘要] 针对常规铜电解槽间导电排存在的问题,基于“同极两触点”原理,研发包括主导电排、绝缘板、辅导电排的铜电解新型槽间导电排,确定了其材质和制造工艺,并以同等的生产条件开展了生产试验研究。根据试验结果可知:采用新型导电排,接触点温度平均降低 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,每个电解槽的电压值平均降低了 9.13 mV ,表明导电性更好;每块阴极铜重量平均提高 0.65% ,表明电流效率提高 0.65% ;每块阴极铜重量平均方差降低 0.15 ,表明每块阴极铜的重量波动减小,极板导电均匀性更好。

[关键词] 铜电解; 导电排; 多触点; 导电均匀性; 电流效率

[中图分类号] TF811 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)03-0081-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.03.013

0 前言

在铜电解生产过程中,槽间导电排用于电解槽与电解槽之间阳极板、阴极板的直流导电,多采用常规的单根导电排实现各电解槽之间极板的导电,每块极板与导电排只有一个接触点,由于操作、现场环境等因素影响,会出现极板与导电排接触不良,同一电解槽中各阴极、阳极导电不均匀的情况,导致电解槽中各块极板的电流分布不均匀,部分极板的电流密度增大,阴极铜、残极的块重不平衡,直接影响电流效率、残极率、产品质量等经济技术指标。在日常生产过程中,通常采取增加人工巡检频次等措施,以降低对以上经济技术指标的影响,但采取管理措施,一方面人员劳动强度大,另一方面是巡检效果受员工责任心、技能水平影响较大,通常效果不佳。

鉴于目前常规铜电解槽间导电排存在的问题,需研发一种采用新原理、新结构的高效槽间导电排,以便在同等条件下,减少极板短路、开路现象,提高阳极、阴极电流分布的均匀性,以提升电流效率、残极率等经济技术指标,降低人员劳动强度。

1 常规槽间导电排特点

常规槽间导电排的截面形状为方形或如图1(a)所示的圆弧形凸起(图1(a)),导电排上方铺设绝缘板(图1(b)),每块极板吊耳一端与导电排接触,另一端与绝缘板接触(图1(c)),即极板吊耳与导电排只有一个接触点导电,该接触点由于受极板外形质量影响,特别是阳极板的外形质量,导致接触点接触不良,导电不好。

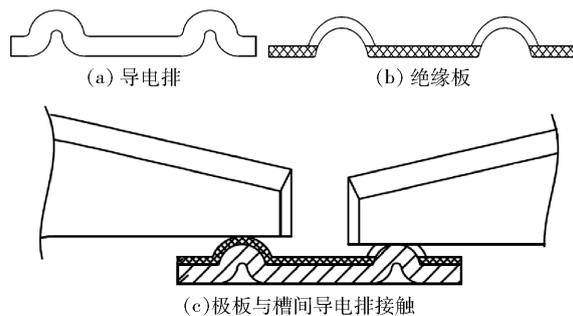


图1 常规槽间导电排

Fig. 1 Conventional conductive bar

在电解槽中,阳极板与阴极板交错沿电解槽长度方向等距放置(图2),如果阳极板吊耳与导电排接触,则同一侧对应位置的阴极板吊耳与绝缘板接触,阳极板与阴极板在电解液中存在高差,也就是阳极板、阴极板没有水平放置在电解槽中,均与电解液

[收稿日期] 2024-01-15

[第一作者] 李鸿程(1987—),男,云南建水人,高级工程师,硕士,主要从事铜电解生产、设备管理与技术创新工作。

液面线不平行,导致阴极铜上边缘与底边不平行,残极容易出现单侧吊耳溶解较多发生断落的情况。



图2 极板放置状态

Fig.2 State of plate placement

2 两触点(多触点)槽间导电排

鉴于常规槽间导电排存在的不足,奥地利METTOP公司发明一种双触点节能导电装置^[1],并与平行流技术(装置)运用于祥光铜业^[2],降低电耗。

杭州三耐环保科技有限公司发明了一种带同极联通回路的电解槽间导电装置(图3),包括绝缘垫板,绝缘垫板上设有主导电板、阴极联通排和阳极联通排,其中阴极联通排和阳极联通排分别设于主导电板的两旁,主导电板、阴极联通排和阳极联通排通过定位卡条实现轴向定位^[3]。

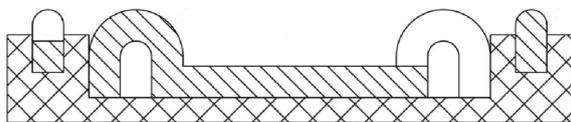


图3 带同极联通回路的电解槽间导电装置

Fig.3 Conduction device with homopolar connection circuit

三门三友冶化技术开发有限公司发明了卡槽式两极四触点电积、电解辅导电装置(图4)^[4]以及嵌入式电积电解槽间两极四触点导电装置(图5)。后者主要包括底部辅导电装置和主导电板,主导电板嵌入在底部辅导电装置内,底部辅导电装置由辅导电排和绝缘层组成,若干个辅导电排嵌入在绝缘层2条长边的凸棱上,成为一体式结构,主导电板的上表面设有若干个凸台接触面^[5]。

以上装置基本原理是分别增加阳极板、阴极板与导电排的接触点,阳极一端与导电排接触导电,另一端通过阳极辅助导电排将每块阳极板导通;阴极一端与导电排接触导电,另一端通过阴极辅助导电排将每块阴极板导通。

3 新型槽间导电排设计方案

基于两触点(多触点)原理,采用“同极多触点”

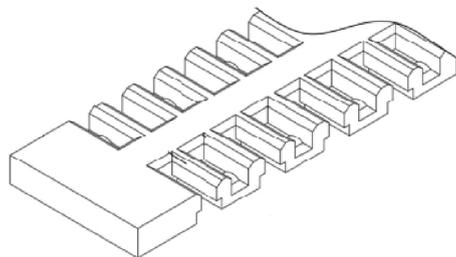


图4 卡槽式两极四触点电积、电解辅导电装置

Fig.4 Card slot type bipolar four-contact electrodeposition, electrolytic guidance electric device

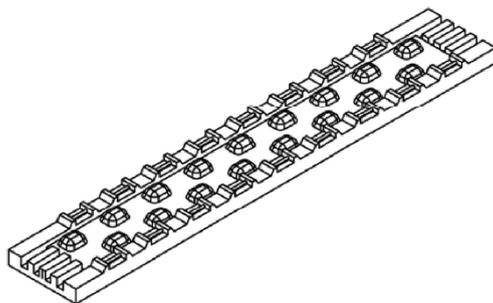


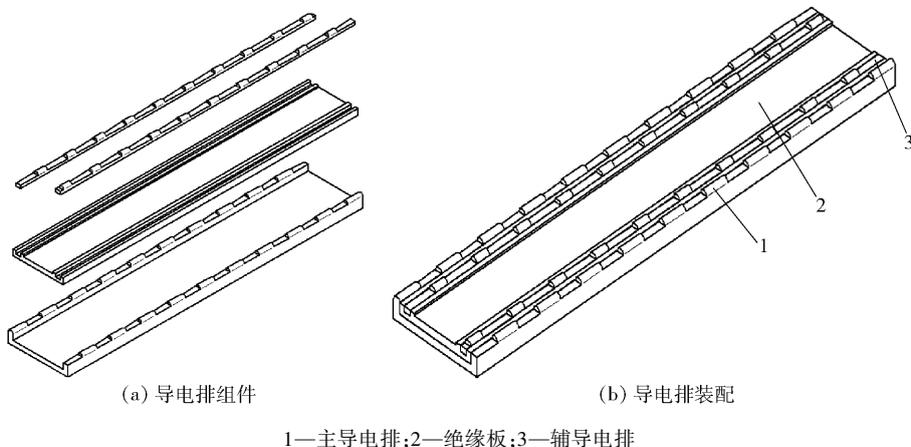
图5 嵌入式电积电解槽间两极四触点导电装置

Fig.5 Embedded bipolar four-contact conducting device between electrodeposition and electrolytic cell

原理代替现有常规铜电解槽间导电排的“同极单触点”,开发新结构形式的两触点(多触点)槽间导电排。新型槽间导电排包括主导电排、绝缘板、辅导电排(阴极辅导电排、阳极辅导电排),主导电排采用C形结构,设置于底部,绝缘板嵌入在主导电排上方内侧,2块辅导电排分别嵌入在绝缘板上方两侧边的凹槽内;不同极的主导电排、辅导电排通过绝缘板隔开,互不连通导电;同极的主导电排、辅导电排通过极板连通导电^[6]。

新型导电排能实现阳极两导电端同时与直流电路正极导通,以及阴极两导电端同时与直流电路负极导通。当某块或某几块极板与主导电排接触不良或直接断开没有接触时,通过辅导电排将电流导入到极板,使每块极板都能导电,并且导电均匀。

新型导电排可在现场组装,并且便于分别更换主导电排、绝缘板、辅导电排;主导电排采用C形结构,具有很好的包裹性和承载性,使辅导电排、绝缘板能较好的承受极板重量,不易损坏,辅导电排不易倾倒、脱出、掉落;绝缘板中间凹槽易于排出装置上残留的电解液。新型导电排的结构如图6所示。



1—主导电排;2—绝缘板;3—辅导电排

图6 新型槽间导电排

Fig. 6 The new type of conductive bar

4 新型槽间导电排材质及制造方案

4.1 导电排材质及制造工艺

综合分析,主导电排、辅导电排采用铜材质,化学成分等要求符合 T2 标准,主要技术参数满足表 1 要求^[7]。

表 1 导电排技术参数表

Table 1 Technical parameters of conductive bar

项目	Cu 含量/%	直流电阻率/ $(\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})$	导电率	布氏硬度
数值	≥ 99.95	≤ 0.01777	$\geq 97\%$ IACS	$\geq \text{HB65}$

4.2 绝缘板材质及制造工艺

综合考虑到绝缘板的加工精度、硬度、韧性、强度、耐腐蚀性、承载性能、绝缘性、实用性、稳定性、经济性等要求,选择常见高密度聚乙烯(HDPE)和玻璃钢制品作为绝缘板的材料。其次,玻璃钢绝缘板分别采用人工手糊制作工艺和机械化拉挤一体成型制作工艺,并对 3 种绝缘板进行对比生产试验。

两种材质在正常使用过程中,基本满足生产情况。但出现极板短路、发热温度较高,导致高密度聚乙烯高温烧损、软化,而玻璃钢能满足类似的异常情况。

人工手糊制作绝缘板机械强度、耐腐蚀性等满足使用要求,但外形质量差,尺寸精度达不到要求;采用机械化拉挤一体成型工艺,尺寸精度高、外形质量好、机械强度更高,满足加工、装配精度要求。通过试验对比,采用机械化拉挤一体成型的玻璃钢作为绝缘板。

新型导电排加工精度、表面质量、形位公差等都高于常规导电排,综合考虑导电排的结构、性能、加工精度等,用阴极铜作为原料,采用“上引连铸+连续挤压+精整拉拔+精校+铣床机加工”的组合制造工艺。

5 新型槽间导电排应用效果

5.1 生产试验

将新型导电排投入到 PC 电解生产中,与常规导电排配置到同一组电解槽(共 32 个电解槽),配置新型导电排的电解槽与配置普通导电排的电解槽各占一半(共 16 个电解槽),以相同的正常生产条件,开展对比试验,生产条件如表 2 所示。

表 2 生产试验条件

Table 2 Production test condition

项目	电流密度/ $(\text{A} \cdot \text{m}^{-2})$	极距/ mm	$\text{Cu}^{2+}/$ $(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{H}_2\text{SO}_4/$ $(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
数值	330	95	40 ~ 50	160 ~ 180

主导电排、辅导电排之间的距离非常近,在实际生产过程中确保主导电排、辅导电排没有导通是至关重要的,需要保持干净,清除硫酸铜等杂物。

5.2 应用效果

5.2.1 导电性

对同时通电生产的不同槽进行对比,测量阴极与导电排接触点温度,在不同时段测量 46 组数据,平均温度如表 3 所示。试验槽中的阴极与导电排接触点温度同比较低 1.8 °C,表明接触点电阻小,导电性更好。

分别对 10 槽试验槽、10 槽对比槽(非试验槽)进行槽压跟踪测量,如表 4 所示,试验槽的平均槽

电压均低于对比槽的平均槽电压,每槽平均低了 9.14 mV。

表 3 阴极与导电排接触点温度表

Table 3 Temperature gauge for the contact point between cathode and conductive bar

槽号	阴极与导电排接触点温度		
	试验槽 1	试验槽 2	对比槽 3
平均温度	50.1°C	49.5°C	51.6°C

表 4 电解槽槽电压表数据

Table 4 Cell voltage

mV

测量日期/(月/日)	5.11	5.12	5.13	5.14	5.15	5.16	5.17	5.18	5.19	5.20	5.21	5.22	5.23	5.24
对比槽电压	275	278.4	286.1	287.1	288.8	367.4	358.5	364.2	365.1	361.4	363.6	368	390.4	393.9
试验槽电压	268.2	250.6	280.2	279.8	282.8	359.2	348.5	349.3	360.4	355.8	362.2	362.1	378	382.9

接触点温度、槽电压较低,均表明新型导电排的导电性较好,电耗较低。

5.2.2 电流效率

经过一定周期的铜电解生产之后,分别抽取一定槽数的试验槽、对比槽(非试验槽)的阴极铜进行称重,从同一生产周期的阴极铜平均块重来看,试验槽的阴极铜产量分别是对比槽的 100.58%、100.78%、

100.51%、100.74%,平均高出 0.65%。

根据法拉第定律,在其他生产条件基本恒定的情况下,阴极铜产量与电流效率成正比,阴极铜产量计算公式如式(1)所示。

$$Q = q \times I \times t \times \eta \quad (1)$$

式中: q 为铜电化当量,1.185 g/(A·h); η 为电流效率,%; I 为电流强度,A; t 为通电时间,h。

表 5 阴极铜重量表

Table 5 Cathode copper weight

日期 (年/月/日)	非试验槽/对比槽					试验槽				
	垛数	块数	重量/ kg	平均块重/ kg	块重 方差	垛数	块数	重量/ kg	平均块重/ kg	块重 方差
2023/02/02	14	591	34 506	58.39	1.08	16	673	39 526	58.73	0.81
2023/02/11	15	572	36 734	64.22	0.41	12	461	29 838	64.72	0.39
2023/04/20	8	305	19 214	63.00	0.62	8	305	19 312	63.32	0.36
2023/05/25	8	336	19 900	59.23	0.45	8	336	20 049	59.67	0.40

根据式(1)可知,电流提高 0.65%。

5.2.3 导电均匀性

1) 阴极铜重量均匀性。

从表 5 中同一生产周期的阴极铜平均块重方差来看,试验槽的阴极铜块重平均方差 0.49,对比槽的阴极铜块重平均方差 0.64,低于对比槽 0.15,表明试验槽的阴极铜的平均块重更均匀。

2) 残极均匀性

从出槽残极的外形来看,试验槽的残极块重、外

形较对比槽均匀。试验槽阴极铜、残极块重更均匀,均表明试验槽每块极板的导电性更均匀。

其次,电解槽一侧的常规导电排顶部有绝缘板,另一侧对应位置没有,存在高差,每块极板置于电解槽中与液位线不平行,导致残极一侧的吊耳容易断裂,残极掉落到电解槽中;采用新型导电排,极板两侧不存在高差,极板与液位线平行,不易出现单侧吊耳溶解较多发生断落的情况。

按照理论产量 55 万 t/a 测算,电流效率提高

0.65%,每年多生产阴极铜3575 t/a;采用新型导电排,导电性、导电均匀性、电流效率更好,节约电耗,减少碳排放。

6 结论

1)基于“同极两触点”原理,研发包括主导电排、绝缘板、辅导电排的新结构形式的铜电解槽间导电排,自身具备更换便捷性、耐用性、稳定性好等特点;

2)通过试验研究,相比常规导电排,采用新型导电排后,接触点温度平均降低1.8℃,每个电解槽的电压值平均降低了9.13 mV,表明导电性更好;

3)每块阴极铜重量平均提高0.65%,表明电流效率提高0.65%;

4)每块阴极铜重量平均方差降低0.15,表明每块阴极铜的重量波动减小,极板导电均匀性更好。

[参考文献]

- [1] Tim Robinson. Latest Technology Developments in Copper Electrometallurgy[J]. alternative technologies, Inc, 2013.
- [2] Dr. Andreas Filzwieser. METTOP-BRX-Technology-The

latest technology in electrorefining of copper[J]. METTOP GmbH, 2013.

- [3] 林建平. 带同极联通回路的电解槽间导电装置: CN203159732U[P]. 2013. 08. 28.
- [4] 吴用, 郑丰敏, 吴俊义, 等. 卡槽式两极四触点电积、电解辅导电装置: CN204281878U [P]. 2015. 04. 22.
- [5] 吴用, 郑丰敏, 吴俊义, 等. 嵌入式电积电解槽间两极四触点导电装置: CN204385304U [P]. 2015. 06. 10.
- [6] 李鸿程, 罗劲松, 曾文斌, 等. 一种电解电积槽间主导电装置: CN217203026U [P]. 2022. 08. 16.
- [7] 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分: 铜和铜合金母线 [S]: GB/T 5585.1—2018.
- [8] 胡渊明, 马春来. 降低铜电解直流电耗的生产实践[J]. 有色矿冶, 2006, 22(4): 61—63.
- [9] 卞海林. 铜电解用整流机组的选择与计算[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(2): 70—74.
- [10] 曾箐雨, 蒙毅, 李纯, 等. 铜电解槽的极间短路温度效应[J]. 湿法冶金, 2020, 39(5): 429—433.
- [11] 郭甦. 浅析新型铜电解机组控制系统的设计[J]. 有色矿冶, 2016, 32(6): 46—48.

Development and application of a new type of conductive bar between the electrolyzers for copper electrolysis

LI Hongcheng, ZENG Wenbin, LI Jiyuan, XU Sa, MU Yalin, YANG Fuyue

(Yunnan Copper Co., LTD. Southwest Copper Branch, Kunming 650102, China)

Abstract: Based on the principle of “two contact points in the same pole”, a new type of conductive bar between copper electrolyzers was developed, which includes leading bar, insulating board and guiding bar. The material and manufacturing process of the conductive bar were determined, and the production experiment was carried out under the same production conditions. According to the test results: by using this new type of conductive bar, the average temperature of the contact point is reduced by 1.8℃, and the average voltage value of each electrolytic cell is reduced by 9.13 mV, which indicating that the conductivity is better. The average copper weight of each cathode is increased by 0.65%, indicating that the current efficiency is increased by 0.65%. the mean variance of the weight of each cathode copper is reduced by 0.15, indicating that the weight fluctuation of each cathode copper is reduced and the conductive uniformity of the plate is better.

Key words: copper electrolysis; conductive bar; multiple contact; conductive uniformity; current efficiency

