

引用格式:李鸿程,曾文斌,李继元,等.艾萨阴极铜洗涤工艺改进及应用[J].有色设备,2024,38(6):76-80.

LI Hongcheng, ZENG Wenbin, LI Jiyuan, et al. Improvement and application of ISA cathode copper washing technology [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(6): 76-80.

# 艾萨阴极铜洗涤工艺改进及应用

李鸿程, 曾文斌, 李继元, 杨富跃, 沐亚玲, 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]** 针对艾萨阴极铜洗涤后底部边缘附着的蓝色硫酸盐结晶物, 本文深入分析和探究其产生原因, 并在此基础上对现有洗涤工艺进行了改进。通过在阴极剥片机组上优化洗涤设施, 在不影响机组运行效率的情况下, 显著提升了阴极铜的洗涤质量, 大幅减少了蓝色硫酸盐结晶物的生成。改进后的工艺使底部蓝色杂质附着数量从原先的90%以上大幅降至5%以下, 同时, 长时间摆放后析出的蓝色杂质阴极铜块数占比也从60%以上降至20%以下, 且每块附着的蓝色杂质程度明显减轻。这一成果为提升阴极铜产品质量提供了有力支持。

**[关键词]** 艾萨电解; 阴极铜; 洗涤质量; 阴极剥片机组; 蓝色结晶物

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)06-0076-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.06.011

在艾萨法永久阴极电解铜生产中, 出槽的阴极铜表面会附着电解液等, 冷却后析出硫酸铜、钙等酸性结晶物。因此, 对阴极铜表面进行有效洗涤是铜电解企业关注的重点之一。根据国家标准要求, 阴极铜表面应洁净, 无污泥、油污、电解残渣等外来杂质<sup>[1]</sup>。传统的阴极铜洗涤方式包括人工高压水枪喷洗、将整垛阴极铜浸泡于洗涤水中进行烫洗、或动态喷淋洗涤。然而, 人工喷洗效果不佳, 效率低下, 且不节能环保; 浸泡烫洗虽然效果较好, 但效率较低。相比之下, 新型动态喷淋洗涤依次采用浊水、清水、净水冲洗方式, 通过在阴极板4个侧面端设置相对应的喷头, 确保沿着输送方向阴极板的前后面均能得到有效清洗, 从而保证冲洗后阴极板的清洁度。此外, 清洗水回流收集、重复利用, 操作简便, 节能环保<sup>[2]</sup>。

在永久阴极电解生产工艺中, 通常采用动态喷淋洗涤的方式对阴极铜进行清洗。具体而言, 阴极铜从不锈钢阴极板上剥离下来之前, 阴极铜吸附在不锈钢阴极板两侧一同进入喷淋洗涤系统洗涤。尽管这种方式能够有效清除阴极铜表面的大部分杂物, 但仍无法从根本上解决底部边缘沉积的硫酸铜、钙等杂物, 出现“发蓝”情况。在下游阴极铜熔融制作电线等

制品的过程中, 这些蓝色的硫酸盐结晶物会融入阴极铜中, 导致阴极铜的杂质含量增加, 进而影响铜制品的性能。底部边缘“发蓝”问题一直是铜冶炼行业的一大共性难题, 长期以来难以得到有效解决。

## 1 洗涤方式现状

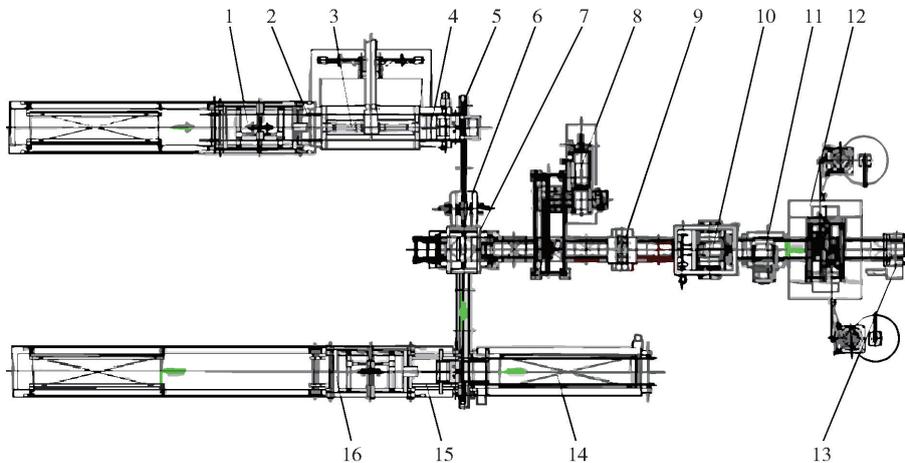
### 1.1 现有洗涤方式

阴极铜在达到生产周期后, 从电解槽中取出, 通过吊车吊运至阴极剥片机组(图1)进行输送、洗涤、剥离、堆垛、称重、打包等一系列处理后入库。目前, 通常采用的方式是: 在阴极铜从不锈钢阴极板(极板)剥离之前, 一起进入机组的洗涤系统进行洗涤(图2)。该洗涤系统由洗涤箱、洗涤室、循环水泵、蒸汽加热管道、喷淋系统、排雾系统等组成<sup>[3]</sup>。洗涤过程分为一次循环水洗涤、二次循环水洗涤和三次干净水漂洗。其中, 一次洗涤水和二次洗涤水是内循环水, 在一定周期内进行更换, 而三次漂洗水则是不断加入的新干净冷凝水。洗涤后的阴极铜流入二次循环水箱, 再溢流到一次循环水箱, 一次循环水箱的水排放到电解液中。为防止引起电解液体积过度膨胀导致生产波动, 需控制干净漂洗水的用量。然而, 用水量过小则可能影响洗涤质量。

采用现有的喷淋洗涤方式, 可通过以下措施来提高阴极铜的洗涤质量。①优化洗涤水参数: 提高

**[收稿日期]** 2024-08-10

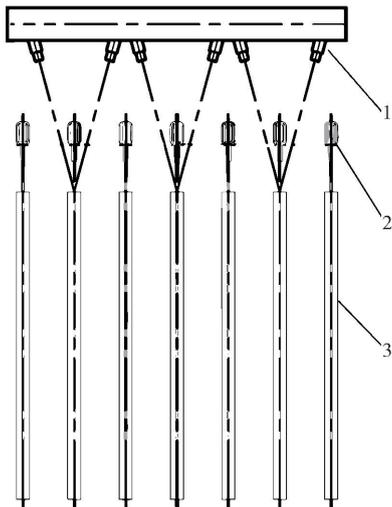
**[第一作者]** 李鸿程(1987—), 男, 云南建水人, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事铜电解设备设计及其管理工作。



1—载荷小车；2—接收输送；3—洗涤系统；4—输送装置；5—横向输送；6—弯曲预剥离装置；7—剥离装置；8—取样装置；9—铜板输送；10—堆垛装置；11—称重系统；12—打包装置；13—铜垛输送；14—废板输送；15—排板输送；16—卸载小车

图1 阴极剥片机组示意

Fig. 1 Schematic diagram of the cathode stripping unit



1—喷淋管；2—不锈钢阴极板；3—阴极铜

图2 剥离前洗涤示意

Fig. 2 Schematic diagram of washing before stripping

洗涤水的温度、压力和流量，并控制水的 pH 值在适宜范围内，以增强洗涤效果；②改进喷头设计：优化喷头的布局、数量、位置和角度，确保洗涤水能够均匀覆盖阴极铜表面；③调整阴极间距：适当扩大每块阴极与阴极之间的距离；④改变输送方向：将阴极沿垂直轴线旋转 90°，改变其输送方向，并在板面两侧布置喷头，以实现全方位洗涤；⑤提升洗涤水质量：提高洗涤水的过滤质量，增加更换频次，确保洗涤水的清洁度；⑥定期维护洗涤系统：适时清理洗涤系统中的水箱、管道、喷头和滤网，去除杂物，保持系统畅通；⑦阶梯

式喷淋设计：将喷淋管设置成阶梯状，在不同阶层的喷淋管上安装角度可调的喷淋头，对阴极铜的不同区域进行分阶梯喷淋洗涤，特别是加强阴极铜顶部以下，尤其是中下部的洗涤，从而提高阴极铜的整体洗涤质量<sup>[4]</sup>。通过这些措施，可以显著提升阴极铜的洗涤效果，确保其表面洁净度，基本满足生产要求。

## 1.2 存在问题及原因分析

阴极板结构复杂，尤其是绝缘边条等区域，电解液残留物不易彻底洗涤。不锈钢阴极板底部有 V 形槽，阴极铜在极板上结晶后底部呈“W”形，底部有凹槽，钢板及阴极铜上部的电解液顺流而下，在底部凹槽内冷却并析出硫酸盐结晶。然而，现有的洗涤喷头无法直接喷射到底部凹槽区域。阴极铜洗涤采用喷淋方式，无法将阴极板完全浸入水中进行充分烫洗。喷头间隔分布，导致洗涤覆盖不全面，容易出现洗涤死角和盲区。此外，在洗涤过程中，每块阴极板之间的间隔距离较小，进一步影响了喷头对阴极板中下部位的冲洗效果<sup>[5]</sup>。

此外，由于卡在不锈钢阴极板两侧的绝缘边条与极板存在一定的间隙，在电解槽中电解液容易渗入这些缝隙，导致缝隙夹带电解液。不锈钢阴极板结构如图 3 所示。在洗涤过程中无法冲洗干净，残留的电解液在后续的输送、绕曲过程（图 4）以及剥离过程（图 5）中，因绝缘边条与极板的振动和弹性变形而流出，流至阴极铜表面，尤其是底部边缘，造成二次污染。这种现象导致阴极铜底部边缘出现“发蓝”现象，尤其是在在绝

缘边条老化或松动时,情况更为严重。阴极铜从机组出来的初期,底部“发蓝”的块数占比高达90%以上。长时间摆放后,由于温度变化和空气中水分的影响,结晶物析出增多,“发蓝”现象进一步加剧,严重“发蓝”的块数占比可达60%。现有的洗涤方式在阴极铜剥离之前无法有效解决这一问题。

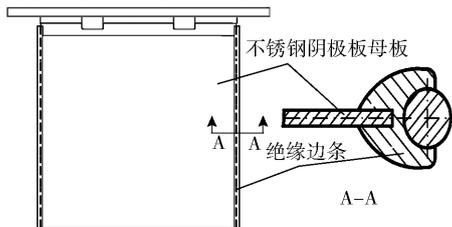


图3 不锈钢阴极板(极板)

Fig.3 Stainless steel cathode plate (electrode plate)



图4 绕曲过程

Fig.4 Winding process

## 2 洗涤工艺及系统的改进

### 2.1 洗涤工艺流程

针对上述存在的问题,在阴极剥片机组上对现有洗涤工艺及装置进行改进。在阴极铜剥离之后,利用铜板输送装置上(图1中的9)在水平放置输送过程中,阴极铜在输送、短暂停留等待时,对阴极铜再次清洗,考虑到洗涤后会有大量洗涤水残留在阴极铜板面上,对阴极铜进行压缩风吹扫,再用热风干燥阴极铜表面。阴极剥片机组原有的处理流程:阴极铜洗涤→剥离→堆垛→称重→打包→输送。经过改造后,阴极剥片机组的处理流程(图6)调整为:阴

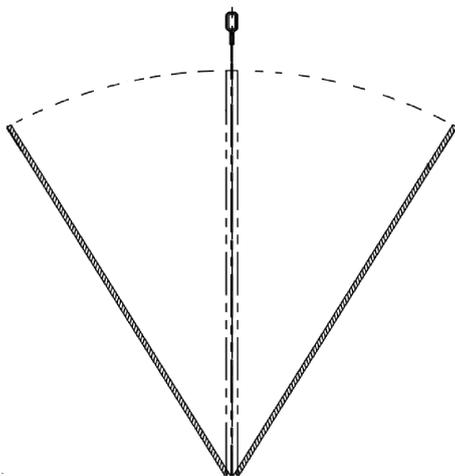


图5 剥离过程

Fig.5 Stripping process

极铜洗涤→剥离→洗涤→压缩风吹扫→热风干燥→堆垛→称重→打包→输送。为了便于阴极铜的洗涤、干燥,增加了检测元件,并对机组运行程序进行了修改,调整了输送链的启停频次和时间。同时,将原来2块阴极铜板叠加在一起输送的方式改为单块输送,以提高洗涤和干燥的效率。

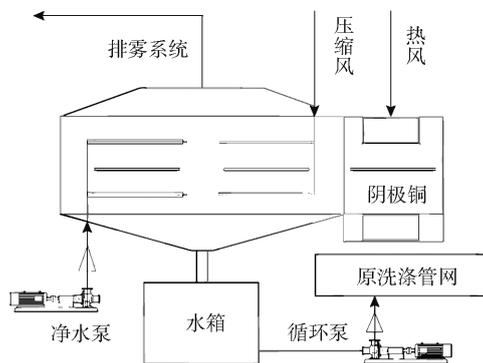


图6 洗涤工艺流程示意

Fig.6 Schematic diagram of the washing process

### 2.2 洗涤系统及主要参数

在铜板输送装置的几个工位增设第二段洗涤系统(图7),包括:喷淋洗涤装置、压缩风吹扫装置、热风干燥机、排雾系统、洗涤水回收利用装置。

喷淋洗涤装置采用泵加压的干净冷凝水对阴极铜进行静态和动态洗涤,有效去除硫酸盐结晶等附着杂物。试验表明,洗涤温度65~85℃、洗涤压力0.2~0.4 MPa较适宜。在洗涤工位的阴极铜板上、下分别布局3排喷淋管,分别位于阴极铜板面距上边缘1~2 cm处、中间以及距下边缘1~2 cm处适

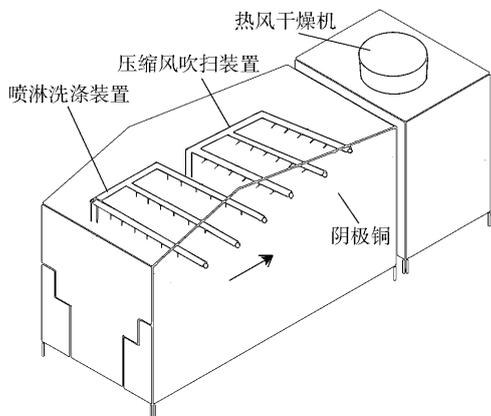


图7 洗涤系统主要装置示意

Fig. 7 Schematic diagram of the main devices in the washing system

宜,以确保全面覆盖洗涤区域。每根喷淋管上安装多个伞片喷嘴<sup>[6]</sup>,其特点是使射出的水柱呈抛物线形状散开,从而扩大对阴极铜板的冲洗面积。同时,柱锥状喷嘴具有点对点喷射、定位准确、水柱集中的特点,确保了对阴极铜板不同部位的有效冲洗。每根喷淋水管设置多个喷嘴,以保证对阴极铜板不同部位的全面冲洗。喷嘴相对阴极铜板入射角度的设置对喷洗效果至关重要,应确保喷射出的水柱不是直接由板面反射回来,而是使水柱的冲击力沿板面方向有一定的分力,沿着板面散开,从而带走水柱冲击点附近及所流经部位的污物<sup>[7-9]</sup>。

在吹扫工位,阴极铜板面的上、下两侧分别设置3根吹扫风管,这些风管与输送装置的输送链运行方向垂直,呈“十字”形布置。每根风管上安装多个喷头,压缩风吹扫方向与阴极铜板输送方向相反,角度 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,风压保持在0.5 MPa以上,以有效吹走板上残留的洗涤水。由于压缩风中含有一定的油污和水,在压缩风管道上加装过滤、排污和排水设施,过滤精度 $10 \mu\text{m}$ ,以确保吹扫过程的清洁和高效<sup>[10-11]</sup>。

在热风干燥工位,阴极铜板面的上、下两侧分别布置1台热风机,每台热风机的出风口分别对向阴极铜板面且与板面垂直。通过将自然风加热至 $100^{\circ}\text{C}$ 以上,对阴极铜表面吹扫和加热,有效干燥阴极铜表面的水汽,减少阴极铜板表面的氧化现象,从而避免阴极铜表面因氧化引起发黑、发暗的情况。

设置水箱、循环泵等,将新增洗涤装置的洗涤水加压输送到原洗涤系统,实现再次利用,以提高水资源利用效率。在洗涤装置上方布置排雾系统,有效

避免水雾飞溅,改善工作环境,确保机组正常运行。新的阴极铜洗涤工艺主要参数如表1所示。

表1 阴极铜洗涤工艺主要参数

Table 1 Main parameters of cathode copper washing process

洗涤水	温度/ $^{\circ}\text{C}$	65 ~ 85
	压力/MPa	0.2 ~ 0.4
压缩风	角度/ $(^{\circ})$	30 ~ 60
	压力/MPa	0.5
热风	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\geq 100$
	压力/Pa	1 400 ~ 2 000

### 3 应用效果

阴极铜作为铜冶炼企业的最终产品,其化学品质、物理外形及表面洁净度均需满足严格要求,其中表面洁净度尤为关键。在永久阴极铜电解生产过程中,由于不锈钢阴极板的特殊结构,现有的动态喷淋洗涤工艺设置在阴极铜剥离前存在一定局限性,导致洗涤后阴极铜底部仍附着蓝色结晶物杂质。此外,绝缘边条夹带的电解液在洗涤后对阴极铜表面造成二次污染,进一步增加了蓝色结晶物的附着,加剧了阴极铜的“发蓝”现象。

本文深入分析了影响阴极铜洗涤质量的根本原因,并对原有的洗涤工艺进行了改进,在阴极铜剥离之后增加了再次洗涤的步骤,以期提升洗涤效果。

1) 剥离后再次洗涤:在阴极铜从不锈钢阴极板剥离后,增加再次洗涤的步骤,以减少剥离前洗涤波动或不充分带来的影响,并有效避免绝缘边条夹带电解液对阴极铜表面造成的二次污染。

2) 快速干燥处理:在阴极铜洗涤后,采用快速干燥的方式,确保阴极铜表面的水分迅速蒸发,减少附带水分的问题,弥补原机组无干燥功能的不足。

3) 新增装置与系统:增加新的洗涤和干燥装置及系统,但未增加原设备的运行工位,确保原设备的运行速度不受影响。

4) 洗涤水源优化:采用原洗涤系统三次漂洗的干净冷凝水作为新增洗涤系统的水源,并将洗涤后的水回收用于原洗涤系统的三次洗涤。虽然增加了新的洗涤系统,但并未增加洗涤的新水用量,新水用量反而大幅降低,从 $12 \text{ m}^3/\text{h}$ 减少到 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

5) 洗涤效果显著提升: 阴极铜底部蓝色结晶杂质大幅减少,“发蓝”现象明显改善。从机组出来时,底部杂质附着量从90%以上降低至5%以下;长时间摆放后,“发蓝”阴极铜块数占比从60%以上降低至20%以下,且每块的“发蓝”程度显著减轻。

新的洗涤工艺及设施投入使用后,显著减少了阴极铜表面,尤其是底部边缘附着的蓝色硫酸盐结晶等杂质,有效降低了这些杂质对阴极铜制品的影响。

## 4 结语

本文深入分析艾萨阴极铜洗涤后底部边缘附着蓝色硫酸盐结晶物产生的原因,改进现有的洗涤工艺,增加阴极铜剥离后动态洗涤、压缩风吹扫、热风干燥工艺及装置;采用动态喷淋洗涤,控制洗涤温度65~85℃,洗涤压力0.2~0.4 MPa,高效、快速洗涤阴极铜表面杂质;针对阴极铜洗涤后板面上有大量残留水的问题,设置与板面成30°~60°角度的压缩风吹扫管道,用风压0.5 MPa以上的压缩风沿阴极铜输送的相反方向吹扫残留水,在非常短的时间内把残留水吹走,不影响设备整体效率;使用100℃以上的热风干燥阴极铜表面,除去水汽,减少阴极铜表面氧化。

经过工艺改进,底部蓝色杂质附着量显著减少,从原先的90%以上大幅降至5%以下。同时,长时间摆放后析出的蓝色杂质质量也由60%以上降至20%以下。此外,每块附着的蓝色杂质程度明显减轻,有效提升了阴

极铜表面的洁净度。这一改进不仅有助于提高阴极铜深加工产品的品质,还展现出良好的应用效果,为行业内其他企业提供了可借鉴的实践经验。

### [参考文献]

- [1] 全国有色金属标准化技术委员会. 阴极铜: GB/T 467—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [2] 张伟旗, 舒胜春. 永久阴极剥片机组工艺装备设计创新及关键技术研究[J]. 有色冶金设计与研究, 2015, 36(3): 41—45
- [3] 王冲. 铜电解生产及操作手册[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2016.
- [4] 孔德颂, 罗劲松, 李鸿程, 等. 一种阴极铜喷淋洗涤装置: 208829773[P]. 2022-05-07.
- [5] 李鸿程, 代开健. 提高艾萨阴极铜洗涤质量的生产实践[J]. 中国有色冶金, 2018(5): 49—51.
- [6] 李鸿程, 曾文斌, 孔德颂, 等. 一种阴极铜板清洗系统: 215404585[P]. 2022-01-04.
- [7] 黄湘. 大极板高纯阴极铜动态喷洗技术的研究与应用[J]. 中国有色冶金, 2005, 26(3): 5—7.
- [8] 朱鹏达. 双电机消隙系统在铜阳极板浇铸圆盘上的应用分析[J]. 制造业自动化, 2018, 40(10): 19—21, 69.
- [9] 杨坤彬, 范兴祥, 刘大方, 等. 从艾萨炉烟尘硫酸浸出液中萃取分离铜锌试验研究[J]. 湿法冶金, 2017, 36(6): 485—488.
- [10] 陈洪春, 刘建萍, 张均杰. 铜冶炼烟气制酸装置扩能改造实践[J]. 硫酸工业, 2023(3): 43—45, 49.
- [11] 李江涛, 周叶刚. 艾萨铜熔炼配料优化的研究[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(2): 31—34.

## Improvement and application of ISA cathode copper washing technology

LI Hongcheng, ZENG Wenbin, LI Jiyuan, YANG Fuyue, MU Yalin, YANG Yong

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

**Abstract:** This study conducted an in-depth analysis of the blue sulfate crystalline substances adhering to the bottom edges of ISA cathode copper after washing, investigating their causes of formation, and subsequently improved the existing washing process. By optimizing the washing facilities on the cathode stripping unit, the quality of cathode copper washing was significantly enhanced without affecting the unit's operational efficiency, and the generation of blue sulfate crystalline substances was substantially reduced. The improved process drastically reduced the amount of bottom blue impurities adhering from over 90% to below 5%, and the proportion of cathode copper blocks with exuded blue impurities after prolonged storage also decreased from over 60% to below 20%, with the degree of blue impurities adhering to each block noticeably alleviated. This achievement provides strong support for enhancing the quality of cathode copper products.

**Keywords:** ISA electrolysis; cathode copper; washing quality; cathode stripping unit; blue crystalline substances

