

# 锌电积降低极板单耗方法探讨

席阳, 陈先友, 姚应雄, 杨娟, 李茂发

**摘要:** 在日益成熟的锌电积行业发展中, 极板使用过程及控制措施成为降低析出锌加工成本的主要努力方向之一, 通过优化对阴阳极板的使用管理, 可获得优良的单耗指标, 对锌电积系统稳定生产和降本增效具有积极意义。

**关键词:** 管理; 单耗; 成本; 指标; 阴极板; 阳极板

锌电积工序是湿法炼锌过程中的关键环节, 随着湿法炼锌技术的发展, 其生产组织模式已由高效高产向现场精细化操作逐步转变。经过长期实践得出, 锌电积的加工成本主要由直流电耗、极板单耗、辅料单耗、交流电耗、备品备件费用等构成。其中在锌电积过程中使用的阴阳极板单耗约占整个电锌材料费用的66.5%左右, 是除直流电耗之外的第二大成本。若生产过程中管理不当, 将影响电锌加工成本。报废的阴极板主要体现为涂层、预剥离口损坏, 板、梁焊缝脱落, 吊耳断裂, 导电头脱落, 板面腐蚀凹坑, 析出锌难以剥离; 报废的阳极板主要体现为导电梁塌陷, 焊缝脱焊, 吊耳断裂, 板面烧坏, 接触不良电耗增高; 极板单耗的增加反而降低了企业效益, 影响职工收入。云锡文山锌铟冶炼有限公司为国内第五家采用 $3.2\text{m}^2$ 大极板生产的湿法炼锌企业, 采用锌精矿沸腾焙烧-中性浸出-铋盐法三段净化- $3.2\text{m}^2$ 大极板电积精炼-熔铸主工艺流程, 设计年产10万吨锌, 项目于2018年12月投产。为实现阴极单耗 $0.05\text{片}/\text{t}\cdot\text{Zn}$ 与阳极单耗 $0.015\text{片}/\text{t}\cdot\text{Zn}$ 的优良指标, 做简要分析探讨。

## 1 极板及其预处理

阴、阳极板作为锌电积电化学的正、负极, 是生产过程中必不可少的重要材料, 我厂所使用的阴极板为压延铝板(含 $\text{Al} \geq 99.7\%$ ), 阳极板为 $\text{Pb-Ag}$ 合金板(含 $\text{Ag} 0.5\% \sim 1.0\%$ ), 也有部分企业使用多元合金板( $\text{Pb-Ca-Ag-Sr}$ 合金、 $\text{Pb-Ca-Ag-Sr-Re}$ 合金等)以及昆明理工恒达科技股份有限公司研发的栅栏型铝基铅合金复合阳极板。通过3年生产实践总结, 得出如下成品质量要求。

### 1.1 阴极板规格型号及质量要求

型号规格: 板面:  $1760 \times 1000 \times 7(\text{mm})$  横梁:  $1490 \times 60 \times 25(\text{mm})$   
浸没深度:  $1620\text{mm}$  有效上锌面积:  $3.2\text{m}^2$ 。

质量要求: 板面用铝符合 $\text{GB/T 3880.1-2012}(\text{Al} \geq 99.7\%)$ 标准、导电头用铜符合/铝 $\text{GB/T 2059-2008}(\text{Cu} \geq 99.95\%)$ 标准, 采用爆炸焊或氩氟焊工艺, 横梁与板面采用氩弧焊工艺双面对焊(焊缝偏斜 $<1\text{mm}$ )、焊缝均匀平整饱满无毛刺。防腐涂层、预剥离口采用模压橡胶工艺, 一次性压制而成; 边条采用 $\text{pp}$ 边条加胶泥粘接固定或高分子聚乙烯塑料一次性浇筑成型。

### 1.2 阳极板规格型号及质量要求

型号规格: 板面:  $1705 \times 943 \times 9(\text{mm})$  横梁:  $1490 \times 80 \times 28(\text{mm})$   
铜棒:  $1480 \times 55 \times 15(\text{mm})$  浸没深度:  $1655\text{mm}$ 。

质量要求: 板面用铅符合 $\text{GB/T 469-2013}(\text{Pb} \geq 99.994\%)$ 标准、横梁用铜符合 $\text{GB/T 2059-2008}(\text{Cu} \geq 99.95\%)$ 标准、阳极板含银 $\leq 0.5\%$ 、银偏析量 $\leq 100\text{g/t}$ 、板梁双面对焊、焊缝均匀饱满、无夹渣。横梁装配2个梁导向夹, 板面中下处开3个 $\Phi 20\text{mm}$ 孔装配3个球形绝缘子, 板边角装配2个绝缘夹。

### 1.3 阴极板防腐涂层、预剥离口及粘边条

成品阴极板由吊耳、横梁、导电头、涂层、预剥离口、板面、粘边条七部分构成。

我厂采购的阴极板是半成品, 到货验收合格后还需对防腐涂层、预剥离口、粘边条这三个部位做进一步加工。

防腐涂层位于横梁下端, 长 $1000\text{mm}$ 宽 $140\text{mm}$ 厚 $2\text{mm}$ 与直径 $90\text{mm}$ 的两个预剥离口一体, 采用模压橡胶工艺一次压制而成, 起到保护板、梁间焊缝的作用, 有效避免焊缝腐蚀断裂, 延长阴极板使用寿命。防腐涂层与预剥离口的应用, 还起到绝缘作用, 在绝缘层上不会有锌离子析出, 避免了因液位波动导致的锌片难开口现象, 有效提高了机械剥锌效率。

粘边条位于极板两侧, 长 $1100\text{mm}$ 宽 $20\text{mm}$ , 采用高分子聚乙烯塑料一次压制而成。将铝板两条长边完全包裹, 起到绝缘效果, 便于锌片剥离。

### 1.4 阳极板绝缘防护及镀膜

成品阳极板由吊耳、横梁、导电头、梁导向夹、板面、绝缘子、绝缘夹七部分构成。

我厂采购的阳极板到货验收合格后还需加装导向夹、绝缘子、绝缘夹, 新阳极使用前还需进行镀膜处理。

导向夹套装在横梁上,呈锥状,起到绝缘引导作用,当阴极装槽发生摆动时,能有效防止碰撞,避免槽面短路引起火花。

板面中下部呈品字形均布三颗圆球形绝缘子,两边角各安装一个绝缘夹,当板面在电积反应中发生变形时,能起到保持间距作用,避免阳极板面与阴极板面直接接触,在高电流密度生产条件下发生的短路现象。

在开产初期或大量投入新阳极板前,需进行镀膜处理。镀膜时采用低酸、低温、低电流密度控制。镀膜周期一般为18h/片~24h/片。经镀膜处理后的阳极板面会产生一层橙黄色氧化铅薄膜,使铅板钝化,抑制 $PbSO_4$ 的产生,延长阳极使用周期。

阴阳极板导电性关系到槽电压高低,即直流电单耗高低,阴阳极板电阻电压降占槽电压的1.0%~1.3%(约0.03V~0.05V),影响直流电单耗 $30\text{kw/t}\cdot\text{Zn}\sim 40\text{kw/t}\cdot\text{Zn}$ ;国内 $3.2\text{m}^2$ 阴极板单耗在0.05片/t·Zn~0.08片/t·Zn,阳极板单耗在0.02片/t·Zn~0.05片/t·Zn,10万吨产能的锌冶炼厂通常保证有1000片~1500片的阴极板库存和500片~1000片的阳极板库存作为周转以满足生产需求。以2020年阴阳极板市场价计,阴阳极板消耗成本约占锌电积成本的8%左右(不含残值),因此极板质量也是影响锌电积成本的重要因素之一。

## 2 极板使用管理

极板的消耗主要与出装槽作业、剥锌作业、阳极拍平作业、掏槽作业、倒运及堆放方法有关。通过精细化操作管理,优化各项作业要点,能避免极板被人为损坏,以此降低极板损耗。

### 2.1 出装槽管理

出装槽作业是指使用行车将已到电积周期的带锌阴极板从电解槽内取出,将刷洗干净的阴极板重新装入电解槽进行下一周期电积的过程。或使用行车将已到清洗周期的阳极板从电解槽内取出,将拍平冲洗干净的阳极板重新装入电解槽内的过程。

在出槽过程中需要确保每片极板吊耳都在行车吊钩工作范围内,防止极板脱钩砸落,导致横梁变形使得极板报废。出槽后需要及时对导电铜排使用蒸汽或除盐水进行吹扫冲洗,以保持铜排清洁度,便于装槽时得到良好的接触面,防止因接触不良发生过流碰电,损坏极板导电头。在装槽前需确保每片极板在正确工位上且无损坏,防止因工位不对导致极板无法入槽,或板面变形弯曲导致极板报废。装槽后需要检查每片极板与导电棒搭接良好,及时调整极间距,以此得到良好的电耗指标。

### 2.2 剥锌管理

我厂采用的是国产自动剥锌机组,由剔除线、主剥锌线、主刷洗线、辅助刷洗线、辅助剥锌线、横向链、堆垛装置、输送链

条等构成。在主剥锌线上加装了预剥离装置,当带锌阴极板到达预剥离工位后,两对预剥离刀能同时对阴极板预剥离位置的锌片开口,便于后续自动剥锌流程顺利进行。

在开机前需检查预剥离刀闭合间距,闭合间距 $< 7\text{mm}$ 时预剥离刀会损伤板面或预剥离口,致使阴极提前报废;闭合间距 $> 10\text{mm}$ 时,不能起到提前开口作用,此时则需要人工干预及时调整或人工辅助开口。在自动剥锌运行时,发现异常需及时调整,否则阴极板容易被损坏,造成阴极板报废。在剥锌过程中,发现阴极预剥离口损坏、粘边条脱落、板面严重划伤、板面弯曲变形、横梁变形、焊缝开裂、导电头脱落、吊耳损坏等情况需及时剔除,否则将影响下一周期锌片的剥离。在刷洗后需检查刷板质量,刷板不干净会导致锌片难剥离,此时则需人工剥锌,但是若采用人工剥锌易对阴极板造成伤害,缩短了阴极使用寿命。

因此,剥锌管理重在对设备的维护保养上,以此减少设备故障,提高工作效率。为降低阴极板损耗,需重点控制预剥离刀、主剥刀的闭合度,及时关注调整,降低机械损坏,规范剥锌操作流程,减少阴极板损坏量。

### 2.3 阳极拍平管理

阳极拍平是指使用行车将电解槽内需要处理的阳极板取出后,放置在阳极小车上,由阳极小车转运至拍平冲洗机组的提升工位,采用夹板对阳极板面逐片拍平矫正的过程。我厂采用的拍平清洗机还附带高压水喷头冲洗功能,可将附着在极板面上的结晶及阳极泥冲洗掉,减少板面结晶及阳极泥附着量,以此得到较好的直流电耗指标。

在阳极拍平管理中需重点检查提升工位,避免极板在拍平时脱落,导致横梁变形使极板提前报废。整车极板(38片~39片)拍平冲洗完成后需检查板面是否平直、板面清洗是否合格,发现未达标极板则返工处理。当发现板面绝缘子和绝缘夹脱落,则需及时补装,避免板面烧穿通洞,使极板提前报废。当发现极板焊缝裂口 $> 5\text{cm}$ 、吊耳断裂、板面破损面积 $> 15\text{cm}^2$ 就需及时替换,避免影响安全、生产指标。当发现板梁弯曲变形时,需人工矫正,避免焊缝开裂或入槽后导电头接触面改变。

### 2.4 掏槽管理

掏槽作业是将掏槽工具插至电解槽底部接好阳极泥抽吸管,启动水喷射真空机,将管道抽至负压(约 $-0.05\text{Mpa}$ ),利用液位差产生的虹吸作用将电解槽底部阳极泥清除的过程。在掏槽前需吊出一车阳极板,扩大间距便于掏槽工具的插入,此时槽内阳极减少,阴极析出锌会发生复熔现象,因此需严格控制好掏槽作业时间(作业时间 $< 45\text{min}$ )。使用的掏槽工具一般采用塑料材质,避免作业过程中碰电、起火花,引发安全事故。

掏槽作业完成后需注意保持槽面清洁,特别是导电棒上不

能附着结晶和阳极泥,避免装槽后局部接触不良,导致电流分布不均匀,引发安全事故,损坏槽内极板。

### 2.5 转运及堆放管理

转运过程中易对极板造成人为损坏。其中阴极板需将导电头错开水平堆放,约50片/堆,底部使用托盘进行转运,这样可以避免板面刮花、变形。阳极板则需利用支架,垂直摆放进行转运,约10片/架~12片/架,这样可以避免板面弯曲变形。

为方便维修需将极板进行分类堆放管理。极板一般分为:可用板、待修板、报废板三大类。在开展极板使用管理活动后,损坏板随工作时间的变化规律逐步降低。结果表明阴极板在生产过程中,随着剥锌作业的进行,损坏板数量可用控制在13%以下,阳极板可用控制在4%以下。

## 3 极板维修

经过多年生产实践,我厂正常状态下阴极板使用寿命为0.8年/片~1年/片,阳极板使用寿命约1.6年/片~2年/片,损坏板中有80%以上未达到报废标准,若不进行维修将无法满足生产需求,因此极板维修是延长极板使用寿命的有效手段。

极板维修成本仅占重新采购极板成本的10%,故而极板维修也是节约成本、降低单耗的重要途径。通过维修:阴极板使用寿命可延长至1.2年/片~1.5年/片,阳极板使用寿命可延长至2年/片~3.5年/片。结合我厂生产情况,总结极板维修要点如下所示。

### 3.1 预剥离口

作用及影响:由绝缘材料压制成型,便于阴极上的析出锌提前分开;该区域易受到机械伤害,预剥离口破损会导致锌片难剥离。

管理要点:破损面 $\leq 10\text{cm}^2$ 需进行打磨、制模,使用胶泥填补,将多余胶泥清理干净,保养72h以上方可投入使用。破损面 $>10\text{cm}^2$ 且骨架断裂,做报废处理。

### 3.2 边条

作用及影响:由绝缘材料压制成型,或胶泥填充粘接成型。便于阴极上正反面的析出锌顺利分开。边条脱落会导致析出锌难剥离。

管理要点:断裂长度 $>4\text{cm}$ 或完全脱落,需进行打磨、更换

边条、使用胶泥填补,将多余胶泥清理干净,保养72h以上方可投入使用。极板边缘厚度 $<4\text{mm}$ ,做报废处理。

### 3.3 焊缝

工艺影响:初期采用摩擦搅拌焊工艺,焊缝强度不够,易开裂,后期使用氩氟焊工艺,焊缝强度有显著改善。

管理要点:阴极焊缝裂口 $\geq 5\text{cm}$ ,需进行打磨、焊接、图层修复,保养48h以上方可使用;阳极焊缝裂口 $\geq 5\text{cm}$ 需进行打磨、热熔焊接、削平焊缝,冷却1h方可投入使用。

## 4 效果

我厂锌电积系统投产初期,部分阴极板使用摩擦搅拌焊工艺生产,在使用8个月后发现批量焊缝开裂现象,阳极板未安装绝缘子、绝缘夹,板面烧损严重。后期经不断优化改造,极板使用寿命不断延长,采购成本逐渐降低,生产日益向好,经济效益明显。我厂投产至今电锌产量与极板单耗变化情况如下所示:

2019年产量:10.05万吨,阴极单耗:0.065片/t·析出锌,阳极单耗:0.020片/t·析出锌。

2020年产量:11.50万吨,阴极单耗:0.056片/t·析出锌,阳极单耗:0.017片/t·析出锌。

2021年产量:12.00万吨,阴极单耗:0.050片/t·析出锌,阳极单耗:0.015片/t·析出锌。

## 5 结论及展望

灾后疫情时代市场竞争形势刺激下,企业要不断加强抗衡市场风险的能力,通过提高各项管理能力,制定标准、完善规程,达到降本增效、实现盈利。如何实现降低极板单耗?我们可通过:优化作业流程、规范操作方法、持续改进剥锌关键部位、减少人员错误操作与机械损伤等方法,延长极板使用周期来实现。通过上述管理方法能有效降低极板单耗。通过对损坏板随时间变化规律的梳理,结合极板使用变化情况可看出:作为极板本身结构,优化阴极预剥离口材质,增加预剥离口骨架强度,可延长阴极板使用寿命;同样优化阳极板梁,增加焊缝强度亦可延长阳极板使用寿命。

(作者单位:云锡文山锌铜冶炼有限公司)