

换极作业操作规范性对电解槽热平衡的影响分析

肖芝政

遵义铝业股份有限公司 贵州 遵义 563100

【摘要】：换极作业是电解铝生产中保障电解槽稳定运行的关键环节，其操作规范性直接影响电解槽热平衡。本文先阐述换极作业的标准流程与阳极安装精度、新极预热等关键要求，再分析各操作环节对热平衡的影响：阳极安装偏差易致局部过热，保温层与散热带控制不当会引发热损失异常或过热，炉膛清理不彻底破坏热场分布，槽罩密封与烟气排放问题扰乱温度稳定。最后提出针对性优化措施，实验证明规范操作可显著改善温度分布，提升电解槽运行效率与稳定性，延长设备寿命。

【关键词】：换极作业；操作规范；电解槽；热平衡；能效优化

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.087

引言

电解槽作为电解铝工业生产中的核心设备，其性能直接影响着生产效率和能源消耗。在长期的使用过程中，电解槽需要进行定期维护，其中换极作业尤为关键。电解铝换极过程中，操作规范的差异往往会对电解槽的热平衡产生深远的影响。热平衡的稳定性不仅关系到电解槽的高效运行，还与能耗控制及设备安全性密切相关。因此，如何通过规范化操作来优化电解槽的热平衡，是提高生产效能、降低运行成本的一个重要方向。本研究将深入探讨电解铝换极作业操作规范性对电解槽热平衡的影响，并为电解铝生产领域提供理论依据和实践指导。

1 换极作业的基本流程与操作要求

1.1 标准作业流程

电解铝换极作业是电解槽维护中的重要环节，旨在确保电解槽的长时间稳定运行。电解槽在电解铝生产运行过程中，阳极会因参与电化学反应逐渐消耗、氧化，同时表面易附着电解质结壳等沉积物，导致阳极导电性能下降、电解效率降低，从而需要定期更换阳极。根据电解铝厂换极收边作业标准，电解铝换极作业需遵循以下核心步骤：

首先进行作业前确认：检查工器具完好性，确认天车功能正常及电解槽状态稳定，然后打磨导杆：站在平稳放置的新极碳块上，用气动角磨机清除导杆贴母排面的氧化层和麻点，确保导电性能，残极补线时确认槽号、极号，安装短路口保护罩与接料盒，对换极导杆精准补画线，打换极键要联系槽控机，将其切换至换阳极控制状态，然后揭盖板、扒料：揭开换极对应4块盖板，平稳放置于相邻电解槽盖板上，用铝耙清除换极极上浮料至相邻新极或料盒，天车开边时换极班长指挥天车在距阳极10cm处打壳面，宽度10-15cm，长度覆盖两组阳极，打穿换极与残极间及中缝结壳（间距 $\leq 10\text{cm}$ ），接着确认阳极夹具完全夹进导杆孔，缓慢提升卡具至上限位，清理阳极松动结壳块后平稳提出残极，再用弓型尺勾住阳极底掌标记导杆画线位置，检查残极化爪、穿底氧化情况并记录，将残极平稳放置，然后清理残极开边料块，用漏铲扒槽内碳渣至炉帮边部并

打捞，收集碳渣至手推车倒入碳渣池，检查、处理炉膛：用钩子探查炉底沉淀，检查伸腿、邻极状况及炉底完整性，用90度测定棒与直尺测量铝水平和电解质水平，母排清灰要用长轴棕扫把清理阳极横母线贴面，确保导电接触良好，安装新极时指挥天车将新极吊挂至电解槽，对准导杆划线与横母线底边，对新极充分预热后缓慢下降，旋紧卡具并进行两次复紧，封极添加保温料时用铁锹撮小块料（ $\leq 10\text{cm}$ ）在两极中缝里端垒10-15cm内墙，配合天车加料装置添加保温料，炉面整形时使阳极外侧边沿与炉面形成 60° 斜坡，收出8-10cm宽散热带，将残极面板上料补充至新极，最后复紧卡具与记录，清理槽沿板、风格板等卫生，盖好槽罩并复紧卡具，归位工器具，记录残极、炉底、邻极状况及异常情况。

1.2 关键操作要求

电解铝换极作业采用恒定电流运行，操作要求对电解槽热平衡影响重大，核心要求包括：阳极安装精度：确保新极安装位置与标记精准吻合，通过两次复紧保证导杆紧贴水平母线，控制阳极底掌与阴极表面极距，避免极距偏差导致热分布不均。新极预热管理：安装前必须对新极充分预热，防止潮湿新极直接入槽引发电解质飞溅，避免局部温度骤变破坏热平衡。劳保防护规范：作业人员必须穿戴工作服、安全帽、长布手套、手焖子、防尘口罩，面罩放至下限位，防止高温伤害的同时确保操作稳定性。安全站位要求：严禁站在碳块边沿、槽沿板、小盒卡具正下方及天车抓斗下方，作业时保持3米安全距离，避免操作失误影响作业连贯性。电解铝换极作业需通过保温料厚度精准控制（15-18cm）和炉面散热带设置（8-10cm）调节槽内热量，避免额外散热或热量积聚^[1]。

2 换极操作规范性对电解槽热平衡的影响分析

在电解槽的运行过程中，热平衡的维持依赖于电解槽内部温度的均衡分布。若换极作业过程不符合规范，电解槽的热分布可能会发生剧烈波动，造成局部过热或热量散失过快，进而影响设备的正常运行。不同的操作环节都与热平衡有着密切关系。

2.1 阳极安装精度的影响

电解铝换极作业中,阳极的安装是影响电解槽热平衡的关键因素之一。根据标准操作程序,阳极安装需满足以下精度要求:导杆划线与横母线底边精准对齐,新极下放高度按残极高度下调2厘米的标准执行,阳极垂直度偏差不得超过 $\pm 1^\circ$,两次复紧卡具确保导杆与母线紧密接触,阳极间的间距、安装垂直度和极间电流密度等都会直接影响电解槽的温度分布。如果操作不当,如阳极下放高度偏差超过3毫米、垂直度超标或卡具未复紧,可能导致某些区域电流密度过高,电解反应放热过多,导致温度不均匀,从而引起局部热积累,损害电解槽的热平衡。阳极间的距离若不符合标准,可能导致电流分布不均,形成热集中区,进一步影响电解槽内部的热稳定性^[2]。

2.2 保温系统控制的影响

保温层厚度和炉面整形质量是操作规范性对电解槽热平衡影响的重要方面。电解槽在高负荷运行时,通过电解质和炉面保温层实现热量平衡,若换极作业中保温料铺设厚度不符合15-18厘米的标准要求,或炉面散热带宽度偏离8-10厘米的规定,将导致热损失过大或局部过热,进而影响电解槽的热平衡。具体影响因素包括:超过10厘米的大块保温料会导致保温层透气性增加,热量散失加快,局部厚度偏差超过3厘米会造成热场分布不均,非 60° 斜坡设计会改变表面热辐射特性,换极后槽罩缺失超过30分钟会导致额外热损失15%以上^[3]。若这些环节的操作不规范,保温效果不佳,可能导致电解槽热损失过大,电解质温度降低,出现电解质结壳现象,或局部过热导致阳极过度消耗及设备故障。

2.3 炉膛清理质量的影响

电解槽炉膛清理质量对热平衡具有重要影响。根据标准操作程序,换极过程中需用钩子探查炉底,检查沉淀情况并清除,检查电解槽伸腿形状和尺寸,测定并记录铝水平和电解质水平,清理槽内碳渣和结壳块,炉膛清理不彻底会导致:炉底沉淀过多,影响热传导效率,造成局部过热,电解质水平波动超过5厘米,破坏热平衡,碳渣残留影响电解质电阻,导致局部发热异常,伸腿异常改变炉膛热场分布,电流的大小和波动性会直接影响电解槽的热负荷。电流设置不规范或者频繁波动时,电解槽内的热量无法及时均匀分布,容易导致局部过热。电流的密度和分布如果不均匀,可能会使电解槽的某些部分热量堆积,形成热点区域,影响整体的热平衡,甚至可能导致电解槽的效率下降或损坏^[4]。

2.4 槽罩密封与烟气系统的影响

操作规范性还体现在电解槽的槽罩密封性和烟气排放系统的管理上。根据标准操作要求,换极作业完成后需及时盖好槽罩,确保密封良好,清理槽沿板、风格板卫生,保证密封面清洁,密封性差或者烟气排放不畅会影响电解槽内部温度的稳

定,从而扰乱热平衡。槽罩缺失或密封不良会导致热损失增加,电解质温度下降,外部冷空气进入,造成局部温度波动,烟气流动异常,改变槽内热场分布,烟气排放系统的设计和维护需要确保烟气在电解槽内部均匀流动,避免因排气不畅而导致温度不均。电解槽的热平衡在很大程度上依赖于换极作业的规范性。每个操作环节的细节都可能对电解槽的热分布产生影响,若不按照规范要求操作,可能会造成热平衡的失调,进而影响电解槽的运行效率和设备寿命。

3 优化换极作业操作规范的方法与措施

优化电解铝换极作业的操作规范,首先需要从电解槽各个环节入手,确保每一个细节都严格遵守规定标准,以此提升电解槽的热平衡稳定性和设备整体运行效率。

3.1 阳极安装规范化控制

在阳极的安装过程中,规范操作的核心是确保阳极间的间距、垂直度以及电流分布符合电解铝生产设计要求。具体优化措施包括:建立阳极安装精度控制体系,使用专用定位工装,确保导杆划线与横母线底边对齐偏差 $\leq 2\text{mm}$,采用扭矩扳手复紧卡具,保证扭矩值符合规定要求(通常为 $300\text{-}350\text{N}\cdot\text{m}$)。安装后使用激光测平仪检查阳极垂直度,偏差控制在 $\pm 0.5^\circ$ 以内,优化新极预热工艺,规定新极预热时间不少于15分钟,采用红外测温仪监测预热温度,确保阳极底掌温度达到 $80\text{-}120^\circ\text{C}$,避免预热过度导致阳极氧化。完善阳极质量检查流程,作业前检查新极外观质量,重点关注钢爪、导杆、碳块连接状况,使用专用量具检查阳极尺寸偏差,确保符合设计要求。合理的阳极间距和安装垂直度能够确保电流的均匀分布,从而避免局部过热现象的发生,阳极的调整应根据电解槽的运行状态进行,确保电流密度分布合理,达到最佳的热平衡效果。

3.2 保温系统精细化管理

保温系统的精细化管理是优化换极作业操作规范的关键环节。具体措施包括:建立保温料控制标准,保温料颗粒尺寸控制在5-10厘米,禁止使用超过15厘米的大块料,保温层厚度采用专用量具检测,确保15-18厘米的标准厚度。分区域铺设保温料,先中缝后两侧,确保均匀性,优化炉面整形工艺,使用角度尺检查炉面斜坡角度,确保 $60^\circ \pm 5^\circ$ 的标准角度。散热带宽度采用卷尺测量,控制在8-10厘米范围,残极料补充均匀,避免局部堆积过厚。加强保温效果监测,采用红外热像仪监测炉面温度分布,及时发现保温缺陷。换极过程中,必须对保温系统进行全面检查,确保没有厚度不足或局部缺失现象,一旦发现问题,应立即进行补料处理,以避免热平衡失调。保温系统的运行状态应与电解槽负荷的变化相匹配,确保热量保持系统能够适应不同的生产条件^[5]。

3.3 炉膛清理标准化操作

电解槽的炉膛清理质量是优化操作规范的重点。炉膛清理

不彻底的电解槽往往会导致热场分布不均,进而影响热平衡的维持。炉膛检查和清理应成为电解铝换极作业的必要环节,避免操作过程中因炉膛问题带来的潜在风险。为了确保热平衡的稳定,应建立以下标准化操作流程:炉底沉淀清理要符合规范,使用专用探测工具检查炉底沉淀厚度,超过8厘米必须清除。采用天车抓斗配合人工清理的方式,确保沉淀清除彻底,清理过程中避免损伤阴极炭块。电解质水平控制,使用90度测定棒准确测量电解质水平,确保电解质水平波动控制在±3厘米以内,根据测量结果及时调整电解质成分。同时定期检查伸腿形状和尺寸,发现异常及时处理,保持炉膛形状的对称性,避免局部变形,确保其性能符合生产要求。

3.4 槽罩密封与烟气系统优化

槽罩密封管理,换极作业完成后30分钟内必须盖好槽罩,检查槽罩密封件完好情况,老化密封件及时更换。导杆口密封采用专用密封材料,确保密封效果,烟气排放系统维护,定期检查烟气管道通畅情况,避免堵塞。确保烟气流量和负压符合设计要求,检查烟气净化系统运行状况,保证正常工作。密封效果监测采用烟气泄漏检测仪器定期检查密封效果,监测槽罩内外温度差,评估密封性能。

4 实验分析与优化方案的应用效果

在实际生产操作中,通过实验分析可以直观地观察到优化方案对电解槽热平衡的改善效果。通过调整电解铝换极作业中的操作规范,能够有效地提高电解槽的热平衡状态。实验结果表明,规范化的操作不仅改善了电解槽的温度分布,还大幅度提高了电解槽的运行效率。具体而言,在优化后的实验组中,电解槽的温度波动明显减小,局部过热现象得到有效控制,设备的稳定性和安全性得到了显著提升。

实验中,采用精确的温度监控系统对电解槽进行实时监

测,记录不同操作规范下电解槽内的温度分布。数据分析显示,优化后的电解铝换极作业能显著降低温度不均匀的程度,尤其是在阳极的安装和调整过程中,电流密度的合理分配有效避免了局部过热区域的产生^[5]。保温系统在优化后的实验中表现出更高的保温效果,热量损失减少,避免了设备因保温不足而导致的温度波动问题。通过优化炉膛清理标准化流程,可以有效避免因沉淀过多引发的温度分布不均问题。在实施优化方案后,电解槽的炉膛状况保持良好,电解过程中的热负荷分布更加均匀。操作人员根据标准化流程进行炉膛清理,使得热平衡得以维持在一个相对稳定的范围内。

密封性和烟气排放系统的优化也在实验中得到了充分体现。优化方案通过定期检查密封系统和烟气排放管道,确保了电解槽内部压力和温度的稳定。实验组中,烟气排放更加顺畅,电解槽内的烟气流动不再受到阻碍,避免了因排气不畅造成的热积聚现象。通过这一系列的优化措施,电解槽的热平衡状况显著改善,设备的使用寿命也得到了延长。综合实验数据和优化措施的应用效果来看,规范化的电解铝换极作业对电解槽的热平衡具有显著的正向影响,不仅提高了热平衡的稳定性,还优化了电解槽的整体运行效率,降低了能耗和设备故障率。

5 结语

通过对电解铝换极作业操作规范性的研究及其对电解槽热平衡的影响分析,优化操作规范对电解槽的热平衡稳定性和整体运行效率有着显著的提升作用。实验分析结果表明,通过精准的阳极安装控制、精细化的保温系统管理、标准化的炉膛清理操作以及严格的槽罩密封管理,能够有效防止热失衡问题,提高电解槽的安全性和能效。未来的研究方向可以进一步探索智能化监测技术在换极作业中的应用,通过实时数据采集和分析,实现换极作业的精准控制和热平衡的动态优化,为电解铝行业的绿色发展和可持续发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 赵志彬,李云磊,唐亮,等.换极对铝电解槽冲击的分析研究[J].轻金属,2024,(01):29-34.
- [2] 陈亚仁.铝电解槽阳极更换精准定位装置和方法的研发[J].福建冶金,2023,52(01):62-64.
- [3] 魏兴国,廖成志,侯文渊,等.高密度阳极铝电解槽电-热场耦合仿真研究[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(02):744-753.
- [4] 张坤,唐凤凯,练新强.延长电解槽换极周期的工艺研究与应用[J].云南冶金,2023,52(01):173-178.
- [5] 王侠前.换极对铝电解槽稳定性的影响及改进措施[J].中国有色冶金,2021,50(06):44-48.