

某铝厂180kA电解槽强化电流的生产实践

杨阳

青铜峡铝业股份有限公司宁东铝业分公司

[摘要] 本文结合某国180kA电解槽现有设备条件,通过采用强化电流的方法,改进外补偿母线及电解槽内衬设计方案,通过不断摸索高阳极电流密度下的各项技术条件的优化匹配,总结了主要技术条件的规范及管理措施。使实验槽的技术指标大幅提升。

[关键词] 235kA; 铝电解槽; 强化电流; 炭阳极

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.08.493

1 电解槽母线补偿技术

1.1 磁场优化技术的特点

铝电解生产过程中,强大的电流通过电解槽会产生强大的电磁场。电解槽磁场的分布均匀程度是电解槽中熔盐体系和铝液运动的主要动力。自20世纪80年代以来,国内设计院对所对电解槽磁场分布进行了多方位研究。采用毕奥-沙伐定律,用等效电流数学模型编制铝电解槽磁场计算模型软件。并在工程设计中进行了广泛的应用。

在正常生产过程中,电解槽磁场的分布均匀程度是,多以各项技术条件的匹配后,噪声值得稳定性集中表现。强化电流,电解槽稳定是磁场分布的首要条件。同时与电解槽槽寿命和电流效率成正相关性。

根据电解槽模拟计算铝液稳定性边界公式,并经过计算机的模拟仿真研究。

$$(D + D_0) \times H_M > A \times |B_z| \times I_p$$

式中: D—极距, mm;

D_0 —等效“阳极”极距mm;

H_M —铝水平, cm

A—经验常数, $A=5 \times 10^{-2} \text{m}^2 \cdot \text{Gs}^{-1} \cdot \text{kA}^{-1}$

B_z —阳极投影下垂直磁场算术平均值。Gs;

I_p —电解系列运行电流, kA;

从公式可以看出,要想确保电解槽的问题,必须要将公式中的 B_z 在电解槽设计中尽可能优化到最小值,甚至接近零。

在实际生产中,电解槽稳定性的提高,是明显有助于电流效率的提升。电压有效降低。所以电解槽的设计方向因是朝着降低垂直磁场强度设计和母线再优化的方向发展。外母线的补偿优化是决定该类型电解槽改造的重点,基于此外补偿母线技术可有效解决该国企业180kA电解槽设计上存在的不足。以提高该系列的稳定性和强化电流的可操作性。

1.2 补偿母线的计划的应用

通过建立模型,以该国企业原设计电解槽的很像中心线为X轴、纵向中心线为Y轴,建立坐标系。根据计算结果,我们发现电流在235kA电解槽优化前第一、二、三、四象限垂直磁场 B_z 均值分别为14Gs、7.5Gs、4.372Gs和8.626Gs。特别是第一象限,存在较多的垂直磁场分布不均的情况。针对235kA电解槽磁场存在的问题,在不变动原系列母线的基础上,在电解槽出铝侧和烟道侧增加补偿电流。

2 强化电流

2.1 升流工作计划

在2017年3月至4月期间,对其中三台电解槽的阴极衬里进行了改进。新的内衬有阴极压降更低的阴极块(石墨化),更薄的SiC侧壁板。改进后的阴极衬里基于计算机建模,应至少具备235 kA。在此阶段,按照强化电流的策略我们计划一周内强化到位。

在强化电流的过程中,进行阳极压降的测量,以检查当阳极浸入深度和阳极尺寸改变时,对阳极压降和流经阳极的热量的影响。测量工作是在单个阳极上进行的。在阳极的整个生命周期内,每天测量电压和温度。获得了五种不同尺寸和四种不同浸入深度的阳极电压数据和热流数据。所得结果用于验证热平衡计算的计算机模型。这些测量的结果和计算机建模的结果共同为决定测试程序的下一步工作提供了依据。

2.2 热平衡

电解槽强化电流是最难控制的就是如何保持电解槽热平衡。从启动开始,预焙电解槽中侧壁炭块厚度非常好。因此,侧壁炭块的厚度小幅度减少不会影响电解槽的热平衡。此外,随着电流的增加,降低极距(ACD)可能会限制额外热量的产生。总之,所有这些措施都应允许在不更换阴极衬里的情况下显著增加电流。在对其中三台试验电解槽的阴极内衬进行改进后,正常生产过程中引入了开槽的阳极。开槽阳极将减少气泡电压降,从而可以补充一部分的热量。我们从每日的电解质温度测量值观察温度变化情况,整体来看电解槽的热平衡趋于稳定。

2.3.1 铝液镜面形状

通过我们现场跟踪换极作业,并测量极下铝水平的数据。总结发现电解槽铝液镜面表现为角部极和电解槽中心的差距相对较大。可以验证,从电解槽中心到角部极的铝液镜面高度差达到3cm,相比改造前槽型的偏差10cm,降低了近7cm。

3 开槽阳极的使用

阳极开槽能够有效的改变电解质的流动状态,并且能够将边部热量以及气体通过槽沟引导至中部,进而有效降低阳极底掌下的气膜电阻,对炉帮的形成以及电流效率提升等具有非常大的益处。利用阳极不同开槽方式,周围电解质流动场展开仿真计算,在阳极底部开通有促进气体外排,同时促使电解质流速有效降低,有利于导热,在一定程度上避免阴极与铝液与气体之间过渡发生二次反应从而提高电流效率。

本次我们使用了两种开槽方式的阳极，一种是纵向开槽、另一种是横向开槽。在试验过程中横向开槽阳极在生产中较容易出现阳极断裂的情况，故试验中全部更换为纵向开槽的阳极进行试验。

4 各项技术条件的优化

4.1 低温、低电压技术条件的优化

结合该企业电解生产的实际，我们逐步总结和寻找出的电解槽各项技术进行方案的研究制定目的寻求最佳的技术条件匹配。

在生产实践中，只有深入研究低电压低分子比条件下电解槽的物料平衡和热平衡，找到反映电流效率与氧化铝浓度、过热度、电解质分子比、极距、槽膛内形等工艺参数相匹配的过程控制模式，才能实现电解槽稳定高效低耗运行的目标，由此而总结得出“稳定为前提，条件是基础，炉膛是根本，分子比是关键”的工艺管理思路。

4.1.1 降低槽温和分子比

各类工艺管控模式的核心还是以“槽温”为中心，这是铝电解生产中所有技术条件的变化都有一个共同的特点，就是他们都会直接或间接的引起电解质温度的变化。所以温度的变化可直接的反映出其他几项技术条件的变化情况。如电解质组成（包括：AL₂O₃%、CR、CaF₂%、MgF₂%），他们对电解质温度的影响就可以用公式表示为：

$$T_{\text{电解质温度}}/^{\circ}\text{C} = T_{\text{结晶}} + T_{\text{过热}}$$
$$T_{\text{结晶}}/^{\circ}\text{C} = (AL_2O_3, \text{过量}AL_2, CaF_2, MgF_2, LiF, KF)$$

电解槽实现低电解温度生产的目的是为了为了提高电流效率，降低直流电单耗。电解质温度过高影响电流效率，这主要是由于随着电解温度升高，铝的二次反应加剧造成的。虽然影响电流效率的因素多，但最直接的影响因素是电解温度。电解温度的高低能在很大程度上反映出电流效率的高低。

(1) 降低分子比（西方需用过剩氟化铝）的控制来提高或降低过热度以实现物料及能量的平衡，简单电解质体系下其最佳分子比2.3~2.4；初晶温度930~940℃；过热5~15℃。

(2) 保持合适的工作电压及保温措施来维持电解质的温度。目前强保温电解槽电压保持在3.98v以内，阳极表面覆盖料保厚度为20~25cm。

分子比由2.6~2.7降低至2.3~2.45，降低电解质初晶温度，在该低分子比下最终实现低电压低极距时电解质良好的低过热度、合适过剩氟化铝含量的控制。

4.2 匹配电压和铝水平高度

由于电解质体系中分子比的降低，电解质电阻增大，为了保证有效极距，全电压保持在3.99V以下，在电解槽能量平衡的基础上，铝水保持在280~300mm，实现了电解槽稳定高效运行。这样也有利于电解槽内铝液镜面更加的平缓。

4.3 覆盖料结构优化

节能型电解槽在低电压槽况下，超过50%的热量从槽上部散失。由此可知，覆盖料对电解槽热平衡影响巨大。根据节能型电解槽热平衡的需要，应当加强覆盖料的保温。因

此，覆盖料的结构为破碎料和氧化铝，总厚度为20cm，其中氧化铝厚度在3~5cm，破碎料粒度控制在1mm左右。

4.4 精细化生产操作

电解槽在低电压条件下运行，现场操作难度相对增加，提高操作质量就显得尤为重要。电解车间在细化操作程序的基础上主要加强两方面的管理工作：

(1) 重点关注员工操作技能的培训和提高，树立精细化操作理念。

持续优化安全操作规程，完善作业标准。攻关组对照各项作业标准对现场各项工艺操作进行常态化检查—考核—整改—反馈工作流程管理，严肃工艺操作纪律。在车间内部开展多种计划性培训、提升员工的各项操作技能。

(2) 推行设备自动化和现场操作技术革新

现场作业中严格落实阳极定位换极操作制度，降低人为误差。现场监测数据显示16h电流分布合格率由人工定位的88%提升到96%以上，换极电压摆现象也明显降低。

5 优化后电解槽运行效果

235kA电解系列，应用外母线补偿技术和新的石墨化阴极炭块技术，并且在使用开槽阳极后，对新启动的三台试验槽进行合理的工艺参数保持，在正常运行近一年后，我们对改造前后的数据进行比对，具体结果如下。

和优化前比较：电解槽噪声值下降明显，由优化前的90mv降低至36mv，这说明优化后的电解槽稳定性有较为明显的提升。电解槽平均电压由优化前的4.33V降低至4.05V，降低近280mV；电解槽的电流效率由优化前的91.3%，提升至95.3%，增产效果明显。吨原铝液直流电耗由优化前的13900kW·h降低至12742kW·h，降低了1158 kW·h。说明在采用外补偿母线技术和新的石墨化阴极结构技术，并加强各项电解槽技术条件的管理，使用开槽阳极的条件下。对电解槽节能降耗效果较为明显。能取得较好的经济效益。

6 结语

1. 采用电解槽母线补偿技术，将原180kA电解槽电流顺利强化至235kA，并且四个象限的垂直磁场分布较为均匀。磁感应强度绝对值较小。呈现出了较好的反对称性。

2. 采用石墨化阴极炭块技术后，降低了电解槽阴极压降，为强化电流奠定了基础。

3. 在国外某铝厂235kA电解系列近一年的生产运行张红表明。电解槽噪声明显降低近54mV，电解槽吨铝直流电耗降低了1158 kW·h，电流效率提升了近4.1个百分点。增加铝产量明显。为该企业带来了良好的经济效益。

参考文献

[1] 王建民. 铝电解槽强化电流的生产实践[J]. 中国有色金属, 2010(13): 64-65.

[2] 徐玉峰, 李大寨, 张力, 王世杰. 大型预焙铝电解槽强化电流的生产实践[J]. 材料与冶金学报, 2010, 9(S1): 65-67.

作者简介:

杨阳(1985年)男, 汉族, 宁夏银川人, 中级冶炼工程师, 硕士研究生, 研究方向: 电解铝冶炼。