

全石墨化阴极铝电解槽电压管理

罗冠峰, 余龙进, 曾振双

(广西华磊新材料有限公司, 广西 百色 531499)

[摘要] 为了提高电流效率、降低吨铝电耗、延长铝电解槽寿命,某电解铝厂使用全石墨化阴极替换原有 500 kA 铝电解槽的 50% 石墨质阴极。由于全石墨化阴极具有导电率高、导热性高、抗钠侵蚀能力强、热膨胀系数小的特点,生产过程中全石墨化阴极铝电解槽与 50% 石墨质阴极铝电解槽的电压管理有所差异。本文针对 500 kA 系列全石墨化阴极铝电解槽生产中出现的焙烧阶段电压跃升、非正常期内噪声值高、正常生产期内出现冷槽等异常现象,进行原因分析,并给出各时期的电压管理应对策略。

[关键词] 全石墨化阴极; 石墨质阴极; 铝电解; 电压管理

[中图分类号] TF821

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-2423(2025)02-0068-07

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.02.010

0 引言

随着全球“双碳”战略的深入推进,我国电解铝行业正面临能耗双控与碳排放限额的双重压力。根据工信部《有色金属行业碳达峰实施方案》要求,到 2025 年铝行业碳排放总量需下降 5%。在此背景下,全石墨化阴极铝电解槽因其优异的导电性能(电阻率 $\leq 12 \mu\Omega \cdot m$)和抗钠膨胀特性(膨胀率 $< 0.35\%$),相较于传统半石墨化阴极,可降低槽电压 30~50 mV,已成为行业节能改造的首选技术。然而,某电解铝厂 500 kA 系列电解槽在实际运行中暴露出三个突出问题:焙烧启动阶段电压异常跃升、非正常期内运行电压噪声高以及正常生产期冷槽频发。这些问题导致系列电流效率降低至 92.5% (设计值不低于 94%),吨铝直流电耗增加约 150 kW·h,严重制约了全石墨化阴极技术优势的发挥。

本文采用生产大数据分析,系统研究电压管理中的关键控制要素:首先通过分析焙烧阶段焦炭-

钢棒复合导体的电阻变化趋势,揭示电压跃升与温度变化的关联机制;其次通过分析启动初期不当的电压保持方式所引发的电压噪声值高、效应频发、炉帮伸腿肥厚等异常现象,提出基于槽况稳定的启动初期“先快后慢”降电压策略;最后通过计算铝电解过程的动态能量平衡,给出正常生产期电压保持及相关配套技术条件规范。研究结果可为同类槽型的精细化管控提供理论支撑和实践参考,对推动铝电解行业节能降耗具有显著现实意义。

1 全石墨化阴极

石墨质阴极铝电解槽普遍存在炉底压降高、阴极电流分布不均、阴极早期破损等问题,使企业效益受损。为突破瓶颈,行业内将目光聚焦到全石墨化阴极材料上。全石墨化阴极与 30% 石墨质和 50% 石墨质阴极的性能对比见表 1。由表 1 可知,全石墨化阴极主要有四大优势^[2]:①导电率高;②导热性高,阴极温度均匀,散热量大;③抗钠侵蚀能力强,钠膨胀率小;④热膨胀性小,耐高温冲击性能更好,在 1 200 °C 以下,几乎没有体积膨胀。由于全石墨化阴极材料具备以上优点,实际应用到铝电解槽中能很好地解决 30% 石墨质或 50% 石墨质阴极铝电解槽存在的问题。因此,国内部分电解铝厂在 10 年前已开始转向使用全石墨化阴极。

某电解铝厂因 50% 石墨质阴极铝电解槽实际电流效率很难突破 93%,槽平均电压在 3.95 V 以上,电耗居高不下,且系列电解槽破损严重,为摆脱

[收稿日期] 2024-09-12

[作者简介] 罗冠峰(1976—),男,湖南资兴人,本科,中级工程师,主要从事电解铝生产管理工

[引用格式] 罗冠峰,余龙进,曾振双.全石墨化阴极铝电解槽电压管理[J].绿色矿冶,2025,41(2):68-74.

LUO Guanfeng, YU Longjin, ZENG Zhenshuang. Voltage management of fully graphitized cathode aluminum reduction cells[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(2): 68-74.

困局,该电解铝厂于2022年1月份开始在全系列使用全石墨化阴极替代50%石墨质阴极,目前已超过

200台全石墨化阴极铝电解槽在线生产。

表1 三种阴极碳块的性能对比

阴极类型	真密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	电阻率/ $\mu\Omega\cdot\text{m}$	热膨胀系数/ $\times 10^{-6}\text{℃}$	钠膨胀系数/%	热导率/ $\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$
全石墨化	≥ 2.18	≤ 12	≤ 3.3	≤ 0.35	≥ 120
50%石墨质	≥ 1.99	≤ 30	≤ 4.0	≤ 0.7	≥ 45
30%石墨质	≥ 1.95	≤ 35	≤ 4.0	≤ 0.8	≥ 25

该厂利用大修槽的机会逐台改用全石墨化阴极替代50%石墨质阴极。为了解决全石墨化阴极因压降小、导热性好、散热量大而带来的生产期间能量

平衡问题,在铝电解槽炉底和侧部采用了增强保温的筑炉方案(表2)。两类阴极铝电解槽的热平衡模拟如图1所示。

表2 50%石墨质与全石墨化阴极铝电解槽筑炉方案对比

部位	层数	50%石墨质阴极	全石墨化阴极
底部	第1层	10 mm 厚陶瓷纤维板	10 mm 厚 600 型加强陶瓷纤维板
	第2层	65 mm 厚硬硅钙复合绝热砖	65 mm 厚硬硅钙复合绝热砖
	第3层	65 mm 厚隔热耐火砖	60 mm 厚加 900 强型陶瓷纤维板
	第4层	65 mm 厚隔热耐火砖	65 mm 厚陶瓷蛭石隔热板
斜面及两端侧部	第1层	20 mm 厚陶瓷纤维板(或水镁石复合板)	20 mm 厚 600 型加强陶瓷纤维板
	第2层	60 mm 厚硬硅钙石复合绝热砖	80 mm 厚硬硅钙石复合绝热砖
炭块侧部及槽端头	第1层	30 mm 厚陶瓷纤维板	80 mm 厚硬硅钙石复合绝热砖
	第2层	65 mm 厚蛭石保温砖	65 mm 厚蛭石保温砖
	第3层	65 mm 厚蛭石保温砖	防渗浇注料
	第4层	防渗浇注料	防渗浇注料
阴极钢棒组装		磷生铁浇铸	磷生铁浇铸

2 全石墨化阴极铝电解槽电压管理

如前文所述,相对无定型碳、30%石墨质和50%石墨质阴极而言,全石墨化阴极具有导电率高、热性高、抗钠侵蚀能力强、钠膨胀率小、热膨胀性小等特点,因此全石墨化阴极铝电解槽在焙烧、非正常期以及正常生产期中的电压管理与其他类型阴极铝电解槽的电压管理存在不同。

2.1 存在问题

2.1.1 焙烧阶段电压跃升

全石墨化阴极铝电解槽依然采用96 h焦粉焙烧。相对于非全石墨化阴极,全石墨化阴极的电阻小,因此电流强度不变的情况下,全石墨化阴极在电解槽焙烧过程中产生的热量也比非全石墨化阴极少。为了保证全石墨化阴极电解槽在焙烧过程中获取足够的升温热量,必须减少焦粉中石墨碎的配比以及增加焦粉的铺设厚度,以增加焙烧过程中焦粉

的发热量(表3)。

表3 50%石墨质与全石墨化阴极铝电解槽焦粉配比和铺设厚度对比

阴极类型	中间极的石 墨碎:焦粉	角部极的石 墨碎:焦粉	铺设厚 度/mm	焦粉用 量/kg
50%石墨质阴极	2:8	4:6	18	400
全石墨化阴极	全焦粉	2:8	25	700

分流器的尺寸大小和安装方式不作改变,每台槽通电使用12组分流器,每组分流器由10片薄铁片焊接组成,薄铁片尺寸为 $2\ 800\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}\times 1.5\ \text{mm}$,每个立柱母线安装两组分流器(电解槽采用六端进电),满足条件后每次拆除同一立柱母线上的2组分流器。

改进焦粉配比和铺设厚度后,虽然焦粉电阻增加了,但槽内总电阻变化并不大(全石墨化阴极电阻小),因此理论上全石墨化阴极铝电解槽的焙烧

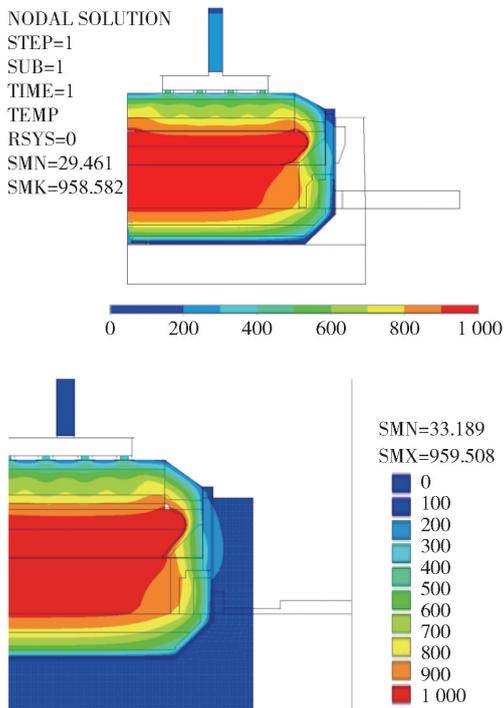


图1 50%石墨质阴极和全石墨化阴极铝电解槽内衬热平衡模拟图

电压曲线与50%石墨质阴极铝电解槽焙烧电压曲线相似,但已投产的200台全石墨化阴极铝电解槽焙烧12~18 h均出现了一次如图2中较大的电压跃升过程,而50%石墨质阴极铝电解槽焙烧过程没有出现这种现象。由图2可知,拆除分流器对跃升的幅度和速度影响较大,电压大幅上升会引发阴极升温速率不均匀、分流器熔断、阳极偏流脱落,甚至

停槽等风险。

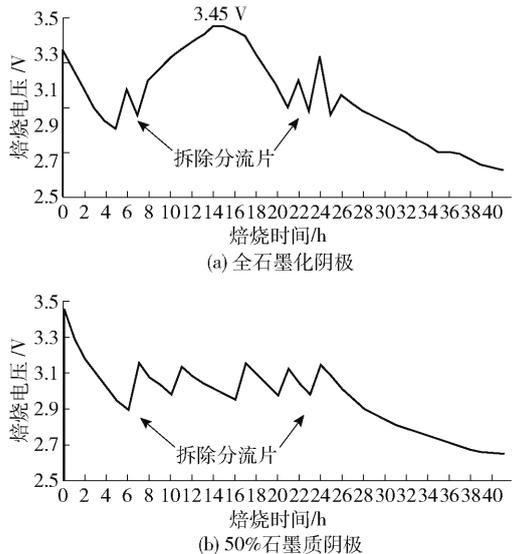


图2 50%石墨质与全石墨化阴极铝电解槽焙烧电压曲线(措施前)对比图

2.1.2 非正常期电压噪声值大、冷槽

最初为了解决启动后一个月内电压噪声值高的问题,全石墨化阴极铝电解槽启动后采用了“先慢后快”的降电压策略。表4是启动规程中制定的全石墨化阴极和50%石墨质阴极铝电解槽在不同阶段的目标电压范围。由表4可知,在启动后的第一个月内,全石墨化阴极铝电解槽降电压的速率慢于50%石墨质阴极铝电解槽,而第二个月、第三个月的降电压速率则快于后者。

表4 两种阴极铝电解槽启动后三个月内电压管理目标

槽型	第1周	第2周	第3周	第4周	第1月	第2月
全石墨化	4.40~4.20	4.20~4.13	4.13~4.08	4.08~4.05	4.05~3.92	3.92~3.88
50%石墨质	4.40~4.11	4.11~4.05	4.05~4.02	4.02~4.00	4.00~3.95	3.95~3.90

然而,由于新槽启动后噪声值长期偏大,实际设定电压并不能按目标电压保持,而是长期高于目标电压。随着启动槽数的增加,全石墨化阴极铝电解槽噪声在启动后的一个月之内并没有因为保持慢降电压而出现降低的趋势,且在非正常期的第二个月因为降电压速率过快出现冷槽趋势:电解质快速萎缩、下料点堵卡增多、效应频发,特别是4个角部和部分边部位置易形成肥厚的伸腿,影响阳极正常工作,大幅增加现场劳动强度。

2.1.3 正常生产期低电压冷槽

电解铝厂实际测量的全石墨化阴极和50%石墨质阴极铝电解槽的炉底压降数据见表5。由表5

可知,进入正常期后,相较于50%石墨质阴极铝电解槽,全石墨化阴极铝电解槽炉底压降平均低约30 mV,所以最初全石墨化阴极铝电解槽正常生产过程的目标电压范围是3.88~3.92 V(比50%石墨质阴极铝电解槽正常生产的目标电压范围低约30 mV)。生产实践中,全石墨化阴极铝电解槽设定电压低于3.92 V运行1个月后,开始出现不稳定冷槽状况:电解质不断萎缩且黏稠、氧化铝溶解差导致阳极效应频发、炉底沉底多,以及因炉帮肥厚和4个角部伸腿肥大造成水平电流偏大(图3)而引发的连续噪声值高等一系列问题。反观相同槽龄期的50%石墨质阴极铝电解槽,设定电压范围在3.92~

表5 全石墨化和50%石墨质阴极铝电解槽炉底压降对比

槽号	全石墨化阴极电解槽						50%石墨质阴极电解槽					
	326#	414#	521#	130#	832#	平均值	416#	420#	523#	603#	615#	平均值
压降/mV	234	226	227	217	225	226.2	243	263	260	228	251	254.2

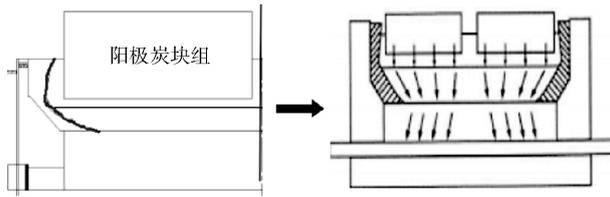


图3 全石墨阴极铝电解槽炉膛内形与电流走向示意图

3.95 V, 没有出现冷槽现象, 槽状态保持稳定。

2.2 原因分析

结合全石墨化阴极的特性, 分析全石墨化阴极铝电解槽在焙烧、非正常期、正常生产期等阶段电压管理中出现的问题, 找出原因。

2.2.1 焙烧电压跃升原因分析

全系列中已通电的超过200台全石墨化阴极铝电解槽在焙烧初期都无一例外出现图2中电压跃升的问题, 而50%石墨质阴极铝电解槽在焙烧初期没有这样的表现, 可以肯定电压的跃升是由筑炉材料和筑炉方案等系统因素造成的。

全石墨化阴极组由全石墨碳块通过磷生铁浇铸与阴极钢棒组合而成, 50%石墨质阴极组由50%石墨质碳块通过磷生铁浇铸与阴极钢棒组合而成, 碳块成分不同是电解槽致焙烧初期出现电压差异的主要原因。石墨的电阻率与温度的关系表现为在800℃以下, 随着温度升高, 石墨的电阻率几乎不变; 无定形碳电阻率与温度的关系表现为在1000℃以下, 随着温度升高, 无定形碳的电阻率降低; 铁电阻率与温度的关系表现为在1000℃以下, 电阻率随温度变化遵循公式 $\rho_T = 9.71(1 + 0.00651(T - 20)) \Omega \cdot m$, 随着温度升高, 铁的电阻率升高。

全石墨化阴极和50%石墨质阴极的碳块、磷生铁、钢棒的电阻在通电后随温度的变化情况见表6。由表6可知, 电解槽焙烧初期, 随着焙烧过程的推进, 槽内温度逐渐升高, 磷生铁和钢棒的电阻逐渐上升, 而全石墨化碳块的电阻降变化很小, 因此全石墨化阴极电解槽综合电压表现为持续上升趋势。相反, 在焙烧初期, 随着温度的逐渐升高, 50%石墨质碳块电阻逐渐下降, 因此50%石墨质阴极电解槽综合电压表现为平缓下降趋势。

经以上分析可知, 正是三种材料在升温过程中

不同电阻的综合变化造成了全石墨化阴极铝电解槽焙烧到12~18h出现电压跃升, 而50%石墨质阴极铝电解槽焙烧在12~18h则电压平缓下降的差异。

表6 两类阴极升温初期的不同电压表现

类别	全石墨化阴极		50%石墨质阴极	
	碳块	磷生铁、钢棒	碳块	磷生铁、钢棒
温度变化	上升	上升	上升	上升
电阻变化	较小	上升	下降	上升
综合电压表现	上升		平缓下降	

2.2.2 非正常期电压噪声值大、冷槽原因分析

1) 因全石墨化阴极铝电解槽炉底压降小, 导热性好, 所以新槽启动后灌铝量仅为24t, 比50%石墨质阴极铝电解槽少8t, 导致新槽槽内铝液浅(灌铝后仅15cm), 在非正常期的第一个月内, 由于炉帮暂时没有形成、边部炭渣多(槽温高、阳极掉渣多)、电解质温度高(在阳极和侧部碳块间导电面积大), 阳极和侧部碳块间的水平电流偏大, 从而引起铝液表面波动大, 这是全石墨化阴极铝电解槽非正常期前期电压噪声值大的一个主要原因。

2) 全石墨化阴极铝电解槽非正常期工艺条件见表7。从表7中可知, 全石墨化阴极铝电解槽启动后的第一个月内铝液水平浅、分子比高、电解质温度高、阴极和人造伸腿表面温度高, 电解槽的运行电压还处在4.05~4.40V的高位, 这个期间的能量输入远远大于能量输出, 所以第一个月内快速降电压也很难生成角部或侧部的肥厚伸腿, 不会造成冷槽现象。而进入第二个月后电压已降至4.05V以下, 炉帮已经逐渐形成, 铝水平已升至20cm以上, 分子比、电解质水平、电解质温度降至临界区间, 能量输入和输出已趋于平衡, 在此期间快速降电压导致能量输入不足, 破坏槽内热平衡, 造成角部或侧部伸腿肥厚以及如冷槽状况。

2.2.3 正常生产期低电压运行出现冷槽原因分析

正常生产期出现冷槽有两个原因: 能量输入不足和能量支出过大。全石墨化阴极铝电解槽设定电压低于3.92V, 运行1个月后, 开始出现不稳定冷槽状况, 这是电解槽能量平衡被破坏的表现。

表7 全石墨化阴极铝电解槽非正常期工艺条件(采取措施前)

时间	灌铝量/灌铝后铝水平	电压/V	分子比	铝水平/cm	电解质水平/cm	温度/℃
第一个月	24 √/15 cm	4.05 ~ 4.40	2.9 ~ 3.0	15 ~ 17	24 ~ 28	970 ~ 985
第二个月	—	3.92 ~ 4.05	2.8 ~ 2.9	18 ~ 20	19 ~ 22	960 ~ 970
第三个月	—	3.88 ~ 3.92	2.7 ~ 2.8	21 ~ 23	17 ~ 19	955 ~ 960

电解槽的能量平衡是指在稳定状态下,供给电解槽体系的能量等于电解过程需要的能量与电解槽体系损失的热量之和^[3]。预焙槽稳定状态下单位时间内需要供给的能量与电流效率以及单位时间内体系总热量损失之间的函数关系^[4]见式(1)。

$$U = (1.644\gamma + 0.48) + W_{\text{总损}}/I \quad (1)$$

式中, U 为供给电解槽体系的能量(电解槽运行电压); γ 为电流效率; $W_{\text{总损}}$ 为单位时间内电解槽的体系总热量损失; I 为电流强度。 $(1.644\gamma + 0.48)$ 为加热物料和电化学反应过程所需支出的能耗; $W_{\text{总损}}/I$ 为体系总热量损失支出的能耗。

为了找出冷槽原因,对比全石墨化阴极铝电解槽与50%石墨质阴极铝电解槽的能量平衡状况。根据公式(1)可知,两类槽电流强度 I 相同,

各自的总电耗决定于体系总热量损失 $W_{\text{总损}}$ 和电流效率 γ 。

1) 总热损失 $W_{\text{总损}}$ 包括电解槽的炉面、导线、槽底、侧壁以及钢棒的散热损失。

相比50%石墨质阴极电解槽,全石墨化阴极电解槽炉面(包括阳极、保温料、槽罩、净化负压、环境温度等)以及导线(包括槽周母线、立柱母线、水平大母线、阳极导杆和钢爪)完全没有改变,所以在同一外部环境中产生的热损失相同。全石墨化阴极电解槽和50%石墨质阴极电解槽炉底钢板、阴极钢棒、钢窗孔的温度对比见表8。由表8可知,在相同环境下,两类电解槽的槽底、侧壁以及钢棒散热损失差异很小。因此,两类槽的总热量损失 $W_{\text{总损}}$ 差别很小,可以忽略。

表8 两类槽的“三钢”温度对比

槽号	全石墨化阴极铝电解槽				50%石墨质阴极铝电解槽			
	522 [#]	825 [#]	724 [#]	三台槽平均值	223 [#]	416 [#]	603 [#]	三台槽平均值
平均钢棒温度/℃	272.2	260.5	258	263.6	254.9	262.2	254	257.0
平均炉底钢板温度/℃	92.2	89.2	78.4	86.6	73.8	89.0	97	87.1
平均钢窗孔温度/℃	312.0	289.0	311.0	304.0	294.0	319.0	316	310.0

2) 由于全石墨化阴极电解槽和50%石墨质阴极电解槽的 $W_{\text{总损}}$ 差别可以忽略,电流强度 I 完全相同,可认为两类电解槽的电耗大小仅取决于电流效率 γ 。

与50%石墨质阴极铝电解槽相比,全石墨化阴极铝电解槽的电流效率更高^[5]。两类槽盘铜效率数据对比见表9。由表9可知,全石墨化阴极铝电解槽电流效率高出2%。

表9 两类电解槽的电流效率对比

槽号	全石墨化阴极铝电解槽						50%石墨质阴极铝电解槽					
	326 [#]	408 [#]	522 [#]	724 [#]	825 [#]	平均	416 [#]	420 [#]	523 [#]	603 [#]	615 [#]	平均
电流效率/%	94.1	94.2	94.9	94.6	94.7	94.5	93.1	92.7	92.3	92.5	92.4	92.6
盘铜间隔天数/d	181	155	164	180	186	173	177	177	187	184	127	170

将表9中两类槽的平均电流效率代入公式(1)中可得,全石墨化阴极铝电解槽维持能量平衡所需的能量供应为:

$$U_{\text{全石墨化}} = (1.644 \times 94.5\% + 0.48) + W_{\text{总损}}/I = 2.034V + W_{\text{总损}}/I$$

50%石墨质阴极铝电解槽维持能量平衡所需的能量供应为:

$$U_{50\% \text{石墨质}} = (1.644 \times 92.6\% + 0.48) + W_{\text{总损}}/I = 2.003V + W_{\text{总损}}/I$$

由于两类槽的 $W_{\text{总损}}/I$ 的差异可以忽略,则两类

槽所需的能量供应差别为: $2.034\text{ V} - 2.003\text{ V} = 0.031\text{ V}$ 。即因电流效率不同,全石墨化阴极铝电解槽所需能量比 50% 石墨质阴极铝电解槽高出 30 mV。正如表 5 中全石墨化阴极铝电解槽的炉底压降要比 50% 石墨质阴极铝电解槽低 30 mV 左右,即与相同槽龄 50% 石墨质阴极铝电解槽对比,全石墨化阴极铝电解槽因为电流效率的提高所增加的 30 mV 能量供应(加热物料和电化学反应)刚好与炉底压降减少的 30 mV 能量支出相抵消。

上述分析说明正常生产期的全石墨化阴极铝电解槽需要采用和 50% 石墨质阴极铝电解槽相同(或相近)的工作电压,才能维持槽况的稳定。

3 应对措施和效果

3.1 焙烧期电压应对措施和效果

为了规避拆除分流器过程中出现焙烧电压大幅跃升的风险,新槽通电 6 h 后,如果电压在跃升前已降到 3 V 以下,立即拆除一组分流器,而不是同时拆除一个立柱上的两组分流器;如若拆除首组分流器后电压未上升到 3 V,继续拆除下一组,直至电压上升到 3 V 为止。之后电压低于 3 V 时,则每间隔 0.5 h 拆除一组分流器。通过严格控制分流器拆除后的电压,确保焙烧槽在 12 ~ 18 h 内跃升电压最高不超过 3.3 V。电压跃升过程结束后,按规程拆除分流器即可。

按以上方法操作,后续通电的全石墨化阴极铝电解槽焙烧过程电压稳定如图 4 所示,电压跃升最高值从 3.5 V 降至 3.2 V,且焙烧曲线平稳下降,未

再出现焙烧电压大幅跃的情况,各时段和各区域阴极升温均衡、阳极电流分布正常,无分流器熔断及阳极脱落等异常现象。

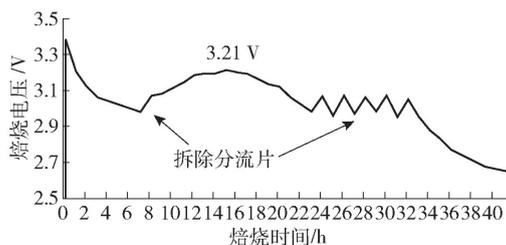


图 4 改进拆除分流片方式后全石墨化阴极铝电解槽焙烧电压曲线

3.2 非正常期电压应对措施和效果

为了避免非正常期出现前期电压噪声值大、后期冷槽两种不利情况,对全石墨化阴极铝电解槽非正常期内的降电压管理做了优化。降电压控制策略由最初的“先慢后快”改为“先快后慢”,即启动后的设定电压在第一周降至 4.20 V 以下,在第二周降至 4.10 V,在第三周降至 4.05 V 以下,在第四周降至 4.00 V 以下。通过强行快速降电压,促使槽内尽快形成炉帮,然后提高铝水平、降低水平电流,使噪声值降至正常,第二个月内则放缓降电压的速度,防止形成冷槽。

两种阴极铝电解槽启动后两个月内平均电压和噪声值实际表现见表 10。从表 10 中可知,全石墨化阴极铝电解槽在启动后的前 4 周内噪声值很高,但降电压的幅度大于 50% 石墨质阴极铝电解槽。第 5 周开始设定电压每周降 20 mV,至第 8 周设定电压降至 3.92 V 并保持。

表 10 两种阴极铝电解槽启动后两个月内平均电压和噪声值实际表现

电解槽类型	参数	第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周	第 7 周	第 8 周
523#槽(50% 石墨质)	设定电压/V	4.327	4.279	4.197	4.188	4.179	4.116	4.196	4.075
	噪声/mV	27.0	28.0	29.3	40.6	43.6	30.0	28.3	28.0
632#槽(全石墨化)	设定电压/V	4.419	4.197	4.1	4.022	4.006	3.983	3.959	3.938
	噪声/mV	32.3	49.7	54.1	42.6	23.1	30.7	27.9	27.3

从第 5 周开始,全石墨化阴极铝电解槽降电压幅度明显小于 50% 石墨质阴极铝电解槽,噪声值快速下降,槽况稳定,非正常期内不再出现冷槽现象,边部和角部伸腿状况正常。

3.3 正常生产期电压应对措施和效果

在正常生产期,应对冷槽的主要措施有两方面:减少能量支出和增加能量输入。但实际情况是全石墨

化阴极铝电解槽阳极覆盖料已超过钢窗孔 2 ~ 3 cm,不宜再加厚,使用外保温材料操作难度大,排烟负压有环保硬性要求,因而不能采用减少能量支出的措施。实际上,对于正常生产期已经出现冷槽现象的全石墨化阴极铝电解槽,将设定电压提升到 3.96 ~ 3.99 V、分子比调整到 2.5 ~ 2.6,铝水平降至 21 ~ 23 cm 范围内运行一个月,当电解质水平出现连续上涨的趋势

后,逐步将设定电压退回 3.92 ~ 3.95 V、分子比控制在 2.40 ~ 2.50、铝水平保持在 21 ~ 23 cm。后续新槽转入正常生产期后的设定电压、分子比、铝水平则直接按上述新规范保持。

通过 1 ~ 2 个月的技术调整,电解质状况明显改善,氧化铝溶解趋于正常,槽内伸腿连续回缩,解决了全石墨化阴极铝电解槽的冷槽问题;后续新槽转入正常期后不再出现冷槽现象,且全石墨化阴极铝电解槽炉帮厚度及角部伸腿长度正常,水平电流小(图 5),噪声值正常,槽况保持长期稳定高效。

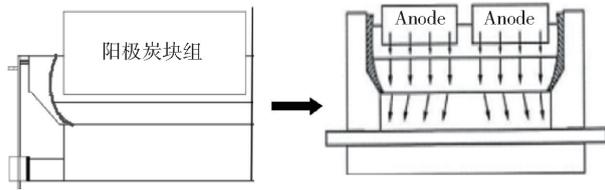


图 5 按新规范内运行的全石墨阴极铝电解槽的炉膛内形与电流走向示意图

4 结论

1) 通过控制拆除分流片的步骤,规避了焙烧电

压大幅跃升引发阴极升温异常、阳极脱落风险。

2) 使用“先快后慢”的降电压控制策略解决了非正常期 3 个月内前期噪声值大、后期冷槽问题。

3) 正常生产期,全石墨化电解槽的设定电压控制为 3.92 ~ 3.95 V,分子比控制在 2.40 ~ 2.50,铝水平保持在 21 ~ 23 cm,全石墨化电解槽没有出现过长伸腿以及冷槽现象,长期稳定运行。

[参考文献]

- [1] 卢延峰,白斌,曹曦,等. 石墨化有极炭块在 400 kA 节能型电解槽上的应用[J]. 有色冶金节能, 2017, 33(3): 31-34.
- [2] 邱竹贤. 预焙槽炼铝[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005: 297.
- [3] 刘业翔,李劫. 现代铝电解[M]. 北京:冶金工业出版社, 2008: 311.
- [4] 王二体,崔永亮,李艳卫,等. 浅谈伊铝电解槽全石墨化阴极的应用[C]//全国铝电解槽生产技术与操作技术学术报告和交流会, 2007: 52-56.
- [5] 刘驰. 延长阴极铝电解槽寿命的探析[J]. 有色设备, 2021, 35(6): 96-100.

Voltage Management of Fully Graphitized Cathode Aluminum Reduction Cells

LUO Guanfeng, YU Longjin, ZENG Zhenshuang
(Guangxi Hualei New Material Co., Ltd., Baise 531499, China)

Abstract: In order to improve the current efficiency, reduce the power consumption per ton of aluminum and prolong the service life of aluminum reduction cells, an electrolytic aluminum plant used a fully graphitized cathode to replace the 50% graphite cathode of the original 500 kA aluminum reduction cell. Because the fully graphitized cathode has the characteristics of high conductivity, high thermal conductivity, strong resistance to sodium erosion and small thermal expansion coefficient, the voltage management of the fully graphitized cathode aluminum electrolytic cell is different from that of the 50% graphite cathode aluminum electrolytic cell in the production process. In this paper, the causes of abnormal phenomena such as voltage jump in roasting stage, high noise value in abnormal period and cold tank in normal production period in the production process of 500 kA series fully graphitized cathode aluminum electrolytic cell were analyzed, and the voltage management strategies in each period were given.

Key words: fully graphitized cathode; graphite cathode; aluminium electrolytic; voltage management