

# 铝电解槽热平衡均匀性优化实践

周锋<sup>1</sup> 王怀江<sup>1</sup> 李刚<sup>1</sup> 王富强<sup>2</sup>

(1. 遵义铝业股份有限公司, 贵州 遵义 563100; 2. 沈阳铝镁设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110001)

**[摘要]** 某公司350 kA电解槽长期存在热平衡差异性大的问题,主要原因是支烟管阀门不能均匀控制每台电解槽的排烟量,烟道集气性能偏低。通过支烟管和烟道在线改造调节槽上部排烟和散热状况,进而达到提高电解槽密闭效率和优化热平衡均匀性的目的。实践结果表明,改造后,实测支烟管的槽间排烟偏差由-23%~30%优化至±10%以内,单槽槽膛内的集气均匀性偏差由-52%~30%优化至-7%~5%,彻底解决了烟道积灰问题,电解槽密闭效率显著提升,车间内环境改善明显;实测出铝端与烟道端槽温偏差由6℃降至3℃,烟道端沉淀明显减少,电解槽热平衡均匀性得到显著改善。

**[关键词]** 热平衡;数值模拟;烟道;密闭效率;节能;优化

**[中图分类号]** TF821 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)04-0033-04

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.007

## 0 前言

随着国家双碳双控和阶梯电价政策的逐步实施<sup>[1-2]</sup>,以及铝价和原材料价格的上涨,国内的铝电解企业既面临较大生存压力,也迎来了近十多年来难得的盈利机遇期。为了解决企业生存困境和节约运营成本,各铝厂都开始采取多种节能技术以降低吨铝电耗<sup>[3]</sup>,而实现的前提则是保持电解系列生产运行的稳定性。电解系列的稳定生产与多方面因素有关,而车间的日常操作管理则主要围绕电解槽热平衡展开。稳定、均匀的电解槽热平衡对电解系列取得良好技术经济指标至关重要<sup>[4]</sup>。

某公司350 kA电解槽长期存在热平衡差异性大的问题,主要体现在出铝端上部易冒烟、炉帮薄、伸腿短,而烟道端沉淀多、炉帮厚、伸腿长,实测出铝端槽温比烟道端偏高6℃;且电解槽个体之间的热平衡存在较明显差异,很难用一套生产技术条件来管理全系列,给车间的生产操作和组织管理带来较

大困扰。

针对上述情况,本文从铝电解工艺和电解槽设计理论入手诊断槽况,找出问题的主要原因,并借助数值模拟技术深入解析电解槽热场以制定优化方案,再通过现场在线改造和工艺技术参数调整来解决电解槽热平衡差异性大的问题。

## 1 槽况诊断与对策

在电解槽散热结构分布中,槽上部散热约占全槽总散热量的2/3<sup>[4]</sup>,均从覆盖料上表面散入槽膛内;其中有一半热量通过电解槽排烟带走进入净化系统,另一半通过槽上部的金属结构(槽罩板、大梁等)散入车间内,由厂房通风带走。由此可见,槽上部散热对各槽之间热平衡、单槽内热平衡是否均匀分布有至关重要的影响<sup>[5]</sup>。

调节槽上部散热主要有两个手段,一是加强覆盖料管理,二是排烟优化。然而,覆盖料成分、厚度的改变牵涉方面太多,周期太长,且工作量较大,对电解系列的生产组织和管理影响较大。而排烟优化操作简单灵活,效果显著,短期内即可实现对全系列和单槽热平衡的调节控制,不仅可以解决电解槽热平衡的均匀性,也能实现槽膛内的风压均衡,提高电解槽密闭效率,降低氟化盐单耗,改善车间环境<sup>[6-7]</sup>。由此可见,优化排烟是解决电解槽热平衡分布失衡的关键。

经专家现场测试和联合诊断,判断造成该问题

**[收稿日期]** 2022-04-18

**[作者简介]** 周锋(1981—),男,湖北钟祥人,本科,工程师,主要从事铝电解生产技术管理。

**[通讯作者]** 王富强(1981—),男,湖北钟祥人,博士,教授级高级工程师,主要从事铝电解工艺的研究和应用工作。

**[引用格式]** 周锋,王怀江,李刚,等. 铝电解槽热平衡均匀性优化实践[J]. 有色冶金节能,2022,38(4):33-36.

的主要原因在于支烟管阀门不能均匀控制每台电解槽的排烟量,导致各台槽排烟带走的热量偏差较大,使得电解系列的热平衡分布未能趋于一致;另外,电解槽烟道集气性能偏低,且烟道内易积灰,导致槽上部集气和散热不均匀,使得出铝端集气量和散热量偏少,而烟道端集气量和散热量较多,进而导致槽膛内的热平衡分布不均匀。因此,确定通过排烟调节对电解槽进行在线改造,进而达到优化电解槽热平衡均匀性的目的,具体方案如下:

1) 通过设置孔板来代替支烟管阀门,借助支烟管模型计算每块孔板的孔径,依靠孔板的孔径变化来均衡每台槽的排烟量,进而减少电解系列各槽之间排烟量和散热量的差异。

2) 借助槽上部热平衡模型研究槽膛内部的风压和温度分布规律,通过改变烟道进风孔和漏料口尺寸来调整槽膛内的风压分布状况,解决烟道积灰、密闭效率偏低和槽上部散热不均匀的问题,同时改善电解车间内的工作环境,降低氟化盐单耗。

## 2 热平衡优化方案

### 2.1 槽间排烟均匀性优化

电解槽一般通过支烟管阀门控制调节排烟量,但由于阀门控制精度不高,再加上人为干扰,槽间排烟量分布差异性较大。借助支烟管模型可以较准确地模拟出汇总管上各台电解槽支烟管的排烟量,通过设置不同孔径的孔板来替代阀门的调节作用,进而达到均匀车间内各台电解槽排烟量的目的<sup>[8]</sup>。支烟管优化后的烟气流速和槽间排烟偏差分别如图1、图2所示。

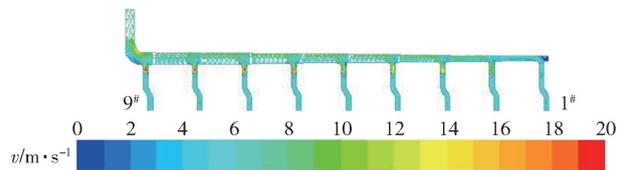


图1 优化后支烟管内的烟气流速分布图

由支烟管模型的计算结果可知,在优化方案中,通过合理的孔板设置,可以保证9根支烟管的排烟量理论偏差介于 $\pm 4\%$ 以内,管路系统阻力为113 Pa。最远端的1#支烟管没有孔板,支烟管直径最大,为610 mm;最近端的9#支烟管的孔板孔径最小,为400 mm。在该孔板优化方案中,当净化风量在合理范围(4 000 ~ 7 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ )内变化时,槽间排烟分布偏差仍然介于 $\pm 4\%$ 以内,说明槽间排烟均匀性分

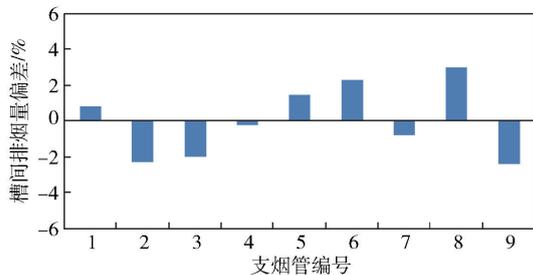


图2 优化后的理论槽间排烟量偏差

布趋势基本保持稳定。

### 2.2 单槽排烟均匀性优化

国内铝厂普遍存在电解槽集气性能较差、烟道内粉尘易堆积且不易清理的特点,导致电解槽上部经常出现远端易冒烟显热而近端趋冷的现象<sup>[5]</sup>。借助槽上部热平衡模型定量分析槽膛内的流场与温度场分布,通过调整集气孔和底部漏料口的尺寸和数量来优化槽膛内的风压均衡性,解决烟道积灰和电解槽集气、散热的均匀性问题<sup>[9]</sup>。烟道优化前后的模拟结果见图3~5所示。

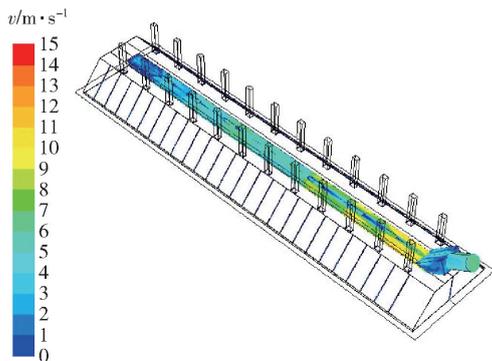


图3 优化后槽膛内的烟气流速图

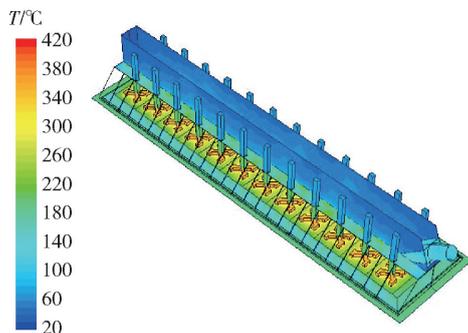


图4 优化后槽上部温度分布图

在原设计的烟道结构中,出铝端的集气孔直径最大为120 mm,而烟道端最小孔径为35 mm,依靠悬殊的集气孔直径差距调节电解槽两端的风压均衡必然造成较大的烟道阻力,且一旦出现烟道内积灰

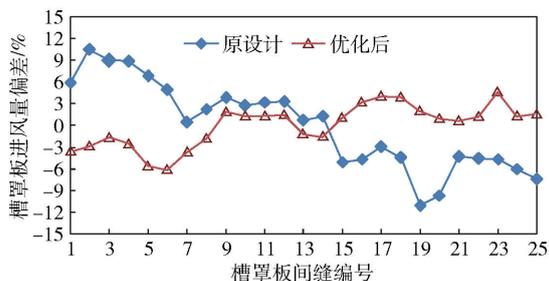


图5 优化前后电解槽理论集气量分布偏差

堵塞烟气流动通道时,槽膛内的风压分布也将显著失衡。由计算结果可知,原设计烟道阻力理论值102 Pa,槽罩板间缝处的进风量偏差为 $\pm 11\%$ ,烟道的集气性能偏低。

优化后,电解槽烟道阻力理论值为77 Pa(降幅25%),进风量偏差为 $-6\% \sim 5\%$ ,烟道的集气性能得到显著提升。增设的烟道底部漏料口,既能起到微调进风量的作用,也可解决烟道内的粉尘堆积问题。因此,烟道结构优化后必将显著提升电解槽的密闭效率和槽上部热平衡的均匀性。

### 3 电解槽热平衡优化与效果

#### 3.1 槽间排烟均匀性优化

根据支烟管优化方案,制作孔板并现场安装。先拆下旧阀门,并拆除阀门中的轴和翻板,将阀体的外直管利旧;然后将阀门外直管放置回原位,并同时塞入孔板(厚度5 mm),把接螺栓紧固。在烟道端槽罩板中间开5 cm圆孔,用风速仪测量槽外进入槽膛内的风速,进而对比优化前后电解槽的实际槽间排烟偏差,结果如图6所示。

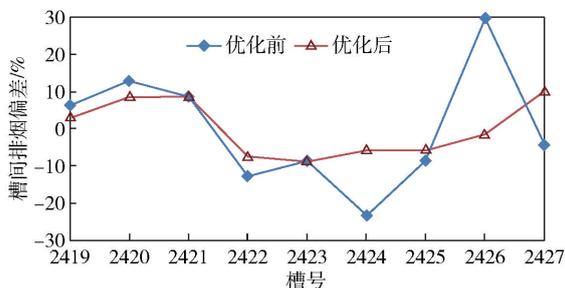


图6 优化前后槽间排烟均匀性的实测值对比

由于支烟管优化方案基于理想化的模拟结果,电解槽实际生产中存在槽罩板破损、火眼开度不一、槽电压和槽温差异大等许多不利因素,这些因素会影响槽间排烟偏差的均匀性。实测数据显示,优化前后2419#~2427#电解槽的实际槽间排烟偏差介于 $\pm 10\%$ 以内,与优化前的偏差 $-23\% \sim 30\%$ 相比,有

较明显改善,由此证明优化后车间内各台电解槽之间的排烟量分布趋于均匀。

#### 3.2 单槽排烟均匀性优化

车间根据烟道优化方案,制定详细的烟道在线改造方案、安全保障制度和质量验收标准。选取2419#~2427#共9台槽进行槽膛内集气均匀性现场测试,以对比烟道优化前后的实际效果。与槽间排烟均匀性测试方法相似,沿电解槽长度方向在大面槽罩板中间开6个直径5 cm的圆孔,圆孔位置与6根立柱母线位置对应,用风速仪依次测量圆孔的入口风速,结果如图7所示。

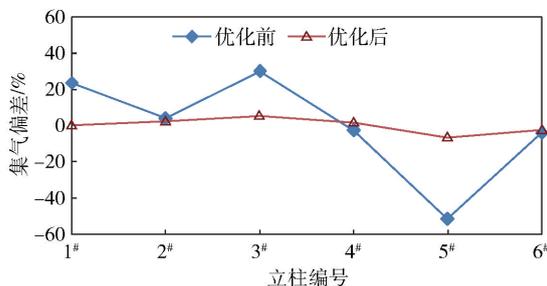


图7 优化前后槽内集气偏差的实测值对比

实测烟道优化前的槽膛内集气偏差为 $-52\% \sim 30\%$ ,烟道优化后则为 $-7\% \sim 5\%$ ,烟道的集气性能提升显著,且改造后的烟道内长期无明显积灰,不再需要清灰作业,大幅减少了工人的工作量。与烟道改造前相比,改造后厂房内视野清晰,光线明亮,出铝端无明显冒烟,车间环境得到显著改善。

实测热平衡优化后的电解槽出铝端槽温平均值为 $942\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,烟道端温度为 $939\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出铝端槽温比烟道端偏高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,较热平衡优化前的两端槽温偏差( $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ )降低了 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;且烟道端沉淀显著减少,出铝端与烟道端的炉帮厚度基本相当。由此可知,排烟优化后,系列槽况趋于统一;电解槽沿长度方向的热平衡分布趋于均衡,有效提升了电解槽热平衡的均匀性与稳定性,大幅减少了电解车间的生产管理难度,为电解系列下一步采取节能降耗措施奠定了坚实基础。

### 4 结论

因烟道结构不合理导致电解槽密闭效率偏低、烟道内部易积灰且难清理是国内铝厂普遍存在的共性问题,由此引发的电解槽热平衡分布不均匀、槽况类型偏多且工艺技术条件难统一、电解车间无组织排放严重和氟化盐单耗偏高等问题对电解系列的稳定生产造成较大影响。在精准诊断槽况的基础上,

借助支烟管模型和槽上部热平衡模型制定实施方案,通过在线改造槽上部排烟状况优化电解槽热平衡均匀性,为其他铝厂提供可靠的借鉴经验。电解槽热平衡均匀性的优化及实践效果总结如下:

1)通过支烟管模型设置不同孔径的孔板,提升槽间排烟均匀性,实测槽间排烟偏差由 $-23\%$ ~ $30\%$ 降至 $\pm 10\%$ 以内,解决了电解系列各槽之间的热平衡差异性,有利于槽况分布的统一,以及车间生产操作的组织与管理。

2)通过改变烟道进风孔和漏料口尺寸来调整槽膛内的风压分布状况,提升了单槽排烟均匀性,实测槽膛内的集气偏差由 $-52\%$ ~ $30\%$ 降至 $-7\%$ ~ $5\%$ ,烟道内无明显积灰,电解槽密闭效率和车间环境质量改善明显,有利于降低氟化盐单耗。

3)电解槽排烟优化显著改善了槽上部集气和散热的均匀性,实测出铝端与烟道端的槽温偏差由 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,烟道端沉淀明显减少,两端部炉膛内形相当,电解槽热平衡均匀性得到显著提升,为实现电解系列的稳定运行提供了可靠保障。

#### [参考文献]

[1] 窦宏秀,王震. 加快电解铝行业碳达峰助力铝产业绿

色低碳发展[J]. 轻金属,2021(7):1-3.

[2] 刘亚德. 碳中和愿景下的国内电解铝布局趋势分析[J]. 轻金属,2021(4):1-4.

[3] 杨国文. 200 kA 铝电解槽阴极磷生铁浇铸试验及工业应用[J]. 轻金属,2021(7):28-32.

[4] 王富强,张钦蕊,刘伟,等. 数值模拟技术在电解槽热平衡诊断中的应用[J]. 轻金属,2019(1):25-28.

[5] WANG Fuqiang, ZHANG Qinsong, LIU Wei, et al. Development and application of a new combination of models to improve the uniformity of ventilation and exhaust in a 500 kA potline[J]. The Journal of the Minerals, Metal-sand Materials Society, 2020, 72(5), 1961-1970.

[6] ZHANG Hongliang, SUN Kena, LI Jie, et al. Numerical simulation study on gas collecting system of 400 kA grade aluminum electrolytic cell [J]. Light Metals, 2018: 573-586.

[7] 耿培久. 基于数值仿真开发的电解槽集气系统[J]. 有色冶金节能,2022,38(1):36-38.

[8] 李刚,何飞,王怀江,等. 350 kA 电解系列槽间排烟均匀性研究及实践[J]. 资源信息与工程,2021,36(3):149-151.

[9] 李刚,谢青松,何飞,等. 350 kA 电解槽烟道改造实践[J]. 资源信息与工程,2021,36(4):120-122.

## Optimization of the Heat Balance Uniformity of Aluminum Electrolytic Cells

ZHOU Feng, WANG Huai-jiang, LI Gang, WANG Fu-qiang

**Abstract:** There is a long-term problem of large heat balance difference in 350 kA electrolyzers in a company. The main reasons are that the smoke exhaust volume of each electrolyzer cannot be uniform by the smoke pip valve, and the gas gathering performance of the flue is low. Through on-line modification of branch gas pipes and gas ducts, the exhaust gas and heat dissipation conditions at the upper part of the cell were adjusted to improve the sealing efficiency of the electrolytic cell and optimize the uniformity of heat balance. The results shows that the measured ventilation deviation of branch pipes for exhaust gas between cells of is optimized from  $-23\%$ ~ $30\%$  to within  $\pm 10\%$ , and the gas gathering uniformity deviation in a single cell chamber is optimized from  $-52\%$ ~ $30\%$  to  $-7\%$ ~ $5\%$ , which completely solves the problem of dust accumulation and significantly improves the sealing efficiency of electrolytic cells and the working environment; the measured cell temperature deviation between aluminum outlet and flue end is lowered from  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the precipitation at the gas duct end is significantly reduced, and the heat balance uniformity of the electrolytic cell is improved.

**Key words:** heat balance; numerical simulation; gas duct; sealing efficiency; energy conervation; optimization