

铝电解槽焙烧启动技术对比

马军义¹ 王俊伟¹ 赵伟² 曹永峰¹

(1. 中铝郑州有色金属研究院有限公司, 河南 郑州 450041; 2. 包头铝业有限公司, 内蒙古 包头 014000)

[摘要] 本文介绍了燃气焙烧启动技术的过程控制,从焙烧效果及经济性等方面对比焦粒焙烧技术和燃气焙烧技术。对比结果显示,焦粒焙烧电解槽的总体上抬量小于燃气焙烧电解槽的上抬量;焦粒焙烧电解槽前期升温速度偏快,可控程度相对稍差,燃气焙烧升温速度稍慢,升温恒温,便于控制;两种焙烧方法的电解槽的阴极钢棒温度、炉底板温度和熔体区槽壳温度没有显差别;在经济性和环保方面,单台电解槽燃气焙烧较焦粒焙烧节约 1.3 万元,能源利用率高,有利降碳减排,启动后无需打捞炭渣。

[关键词] 铝电解槽; 焦粒焙烧; 燃气焙烧; 焙烧曲线; 炉底上抬量

[中图分类号] TF821

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)01-0052-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.01.013

0 前言

现代铝电解技术经历了 50 多年的发展,铝电解槽焙烧启动技术也经历了铝液焙烧、焦粒焙烧、燃气焙烧三种方式的革新。铝液焙烧法在灌铝时会产生大的热冲击,部分铝水渗入内衬裂纹中,在电毛细作用下存在漏电风险,大多数铝厂已不再采用。焦粒焙烧法在 90 年代中期我国的 280 kA 试验槽首次使用,具有时间短、效率高的优点,并能有效避免正常电解过程铝液渗透对电解槽寿命产生的不利影响,但也有不足之处,如因焦粒粒度不完全均匀一致,电流分布不均,易产生局部过热,不利于延长槽寿命;槽边部扎固糊焙烧不良;耗能高;启动后电解质炭渣多,需要清除,费工费料;焙烧成本偏高。焦粒焙烧技术成熟,总体效果较好,目前仍为众多电解铝厂使用。燃气焙烧法利用燃料(油、天然气或煤气)燃烧在阴、阳极之间产生火焰来加热槽膛,属于外热源焙烧,热量通过传导、对流和辐射传输到其他部位,可以获得良好的电解槽温度分布。该方法具有焙烧温度均匀、控制灵活、成本低的特点,是最有优势和发展前景的焙烧技术^[1-4]。

本文介绍了燃气焙烧启动技术的过程控制,从

焙烧效果及经济性等方面对比焦粒焙烧技术和燃气焙烧技术。

1 燃气焙烧技术过程控制

燃气焙烧技术的控制要点是焙烧曲线,通过调节燃烧参数中的空燃比实现炉膛受热均匀的目的。

1.1 焙烧曲线

本文所述的燃气焙烧技术采用赛尔非线性焙烧曲线进行焙烧升温,整个焙烧过程分为 3 个阶段,如图 1 所示。在温度 300 °C 以下,升温时间短,焙烧曲线接近于幂指数曲线;400 ~ 600 °C 是糊料焦化温度,这个阶段需要一定的保温时间,升温要尽量平稳,保持线性稳定上升;当温度达到 600 °C 以后,升温速度加快,焙烧曲线接近于指数曲线。

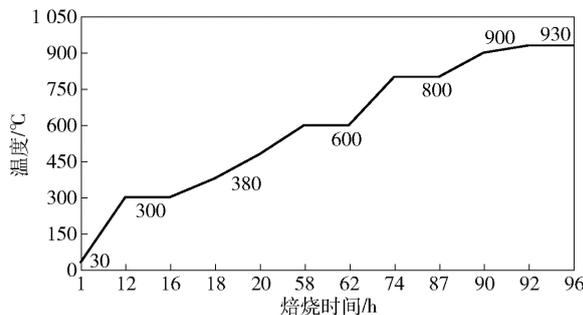


图 1 电解槽燃气焙烧升温曲线

1.2 燃烧器设置

燃气焙烧需要一套完整的焙烧装备,如图 2 所示。由于现场安装空间有限,焙烧系统采用小功率、低烟气流速、减少热量损失的喷燃器混配置方案,

[收稿日期] 2021-10-29

[作者简介] 马军义(1972—),男,河南禹州人,工程师,硕士,主要从事有色合金冶炼与熔铸工作。

[引用格式] 马军义,王俊伟,赵伟,等. 铝电解槽焙烧启动技术对比[J]. 有色冶金节能,2022,38(1):52-55.

两侧燃烧器等距、错位布置,逆向对流传热,主动强化热流扰动,实现均匀传热。



图2 电解槽燃气焙烧装置安装

1.3 燃烧参数控制

采用自修正及分段空燃比控制技术,利用控制系统的自动控制程序满足焙烧曲线的燃烧控制模型(图3)。在炉膛温度 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,空气过剩系数控制在 $1.01\sim 1.03$;在炉膛温度 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上时,空气过剩系数控制在 $0.95\sim 0.98$ 。整个焙烧过程升温控制精确,炉膛受热均匀;目标温度与实际温度偏差控制在 $\pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$;炉膛最终平均温度为 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$,达到电解槽启动对焙烧的要求。

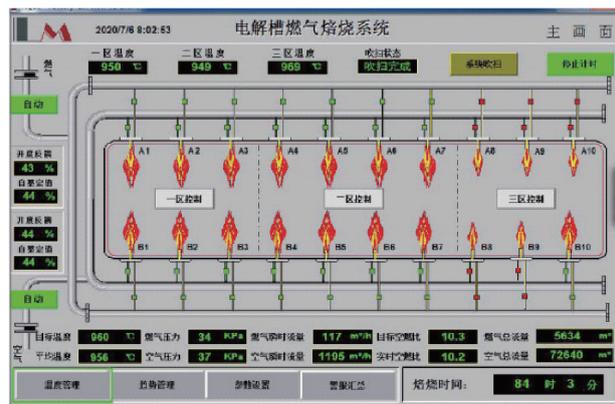


图3 燃烧控制模型

2 焦粒焙烧技术和燃气焙烧技术效果对比

为综合评价电解槽焙烧效果,在某企业 400 kA 系列选取2台焦粒焙烧槽(318[#]、327[#])和2台燃气焙烧槽(328[#]、431[#])为分析对象,对比焦粒焙烧和燃气焙烧的焙烧效果。由于电解槽焙烧过程中,槽壳和阴极炭块基体受上、下温度梯度的影响产生热膨胀应力;电解槽启动后,电解质中的钠离子渗透到内衬材料中产生钠膨胀应力,电解质渗透到防渗层凝固产生结晶体或反应物不断积累产生体积膨胀应力,导致炉底上抬。因此现场通过测量炉底上抬量

分析不同焙烧方式对电解槽的影响,同时监测槽温及阴极钢棒温度、炉底板温度和熔体区槽壳壁温度,进行综合评价。

2.1 炉底上抬量对比

焙烧过程中电解槽变形量大小是对电解槽内衬破坏性最直观的表现。焦粒焙烧电解槽和燃气焙烧电解槽的炉底上抬量现场实测数据对比如图4所示。

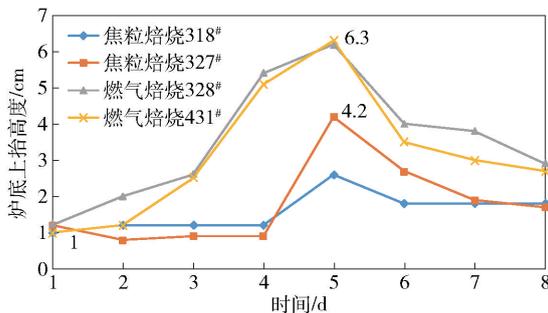


图4 焙烧过程中电解槽炉底上抬量对比

由图4可知,两种焙烧法的电解槽的炉底上台量变化趋势基本一致。焦粒焙烧电解槽的总体上台量小于燃气焙烧电解槽的上抬量,平均在 1.0 cm 左右,最高为 4.2 cm ,灌完电解质后又回落;而燃气焙烧电解槽的上抬量峰值发生在焙烧的第5天,高达 6.3 cm ,然后回落。

之所以产生上述现象,主要原因是两种焙烧方法传热方式不同,热胀冷缩速度不一。焦粒焙烧是电阻通电产生热量,由阴、阳极导电后传热逐步升温,热胀速度慢,冷缩也不会太明显^[5]。而燃气焙烧是由外部供热到槽体,内衬整体吸收热量速度慢,局部(喷嘴处)容易过热,热胀冷缩快,导致炉底上抬变形量大。

2.2 槽温对比

焦粒焙烧电解槽和燃气焙烧电解槽的槽温对比如图5所示。

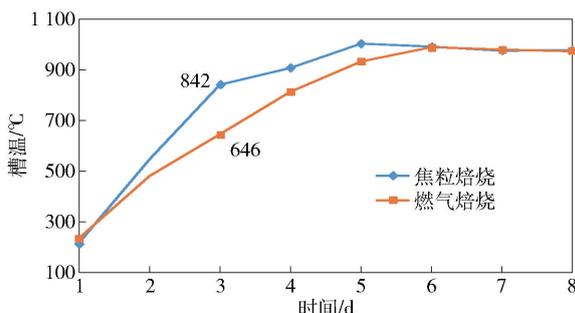


图5 不同焙烧方式对电解槽温度的影响

由图5可知,焦粒焙烧电解槽前期升温速度偏

快,可控程度相对稍差,不利于精准控制;燃气焙烧虽然由于阳极自身未发热,升温速度稍慢,但是升温均匀、便于控制,可减小对电解槽内衬的热冲击,有利于延长电解槽内衬寿命。灌完电解质后电解槽温度达到 1 000 ℃,之后温度下降慢,易于保持,最后焦炭焙烧和燃气焙烧的电解槽温度相差无几。

2.3 三项数据温度对比

三项数据温度,即阴极钢棒温度、炉底板温度和熔体区槽壳壁温度,是焙烧启动效果的重要体现。两种焙烧方式下电解槽的阴极钢棒温度、炉底板温度和熔体区槽壳壁温度变化趋势分别如图 6~8 所示。

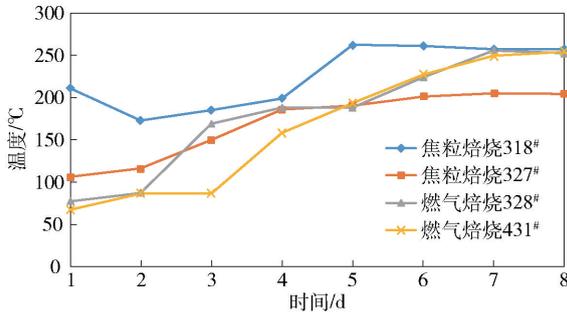


图6 不同焙烧方式的阴极钢棒温度对比

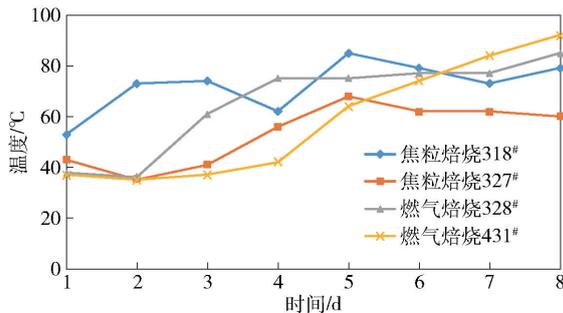


图7 不同焙烧方式的炉底板温度对比

从图6可知,电解槽在焙烧4 d后启动,阴极钢

棒温度为 200 ~ 250 ℃,两种焙烧方式的阴极钢棒温度变化趋势无明显区别。

由图7可知,电解槽在焙烧4 d后启动,炉底板温度在 60 ~ 80 ℃,两种焙烧方式的炉底板温度无明显差别。

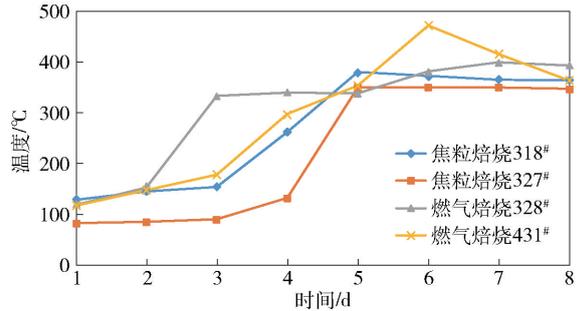


图8 不同焙烧方式的熔体区槽壳壁温度对比

从图8可知,电解槽在焙烧4 d后启动,熔体区槽壳壁温度在 300 ~ 380 ℃,两种焙烧方式的熔体区槽壳壁温度无明显差别。

3 不同焙烧方式的经济性分析

以某企业 400 kA 电解槽为例,采用燃气焙烧和焦炭焙烧的单台电解槽能耗和经济性对比见表 1。由表 1 可知,单台电解槽燃气焙烧较焦炭焙烧节约 1.3 万元。此外,焦炭焙烧过程需要采取分流措施,大约 15% 的热能由分流器产生并最终损失。采用燃气焙烧,烟气带走 30% 的热量,一次能源的利用效率约 70%。在能源利用率方面,燃气焙烧明显高于焦炭焙烧,有利于降碳减排。此外,相对于焦炭焙烧技术,燃气焙烧技术大幅降低了启动后的炭渣打捞工作量。

表 1 不同焙烧方式下 400 kA 电解槽能耗和经济性对比

焙烧启动方式	焙烧物料	单价	焙烧费用/万元	焙烧期内总电费/万元	启动后 10 d 内总电费/万元	电费合计/万元	焙烧期内平均电压/V	启动后 10 d 内平均电压/V
燃气焙烧	9 000 m ³	2 元/Nm ³	1.80	0.00	14.68	16.48	0.00	4.350
焦炭焙烧	1 200 kg	3.5 元/kg	0.42	3.19	14.14	17.74	2.37	4.207

4 结束语

燃气焙烧是一种具有良好发展前景的焙烧技术,可以满足铝电解生产的需求。该技术的优势是能源利用率高,能源成本低,有利降碳减排,启动后无需打捞炭渣。燃气焙烧采用不同热源和传热方式,但炉底上抬量略高,今后工作中有待建立起以减

小内衬热应力、满足焙烧曲线的燃烧控制模型,优化焙烧温度和内衬结构温度分布均匀性,提高空气过剩系数控制水平,降低阴极炭块的氧化。

[参考文献]

- [1] 梁学民,张松江. 现代铝电解生产技术与管理[M]. 长沙:中南大学出版社, 2011.

- [2] 邱竹贤. 预焙槽炼铝(第三版)[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [3] 刘业翔,李劼. 现代铝电解[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
- [4] 马耀奎. 铝电解槽燃气焙烧二次启动实践与分析[J]. 有色冶金节能,2013,29(6):13-16,52.
- [5] 刘民章,李贤. 铝电解槽燃气焙烧过程中出现的问题及其控制措施[J]. 有色冶金节能,2013,29(6):10-12.

Comparison of Roasting Start-up Technologies for Aluminum Electrolytic Cells

MA Jun-yi, WANG Jun-wei, ZHAO Wei, CAO Yong-feng

Abstract: This article introduced the process control of the gas roasting start-up technology, and compared the coke roasting technology and the gas roasting technology from the aspects of roasting effect and cost-effectiveness. The comparison results show that the overall uplift of the coke roasting electrolytic cell is smaller than that of the gas roasting electrolytic cell; the initial heat-up rate of coke roasting electrolytic cell is somewhat faster with a bit poorer controlability relatively while the heat-up rate of gas roasting electrolytic cell is slightly slower with a constant temperature rise, allowing for easy control; there is no obvious difference in cathode steel bar temperature, furnace bottom plate temperature and melt zone shell temperature between the two roasting methods; in terms of cost-effectiveness and environmental protection, gas roasting of a single electrolytic cell saves about 13,000 yuan compared with coke roasting, with which the energy utilization rate is higher, being conducive to carbon reduction and emission abatement, and there is no need to salvage the carbon residue after startup.

Key words: aluminum cell; coke roasting; gas roasting; roasting curve; roaster bottom uplift

(上接第51页)

Research and Application of Intelligent Control of Heating System Based on 5G Communication Technology

CHEN Zhuo, QIN Qi-chang, YAO Ai-guo, YANG Kai

Abstract: The heating system in the unit works of a mine project does not fully consider the influence of external temperature changes on the water temperature required for the buildings to be heated. The office is continuously heated for 24 hours under constant temperature and constant pressure. The heat source adopts artificial heating strategy, which cannot be adjusted automatically according to the change of system load in real time, resulting in energy waste and low intelligence. In this research, the latest 5G technology and climate compensation technology were used for intelligentized renovation of the heating system, and an intelligent control system comprising computer operation management center and energy conservation supervision service platform were established, moreover, the focuses of the intelligentized renovation were introduced, realizing the purposes of heating on time and demand, energy conservation, consumption reduction and efficiency improvement.

Key words: heating system; time and temperature control; energy conservation and consumption reduction; 5G communication technology; intelligentized; climate compensation technology