

节能减排

710 mm 高阳极在 500 kA 铝电解槽上的应用

郭彬 刘 驰

(内蒙古锦联铝材有限公司, 内蒙古 霍林郭勒 029200)

[摘 要] 本文简要介绍了增高阳极的发展现状,并从电耗、阳极导电速度、电解槽稳定性等方面对比 650 mm 和 710 mm 两种阳极高度电解槽。分析结果表明,阳极增高后,压降增加会导致电耗增加;两种电解槽的阳极电流分布趋势一致,导电速度没有显著差异;710 mm 高阳极的电解槽稳定性指标优于 650 mm 阳极电解槽。阳极高度增加后,减少了物料消耗、电费、直接人工和运输费用,每年可创效 1 865.33 万元,并且可以实现良好的环保效益。

[关键词] 增高阳极; 阳极高度; 710 mm 阳极; 铝电解槽; 电耗; 电解槽稳定性; 碳排放; 经济效益

[中图分类号] TF821 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2021)05-0009-04

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.003

Application of 710 mm High Anode in 500 kA Aluminum Electrolytic Cell

GUO Bin, LIU Chi

Abstract: This paper briefly introduced the development status of increasing anode height, and compared the electrolytic cells of the heights of 650 mm and 710 mm in terms of increased power consumption by increasing voltage drop, anode conduction velocity, electrolytic cell stability, etc. It can be known that after the anode height is increased, the increase of voltage drop will lead to the increase of power consumption, the anode current distribution tendency of the two type electrolytic cells is uniform, and the conduction velocity has no obvious difference; the stability of the cell with 710 mm high anode is better than that with 650 mm high anode. The increase of anode height reduces material consumption, electricity, direct labour and transportaiton costs, which can generate an annual revenue of about 18.65 million yuan and can achieve good environmental effect.

Key words: increase anode height; anode height; 710mm anode; aluminum electrolytic cell; power consumption; electrolytic cell stability; carbon emission; economic benefit

0 前言

随着国家对环保及碳排放的重视,对电解铝行业的碳氧化物减排和有害废气的无组织排放的要求越来越严格,水电、风能、太阳能光伏及电解新技术、新材料等方面开始引起电解铝行业的重视。如何减少化石能源使用,降低单位产品能源消耗,减少碳排放,成为近期同行专家学者们探讨的热点。

铝的生产一直采用熔盐电解法,预焙电解槽所

[收稿日期] 2021-04-02

[作者简介] 郭彬(1984—),男,江苏邳州人,研究生,工程师,主要从事铝电解管理工作,现任内蒙古锦联铝材有限公司总经理助理兼铝厂厂长。

[引文格式] 郭彬,刘驰. 710 mm 高阳极在 500 kA 铝电解槽上的应用[J]. 有色冶金节能,2021,37(5):9-12.

用阴、阳两极均由炭素材料制备。阳极在使用过程中需要定期更换,存在烟气无组织排放、热量散失、炭块利用率低、劳动强度大等缺点,同时频繁的更换阳极作业也给电解槽的稳定性带来了影响^[1]。如何最大限度地延长炭块的使用周期,减少对电解槽的扰动、减轻员工劳动强度、降低炭耗、减少烟气无组织排放和热量散失,成为电解铝行业亟需研究的课题。

1 国内对阳极高度认识

据文献^[2]记载,阳极炭块的高度决定换极周期、炭耗、阳极炭块压降、电解槽散热和保温等指标。理论上,当残极高度一定时,阳极炭耗随阳极高度的增加而减少,而换极周期随阳极高度的增加而延长^[2]。

近 30 年来,国内外学者、专家对阳极的结构和综合成本之间的关系进行了理论研究,并取得很好的成果。总体结论是阳极加高有利于节能减排和降低成本,但也提到阳极高度增加是有限度的,不能无限制加高,要充分考虑阳极加高后压降升高对成本、操作和槽况的影响。

随着技术的进步,中国的电解铝企业对阳极高度的认识也日益加深,阳极高度逐步增高,从 500 mm、550 mm、580 mm、600 mm、620 mm 到目前的 650 mm,阳极的使用周期也从 25 ~ 28 d 逐步延长到 35 ~ 39 d。众所周知,电解槽进行工业生产时,环境、槽型、管理、操作等方面相互干扰,影响因素很多,工况也极其复杂,电压和能量平衡很难测定,实际计算时均在某一假定条件下进行。

某企业结合生产运行情况,把阳极高度从 650 mm 分步提升到了 710 mm。阳极加高后,经过三个周期的运行,阳极炭耗从 461 kg/t-Al 降低到 449 kg/t-Al,换极周期从 33 d 增加至 37 d,同时电解槽烟气的无组织排放也同比例减少,散热降低,全电流导电速度没有明显差异,电解槽针振/摆动值由 15.58/5.25 mV 降低至 14.16/4.49 mV,电解槽稳定性提高,没有出现前期预想的电耗增高、导电速度明显变慢的情况,实现了良好的经济效益和环保效益。

2 710 mm 高阳极在 500 kA 电解槽上的应用分析

某 500 kA 电解槽系列运行槽 360 台,电流强度强化至 518 kA,年产量 50 万 t,阳极 48 组,两种高度

电解槽的主要阳极指标对比见表 1。

表 1 两种阳极高度 500 kA 铝电解槽指标对比

阳极尺寸/mm	换极周期/	阳极单重/	阳极炭耗/
	d	kg	kg·t ⁻¹
1 750 × 740 × 650	33	1 220	461
1 750 × 740 × 710	37	1 330	449

根据欧姆定理 $R = \rho L/S$ (R 为电阻, Ω ; ρ 为电阻率, $\Omega \cdot m$; L 为高度, m ; S 为底面积, m^2)^[3], 阳极高度增加后,电阻会增加,阳极压降升高,电耗增加。通过计算也可以看出这种变化趋势。

2.1 阳极压降升高增加的电耗

2.1.1 两种电解槽的阳极平均高度差

假设炭碗深度^[4]为 115 mm,阳极消耗速度为 15.1 mm/d,残极高度^[5]为 150 mm,阳极更换周期为 33 d,阳极在槽上电阻率为 $55 \mu\Omega \cdot m$,阳极电流密度为 $0.833 A/cm^2$ 。

1) 使用 650 mm 高阳极,则:

阳极最小工作面高度 = 残极高度 - 炭碗深度 = $150 - 115 = 35$ mm。

阳极最大工作面高度 = 新极高度 - 炭碗深度 = $650 - 115 = 535$ mm。

阳极平均高度 = (阳极最小工作面高度 + 阳极最大工作面高度)/2 + 残极高度 = $(35 + 535)/2 + 150 = 435$ mm。

2) 使用 710 mm 高阳极,则:

阳极最小工作面高度 = 残极高度 - 炭碗深度 = $150 - 115 = 35$ mm。

阳极最大工作面高度 = 新极高度 - 炭碗深度 = $710 - 115 = 595$ mm。

阳极平均高度 = (阳极最小工作面高度 + 阳极最大工作面高度)/2 + 残极高度 = $(35 + 595)/2 + 150 = 465$ mm。

3) 两种电解槽的阳极平均高度差 = $465 - 435 = 30$ mm。

2.1.2 阳极压降升高增加的电耗

根据压降计算公式 $V = R \times \rho \times H$ (V 为增加的电压降, mV ; ρ 为阳极电流密度, A/cm^2 ; H 是阳极增加的高度, mm)^[1], 阳极高度从 650 mm 提升到 710 mm,压降为 $V = 55 \times 10^{-6} \times 0.833 \times 10^4 \times 30 = 13.74$ mV。

在极距不变的前提下,按照 1 mV 增加吨铝电耗 3.2 kW·h,吨铝电耗增加 $3.2 \times 13.74 = 44$ kW·h/t-Al。

电价按 0.35 元/kW·h, 整流效率按 0.98 计, 则每年产生负收益: $44/0.98 \times 50 \times 0.35 \times 10^4 = 785.71$ 万元。

2.2 阳极加高前后导电速度分析

为了对比两种不同高度阳极的导电速度, 跟踪了阳极更换后 8~128 h 两种高度各 7 台槽同一时刻的阳极电流分布情况, 结果如图 1 所示。

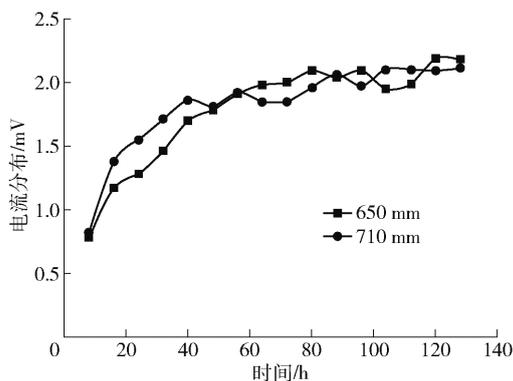


图 1 两种高度电解槽的阳极电流分布对比

从跟踪结果来看, 两种高度电解槽的阳极电流分布导电趋势一致, 差异较小。48 h 之内, 650 mm 阳极导电速度稍慢于 710 mm 阳极, 这主要与所选槽所处通风状态有关。所选的 710 mm 阳极电解槽处于中部, 通风散热条件较差; 所选的 650 mm 阳极电解槽靠近端头通廊, 通风散热条件较好。48 h 以后, 两种电解槽的阳极电流分布交错, 没有明显差异。为了验证这次试验的准确性, 进行了二次跟踪, 实践证明: 这两种高度的电解槽阳极电流分布没有明显区别, 大小没有规律, 主要影响因素应该与电解槽本身的冷热有关。

2.3 阳极加高前后电解槽稳定性

阳极加高并换极后, 跟踪了两种高度各 7 台槽的稳定性指标。650 mm 阳极电解槽和 710 mm 阳极电解槽的针振/摆动情况见表 2。

从表 2 统计结果和现场的表现来看, 加高阳极后, 不仅换极情况减少了, 而且扰动也减少。710 mm 阳极的 7 台槽稳定性指标均优于 650 mm 阳极

表 2 两种高度电解槽的针振/摆动对比

时间/d	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
650 mm 针振/摆动/mV	15.6/5.2	15.1/5.0	15.3/5.3	15.3/5.3	15.7/5.5	15.6/5.1	15.4/5.4	16.6/5.2	15.58/5.25
710 mm 针振/摆动/mV	15.0/5.1	14.6/4.9	14.1/4.8	13.6/4.0	13.9/4.1	14.5/4.7	13.7/3.9	13.9/4.4	14.16/4.49

电解槽, 表明 710 mm 阳极电解槽稳定性较好, 有利于提高电流效率。实际电耗也验证了减少槽干扰后, 电解槽的电流效率提高, 效率提高降低的电耗抵消了一部分阳极增高导致的压降电耗。

3 效益分析

3.1 经济效益

3.1.1 减少的阳极块数量和节约的炭耗

1) 减少阳极数量为: (年产量 × 加高前炭耗/加高前阳极单重) - (年产量 × 加高后炭耗/加高后阳极单重) = $(50 \times 10^4 \times 461/1.22) - (50 \times 10^4 \times 449/1.33) = 20137$ 块。

2) 节约炭耗重量: 年产量 × 两种高度阳极的单重之差 = $50 \times 10^4 \times (461 - 449) = 6000$ t。

按照目前市场炭块价格 3600 元/t, 则每年可节约炭块费用:

$$3600 \times 6000 = 2160 \text{ 万元}$$

3.1.2 减少的阳极组装费用

1) 材料费。阳极组装时, 在中频炉熔铁和浇注过程中存在铸造烧损。据相关文献^[6], 阳极组装烧

损占炭块重量的 5‰。因此, 全年可节约磷生铁:

$$5‰ \times 20137 \times 1.22 = 122.8 \text{ t}$$

按照目前磷生铁市场价 4000 元/t, 则每年可节约磷生铁费用:

$$122.8 \times 4000 = 49.12 \text{ 万元}$$

2) 电费。按照行业炭块平均电耗 70 kW·h/t, 电价 0.35 元/kW·h 算, 可节约电费:

$$70 \times 20137 \times 1.22 \times 0.35 = 60.19 \text{ 万元}$$

3) 人工费。安装阳极的人工费按 30/块元算, 可节省人工费:

$$30 \times 20137 = 60.41 \text{ 万元}$$

3.1.3 减少的残极清理和换极费用

按残极清理费用 12 元/块, 换极费用 100 元/块计算, 每年可节约残极清理费用和换极费用总和为:

$$(12 + 100) \times 20137 = 225.53 \text{ 万元}$$

3.1.4 减少的运输费用

阳极使用数量减少, 残极、保温料也会同步减少, 无形之中减少了车辆的往返运输油耗和修理费用, 综合按 1 块阳极 0.7L 油耗的费用计算, 油价按

5.8 元/L 计算,则每年节约费用:

$$0.7 \times 5.8 \times 20\ 137 = 8.18 \text{ 万元}$$

3.1.5 减少的换极附加电压消耗

众所周知,换极是对电解槽影响最大的操作,若没有换极,电解槽运行会非常平稳^[3]。为了防止换极导致电解槽摆动,该铝厂换极增加了 120 mV、80 mV、40 mV 各 1 h 的附加电压。因此,减少的换极电能消耗为:

$$\text{减少阳极数量} \times \text{电流} \times \text{附加电压} \times \text{附加时间} \times \text{电价} = 20\ 137 \times 518 \times (0.12 + 0.08 + 0.04) \times 1 \times 0.35 = 87.62 \text{ 万元}$$

由此可见,阳极由 650 mm 加高到 710 mm 后,可以明显产生的效益包括材料费用、电费、直接人工和运输费用,合计总额为:2 160 + 49.12 + 60.19 + 60.41 + 225.53 + 8.18 + 87.62 - 785.71 = 1 865.33 万元。

3.2 环保效益

从前文分析可以看到,进一步加高阳极后,换极周期延长了 4 d,减少了炭素制品的使用量约 $6\ 000 \times 0.88$ (净耗与毛耗之比) = 5 280 t,不仅减少了使用阳极的碳排放,还减少了炭素制作过程的碳排放。由于换极数量减少 20 137 块,换极打开槽罩板的机

会减少了 10.8%,无形之中,HF、SO₂ 等有害气体的排放也会同步减少,环保意义重大。

4 结束语

生产实践表明,500 kA 铝电解槽采用 710 mm 加高阳极对槽子稳定性和电耗影响较小,使用后会产生良好的经济效益和环保效益。在电解技术日益发展的当下,在一定条件和范围内,加高阳极的使用对我国铝工业“碳达峰”和“碳中和”具有积极意义。

[参考文献]

- [1] 刘业翔,李劼,等.现代铝电解[M].北京:冶金工业出版社,2008.
- [2] 邱竹贤.预焙槽炼铝[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [3] 冯乃祥.现代铝电解:理论与技术[M].北京:化学工业出版社,2020.
- [4] 王跃勇,罗丽芬,张艳芳.阳极尺寸及形状优化的初步研究[J].轻金属,2012(6):43-46.
- [5] 陈丽萍.关于铝电解用预焙阳极高度的探讨[J].有色金属设计,2005(1):25-28.
- [6] 姜海涛,周平,汤昌廷.加高阳极炭块在 400 kA 电解槽上的应用[J].中国有色冶金,2016,45(5):29-33.

(上接第 4 页)

熟且满足国标要求,但无法适应未来更加严苛的排放标准与环保发展趋势,因此应当合理选择与组合烟气净化技术方案,本文推荐了配套声波测温系统的高效 SNCR + 湿法脱酸、PNCR 脱硝 + 湿法脱硫、湿法脱硫 + SCR 后置 3 种全流程工艺路线,以求进一步去除烟气污染物,确保烟气超低排放。

[参考文献]

- [1] 李军.生活垃圾焚烧发电烟气净化处理技术分析[J].

低碳世界,2020,10(9):3-4.

- [2] 张勇,蔡银科,阮东亮,等.垃圾焚烧烟气超低排放改造技术探讨[J].中国环保产业,2017(9):59-61,65.
- [3] 谢光辉.垃圾焚烧烟气脱酸工艺[J].中国环保产业,2016,(6):26-28,31.
- [4] 刘广涛,郭函君,李放.生活垃圾焚烧发电厂低温 SCR 烟气脱硝技术研究[J].环保科技,2013,19(6):22-25.
- [5] 刘婷,张文涛.烟气高分子脱硝(PNCR 法)工艺浅析[J].玻璃,2020,47(9):28-31.