

· 铝 冶 炼 ·

加高阳极在铝电解生产中的应用

陶 铧, 程安军, 王启彪, 戴小平, 王雄

(青海百河铝业有限责任公司, 青海 西宁 810000)

摘 要: 阳极炭耗是电解铝生产的主要经济指标之一, 影响炭耗指标的因素有电流效率、槽温、阳极质量、换极周期等, 而阳极炭块高度又是影响换极周期的主要因素。本文通过对青海百河铝业有限责任公司加高阳极过程中存在问题、解决方案、加高阳极试验过程和经济效益分析等各方面进行分析研究, 为大型预焙铝电解槽阳极加高技术大面积推广提供了技术借鉴。

关键词: 加高阳极; 爆炸焊块; 钢爪; 炭块; 保温料; 换极周期; 极距; 承受能力

中图分类号: TF821 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-1752(2017)07-0020-7

DOI: 10.13662/j.cnki.qjs.2017.07.005

The application of heightening anode blocks to aluminum reduction production

Tao Hua, Cheng Anjun, Wang Qibiao, Dai Xiaoping and Wang Xiong

(Qinghai Baihe Aluminum Co., Ltd., Xining 810000, China)

Abstract: Anode consumption is one of the main economic indicators of aluminum reduction, the factors that affects the anode consumption indicators are current efficiency, cell temperature, anode block quality; changing cycle, etc, the height of anode carbon block is the main factors influencing the changing cycle. In this paper, the experiment of heightening anode blocks in aluminum reduction cells was introduced in Qinghai Baihe Aluminum Co., Ltd, the existing problems, solutions, the process and economic benefit was analyzed, it could provide technical reference for the application of heightening anode blocks technology in large amperage prebaked anode block cells.

Key words: heightening anode blocks; explosion welding block; steel stub; carbon block; thermal insulation material; changing cycle; anode - cathode distance; bearing ability

目前大型预焙铝电解槽的阳极仍然以消耗性炭素材料为主, 电解铝行业通常用生产 1 吨铝消耗的阳极炭块重量多少来衡量炭耗指标。影响炭耗指标的因素有电流效率、槽温、阳极质量、换极周期等, 而阳极炭块规格(高度)又是影响换极周期的主要因素。预焙阳极炭块的规格不但是铝电解槽结构的一个重要参数, 更重要的是它直接影响着铝电解生产技术经济指标。目前铝行业使用的阳极炭块高度通常在 550~620mm, 换极周期在 26~33 天左右。

由于阳极炭块的高度随着参与电解热化学反应的时间延长而不断消耗缩短变薄, 当炭块消耗变薄至 150~170mm 左右时(成为残极), 需将残极炭块连同上部铝导杆、阳极钢爪从铝电解槽内取出, 更换上一组新高度如初的阳极炭块组, 以保证铝电解槽连续稳定运行。在这种情况下研究预焙阳极炭块的高度就显得更具意义, 因为阳极炭块的高度将直接决定着铝电解槽换极作业频率。

铝电解槽的换极作业, 不仅会造成电解槽大量

热量损失, 而且打捞落入槽内的氧化铝操作容易造成电解槽内铝液波动, 干扰铝电解槽的稳定性, 进而影响电流效率。若铝电解槽阳极炭块高度设定过低, 换极作业量加大, 不仅致使铝电解槽的换极热散失加大, 而且造成干扰铝电解槽稳定的强度加大, 导致铝电解槽电流效率降低, 使得大型铝电解槽的技术经济优势难以发挥。

青海百河铝业有限责任公司 240kA 铝电解槽使用的阳极炭块设计规格为: 1550(长)mm × 660(宽)mm × 600(高)mm, 阳极炭块高度设计为 600mm, 阳极更换周期为 32 天。目前公司通过自主设计和试验已成功将电解槽阳极炭块高度由 600mm 增加至 700mm(见图 1), 从而将阳极更换周期由 32 天延长至 41 天, 使工人劳动强度有所减轻, 试验槽运行平稳, 且阳极炭耗大幅度下降, 因此有必要对此试验项目进行分析总结, 以供借鉴。

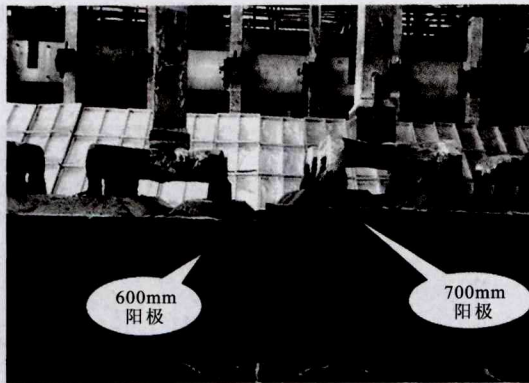


图1 加高阳极与普通阳极的高度对比

1 阳极炭块加高过程中存在的问题

大型预焙铝电解槽用阳极组包括铝导杆、爆炸焊块、钢爪、炭块四部分组成,分别采用有色焊接、黑色焊接和磷生铁高温浇铸三种工艺技术将各部分连接成一个整体。阳极炭块高度增加并不是一项简单的工作,而是要牵涉到阳极生块焙烧、阳极钢爪的优化设计、爆炸焊块的承重能力、保温料添加方式以及加高阳极槽的工艺技术条件保持等各方面因素,只有将每一项问题解决了才能实现阳极炭块高度的增加,具体有如下几项主要工作必须解决。

1.1 阳极炭块焙烧过程中存在的问题

青海百河铝业有限责任公司焙烧车间共有两个焙烧炉,每个焙烧炉共有38个炉室,炉室结构为6火道5料箱,见表1。

表1 焙烧车间炉室情况

炉号	炉室数 个	火道数 个	每个炉室 料箱数,个	料箱规格(长×宽×深)
1#	38	6	5	4720mm×760mm×5700mm
2#	38	6	5	4720mm×820mm×5700mm

2#炉料箱宽度为820mm,装宽度为660mm的加高阳极没问题,但1#炉的料箱宽度较小(760mm),若装入700mm的阳极后炭块表面与炉壁之间的缝隙为30mm偏小,导致炭块表面与炉壁之间不能装入规定厚度的焦粒,在焙烧过程中容易使炭块表面被氧化。

1.2 阳极炭块的炭碗承重能力

由于高度增加后阳极炭块的重量也随之增加,若原有的炭块炭碗承受不了增加后的阳极重量,就

会导致在使用过程中阳极钢爪从炭块炭碗中脱出(见图2)。

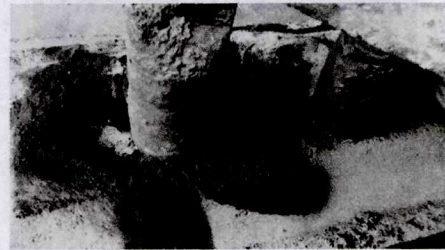


图2 使用过程中从炭碗脱出的阳极钢爪

1.3 钢爪规格设置问题

由于电解槽上部结构的水平集气罩与槽壳边缘的垂直距离是固定的,阳极炭块高度增加后,阳极钢爪钢梁顶端和阳极底掌之间的距离也将随之增加100mm,这将使阳极组不能装入电解槽。如果直接将钢爪爪头部位截取100mm,将会使爆炸焊块距离阳极表面的高度降低100mm,这样就使阳极在使用过程中爆炸焊块的工作温度有所升高,可能会使爆炸焊块的使用寿命缩短,严重时可能会导致爆炸焊块铝-钢、铝-铝部位容易脱开导致不必要的脱极。

1.4 爆炸焊块的承重能力

由于高度增加后阳极炭块的重量也随之增加,可能会导致爆炸焊块铝-铝、铝-钢、钢-钢三个焊接部位不同程度的撕裂或脱开(见图3)。



图3 爆炸焊块在使用过程中撕裂

1.5 保温料添加过程中存在的问题

由于电解槽大面宽度尺寸是固定的,当阳极高度增加后,阳极保温料的坡面角度增大,使阳极上部保温料容易下滑(见图4),一方面使阳极角部外露容易被氧化,另一方面会增大电解槽热量散失,保温效果变差,进而影响电解槽的热平衡。



图 4 阳极保温料情况

面与炉壁之间的缝隙中填装足够的焦粒,从而避免了炭块表面在焙烧过程中被高温氧化。

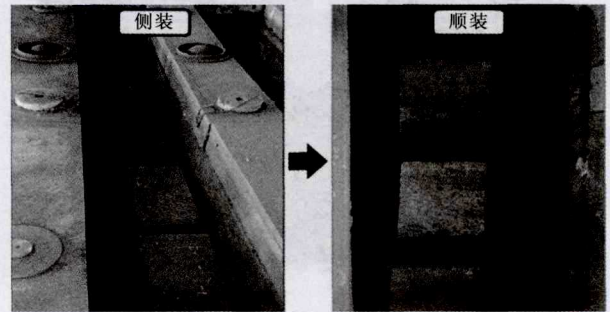


图 5 炭块装炉方式由侧装变顺装

2 存在问题的解决方案

2.1 阳极炭块焙烧过程中存在问题的解决方案

为了确保炭块表面与炉壁之间的缝隙宽度,我公司在进行加高阳极试验过程中使用 1# 炉焙烧 700mm 的阳极时将生块的装炉由侧装方式改为顺装方式(见图 5),以增大炭块表面与炉壁之间的距离。

将生块的装炉方式由侧装改为顺装,炭块表面与炉壁之间的缝隙为 50mm,这样就可以在炭块表

2.2 阳极炭块的炭碗承重能力解决方案

由于阳极炭块高度增加 100mm,阳极质量也随着增加 100 ~ 110kg,为了增大炭碗与磷生铁之间的摩擦系数,提高抗拉强度,将炭碗直径由 $\Phi 192$ 增大到了 $\Phi 194$,同时将炭碗深度由 105mm 增高至 110mm(见图 6)。

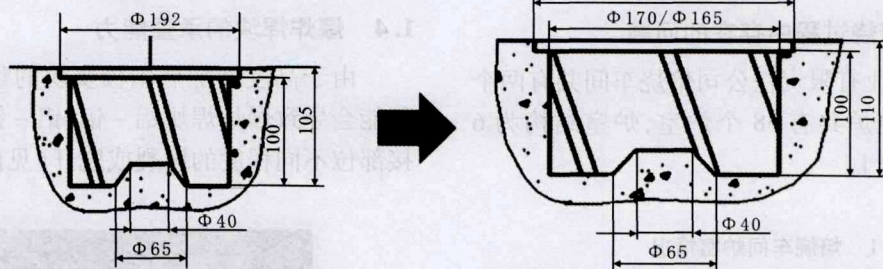


图 6 优化改造前、后的炭碗结构图

将炭碗规格进行优化改造,也就是将炭碗直径和深度增加,可以使炭碗内表面与磷生铁之间的接触面积适当增大,进而使炭碗与磷生铁之间的摩擦力增大,避免了由于阳极炭块重量增加而产生的脱极现象。

2.3 阳极钢爪规格设置问题解决方案

由于试验不对电解槽结构做改动,也就是说电解槽上部结构的水平集气罩与槽壳边缘的垂直距离是固定的,为了使高度增加的阳极能够顺利装入电解槽,需要对阳极钢爪进行改造,以确保阳极组装后总高度不变。

试验初期对原有的阳极钢爪做了如下改变(见图7)。

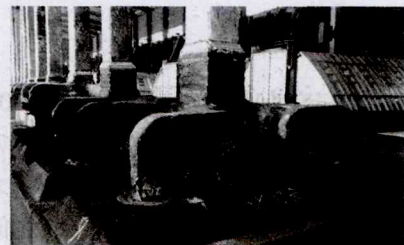


图 7 试验初期改造的阳极钢爪

(1)为了解决将钢爪爪头部位截取 10cm 后出现的爆炸焊块距离阳极表面的高度降低 10cm,使阳

极在使用过程中爆炸焊块的工作温度有所升高,可能导致爆炸焊块的使用寿命缩短,严重时可能会导致爆炸焊块铝-钢、铝-铝部位容易脱开导致不必要的脱极的问题。将钢爪凸台部位加高10cm,用废旧的爆炸焊块将阳极钢爪凸台部位焊接加高两层,由于废旧爆炸焊块的厚度为5cm,加高两层相当于凸台位置加高10cm,这样就使爆炸焊块距离阳极表面的距离保持不变,也就不会对爆炸焊块产生影响。

将钢爪改造后的加高阳极组进行上槽试验,通过跟踪测量发现爆炸焊块加高的部位温度偏高,通常在350~480℃之间,分析原因为多层焊接部位电阻偏大所致。为了解决钢爪多层焊接部位温度偏高的问题,公司联系阳极钢爪生产厂家按设计要求加工了钢爪缩短和凸台加高的新型铸造阳极钢爪(见图8)。该铸造钢爪使多层焊接部位变成了一个整体,从而消除了因焊接部位电阻偏高导致温度过高的问题。

将新型铸造钢爪上槽试验,通过跟踪测量爆炸焊块处的温度在250~370℃之间,与非试验阳极钢爪温度相同,完全满足了使用要求。



图8 新型铸造阳极钢爪

2.4 爆炸焊块承重能力的解决方案

由于阳极炭块的高度增加,炭块重量也随着增加,为了提高爆炸焊块各焊接部位的抗拉强度,特对爆炸焊块的尺寸和阳极导杆组焊接工艺技术进行改进,具体如下:

2.4.1 将爆炸焊块尺寸适当增大

将爆炸焊块的长度和宽度各增加10mm,即将爆炸焊块的规格由205mm(长)×235mm(宽)改变为215mm(长)×245mm(宽),使爆炸焊块的面积适当增大,从而有效提高了爆炸焊块各焊接部位的抗拉强度。

2.4.2 导杆与爆炸焊块铝-铝焊接工艺改进措施

(1)将与爆炸焊块铝面接触的铝导杆端面坡口长度由原来的30mm增加到40mm,将坡口深度由

25mm增加到30mm(见图9),使焊接面积增大以达到提高焊接强度的目的;

(2)焊接前必须将钢架水平放置,四角水平误差小于2mm;

(3)铝导杆必须垂直于钢架,上下垂直误差小于2mm;

(4)导杆下端面对角交叉线与爆炸块对角交叉线重合,误差小于2mm。



图9 增大焊接坡口的阳极导杆组件

2.4.3 钢爪凸台与爆炸焊块钢-钢焊接工艺改进措施

(1)二次使用的阳极钢爪组装之前,将旧的爆炸焊块切除后,用割炬在钢爪凸台四周由内向外切坡口,坡口宽度由原来的20mm增加至30mm,坡口高度由原来的10mm增加至20mm,达到以增加焊接面提高焊接强度的目的;

(2)将切割面刨铣平整,确保钢-钢面接触紧密;

(3)将爆炸焊块长短边与凸台长短边对齐,误差小于2mm;

(4)将堆焊接高度和宽度均由原10mm增加至15mm(见图10)。

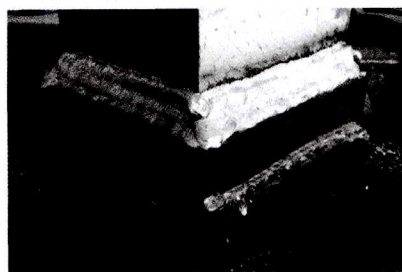


图10 阳极导杆组的铝-铝、钢-钢焊接部位

2.5 保温料添加过程中存在问题的解决方案

为了避免阳极表面的保温料下滑问题,试验初

期电解员工采用大料块垒墙的方式进行添加(见图 11)。

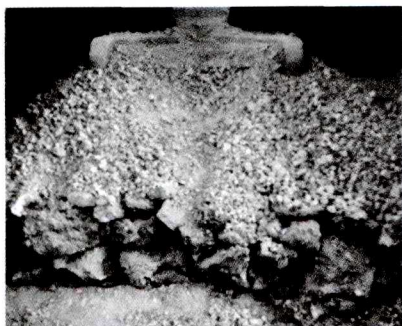


图 11 加高阳极试验初期的保温料添加方式

采用大料块垒墙的方式虽然解决了保温料下滑问题,但保温效果不是很好,因为大料块之间的缝隙增大了阳极表面的热量散失。同时,这种保温炉添加方式也不利于电解槽大面整形。

为了达到保温料既不下滑,又利于大面整形的目的,我公司电解车间员工经过各种方法的尝试,最终摸索出了一种适合加高阳极保温料的添加方法(见图 12),就是在阳极保温料的外表面适当添加少量湿的保温料,由于湿料不易下滑,就能使添加的保温料高度达到规定要求,待湿料干燥后就形成结壳更不容易下滑,从而解决了保温料下滑问题。



图 12 改进后的加高阳极保温料添加方式

由于湿料的添加量较小,并且只是在阳极保温料表面添加很薄的一层,所以湿料在很短的时间内就被烘干,不会对电解槽产生不良影响。

3 加高阳极上槽试验效果分析

青海百河铝业有限责任公司在 2015 年 3 ~ 11

月进行了加高阳极项目的炭块焙烧、钢爪改造、有色和黑色焊接工艺、阳极保温料添加等相关试验,期间选取电解一厂房二区 1235# ~ 1239# 共 5 台电解槽进行试验。下面分别从试验槽换极周期、外观特征、电压曲线、噪声曲线、阳极电流分布、极距和主要经济技术指标等方面对试验槽运行效果进行分析。为了使试验数据有可比性,从试验槽所在工区选取 11 台槽龄与试验槽槽龄接近的普通槽进行对比。

3.1 换极周期对比

加高阳极(700mm 高)的换极周期达到 41 天,比 600mm 高(32 天)的阳极周期延长了 9 天(见图 13)。

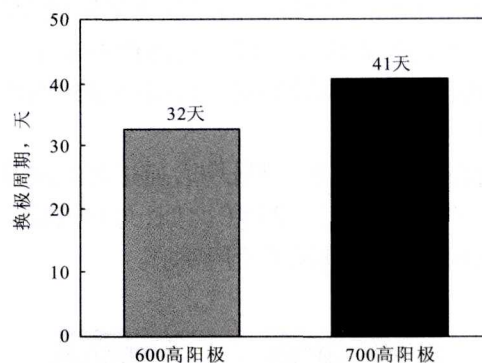


图 13 高度 600mm 与 700mm 阳极换极周期对比

3.2 试验槽外观特征

- (1) 试验槽火苗颜色正常,喷出有力;
- (2) 电解质流动性好,炭渣分离清楚。

3.3 试验槽电压曲线

槽平均电压是生产上计算电能消耗所采用的数值,为经济指标值。同时,电压走势也是反映电解槽运行情况的重要参考依据,下面对试验槽试验过程中的平均电压(不含母线分摊部分)走势进行分析(见图 14)。

从图中可以看出,加高阳极在试验初期,平均电压有所升高,但在随后的几个月中随着技术条件调整、操作质量提高、保温料添加改进等措施的落实而逐渐下降并趋于正常。

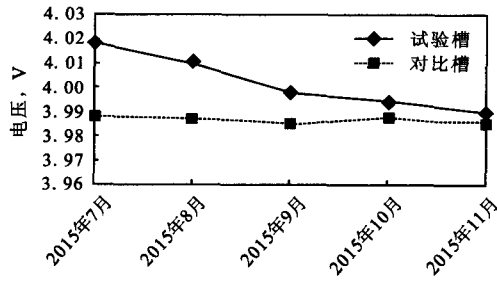


图14 加高阳极试验槽和对比槽平均电压曲线

表3 电解槽全阳极电流分布对比, mV

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	平均
试验槽	1.5	2.0	3.0	2.9	3.0	2.7	3.1	1.7	2.49
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	2.49
	2.8	0.8	3.5	2.9	3.0	2.7	3.1	1.5	2.54
对比槽	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	平均
	2.1	3.0	2.0	2.4	3.1	2.5	3.0	1.9	2.50
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	2.50
	1.9	3.0	2.9	2.4	3.2	2.5	3.0	0.9	2.48

3.4 试验槽噪声曲线

噪声是反映电解槽针振的一种方式,也是电解铝生产中的一种常见现象。图15可以看出,前三个月试验槽的噪声对比槽稍大,但偏离幅度不是很大,偏离值始终保持在1~2mV。随着试验进行,保温料添加增厚、操作质量逐步加强和技术条件的调整,噪声值逐步下降,说明试验槽稳定性逐步增强。

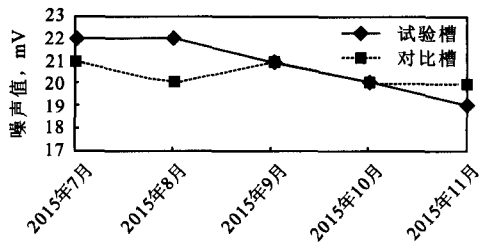


图15 加高阳极试验槽噪声变化曲线

3.6 试验槽极距分析

极距既是电解过程中的电化学反应区域,又是维持电解温度的热源中心,对电流效率和电解温度有着直接影响,工业电解槽的极距一般保持在4~5cm范围内。

加高阳极上槽使用后,我们测量了三次极距,和对比槽的极距进行了对比(表4),发现电压都保持平稳的情况下,试验槽与对比槽的极距基本相同,并未造成压缩极距现象。

表4 加高阳极试验槽极距测量对比, cm

试验槽	第一次	第二次	第三次	平均	对比槽	第一次	第二次	第三次	平均
1235	4.7	4.6	4.9	4.7	1217	4.9	4.8	4.9	4.9
1236	4.8	4.7	4.7	4.7	1223	4.8	4.9	4.6	4.8
1237	5.0	4.7	4.8	4.8	1228	4.8	4.7	5.0	4.8
1238	4.8	4.9	4.9	4.9	1229	4.7	4.8	4.8	4.8
1239	4.9	4.8	5.0	4.9	1233	4.7	4.9	4.9	4.8
平均	4.8	4.7	4.9	4.8	平均	4.8	4.8	4.8	4.8

3.5 试验槽阳极电流分布

阳极电流分布是影响电解槽运行平稳的主要因素,生产中经常遇到的电压摆或针振往往是由于阳极电流分布不合理造成的。当阳极电流分布不均匀时电解槽内产生较大的水平电流,电解槽内磁场发生改变,槽内各部位的熔体所受电磁力发生变化,引起铝液不规则运动,出现起伏波动,极距发生瞬时变化,从而电压发生摆动。从表2可以看出加高阳极试验槽新阳极不同时间段的电流分布要略小于对比槽,但从表3可以看出加高阳极试验槽和对比槽的全槽电流分布平均值差别不大。

表2 电解槽新阳极不同时间段的平均电流分布对比, mV

	16h 电流分布	24h 电流分布	48h 电流分布	平均
试验槽	0.86	1.48	2.14	1.49
对比槽	1.06	1.75	2.35	1.72
差值	-0.20	-0.27	-0.21	-0.23

3.7 试验槽主要技术经济指标

(1)试验期间,加高阳极试验槽的主要指标与对比槽相比平均电压高9mV左右,电流效率高0.51个百分点,电解直流电单耗降低56kWh/t-Al,阳极炭耗降低25kg/t-Al。

(2)青海百河铝业有限责任公司从2015年11月开始对两个工区推78台电解槽推广使用700mm的加高阳极。由于换极次数减少,工人工作量明显减轻,每天每槽换极次数减少0.11次,全年减少41次,若按全系列312台电解槽计算,则全年可减少14965次(表5)。由此带来运输量的减少和阳极组装工作量的减少,同时磷生铁用量也相应降低。

表 5 高度 600mm 与 700mm 阳极换极工作量对比

阳极类型	平均每天每槽 换极次数	每槽全年 换极次数	全年全系列 换极次数
600mm 极	16/32	182	66430
700mm 极	16/41	141	51465
变化	-0.11	-41	-14965

(3)虽然加高阳极槽的平均电压略有升高,但由于其阳极更换周期延长减少了换极作业对电解槽的干扰,从而使电流效率有所提高、电解直流电单耗和阳极炭耗下降,尤其是换极次数明显减少,综合分析计算,该项目使电解铝生产成本降低117元/t-Al(吨铝生产成本降低费用见表6),若按全系列20万吨产能计算,每年可获得经济效益2320万元。

表 6 阳极加高后吨铝生产成本费用的变化

序号	费用名称	费用(元/t-Al)	备 注
1	钢爪凸台改造费用	/	由于阳极钢爪的采购费用是按照钢爪重量计算的,与钢爪形状无关,改造后的阳极钢爪与之前相比重量略有减轻。
2	爆炸焊块改造费用	0.7	爆炸焊块的采购费用是按照爆炸焊块的截面积进行计算的,长宽尺寸各增加1cm后爆炸焊块的截面积增加约47cm ² ,按每平方米0.38元计算,每一块爆炸焊块的成本增加18元,按爆炸焊块的使用寿命3年计算。
3	阳极炭耗降低费用	-87.5	试验过程中吨铝炭耗降低25kg/t-Al,按熟块采购价格3500元/吨计算。
4	电解直流电单耗降低费用	-21.28	试验过程中直流电单耗降低56kWh/t-Al,按我公司的平均电费0.38元计算。
5	炭块运输费用	-7.15	吨铝降低炭耗23kg/t-Al计算,全年可少用阳极4600吨,厂内运输费用12元/t,厂外运输费用300元/t,全年可节约运输费用143万元人民币,折合吨铝炭块运输费用降低7.15元。
6	磷生铁费用	-2	全年少浇铸14965组阳极可节约磷生铁135t,磷铁以3000元/t计可节约费用40.5万元人民币。
7	换极次数减少	/	换极次数全年减少14965次,使工人的劳动强度明显减轻。
合计		-117.23	

4 结 语

该试验项目设计的700mm加高阳极有效降低了电解槽换极频率、减少对铝电解槽稳定性的干扰,可促进铝电解槽电流分布均匀和电流效率提高,可降低电耗和炭阳极消耗,可减少废气排放和环境污染,经济效益、社会效益和生态效益显著,符合国家的供给侧改革和节能降耗的大政方针。

参考文献:

- [1]邱竹贤. 铝电解[M]. 3版. 北京:冶金工业出版社,2005.
[2]冯乃祥. 铝电解[M]. 北京:化工工业出版社,2006.

- [3]霍岱明. 预焙阳极铝电解槽阳极与阴极炭块尺寸的优化设计[J]. 轻金属,2003(6):31-33.
[4]李东,谢刚,姚云,于站良,等. 铝工业阳极钢爪腐蚀机理及其防腐[J]. 轻金属,2014(2):34-40.
[5]戴小平,等. 200kA预焙铝电解生产技术与实践[M]. 长沙:中南大学出版社,2006.
[6]闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
[7]杨昇,杨冠群. 铝电解生产技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
[8]刘大钧,汪家权. 我国电解铝行业现状分析及环保优化发展的对策建议[J]. 轻金属,2014(9):9-13.

(责任编辑 刘宝兰)