

文章编号: 1004-0609(2003)04-1017-04

导流槽阴极导杆安装方式对阴极表面电流分布的影响^①

李 强, 李相鹏, 赖延清, 万押平, 周向阳, 赵恒勤, 刘业翔

(中南大学 冶金科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 将某厂现有的 160 kA Hall-Heroult 铝电解槽改造成导流槽后, 在阴极上表面和阳极底面呈斜坡状条件下, 计算了采用不同阴极导杆安装方式时阴极的电位和电流分布, 即通过建立导流槽内部从阳极到阴极的一个半切片电热场模型, 用有限元法分别对水平和平行于阴极斜坡两种不同导流槽阴极导杆的安装方式下阴极电位和表面电流密度分布进行了计算。结果表明, 不同的阴极导杆安装方法对导流槽阴极的总电位降大小没有明显影响, 但是水平阴极导杆安装更有利于阴极表面电流密度的均匀分布。

关键词: 导流槽; 阴极导杆; 阴极电流分布; 有限元法

中图分类号: TF 821

文献标识码: A

导流槽采用具有斜坡的阴极块, 在阴极表面涂覆有能被铝液良好润湿的硼化物材料(如 TiB_2), 电解产生的铝液在阴极表面(即斜坡表面)析出后, 顺着斜坡流入槽底的“聚铝沟”中。一种导流槽结构是阴极斜坡由两侧向内倾斜成 V 字形, 采用相适应的倾斜底面的碳素阳极或者惰性阳极, 聚铝沟(即凹槽)位于槽底中部^[1-3]。另一种结构是阴极块横向组装成许多 V 字形的凹槽, 同时阴极块也由两侧向内倾斜, 电解产生的铝液先沿阴极表面斜坡流入横向的凹槽中, 然后沿凹槽流入位于槽底中央的聚铝沟中^[4, 5]。这种导流槽槽底设计虽然复杂, 但是可以使阳极底部形成“双斜坡”形状, 有利于阳极气体的排放^[6]。

与现有的 Hall 槽相比, 使用导流槽的好处是: 由于阴极斜坡表面硼化钛对铝液的良好润湿, 降低了阴极的接触电位降, 同时减少了电解质对阴极材料的侵蚀^[7, 8]; 而且电解槽内不再需要 20 cm 左右的铝液水平, 可以仅在阴极表面形成 3~5 mm 的铝液膜, 避免了因为磁场及铝液波动带来的电解不稳定, 使极距可以保持在较小的范围内, 由原来的 40~45 mm 减少到 20~30 mm, 使电解能耗大大降低^[1]。

对于普通的 Hall 槽, 阴极结构本身存在着不合理性, 使铝液中水平电流很大, 而且由于电流的过分集中, 造成了阴极电位降的增加^[9]。对其进行导流槽改造时, 将原来表面水平的阴极炭块改造成表

面倾斜的导流型阴极。这种改造会对电流在阴极表面的分布产生如何的影响以及阴极导杆应该如何安装才能适合于这种改造后的导流型阴极就成了导流槽设计者考虑的主要问题。

本文作者计算了水平和平行于阴极斜坡的两种阴极导杆安装方式下导流槽阴极的电位分布以及其表面的电流分布, 并对其进行了分析。

1 计算模型的建立

建立了一个由某厂 160 kA 预焙槽改造成的导流槽模型, 取上文提到的第一种导流槽结构, 即阴极炭块由两侧向内倾斜成 V 字形, 聚铝沟(即凹槽)位于槽底中部。考虑到导流槽阴极表面斜坡倾角不大, 而且导流槽内阴极上部不再需要较高的铝液水平, 加上极距的缩小, 使阳极安装可以整体下移, 所以可以在原有的 Hall 槽阴极的基础上增高设计斜坡的高度, 而没有必要增加槽膛的高度, 这也有利于槽体保温。同时, 假设改造后的导流槽除了阴极部分外, 保持了内部基本参数不变。

导流槽模型根据有关参考文献^[1, 8, 10]取相关参数如表 1 所列, 硼化钛各项参数取自文献[11], 其它相关材料所用的导电导热系数取自文献[12, 13]。

对两种不同阴极导杆安装方式的导流槽, 分别从阳极导杆到阴极导杆的半阳极半阴极切片为模

① 基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目资助(G1999064903)

收稿日期: 2002-09-16; 修订日期: 2002-12-05

作者简介: 李 强(1963-), 男, 教授, 博士。

通讯联系人: 李 强, 教授; 电话: 0731-8830474; E-mail: iline@mail.csu.edu.cn

表 1 导流槽模型所取的相关参数

Table 1 Relevant parameters of hypothetical drained cell

Parameter	Value	Parameter	Value
Inside potshell size/m ³	9.45×4.1×0.52	ACD/mm	25
Anode dimension/m ³	1.45×0.66×0.54	ASD/mm	475
Collector bar size/m ³	0.065×0.18×2.1	Number of anodes	24
Width of sump/mm	250	Operating temperature/℃	955
Depth of sump/mm	150	Ambient temperature/℃	35
TiB ₂ coating thickness/mm	25	Cathode slope/(°)	7.5

Note: ACD—Anode cathode distance; ASD—Anode sidewall distance.

型,边界条件取阴极硼化钛表面为零电势面,阳极导杆电流取平均值的一半为 3 333 A,阴极导杆电流取平均值为- 2 500 A,用有限元方法对其电压和电流分布进行计算,模型网格划分如图 1 和 2 所示。

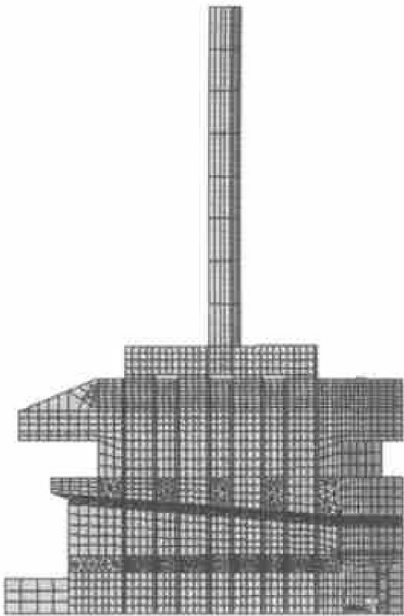


图 1 具有水平阴极导杆的
导流槽半阳极半阴极网格划分模型

Fig. 1 Meshed plot of half anode and cathode slice model with horizontal collector bar

为了使计算的收敛性更好,模型的大部分都采用六面体进行划分,阴极和阳极炭块小部分由于网格划分条件苛刻,而使用了四面体划分;对于熔体和阴极表面,尤其是硼化钛涂层,由于需要较高的计算精度而采用了较小的步距进行网格划分。两个计算模型均使用程序默认的方法和选项求解。

2 结果与讨论

2.1 阴极电位分布

阴极部分的电流分布与其内部电位分布有关,图 3 和 4 所示为阴极的等电位分布图。

从图 3 和 4 可以看到,两个模型的阴极部分电

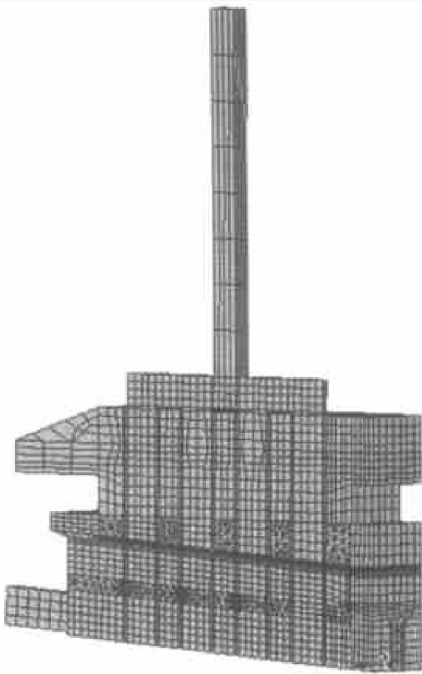


图 2 具有倾斜阴极导杆的
导流槽半阳极半阴极网格划分模型

Fig. 2 Meshed plot of half anode and cathode slice model with declining collector bar

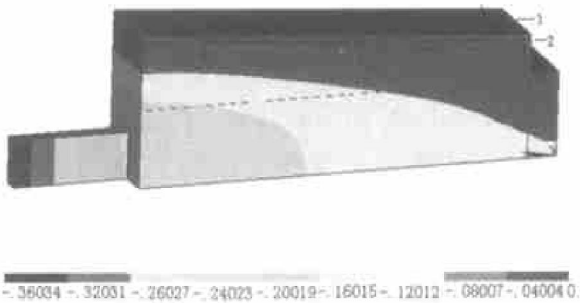


图 3 具有水平阴极导杆的阴极等电位图
Fig. 3 Isopotentials of cathode with horizontal collector bar

1—TiB₂ coating layer; 2—Sump

位分布类似,等势面在阴极中沿着导杆推移,形成有层次的弧形,相对来说,使用水平导杆的阴极内等电位线比较平坦,表明其电位分布要比使用倾斜型导杆的阴极电位分布均匀。对于水平阴极导杆安装时,其阴极总电位降为 360.3 mV;平行于阴极表

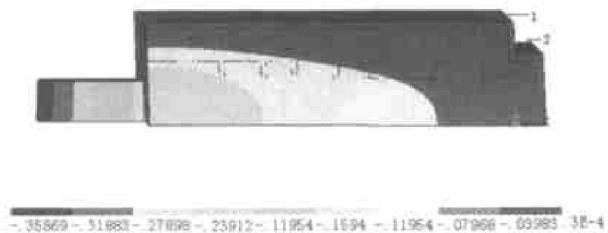


图 4 具有倾斜阴极导杆的阴极等电位图

Fig. 4 Isopotentials of cathode with declining collector bar

1—TiB₂ coating layer; 2—Sump

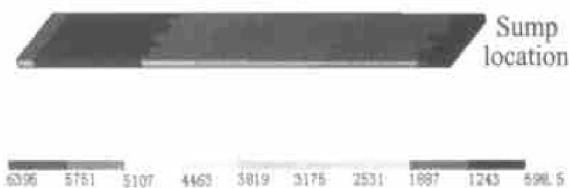
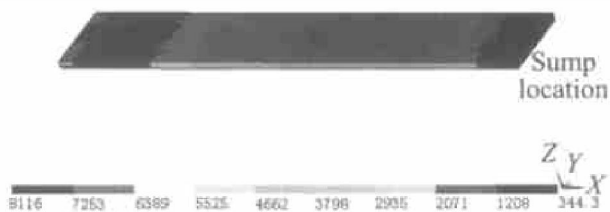
面斜坡安装时, 阴极总电位降为 358.7 mV。两者的阴极总电位降很接近。这表明水平阴极导杆安装时, 阴极的电位分布较均匀, 而不同的阴极导杆安装对阴极总电位降的影响差别并不大。

由于电流的分布与电位的分布具有正交关系, 所以从阴极的电位分布图容易推断其内部的电流分布状况。即相对均匀的电位分布使阴极内部的电流分布也相对比较均匀; 而等势面沿着导杆变化, 表明在阴极炭块内部仍存在比较大的水平电流, 并且越靠近左侧大面端, 电流越集中, 电流密度越大。

2.2 阴极表面总电流分布

图 5 和 6 所示为两种阴极的总电流分布图。

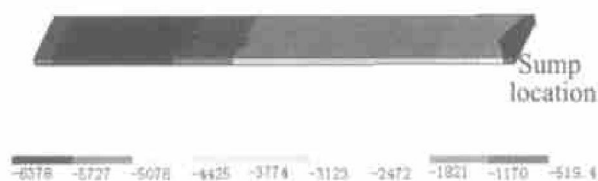
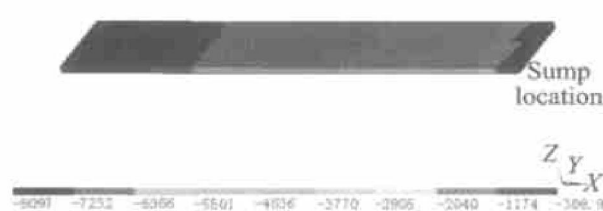
从图 5 和 6 可以看出: 在阴极炭块表面硼化钛涂层中的电流分布趋势, 随着从中央聚铝沟向边部推移, 电流密度呈梯度不断增大。对于 160 kA 的

图 5 具有水平导杆的阴极表面 TiB₂ 涂层内电流分布图Fig. 5 Current distribution in TiB₂ coating on cathode with horizontal collector bar图 6 具有倾斜导杆的阴极表面 TiB₂ 涂层内电流分布图Fig. 6 Current distribution in TiB₂ coating on cathode with declining collector bar

普通预焙槽, 其阴极电流密度约为 0.57 A/cm^2 。而从图 5 中可以看到, 使用水平阴极导杆的导流槽阴极表面靠近左端边部的地方, 局部电流密度最大值为 0.6395 A/cm^2 , 右端靠近中央聚铝沟附近, 电流密度很小, 约为 0.0598 A/cm^2 。如图 6 所示, 使用倾斜阴极导杆的阴极表面局部电流密度最大值达到了 0.8116 A/cm^2 , 在靠近聚铝沟的部分, 阴极表面电流密度仅略大于 0.0344 A/cm^2 。为了更进一步了解阴极表面的电流分布, 还需考虑阴极表面的垂直电流分量的分布。

2.3 阴极表面垂直电流分布

图 7 和 8 所示为两种结构的阴极表面的 TiB₂ 涂层内的垂直电流分布图。

图 7 具有水平导杆的阴极表面 TiB₂ 涂层内垂直电流分布图Fig. 7 Vertical current distribution in TiB₂ coating on cathode with horizontal collector bar图 8 具有倾斜导杆的阴极表面 TiB₂ 涂层内垂直电流分布图Fig. 8 Vertical current distribution in TiB₂ coating on cathode with declining collector bar

从图 7 和 8 可以看到, 在阴极表面的硼化钛涂层中的垂直电流分布与图 5 和 6 所示的阴极表面总电流分布接近。如图 7 所示, 使用水平阴极导杆的阴极表面硼化钛涂层中靠近左端边部附近, 垂直电流密度达到最大值为 0.6378 A/cm^2 , 在靠近右端聚铝沟的部位, 电流密度最小, 为 0.0519 A/cm^2 ; 而在图 8 中使用倾斜导杆的阴极表面硼化钛涂层中, 几乎与图 7 中相同的位置电流密度达到最大、最小值, 分别为 0.8097 A/cm^2 和 0.0308 A/cm^2 。

从图 5~8 的分析可以看出, 使用水平阴极导杆的阴极表面的电流密度最大值约为 0.64 A/cm^2 , 最小值约为 0.06 A/cm^2 , 而使用倾斜型阴极导杆的

阴极表面电流密度最大值超过了 0.80 A/cm^2 , 最小值仅为 0.03 A/cm^2 。这表明前者相对后者电流分布更均匀。引起这种现象的原因可能是由于使用水平导杆的阴极炭块呈梯形, 从槽底中央聚铝沟向两侧大面, 随着炭块厚度增加电阻也增大, 靠近大面的部分电阻达到最大, 这样正好减少了阴极炭块中的水平电流的形成, 部分平衡了因阴极导杆安装不合理所带来的电流过分集中, 从而使得在阴极炭块中的电流分布相对比较均匀; 而对于使用倾斜导杆的阴极, 炭块呈平行四边形, 各处厚度相同, 即电阻相等, 相对原有 Hall 槽阴极结构的不合理没有任何的改变, 使电流密度在靠近侧壁的地方过分集中。

REFERENCES

- [1] Brown G D, Hardie G J, Shaw R W, et al. TiB_2 coated aluminium reduction cells: status and future direction of coated cells in Comalco [A]. Proc 6th Aust Aluminum Smelting Conference [C]. Queenstown, New Zealand. Al Smelting Workshop, 1998. 499 - 508.
- [2] Sierre G B. Aluminum Production Cell and Cathode [P]. US Patent 6358393, 2002.
- [3] McMinn C J. A review of RHM cathode development [J]. Light Metals, 1992: 419 - 424.
- [4] de Nora V. Cell for Aluminum Electrowinning [P]. US Patent 6093304, 2000.
- [5] de Nora V. Cell for Aluminium Electrowinning Employing a Cathode Cell Bottom Made of Carbon Blocks Which Have Parallel Channels Therein [P]. US Patent 5683559, 1997.
- [6] Stedman I G, Houston G J, Shaw R W, et al. Aluminum Smelting Cells [P]. US Patent 5043047, 1991.
- [7] Hryn J N, Pellin M J. A dynamic inert metal anode [J]. Light Metals, 1999. 377 - 381.
- [8] Olsen E, Thonstad J. The behavior of nickel ferrite cermet materials as inert anodes [J]. Light Metals, 1996. 249 - 257.
- [9] 黄永忠, 王化章, 李, 等. 铝电解生产 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1994. 183.
HUANG Yong-zhong, WANG Hua-zhang, LI Jie, et al. Aluminum Electrolysis Production [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1994. 183.
- [10] Keniry J. The economics of inert anodes and wettable cathodes for aluminum reduction cells [J]. JOM, 2001, 53(5): 43 - 47.
- [11] 刘业翔. 功能电极材料及其应用 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996. 169.
LIU Ye-xiang. Functional Electrode Materials and Their Applications [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996. 169.
- [12] 邱竹贤. 铝电解 [M]. 冶金工业出版社, 1995. 329.
QIU Zhu-xian. Aluminum Electrolysis [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995. 329.
- [13] 朱旺喜, 王湘南. 使用半石墨化阴极时铝电解槽内衬温度分布计算 [J]. 矿冶, 1994, 3(3): 67 - 70.
ZHU Wang-xi, WANG Xiang-nan. Temperature distribution calculation of the lining in Half-Heroult cell with semi-graphitized cathode carbon blocks [J]. Mining & Metallurgy, 1994, 3(3): 67 - 70.

Influences of different collector bar installations on cathode current distribution of drained cell

LI Jie, LI Xiang-peng, LAI Yarr-qing, WAN Yarr-ping, ZHOU Xiang-yang,
ZHAO Heng-qin, LIU Ye-xiang
(College of Metallurgical Science and Engineering,
Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: A hypothetical drained cell model retrofitted from a 160 kA Half-Heroult cell was set up to calculate the current distribution in the cathode when the anode bottom and cathode top surfaces were declivous. Two half anode-cathode slice thermo-electrical models with the collector bars installed slopingly or horizontally were adopted to calculate the potential drop and electricity distribution of the cathode. The results show that, there is no obvious variation of the influence of different collector bar installations on the cathode potential drop, but the current distribution will be relatively evenner when the cathode collector bar is horizontally installed.

Key words: drained cell; cathode collector bar; current distribution; finite element method

(编辑 何学锋)