

锌电解搭接法接触电压降数值模拟

世家伟, 段正华, 杨大锦, 马雁鸿, 李衍林

(云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655011)

[摘要] 本文基于数值模拟法对锌电解各种搭接方式接触电压降和温度进行仿真分析, 得出了各种搭接方式电压和温度的大小; 本文提出的计算接触电压降数值模拟方法为进一步优化阴阳极板及其搭接结构、降低直流电耗提供一种有效计算方法。

[关键词] 锌电解; 搭接式阴极板; 接触电阻; 接触电压降

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2022)01-0041-03

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.01.010

在锌湿法冶炼厂锌电解沉积中会出现阴阳极板导电头接触点温度过高的情况, 通过手工调整极板位置或者清洁导电头, 温度有所降低; 部分锌厂为了降低接触温度在导电铜排中通入循环冷却水, 但没从根源解决问题。文献[1]指出, 接触电阻产生的根本原因是触头的实际表面不是理想平面, 且总存在或多或少的各种污染, 导致接触时真正能够传导电流的区域只是远远小于导体宏观重叠接触面积的一个或多个微小的小面。电流通过这些导电斑点产生的收缩电阻和污染带来的表面膜电阻组成了接触电阻。虽然接触电阻与阴阳极板回路总电阻相比非常小, 但接触电阻引起的触头局部区域温度升高, 电能部分转化为热能, 损失了能量; 另外, 接触区域金属材料温度升高, 使其电阻率增大, 因此这些都增加了直流电耗。锌电解直流电单耗与电解工艺技术条件的控制有着密切且复杂的关系, 但主要因素是电流效率与槽电压, 其关系见公式(1)^[2]:

$$W = U(\eta q)^{-1} \times 1\ 000 \quad (1)$$

式中 W —电能单耗, kWh t^{-1} ;

U —槽电压, V;

q —电化当量, 1.219 5 g/(A·h);

η —电流效率, %。

由公式(1)可知, 降低槽电压可以降低锌电解电能单耗, 而槽电压由硫酸锌分解电压、电解液电阻电压降、阳极泥电阻电压降、阴阳极板电阻电压降和阴阳极板接触电压降组成, 因此, 降低阴阳极板接触电压降能有效降低直流电耗。

目前, 锌电解极板搭接方式有: 矩形导电头与矩形导电铜排、凹梯形导电头与凸梯形导电铜排、凸梯形导电头与凹梯形导电铜排等搭接方式。第一种方式国内锌冶炼厂比较普遍; 第二种为美国某锌厂所用搭接方式; 第三种为比利时巴伦电锌厂所用搭接方式。文献[3]对上述几种导电头的优缺点进行了阐述, 并指出在实际运用中第三种搭接方式接触电压降最小, 第二种搭接方式次之。文献[4]对矩形导电头与矩形导电铜排搭接方式进行静力学分析, 得出了实际接触应力和接触面积, 但没有直接分析出接触电压降的大小, 不能有效为优化接触结构降低接触电阻提供定量依据。对于低压或高压强电流领域, 触头的接触压力或膜间形成的强电场通常足以将表面膜压碎或击穿, 故锌电解阴、阳极板搭接接触电阻主要考虑收缩电阻。本文所用的数值模拟方法基于文献[5]则提出的一种基于有限元法的估计两种金属粗糙表面电接触收缩电阻的模型, 利用该模型研究了锌电解各种搭接方式和结构对接触电压的影响。

1 阴极板搭接方式接触变形分析

本文以 3.2 m² 阴极板为研究对象, 阴极板和沉积的锌片重量按 112 kg, 电流密度按 450 A/m² 计算。

[收稿日期] 2021-11-01

[作者简介] 世家伟(1979—), 男, 云南曲靖人, 机械高级工程师, 硕士, 主要从事机械设计及设备管理工作。

[引用格式] 世家伟, 段正华, 杨大锦, 等. 锌电解搭接法接触电压降数值模拟[J]. 有色设备, 2022, 36(1): 41-43.

为了减少仿真计算时间,仅建立阳极梁模型,考虑到极板及锌片重量在阴极梁下端面施加一向下 1 097.6 N 的力,并设置接触边界及约束条件,划分网格。首先进行接触结构力学分析得出阴极梁的变

形、接触压力和实际接触面积等数值,仿真计算结果如图 1 所示,两种搭接方式,阴极梁在重力作用下变形基本一样,但接触面积和接触压力相差较大。

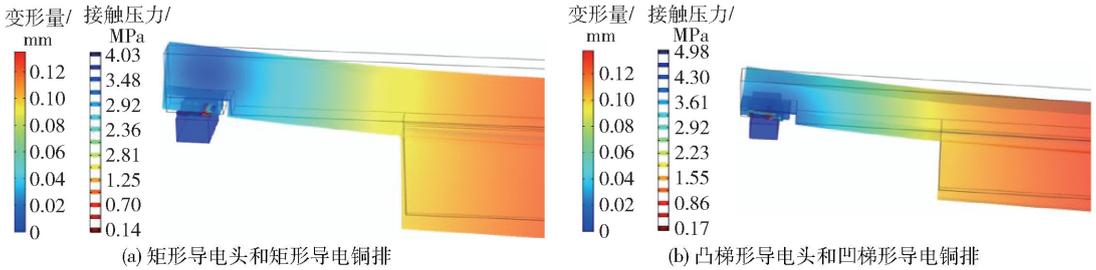


图 1 阴极梁变形量和接触压力

2 阴极板搭接方式接触电压分析

上一步结构力学分析得出了接触面积和接触压力等数据,在这些数据的基础上再进行热电耦合分析,将导电铜排一端施加电流载荷 1 440 A,阴极梁下端面假设为零电位,同时设置该下端面温度为 35 °C (电解液温度),并在接触部位设置电接触和热接触边界条件,其余部位设置热对流传热条件,上述三种搭接方式的电势和温度仿真计算结果如图 2a、图 2b、图 2c 所示,计算得出的电压值包括两部分:阴极梁和导电铜排本身电阻电压降;阴极梁和导电铜排的接触电压降。其中,前者数值可近似认为是相等的,总的电势不同是接触电压降不同所导致,图 2b、图 2c 两种搭接方式中,梯形底角不同,计算出的电

压值也有差别。

以上几种搭接方式中,矩形导电头与矩形导电铜排搭接方式为导电头底面接触;凹梯形导电头与凸梯形导电铜排及凸梯形导电头与凹梯形导电铜排搭接方式为导电头侧面接触,总体来说,在导电头宽度尺寸相同的条件下侧面接触的接触电压要小于于底面接触的接触电压。本文设计了一种底面和侧面同时接触的接触结构,并对其接触电压进行分析如图 2(d) 所示,另外,变化导电触头长度及导电触头内侧距离,得到电势也有差别。若锌电解阴、阳极板搭接方式由图 2 中(a)变为(d),则槽电压差值为:

$$\Delta U = (14.2 - 12.7) \times 2 = 3 \text{ mV}$$

公式(1)对槽电压 U 微分得:

$$\Delta W = \Delta U (\eta q)^{-1} \times 1000 \quad (2)$$

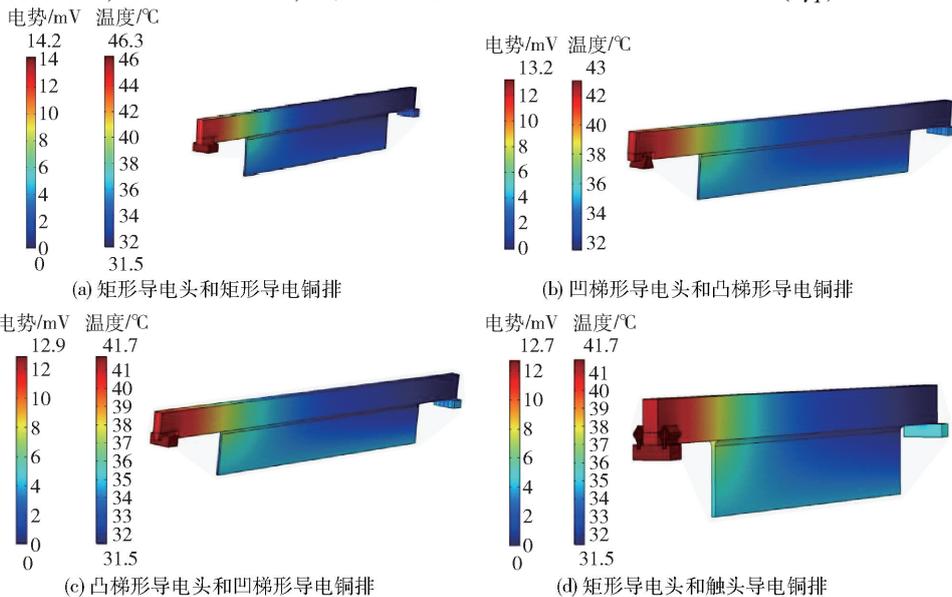


图 2 不同搭接方式的电压和温度分布

假设直流效率 $\eta = 90.11\%$, 同时把 ΔU 代入(2)得:

$$\Delta W = 3 \times 10^{-3} \times (0.9011 \times 1.2195)^{-1} \times 1000 = 2.7 (\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t})$$

即锌电解搭接方式图2中(a)变为(d), 则每电解沉积1t 锌可降低直流电耗2.7 kW·h。

3 结论

本文利用数值模拟方法对锌电解阴极板不同搭接方式接触电压进行仿真分析, 得出以下结论:

(1) 目前锌冶炼行业中用到的三种主要搭接方式, 其接触电压降由小到大依次是: 凸梯形导电头与凹梯形导电铜排搭接方式(比利时巴伦电锌厂)、凹梯形导电头与凸梯形导电铜排搭接方式(美国某锌厂)、矩形导电头与矩形导电铜排搭接方式, 这一结论与文献[2]所述一致;

(2) 矩形导电头与矩形导电铜排搭接方式其接触区域为导电头底面一很小部分; 凸梯形导电头与凹梯形导电铜排搭接方式及凹梯形导电头与凸梯形导电铜排搭接方式为导电头侧面接触; 导电头接触方式其接触区域为底面一很小部分加侧面部分区域。通过上述分析, 矩形导电头与矩形导电铜排搭

接方式对降低接触电压降有很大局限性, 为降低接触电压降宜优先采用侧面接触或底面、侧面同时接触的接触方式;

(3) 同种接触方式接触电压降与接触压力、接触面积、接触表面粗糙度等因素有关, 接触电压随接触压力、接触面积的增大而减小;

(4) 使用本文所述的数值模拟方法可以有效计算阴阳极板电阻电压降和接触电压降, 为进一步优化阴阳极板电压值和搭接结构, 从而降低直流电耗提供可靠依据。

[参考文献]

- [1] 王塞北, 彭明军, 孙勇, 等. 金属触头电接触性能研究进展[J]. 材料导报, 2020, 34(5): 9117-9123.
- [2] 孙成余, 罗永光. 锌冶金技术问答[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2015.
- [3] 谭见贤. 锌电解搭接法电积能耗高的原因探讨及阴极导电头的改进研制[J]. 有色冶炼, 1998(1): 33-36.
- [4] 世家伟, 孙成余, 罗永光, 等. 锌电解搭接式阴极板接触的有限元分析[J]. 中国有色冶金, 2017(5): 34-36.
- [5] JR Riba, AG Mancini, C Abomailek, et al. A 3D-FEM-based model to predict the electrical constriction resistance of compressed contacts[J]. Measurement, 2018, 114: 44-50.

Numerical Simulation of Contact Voltage Drop by Zinc Electrolytic Lap Method

SHI Jia-wei, DUAN Zheng-hua, YANG Da-jin, MA Yan-hong, LI Yan-lin

Abstract: In this paper, based on the numerical simulation method, the contact voltage drop and temperature of various lap joint methods in zinc electrolysis are simulated and analyzed, and the magnitude of voltage and temperature of the various lap joint methods is figured out; The numerical simulation method for calculating the contact voltage drop proposed in this paper provides an effective calculation method for further optimizing the cathode plate, the anode plate and their lapping structure and for reducing the DC power consumption.

Key words: zinc electrolysis; lapped cathode plate; contact resistance; contact voltage drop

▲