

基于数值仿真开发的电解槽集气系统

耿培久

(沈阳铝镁设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110001)

[摘要] 利用 FLUENT 对电解槽烟气流动场和温度场进行数值模拟,并结合设计经验,成功开发出适用于 SY 系列电解槽的多段等量吸风集气烟道结构和双烟管技术。多段吸风集气烟道结构采用上烟道集气形式,在强化集气效果、均衡槽膛风压分布的同时,可大幅降低电解槽排烟量,使烟道阻力下降 17%~27%。双烟管技术则在挪威海德鲁 (HYDRO) 和法国索罗斯 (SOLIOS) 的方案上进行改进,主、副烟管均由净化风机提供负压动力,进行开槽作业时,主副烟管同时集气,烟气量可瞬时增大 2~3 倍,有效控制电解车间的污染物无组织排放,达到了节能减排的目的。

[关键词] 数值仿真; 电解槽; 集气烟道; 等量吸风; 双烟管; 节能减排; 流体力学; FLUENT

[中图分类号] TF821 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2022)01-0036-03

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.01.009

0 前言

FLUENT 是基于有限容积法的 CFD 大型商业软件,广泛应用于航空航天、汽车设计、石油天然气、涡轮机设计、电力、冶金等行业,主要用于解决转捩与湍流、传热与相变、化学反应与燃烧、多相流、旋转机械、动/变形网格、噪声、材料加工、燃料电池等方面的问题^[1]。电解铝行业中也存在大量多相流动、传热等现象,例如电解槽内高温熔液的多相流动与波动、槽上集气烟道内部的烟气流动与传热、电解车间内电解槽散热与厂房通风等。因此,借助 FLUENT 软件可深入研究流体的流动与传热行为,全面地解析流体的运动与换热规律,为合理、精细化的结构设计提供便利条件。本文结合工程设计经验并利用数值模拟方法进行了电解槽新型集气烟道结构与双烟管技术的研制开发。

1 电解槽等量吸风集气烟道结构的开发与应用

电解槽的集气烟道是收集槽膛内烟气和粉尘的主要通道,也是调整电解槽热平衡的有效手段之一(烟气带走热量约占电解槽总散热量的 25%)。合

理的烟道结构设计能有效维持槽膛内负压分布的均匀稳定,强化集气效果,减少污染物外泄,为电解槽热量收入支出平衡提供可靠保证。

传统的设计手段是依靠经验通过改变沿程的集气孔大小来实现槽膛内的风压均匀。随着槽容量的不断增大,烟道结构逐渐变宽加长,使得维持槽膛内风压均衡稳定的难度也相应加大,容易出现电解槽远端(出铝侧)冒烟冒料的问题。近年来,随着电解铝技术的不断进步,电解槽逐渐向低极距、低电压的保温型方向发展,作为调节电解槽热平衡手段之一的排烟量也必须相应调整。因此调整电解槽的集气策略,兼顾集气效果和电解槽热平衡,就成为集气烟道结构设计的原则。

沈阳铝镁院以数值仿真为手段,借助 CFD 模拟软件 FLUENT,研究现有多种集气烟道内部烟气流动场与温度场的分布和变化规律,分析了上烟道和下烟道 2 种集气烟道形式,并以此为基础研发了具有自主知识产权的多分段等量吸风集气烟道结构^[1-3]。

图 1 为上烟道集气形式(主体烟道位于电解槽大梁顶部)的烟道内部烟气流速分布,图 2 为下烟道集气形式(主体烟道位于电解槽大梁底部)的烟道内部烟气流速分布。

从图 1、图 2 可以看出,上烟道内部烟气流速分布更为均匀,流速更为理想。

通过对比,等量吸风方案总体采用上烟道集气形式。等量吸风主要是通过数值模拟方式,在电解

[收稿日期] 2021-08-12

[作者简介] 耿培久(1979—),河北宁晋人,本科,高级工程师,主要从事铝冶炼设计工作。

[引用格式] 耿培久. 基于数值仿真开发的电解槽集气系统[J]. 有色冶金节能,2022,38(1):36-38,48.

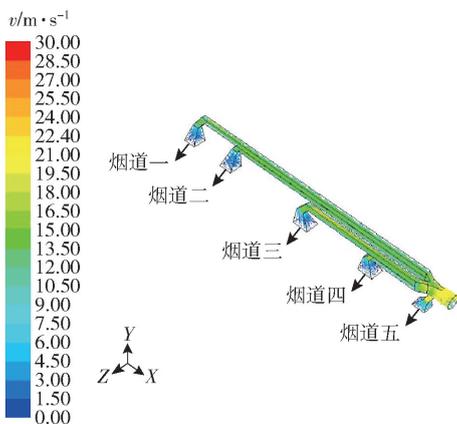


图1 上集气烟道内部烟气流速分布图

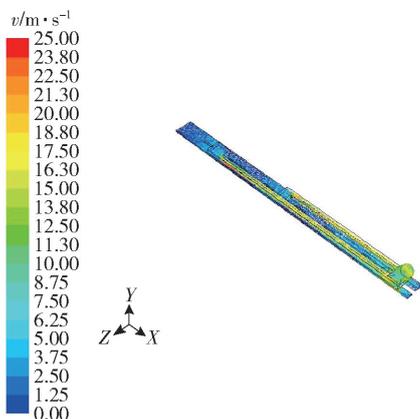


图2 下集气烟道内部烟气流速分布图

槽烟道出口压力和流量一定的条件下,通过设置多段烟道结构,并对烟道的截面进行必要优化,保证电解槽各集气点的分量均匀。

通过深入研究槽膛及烟道内部烟气的温度与流速分布,全面解析了烟气的流动和变化规律,开发出等量吸风烟道结构。等量吸风烟道在强化集气效果、均衡槽膛风压分布的同时,还能大幅度降低电解槽排烟量,使烟道阻力降低 50 ~ 80 Pa(烟道阻力的 17% ~ 27%)。表 1 所示为某铝厂节能型电解槽排烟量的实测数据。

在表 1 中,该型电解槽烟管阀门开度为 30° ~ 55°(全开 90°),电解系列平均单槽排烟量为 6 200 Nm³/h,较设计值(8 500 Nm³/h)降低近 30%,烟气带走热量仅占电解槽总散热量的 29.9%。电解槽在低排烟量条件下槽膛密封良好,未发生冒烟冒料等现象,车间环境透亮,能见度较高。由此验证了等量吸风烟道数学模型的可靠性。

多年的生产实践证明,等量吸风烟道具有结构简单合理、槽膛内风压平衡性较好、烟道远端(出铝侧)集气效果明显等优点。目前该技术已成功应用于多家中外铝厂。

表 1 某铝厂节能型电解槽排烟量

槽号	3215	3301	3304	3338	4246	4333	4337	平均
排烟量/Nm ³ ·h ⁻¹	6 906	6 920	5 502	6 719	5 537	6 057	5 765	6 200

2 电解槽双烟管技术的开发与应用

在进行换极、出铝、捞渣等操作时,往往需要打开电解槽的槽罩板,导致槽膛内的集气负压降低,使得电解车间的氟化物无组织排放增多^[4-5]。因此,如何在开槽操作时有效减少污染物外泄就成为控制电解车间无组织烟气排放量的关键。

挪威海德鲁(HYDRO)和法国索罗斯(SOLIOS)采取的方法是在每台电解槽上安装副烟管,与主烟管共用槽上集气烟道,并为副烟管系统设增压风机。这样的设置在开槽操作时可瞬时将单槽排烟量增大数倍^[6],详细方案如图 3 所示。主、副烟管系统收集的烟气最终汇合进入净化系统。该方案的优点是开槽作业时单槽排烟量增加幅度较大;缺点是增大了净化系统的处理风量,副烟管的开闭极大干扰了集气烟道及主烟管系统的风压平衡,且增设的风机增

大了净化系统的投资和电耗水平。

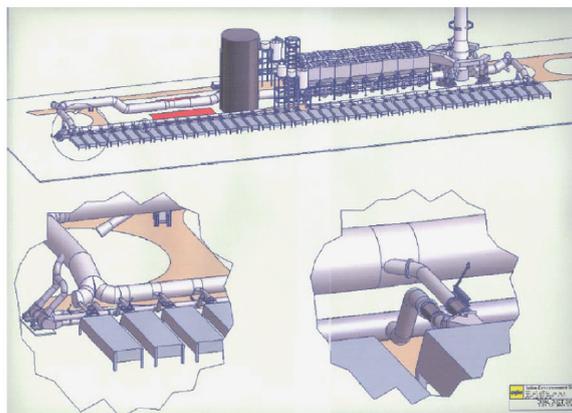


图3 SOLIOS 双烟管净化系统

针对上述技术方案的不足,沈阳铝镁院利用 FLUENT 软件对槽上集气系统内部的烟气流动场和温度场进行数值模拟研究,开发出了无动力双烟管

集气系统。该系统与 SOLIOS 双烟管净化系统的主要区别在于充分利用净化系统风机,主、副烟管均由净化风机提供负压动力,不再单设副烟管风机。该系统在每台电解槽上设主、副排烟管,其中主烟管为常开状态,而副烟管有开、关两种状态。电解槽正常运行时,副烟管关闭,通过主烟管集气;当电解槽进行换极、出铝等开槽作业时,打开副烟管,主、副烟管同时集气,可使电解槽排烟量瞬时增大 2~3 倍。双烟管系统内部的烟气流速分布如图 4 所示。

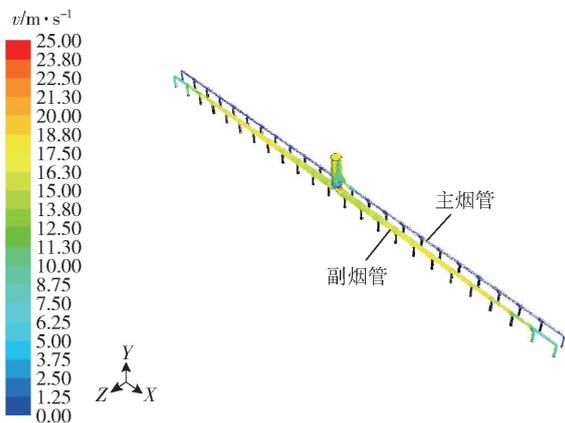


图 4 双烟管管道内部烟气流速分布图

由图 4 可知,在副烟管开启时,副烟管烟气流量可瞬时增大到正常排烟量的 1~2 倍,且不影响主烟管内的烟气流动状态及风压分布。开槽作业时,电解槽位置和数量不同,双烟管烟气流量增大倍数的变化规律如图 5 所示。

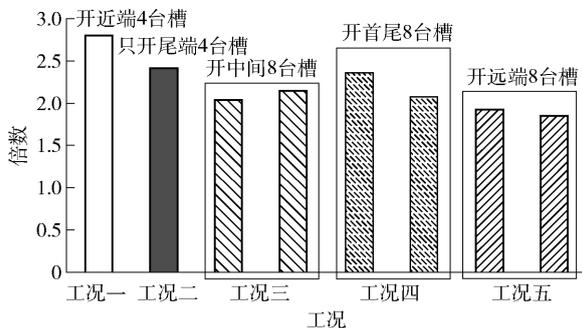


图 5 不同工况下单槽双烟管的排烟量变化图

由图 5 可知,当净化系统对应的电解工区 4 台槽同时开槽作业时(工况一、二),作业槽的排烟量可增大至正常排烟量的 2.4~2.8 倍;若有 8 台槽同时开槽作业(工况二、三、四),作业槽的排烟量可增大至正常排烟量的 1.9~2.4 倍。

经现场测量,在密闭状态下,某节能型电解系列主烟管排烟温度为 105~115℃,双烟管的排烟风量

分布见表 2。

表 2 某铝厂电解槽双烟管系统(1/4 净化系统)

开槽作业台数	1	2	3
双烟管风量倍数	3	2.2	1.7

根据测试结果,在单根 1/4 净化系统管所辖的电解槽中,在 1 台电解槽进行开槽作业时,打开副烟管阀门,副烟管排烟量是主烟管设计风量的 2 倍;当 2 台槽进行开槽作业时,副烟管排烟量是主烟管设计风量的 1.2 倍;当 3 台槽进行开槽作业时,副烟管排烟量是主烟管设计风量的 0.7 倍。在开槽处,无明显烟气外逸,电解槽密闭效果较好。该测试结果与设计值较接近,由此验证了数学模型的准确性。

副烟管的阀门可设在槽控箱处控制,与换极、出铝、捞渣、阳极效应等开槽作业实现自动连锁,以便有效控制电解车间的污染物无组织排放浓度。

双烟管技术已申请发明专利,并成功应用多家国内外铝厂。

3 结束语

工程设计、实践经验和物理场的数值模拟结果是电解槽设计的主要依据,对槽膛及槽上集气烟道系统内部温度场、流场进行数值模拟是完善电解槽热平衡计算的重要环节,有助于深入了解电解烟气的流动状态与变化规律,为电解槽的精细化工程设计和新型结构形式的研究开发提供了可靠的技术保证。

本文利用 FLUENT 软件研究开发了电解槽等量吸风集气烟道结构和双烟管技术。等量吸风集气烟道结构可使槽膛内达到等量吸风、负压均衡、降低烟道阻力(降幅 17%~27%)的效果;双烟管在开槽作业时的排烟量可瞬时增大到正常风量的 2~3 倍,在不干扰净化管路系统内风压平衡、不增加净化系统能耗的前提下,极大地提高了电解槽集气效率,可有效控制电解车间的污染物无组织排放,实现了节能减排的目标。

电解槽槽上新型集气烟道结构、双烟管技术的广泛应用与推广,可为建设单位提供投资经济、指标先进、节能环保的优质工程设计,在创造经济效益和社会影响力的同时,也极大提升了中国电解铝行业的整体装备和生产技术水平。

(下转第 48 页)

mental pollution. By making full use of the characteristics of the energy storage system and with a view to the needs of overseas mining enterprises, a new energy storage diesel generator power supply network was built, and its network architecture, system composition and working principle were introduced. In this paper, several project cases were given to illustrate that the power generation efficiency is significantly improved, the fuel consumption per unit of power generation is reduced, the air and noise pollution to the environment is reduced, which means that it can achieve energy saving with reduced emission, increased efficiency with reduced cost as well as more environment-friendly benefits.

Key words: isolate grid supply; energy storage; diesel generator unit; load rate; black start

(上接第 38 页)

[参考文献]

- [1] 邹智勇,刘雅锋,王富强. 铝电解槽集气烟道内部的流动场模拟及结构优化研究[J]. 轻金属,2013(4):31-33,50.
- [2] 王富强,张国斌,赵冰洋. 数值模拟技术在电解槽节能减排中的应用[J]. 轻金属,2013(7):30-32,53.
- [3] 王富强,杨晓东,刘雅锋. 铝电解槽上烟道内的烟气流
- 动场数值模拟研究[J]. 轻金属,2014(11):24-27.
- [4] 刘业翔,李劫. 现代铝电解[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
- [5] 邱竹贤. 预焙槽炼铝[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [6] MALARD Thierry, DEPINOY Maxime. Alba line5 expansion-solutions for a better environment [C] // TMS (The Minerals, Metals Materials Society) Annual Meeting Exhibition, 2008:389-393.

Electrolytic Cell Off-gas Collection System Based on Numerical Simulation

GEN Pei-jiu

Abstract: Using FLUENT to simulate the flue gas flow field and temperature field of electrolytic cell, and combined with the design experience, the multi-stage equal air suction and gas collection flue structure and double flues technology suitable for SY series electrolytic cell were successfully developed. The structure of multi-stage air suction and gas collection flue adopts the form of upper flue gas collection. While strengthening the gas collection effect and balancing the wind pressure distribution in the tank chamber, it can greatly reduce the smoke exhaust volume of the electrolytic tank and reduce the flue resistance by 17% ~ 27%. The double flues technology is improved on the schemes of HYDRO and SOLIOS. The main and auxiliary flues are provided with negative pressure power by the purification fan. During the slotting operation, the main and auxiliary smoke flues collect gas at the same time, and the amount of flue gas can be instantaneously increased by 2 ~ 3 times, so as to effectively control the unorganized emission of pollutants in the electrolysis workshop and achieve the purpose of energy conservation and emission reduction.

Key words: numerical simulation; electrolytic cell; off-gas collection flue; equal amount suction; twin-flue; energy-saving and emission reduction; CFD; FLUENT