

铝电解槽散热调整措施综述

卢锐

(广西华磊新材料有限公司, 广西平果531400)

[摘要] 铝电解过程遵循电压和能量双平衡原则,其中能量平衡是制约电解槽节能的重要因素。本文基于传热学原理分析了影响电解槽散热的因素,并综述目前行业内采用的调节环境温度、槽温、槽体导热性能、散热面积、烟气流量等措施。本文指出调整电解槽铝水平、烟气流量、覆盖料覆盖制度是常用的调整电解槽散热的措施,简单有效,成本较低;调整电解槽阴极内衬结构对电解槽能量平衡影响最大,效果明显,技术要求最高,成本最高。具体措施需要根据企业自身情况而定。

[关键词] 铝电解; 散热; 传热; 阴极内衬; 覆盖料; 烟气

[中图分类号] TF821 [文献标志码] A [文章编号] 2097-2423(2023)03-0036-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.03.007

0 前言

根据国家标准《铝电解槽能量平衡测试与计算方法五点进电和六点进电预焙阳极铝电解槽》(YS/T 481—2005),进行电解槽能量平衡计算时,将每台电解槽视为一个单独的系统,输入电解槽系统的能量主要为电能,以及阳极过量氧化产生的热量。输入电解槽系统的能量主要用于将氧化铝、炭阳极等生产原料加热到反应温度,以及氧化铝的分解反应,这部分能量约占50%,还有很大一部分能量通过炉膛的覆盖料、保温材料向外界传递出去,此外还有少量的能量被高温铝液、残极、碳渣、烟气等方式带走。其中用于分解氧化铝生产铝的能量比例越高,能量的利用率越高。在“双碳”背景下,提高电解槽能量利用率、降低电解槽能耗是每个铝电解企业追求的目标^[1]。

本文结合理论研究和企业的实际生产,总结了减少电解槽散热的方法,提高电解槽能量利用率,为企业优化经济技术指标提供借鉴。

1 降低电解槽散热的理论分析

电解槽的散热即热量从电解槽内部的高温区,通过覆盖料、保温材料向外界传递。电解槽的散热量可以根据传热方程^[2]计算,见式(1)。

$$Q = \lambda(T_{\text{高}} - T_{\text{低}})A/\delta \quad (1)$$

式中, Q 指单位时间内的散热; λ 指传热介质的导热系数; A 指传热介质的面积; δ 指传热介质的厚度; $T_{\text{高}}$ 、 $T_{\text{低}}$ 分别指传热系统中的热量导出位置和热量接受位置的温度。

从式(1)可以看出,影响电解槽散热的因素有环境温度、槽温、槽体导热性能、散热面积等,本文从上述几方面分析影响电解槽散热的因素及介绍相应的调整措施。

2 铝电解槽散热调整措施分析

2.1 调节环境温度

根据传热学原理,热量从温度高的地方向温度低的地方传递,热流与温度梯度成正比。若电解质温度不变,提高环境温度,可以降低环境温度与电解质温度之差,在一定程度上降低热流,即可减少散热。因此调节环境温度可以调整电解槽的散热。据测算,环境温度变化40℃(一年中最高温度和最低温度之差),铝电解理论能耗将改变20 kWh/t-Al^[3]。高纬度高海拔地区的铝电解企业格外关注这方面。某企业位于青藏高原地区,冬、夏季温差较大,夏季温度最高可达30℃以上,冬季温度最低可达

[收稿日期] 2023-03-02

[作者简介] 卢锐(1974—),男,广西荔浦人,本科,工程师,主要从事铝及铝合金熔铸生产、产品质量管理工作。

[引用格式] 卢锐. 铝电解槽散热调整措施综述[J]. 绿色矿冶,2023,39(3):36-39.

-20℃左右。该厂投产后,生产技术人员发现环境温度变化对电解槽的能量平衡状态、技术条件和生产指标有较大的影响,夏季电解质上涨、炉膛熔化、电流效率下降,冬季电解质萎缩严重,电解槽角部伸腿生长,炉膛出现畸形。冬季温度降低,造成电解槽散热增加约24 mV^[4]。不少企业采用改变环境温度的方法调整电解槽散热,尤其在温度低的地区,冬季普遍通过降低车间空气流动,减少空气带走的热量,避免环境温度出现大幅波动。某些企业还在槽底工字梁上放置保温板,提高电解槽底部散热面所处环境温度,进而降低槽底散热。

一些专利提出利用烟气温度提高电解槽周围温度从而降低电解槽散热的思路^[5],虽然目前没有实现工业应用,但也为充分利用电解槽烟气余热、降低电解槽散热提供了新的思路。

2.2 调整槽温

若环境温度不变,降低槽温,也可以降低温度差,在一定程度上降低热流,减少散热。据测算,电解质温度下降10℃,铝电解理论能耗可下降约7 kWh/kg^[3]。国外的铝电解企业通过采用纯净电解质降低分子比来降低槽温。为了降低槽温,某些企业电解质的分子比控制在2.2左右。国内不少企业采用国产氧化铝进行生产,其锂含量较高,氟化锂不断在电解质中富集,形成了高锂电解质体系,电解质的初晶温度显著降低,在保证电解质对氧化铝具有足够的溶解性前提下,降低了电解质温度,为铝电解节能提供了基础^[6]。

2.3 调整电解槽槽体导热性能

调整电解槽槽体导热性能的措施包括改善阴极内衬设计,增加覆盖料、槽罩板等的保温能力^[7]等。

2.3.1 改善阴极内衬设计

某企业根据传统“四低一高”铝电解生产理念设计了电解槽内衬结构,采用底部保温、侧部散热的设计思路^[8]。为了进一步优化电解槽指标,在电解槽槽壳和大、小面内衬结构的炭块之间增加一层厚度分别为20 mm和30 mm的具有良好保温作用的陶瓷纤维板;在电解槽保温区槽壳和内衬之间增加80 mm厚的硅酸钙板和10 mm厚的陶瓷纤维板;炉底内衬结构自下而上为10 mm厚的陶瓷纤维板、65 mm厚的硅酸钙板、130 mm厚的保温砖(两层)和168 mm厚的防渗料。电解槽内衬优化后,阴极区槽壳表面温度显著降低,阴极区散热明显减少,电解槽稳定性提高,平均电压降低115 mV,平均电流效率

提高0.2%,直流电耗降低399 kWh/t-Al,节能效果显著^[7]。调整电解槽阴极内衬设计是减少电解槽散热和优化能量平衡的重要措施,是新技术实现节能的重要支撑。电解槽阴极内衬的能量平衡优化也是新型稳流保温铝电解槽节能技术的重要组成,阴极内衬优化后,电解槽的侧下部散热大幅降低^[9]。

2.3.2 调整覆盖料覆盖制度

调整覆盖料覆盖制度可以大幅降低电解槽散热。降低覆盖料粒度可以降低覆盖料的导热系数,使覆盖料上表面散热量减少,保温效果增强,因此增加覆盖料中粉料比例是降低覆盖料粒度的一种可行方案。某企业实施覆盖料制度优化,实施前后覆盖料组成变化见表1。当覆盖料的细料占比增加后,阳极覆盖料上表面的散热由实施前的25.9 mV降低至22 mV左右,进一步降低覆盖料的粒度,覆盖料上表面散热变化不明显^[10]。

表1 覆盖料粒径前后变化

覆盖料粒径/mm	<0.25	0.25~2.0	2.0~8.0	>8.0
调整前占比/%	19.06	19.53	39.52	21.89
调整后占比/%	29.85	30.29	29.65	10.21

阳极覆盖料厚度对电解槽上部散热也有着重大影响。研究表明,在相同烟气流量下,覆盖料厚度变化对上部散热影响达到200 mV以上^[11]。覆盖料厚度是调整电解槽上部散热的关键所在,国内部分企业通过采用挡料板提高覆盖料的厚度,尤其是电解槽角部阳极覆盖料后,减少角部阳极散热,可确保电解槽的炉膛内型。

2.3.3 调整槽罩板

槽罩板散热占电解槽散热的20%~35%,因此调整槽罩板散热是调节电解槽散热重要措施,为此行业内开发了多种槽罩板保温方式。某企业对单层槽罩板进行了改造,在槽罩板上加装一层铝皮,实现双层中空隔热。改造后的双层槽罩板表面最高温度下降至80℃,部分区域温度降到40℃左右。改造后的槽罩板密封性提高,有利于减少电解槽散热和能量损失。一些企业采用了简单有效的保温措施——在槽罩板上覆盖保温布,也实现了减少电解槽槽罩板散热的目的,为电解槽稳定高效运行提供支持。近几年开发的保温槽罩板,表面温度降低10℃以上,槽罩板散热可降低30 mV。

2.3.4 其他措施

此外,对电解槽槽壳的角部保温也是很多企业

采取的措施。采取角部保温后可以有效降低电解槽角部伸腿发育,对保证电解槽的作业和提高经济指标都有重要的积极作用。

调整铝电解工艺参数,形成厚度足够的炉帮也是减少散热的有效措施。某研究院开发的新型稳流保温铝电解槽节能技术,制定了配套的电解槽启动方案。采用该项技术的大部分企业电解槽的炉帮厚度达到 15 cm 以上,电解槽获得良好指标。

2.4 调整散热面积

随着电解槽的大型化和阳极电流密度的提高,电解槽侧部熔体区的散热负荷增大,严重影响了铝电解侧部炉帮的形成与保持,也影响了铝电解生产的技术经济指标。为了强化侧部散热,在电解槽侧部壳壁加焊散热片,扩大散热面积,在一定程度上可以降低熔体区的散热负荷。戚喜全^[12]以某 320 kA 电解槽为研究对象,通过模拟仿真,研究了散热片结构和加焊位置对电解槽散热的影响。研究表明,在电解槽槽壳侧部加焊散热片可大幅提升侧部散热,散热片数目越多,散热量越大;“正梯形”状散热片散热效果优于“倒梯形”散热片,散热片加焊于熔体区的散热效果优于其他区域。摇篮架焊接于槽壳上提高了槽壳向摇篮架的传热速率,槽壳散热能力得以大幅提升,摇篮架温度也明显提升,总体上增加了电解槽向外界的散热速度。目前国内大部分 200 kA 以上电解槽槽壳侧部有散热片,电解槽槽壳也采用了摇篮架结构。

调整电解槽熔体总高度(铝水平和电解质水平之和)是调节电解槽侧部散热的另一种重要手段,实际中调整铝水平更方便。熔体总高度不同,对应的散热面积不同,电解槽槽壳侧部散热效果也存在较大差异。研究表明,熔体高度每增加 1 cm,电解槽散热增加 12 ~ 14 mV^[13],因此确定适宜的铝水平对电解槽的节能具有重要作用。

2.5 调节烟气流量

铝电解烟气流量对电解槽的能量平衡和散热分布具有重要的影响。烟气流量大,则带走的热量多,会增加铝电解能耗;烟气流量小,带走的热量少,但会影响集气效率和净化效果。因此,企业需要根据生产实际,设置适宜的烟气流量。

通过多年铝电解能效对标测试,发现不同企业同级别槽型的烟气流量差别较大,烟气带走的热量也相差较大。同为 200 kA 系列电解槽,A 企业烟气流量 1 949 m³/h,烟气温度 167 ℃,烟气带走热量折

合 388 mV;B 企业烟气流量 8 086 m³/h,烟气温度 134 ℃,烟气带走热量折合 860 mV;烟气带走的热量相差达 450 mV 左右^[14]。某电解铝企业由于烟道积料较多,为了达到理想的净化效果,烟管开度较大,烟气流量偏高,导致电解槽阳极区散热大,电解槽能耗偏高。通过开展电解槽能量平衡测试,进行了烟管开度的调整,调整之前烟气标况流量 8 075 m³/h,调整后烟气标况流量 5 086 m³/h,烟气带走热量由 617 mV 降低至 529 mV,烟气流量调整后铝电解直流电耗降低 92 kW·h/t,铝电解槽烟气流量调整取得了良好节电效果^[15]。

3 结束语

调整电解槽的铝水平、烟气流量、覆盖料覆盖制度是常用的散热调整措施。调节烟气流量和调整铝水平成本低、见效快。覆盖料制度调整也相对简单有效,但会略微增加劳动强度,甚至需要增加一定的设备。调整环境温度对部分企业也具有明显的节能效果,具体实施措施需要根据企业自身情况而定。电解槽不具备大修条件时,优先选择上述几种措施。调整电解槽阴极内衬结构对电解槽能量平衡影响最大,效果明显,技术要求最高,成本也较高。电解槽具备大修条件且企业具有电解槽阴极内衬结构调整能力或技术支持时,可以采用该方法优化电解槽能量平衡。实施铝电解槽散热措施后,需及时调整电解槽参数,确保电解槽稳定高效运行,从而达到节能降耗的目的。

[参考文献]

- [1] 周锋,王怀江,李刚,等. 铝电解槽热平衡均匀性优化实践[J]. 有色冶金节能,2022,38(4):33-36.
- [2] 霍庆发. 电解铝工业技术与装备. 沈阳:辽海出版社,2002.
- [3] 李德祥. 铝电解的理论能耗和理论能耗电压[J]. 材料与冶金学报,2006,5(1):30-37.
- [4] 李贤,刘民章. 浅谈低电压下保持电解槽能量平衡的措施[J]. 轻金属,2013(3):38-41.
- [5] 张红亮,李劼,冉岭,等. 一种利用烟气调节热平衡的铝电解槽保温方法和装置:CN107012484B[P]. 2019-01-08.
- [6] 李旺兴,邱仕麟,黄海波,等. 一种使用富锂氧化铝的铝电解方法:CN103820812B[P]. 2016-07-13.
- [7] 周洋. 200 kA 铝电解槽内衬结构优化对生产指标的影响[J]. 有色冶金节能,2020,36(4):26-30.

- [8] 杨小华,李贤. 240kA 铝电解槽内衬结构优化[J]. 有色金属(冶炼部分),2014(9):26-29,33.
- [9] 汪艳芳,柴登鹏,曹韶峰,等. 新型稳流保温铝电解槽节能技术开发及在某400 kA 电解系列推广应用[J]. 有色金属(冶炼部分),2020,(7):46-52.
- [10] 李昌林,王俊青,周云峰,等. 覆盖料粒度对其物理性能及保温效果的影响[J]. 轻金属,2020(1):29-33.
- [11] 汪艳芳,周云峰,李昌林,等. 铝电解槽上部散热分析与研究[J]. 轻金属,2019(4):20-25.
- [12] 戚喜全. 铝电解槽侧部散热结构研究[J]. 中国有色冶金,2012(6):59-63.
- [13] 王俊青,李昌林,周云峰,等. 铝电解槽低散热理想状态的研究[J]. 轻金属,2019(5):26-29.
- [14] 侯光辉,张延利,邱仕麟. 大型预焙铝电解槽强化电流技术探讨[J]. 轻金属,2009(3):23-24,28.
- [15] 杨国文. 铝电解槽烟气流量调控降低能耗生产实践[J]. 有色冶金节能,2021,37(5):27-29,34.

Summary of Heat Dissipation Adjustment Measures for Aluminum Electrolytic Cell

LU Rui

Abstract: The process of aluminum electrolysis follows the principle of double balance of voltage and energy, and energy balance is an important factor restricting the energy saving of electrolytic cell. In this paper, the factors affecting the heat dissipation of electrolytic cell were analyzed based on the principle of heat transfer, and the measures adopted in the industry were summarized, such as adjusting the ambient temperature, cell temperature, thermal conductivity of the cell, the whole heat dissipation area, flue gas flow rate and so on. This paper points out that adjusting the aluminum level of the electrolytic cell, the flue gas flow rate and the covering material coverage system are commonly used measures to adjust the heat dissipation of the electrolytic cell, which are simple and effective, and the cost is low. Adjusting the cathode lining structure of the electrolytic cell has the greatest influence on the energy balance of the electrolytic cell, and the effect is obvious, but the technical requirements and the cost are the highest. Specific measures need to be based on their own situation.

Key words: aluminum electrolysis; heat dissipation; heat transfer; cathode lining; covering material; flue gas