

工厂组装阴极新型内衬结构节能技术在 400KA 电解槽上的应用

刘伟平

内蒙古锦联铝材有限公司 内蒙古霍林郭勒 029200

摘要: 随着工业化进程的不断加快,全球范围内对于工业生产的要求也越来越高,为了满足能源安全和环境保护的需求,实现节约能源、减少能耗的目标,开发新型的节能技术已经成为了当前的研究热点。本文介绍了一种新型的工厂组装阴极内衬节能技术,该技术有效降低铝液水平电流,大幅度提高铝电解槽磁流体稳定性,为铝电解槽在更低电压下稳定高效运行创造根本条件。该技术在 400KA 电解槽上的进行应用试验,并取得了较好的效果。

关键词: 铝电解; 组装阴极; 节能; 新型电解槽技术; 磁流体稳定性

Application of New lining structure Energy-saving Technology of Factory Assembly cathode in 400KA Electrolytic Cell

Weiping Liu

Inner Mongolia Jinlian Aluminum material Co., Ltd., Huolingol 029200

Abstract: With the acceleration of industrialization, the requirements for industrial production are getting higher and higher in the world. In order to meet the needs of energy security and environmental protection, to achieve the goal of saving energy and reducing energy consumption, the development of new energy-saving technology has become the current research focus. This paper introduces a new energy saving technology of factory assembly cathode lining, which can effectively reduce the horizontal current of aluminum liquid, greatly improve the magnetic fluid stability of aluminum electrolytic cell, and create the fundamental conditions for the stable and efficient operation of aluminum electrolytic cell at lower voltage. The application test of this technology in 400KA electrolyzer has been carried out, and good results have been obtained.

Keywords: Aluminum electrolysis; Assembly cathode; Energy Saving; New Electrolytic Cell Technology; Magnetic fluid Stability

引言

节能一直是电解铝重要的主题。国家有关部门对铝电解生产节能的要求越来越严和量化。2020 年我国在联合国大会上承诺:“碳达峰、碳中和”“30·60”目标,进一步明确了绿色和高质量发展目标和时间表。作为高耗能、高碳排放的铝行业,必将通过优化产业布局、调整用能结构和实现行业能耗限额先进指标等措施,以实现“双碳”和“能耗双控”目标,能耗是否达标将成为在相关政策刚性约束条件下的“生存权”问题。

一、国家政策现状

内蒙提高产业准入标准 [2019]454 号文,电解铝项目须采用 500kA 及以上大型预焙槽工艺,铝液交流电耗低于 12650kWh/t-Al,铝锭综合交流电耗低于 13100kWh/t-Al,电流效率不低于 93%。

《国家发展改革委关于完善电解铝行业阶梯电价政策的通知》发改价格 [2021]1239 号文提出,按铝液综合交流电耗对电解铝阶梯电价进行分档,分档标准为每吨铝 13650kWh/t,自 2023 年起,分档标准调整为铝液综合交流电耗每吨 13450kWh/t (不含脱硫电耗);自 2025 年起,分档标准调整为铝液综合交流电耗每吨 13300kWh/t (不含脱硫电耗)。

在国家标准《电解铝企业单位产品能源消耗限额》(GB21346-2013)中,电解铝企业单位产品能耗限额先进值详见下表:

指标	能耗限额先进值
铝液交流电耗	≤12650kWh/t
铝液综合交流电耗	≤13050kWh/t
铝锭综合交流电耗	≤13100kWh/t

由表可知,电解铝企业单位产品能耗限额先进值中的铝液交流电耗为≤12650kWh/t,而我国当前内蒙地区的电解铝企业单位产品能耗与该先进值相比,差距达 500-1000kWh/t。可见,电解铝企业的节能改造任务紧迫而艰巨,必须深度挖掘节能潜力,加大研究和应用更先进的节能技术。叠加国家近期将电解铝首先纳入碳排放交易市场,电解铝企业将面临更为严峻的由“竞争力”向“生存权”的深刻变革。

由此可见,电解铝企业的节能技术研发任务紧迫而艰巨,必须深度挖掘节能潜力,先进的电解铝节能技术亟待实施,项目实施成功将实现电解铝企业首次突破能耗限额先进值和阶梯电价分档指标要求,可作为低耗能电解铝生产示范。该技术首次在国内实施,可填补国内行业节能技

术的空白，并具有重要的行业政治意义，可向全国电解铝厂推广。

二、工厂组装阴极新型内衬结构节能技术路线及技术重点

以突破电解铝行业能耗限额先进值及 2025 年阶梯电价分档指标为目标，引进德国 COBEX 公司开发的新一代 RuC (Ready to use Cathode, 工厂组装阴极) 技术，由某研究院结合德国 COBEX 公司开发的新一代 RuC (Ready to use Cathode, 工厂组装阴极) 技术，进行工厂组装阴极及新型内衬结构的电热场模拟计算，优化阴极及内衬结构，使电解槽保持合理的电热平衡状态，其技术重点在于：

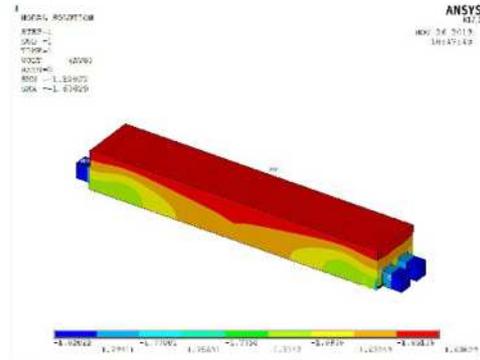
1、采用基于 ANSYS 软件平台二次开发的“铝电解槽电热场耦合仿真计算”专用软件深入研究工厂组装阴极的电热场，通过仿真寻优确定适宜的 400kA 工厂组装阴极结构，达到大幅度降低铝液中水平电流提高电解槽磁流体稳定性，同时大幅度降低阴极导体电压降。优化后的阴极结构，其铝液中的水平电流相比传统结构降低 70% 以上，阴极电压降可控制在 150mV 左右，相比传统结构降低 50~100mV。优化后的阴极结构为电解槽在更低电压下获得更高电流效率，进而实现大幅度降能耗创造了先决条件。

2、采用基于 ANSYS 软件平台二次开发的“铝电解槽电热场耦合仿真计算”专用软件深入研究工厂组装阴极铝电解槽的电热场，研究与工厂组装阴极配套的节能型内衬结构，开展电热耦合数值仿真分析，优化电解槽等温线分布，减少边界热损，控制合理的散热比例，保持低电压下能量平衡。

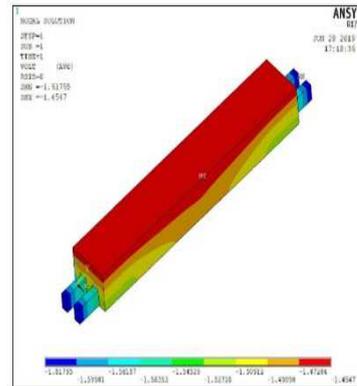
3、优化工厂组装阴极节能槽的焙烧启动、工艺技术条件的合理匹配，形成整套工艺技术运行标准，确保实现预期节能指标。

三、工厂组装阴极新型内衬结构节能技术先进性

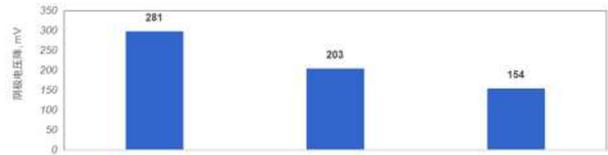
(1) 阴极电压降仅为 150mV，有利于槽容量进一步大型化和阳极电流密度提升，实现节能、增效；



石墨化阴极-Q195-磷生铁浇铸阴极电压降

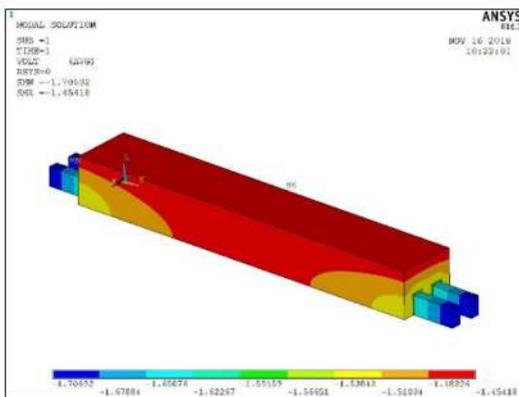


工厂组装阴极电压降

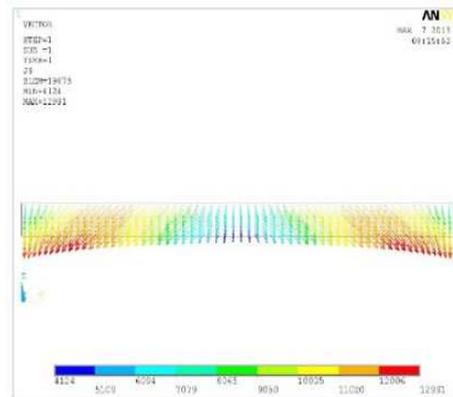


工厂组装阴极电压降与传统阴极对比

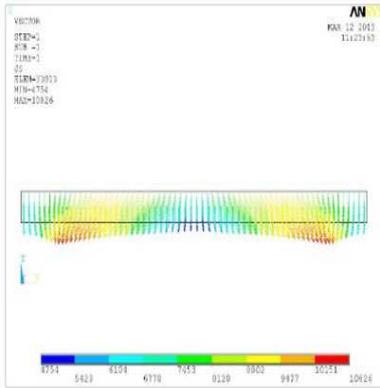
(2) 铝液水平电流同比降低 50~70%，利于进一步提高磁流体稳定性。



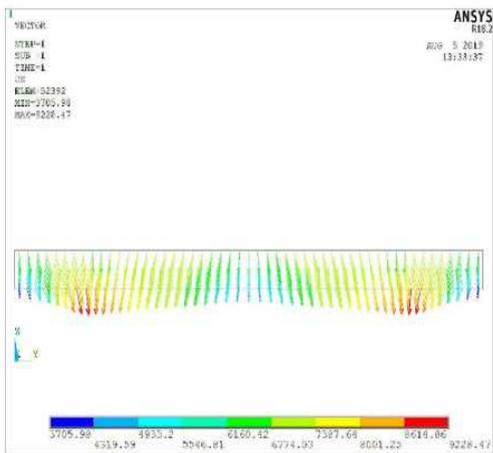
50% 阴极-Q195-扎糊阴极电压降



50% 阴极-Q195-扎糊电流分布

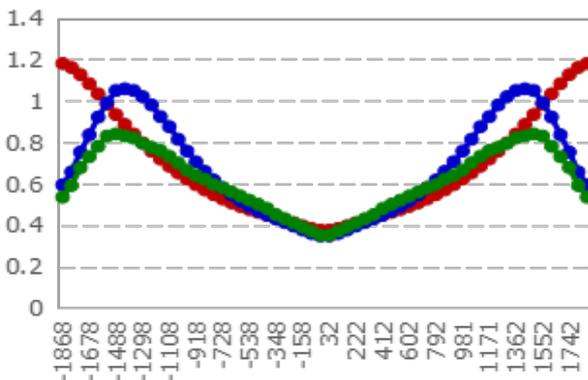


石墨化阴极-Q195-磷生铁浇铸电流分布

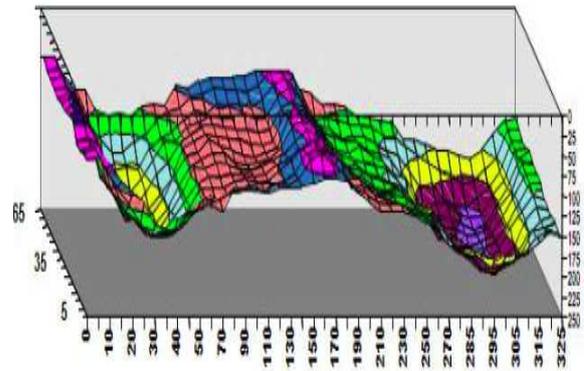


工厂组装阴极电流分布

(3) 阴极炭块工作面最大电流密度同比降低 35%，可显著减缓电化学“W”腐蚀。



NEU1400kA 阴极炭块电流密度对比



电解槽阴极炭块腐蚀典型测量结果

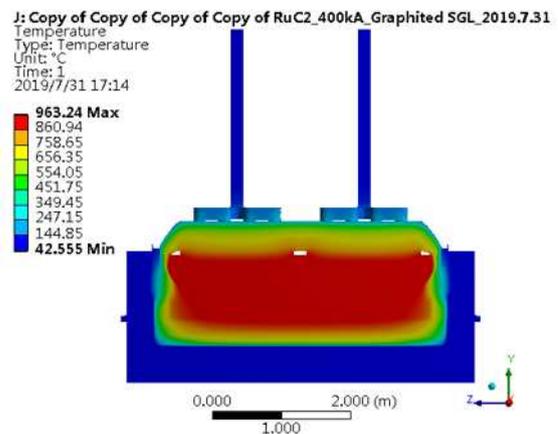
(4) 新型内衬结构的整体匹配性升级

①内衬材料的整体升级

全石墨化阴极，高品质冷捣糊，高防渗性能耐火材料，低导热率、高稳定性、高强度保温材料。

②保温设计的匹配性

基于阴极电压降等，保持阴极区能量平衡，基于槽工作电压等运行参数，调整各区域散热分布。



工厂组装阴极热平衡图

四、实验结果

国内某铝厂开展了 4 台 400KA 工厂组装阴极新型内衬结构节能技术试验电解槽：实现电解铝生产铝液直流电耗 <12500kWh/t；吨铝节直流电达 402.43kWh，直流电耗达到行业先进值，并实现电解铝生产电流效率 ≥93%。

表 1: 实施前数据表

实施前		实施前按 2022 年全年 技术数据做 比较
统计期平均电压 (V)	3.9749	
统计期产量 (t)	3	
统计期直流电耗 (kWh)	12825.69	
统计期整流效率 (%)	97.16	
统计期铝液可比较交流电耗 (kWh)	13200.59	

表 2: 400KA 工厂组装阴极新型内衬结构节能技术实施后的数据: 2023 年 1 月 14 日到 2 月 2 日

数据类别	日期																			
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2
槽 1 平均电压	3.874	3.871	3.872	3.896	3.86	3.864	3.854	3.873	3.887	3.886	3.888	3.877	3.85	3.862	3.882	3.843	3.876	3.877	3.867	3.865
槽 1 产量	2.9	2.9	2.81	2.88	2.87	2.81	3.01	3.11	3.1	3.1	3.2	3.11	3.04	3.09	3.12	3.1	3.08	3.1	3.11	3.23
槽 1 直流电耗	12995.0	12986.5	13421.1	13174.8	13098.2	13380.5	12471.4	12124.6	12204.3	12194.6	11819.6	12134.7	12322.5	12164.5	12118.6	12076.0	12250.3	12173.8	12102.5	11649.7

槽 2	平均电压	3.88	3.874	3.888	3.881	3.88	3.877	3.886	3.865	3.871	3.864	3.867	3.858	3.854	3.842	3.869	3.862	3.838	3.878	3.867	3.86
	产量	3	3	2.94	2.9	2.92	3.16	2.82	2.97	2.9	3.05	3	2.98	3	3.07	3.05	3.01	3.11	3.22	3.04	3.08
槽 3	直流电耗	12581.3	12563.4	12880.7	13033.6	12940.6	11938.6	13422.2	12669.9	12992.3	12324.3	12539.4	12602.0	12499.8	12180.3	12355.2	12498.6	12013.2	11723.2	12381.2	12201.3
	平均电压	3.863	3.901	3.862	3.843	3.867	3.865	3.859	3.851	3.855	3.852	3.853	3.845	3.837	3.852	3.849	3.854	3.846	3.861	3.857	3.873
	产量	3	3	3.13	3	3.01	3.04	3.03	3.01	3	3	3.1	3.05	2.91	3.02	3	2.92	2.92	3.02	3.11	3.21
槽 4	直流电耗	12526.2	12650.9	12017.9	12475.8	12511.7	12371.4	12405.2	12456.2	12507.3	12490.8	12091.0	12271.3	12829.5	12414.2	12496.2	12857.1	12821.6	12444.7	12071.2	11746.5
	平均电压	3.82	3.844	3.839	3.837	3.84	3.83	3.814	3.823	3.836	3.83	3.84	3.838	3.82	3.829	3.869	3.82	3.838	3.851	3.816	3.829
	产量	3.08	3.09	3.09	3.07	3.05	2.94	3.03	2.97	3.02	3	3.01	2.99	2.99	3	3.03	3.03	3.01	3.01	3.02	3
	直流电耗	12065.0	12103.0	12101.0	12172.3	12261.4	12676.4	12260.5	12532.2	12363.2	12419.5	12410.5	12494.7	12430.9	12422.3	12436.7	12281.0	12412.3	12453.7	12298.8	12426.0

参考文献:

[1] 《国家发展改革委关于完善电解铝行业阶梯电价政策的通知》发改价格[2021]1239号文

[2] 《电解铝企业单位产品能源消耗限额》(GB21346-2013)

[3] 深度节能低碳复合阴极技术在 400kA 铝电解槽上的应用[J]. 侯金龙;李俊;王进录;寸跃祖;刘雅锋;胡红武. 轻金属,2022(12)

[4] 某企业新型稳流保温铝电解槽节能技术能量平衡优化[J]. 胡清韬;李昌林;王俊青;焦庆国;周彩群. 世界有色金属,2022(22)

[5] 300kA 石墨化异形阴极铝电解槽工艺管理[J]. 李文超;阎昭辉;汤昌廷. 有色冶金节能,2015(02)