

# 铝电解槽节能技术应用与探索

黄亮

青铜峡铝业股份有限公司宁东铝业分公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17506

**[摘要]** 铝电解行业高耗能问题亟待解决,节能技术发展迫在眉睫。本文先说明铝电解槽节能技术发展背景,介绍新型阴极结构等关键技术及其作用。重点聚焦石墨化阴极与开槽阳极新节能技术,前者以高纯度石墨为基材,提升导电性与使用寿命;后者开设导流槽加速气泡脱离。工业应用显示,二者组合可使单位铝产品综合能耗降8%–12%,减少碳排放,提升设备利用率与产量,推动行业可持续发展。

**[关键词]** 铝电解槽; 节能技术; 应用探索

**中图分类号:** TH821 **文献标识码:** A

## Application and Exploration of Energy-Saving Technologies for Aluminum Electrolysis Cells

Liang Huang

Ningdong Aluminum Branch, Qingtongxia Aluminum Co., Ltd.

**[Abstract]** The high energy consumption in the aluminum electrolysis industry urgently needs to be addressed, making the development of energy-saving technologies imperative. This paper first explains the background of energy-saving technology development for aluminum electrolysis cells and introduces key technologies, such as new cathode structures, and their functions. It focuses on new energy-saving technologies, including graphitized cathodes and slotted anodes. The former uses high-purity graphite as the base material to enhance electrical conductivity and service life; the latter incorporates flow-guiding slots to accelerate bubble detachment. Industrial applications show that combining these two technologies can reduce the comprehensive energy consumption per unit of aluminum product by 8%–12%, decrease carbon emissions, improve equipment utilization and production output, and promote sustainable development in the industry.

**[Key words]** Aluminum Electrolysis Cell; Energy-Saving Technology; Application and Exploration

### 引言

在全球工业里,铝电解行业地位重要却面临高耗能挑战。传统铝电解槽能量利用率低、热损失大,单位铝产品能耗高,既给能源供应添压,又违背绿色发展理念。在此情形下,铝电解槽节能技术发展刻不容缓。新型阴极结构、高效阳极、电解槽热场控制等关键技术纷纷出现,而石墨化阴极与开槽阳极技术凭借材料与结构创新,成为突破能耗瓶颈的关键,助力行业绿色转型。

### 1 铝电解槽节能技术发展背景

铝电解行业在全球工业体系中占据着重要地位,然而其高耗能的特性也使其面临着诸多挑战,这促使铝电解槽节能技术的发展成为必然趋势<sup>[1]</sup>。从行业能耗现状来看,铝电解是典型的高耗能产业。在其生产流程里,电能是不可或缺的关键能源,传统铝电解槽在运行时的能量利用状况却不尽如人意。能量利用率低是突出问题之一,大量电能未能有效转化为铝产品的生产能量,造成能源的浪费。热损失问题也十分严重,电解槽在运行

过程中会向周围环境散失大量热量,进一步降低了能源的利用效率。这些因素共同作用,使得单位铝产品的能耗居高不下。高能耗不仅给能源供应带来巨大压力,随着全球能源资源的日益紧张,能源供应的稳定性受到挑战,铝电解行业的持续发展面临能源瓶颈;而且对环境保护也造成了较大负面影响,高能耗往往伴随着高碳排放等环境问题,与当下全球倡导的绿色发展理念背道而驰。基于这样的能耗现状,铝电解行业对节能技术产生了迫切需求。从行业自身发展角度而言,研发和应用先进的节能技术是应对能源挑战、实现可持续发展的必由之路。通过提高电解槽的能量利用效率,能够让每一单位电能都发挥更大的作用,生产出更多的铝产品;减少热损失则可以直接降低能源消耗,提高能源的整体利用水平。此外,优化生产工艺也是节能技术发展的重要方向,合理的工艺能够使生产过程更加高效、节能。

### 2 铝电解槽节能关键技术

#### 2.1 新型阴极结构技术

在铝电解生产里, 阴极性能对能耗与成本影响巨大。传统阴极材料导电和抗腐蚀性能差, 致使阴极压降高、电能损耗大, 且寿命短, 频繁更换推高成本。为扭转这一局面, 采用新型阴极材料势在必行。高导电性石墨材料和复合阴极材料等新型材料, 展现出卓越性能。更高的导电性让电流在阴极中顺畅传输, 有效降低阴极压降, 减少电能损耗; 良好的抗腐蚀性增强了阴极耐用性, 延长其使用寿命, 降低更换成本, 从材料根源为节能打下基础。除了材料革新, 阴极结构优化设计也极为关键。异型阴极突破传统规则形状, 能改善电解槽内电流分布, 使电流均匀通过阴极, 降低局部过热, 减少能量损失。导电棒阴极则着重优化导电棒布置与连接方式, 提高阴极导电效率, 进一步降低阴极压降。新型阴极材料与优化设计的阴极结构双管齐下, 从材料和结构层面共同发力, 有效降低铝电解生产能耗与成本, 为铝电解行业可持续发展提供有力支撑。

### 2.2 高效阳极技术

在铝电解生产中, 阳极是节能降耗的关键环节, 其性能优劣直接影响着生产能耗与成本。研发高效阳极材料是降低能耗的直接有效手段。高导电性碳阳极凭借自身出色的导电性能, 能够显著降低阳极压降。在铝电解过程中, 阳极压降的降低意味着电能消耗的减少, 每一处细微的压降降低, 在大规模连续生产中都将累积成可观的能源节约, 进而降低生产成本。惰性阳极更是代表着未来铝电解技术的发展方向。它具有不消耗、不产生二氧化碳等突出优点。传统阳极在电解时会不断消耗, 不仅增加生产成本, 还会产生大量温室气体。若惰性阳极能大规模应用, 将从根源上解决这些问题, 推动铝电解行业绿色转型。不过, 目前该技术尚处于研发和试验阶段<sup>[2]</sup>。优化阳极形状和尺寸也不容小觑。让阳极形状和尺寸与电解槽结构完美匹配, 能提高阳极与电解质的接触面积, 提升电流效率。合理的形状和尺寸还可改善电解槽内的电场和热场分布, 减少能量损失, 提高铝的产量和质量, 实现经济效益与环境效益的双提升。

### 2.3 电解槽热场控制技术

电解槽运行存在热损失, 导致能量浪费, 影响生产效益, 控制热场成为关键。在材料应用方面, 选用纳米保温材料、陶瓷纤维等高效保温材料, 将其用于电解槽外壳和内部结构。这些材料具备低导热系数特性, 隔热性能良好。当应用于电解槽时, 能有效阻碍热量从电解槽内部向外部环境传递, 减少热损失。通过降低热损失, 电解槽表面温度随之下降, 原本因热量散失而浪费的能量得以保留, 进而提高能量利用效率, 降低能源消耗成本。在技术手段上, 利用计算机模拟技术对电解槽热场进行分析。计算机模拟能够精准呈现电解槽内热场的分布状态, 依据模拟结果, 对电解槽的结构和工艺参数进行针对性优化。通过调整结构, 使热量传递路径更合理; 优化工艺参数, 让电解过程更稳定。电解槽内热场分布得到改善, 局部过热或过冷现象减少, 能量在电解过程中的利用更加充分, 实现高效节能生产, 提升铝电解的整体经济效益如图1。

## 3 铝电解槽节能技术应用与探索

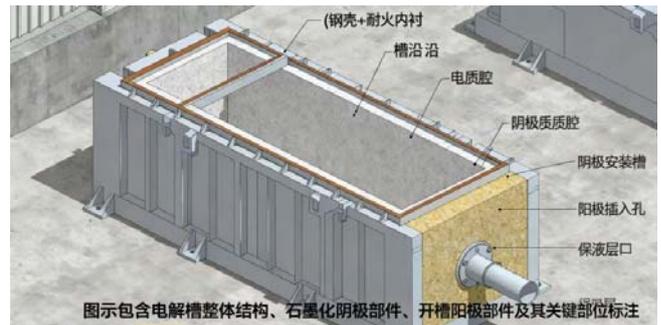


图1 电解槽、石墨化阴极、开槽阳极示意图

### 3.1 能耗降低

铝电解生产作为高能耗产业, 能源消耗在其成本构成中占据较大比重。新型阴极结构技术、高效阳极技术和电解槽热场控制技术等一系列节能技术的综合应用, 为降低铝电解槽能耗带来了显著成效。新型阴极结构技术通过优化阴极的形状、材质和组装方式, 改善了阴极的导电性能和电流分布。传统阴极可能存在电流分布不均的问题, 导致局部过热和能量损耗。而新型阴极结构能够使电流更加均匀地通过阴极, 减少局部电阻过大产生的热量损失, 从而降低单位铝产品生产过程中的电能消耗。高效阳极技术着重于提高阳极的导电性和抗腐蚀性。导电性良好的阳极能够降低阳极压降, 减少电能在线路和阳极本身的损耗。抗腐蚀性强的阳极可以延长阳极的使用寿命, 减少阳极更换频率, 降低因阳极更换带来的停槽时间和能源浪费。此外, 高效阳极在电解过程中能够更稳定地参与反应, 提高电解效率, 进一步降低能耗<sup>[3]</sup>。电解槽热场控制技术则通过对电解槽内温度场的精准监测和调控, 优化热平衡。在铝电解过程中, 合理的温度分布对于维持电解反应的稳定进行至关重要。过高的温度会导致热量散失增加, 能源浪费; 过低的温度则会影响电解反应的速率和效率。热场控制技术利用先进的传感器和智能控制系统, 实时调整冷却设备的运行参数, 确保电解槽内各部位温度处于最佳范围, 减少不必要的热损失, 实现能耗的有效降低。

### 3.2 生产效率提高

节能技术的应用对铝电解槽生产效率的提升具有多方面的积极影响。从电场和热场分布角度来看, 新型节能技术改善了电解槽内的电场和热场环境。均匀的电场分布使得电流能够更高效地通过电解质, 促进铝离子的还原反应, 提高电流效率。合理的热场分布则保证了电解反应在适宜的温度条件下进行, 加快反应速率。电流效率和反应速率的提高直接带来了铝产量的增加。在设备运行方面, 节能技术的应用减少了电解槽的停槽时间和维修次数。由于新型阴极和阳极具有更好的性能和稳定性, 能够承受更恶劣的电解环境, 减少了因电极损坏导致的停槽检修情况。热场控制技术有效避免了电解槽内局部过热或过冷问题, 降低了设备因温度异常而出现故障的概率。设备利用率的提高使得电解槽能够在更长时间内保持稳定运行, 持续生产铝产品。生产稳定性的增强也是节能技术提升生产效率的重要体现。稳定的电场和热场环境以及性能可靠的电极, 使得电解槽内的

电解反应更加平稳有序。减少了因反应波动导致的铝产品质量问题,降低了次品率,进一步提高了生产效率和经济效益。

### 3.3 环境效益提升

铝电解槽节能技术的应用在降低能耗的对环境效益的提升也具有显著作用。能耗降低意味着能源消耗总量减少,相应地,因能源生产和使用过程中产生的污染物排放也大幅降低。在铝电解生产中,煤炭等化石能源是主要的能源来源之一。煤炭燃烧过程中会释放大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等温室气体和有害气体。随着节能技术的应用,煤炭等化石能源的使用量减少,这些污染物的排放也随之降低。二氧化碳排放的减少对于缓解全球气候变暖具有重要意义。大量的二氧化碳排放是导致全球气温升高的主要原因之一,铝电解行业通过节能技术降低二氧化碳排放,为全球应对气候变化做出了积极贡献<sup>[4]</sup>。二氧化硫和氮氧化物的减排则有助于改善空气质量,减少酸雨等环境问题的发生。这些气体在大气中与水汽结合会形成酸性物质,随降水落到地面,对土壤、水体和植被造成严重破坏。

## 4 石墨化阴极与开槽阳极新节能技术应用

在铝电解行业高能耗的背景下,石墨化阴极与开槽阳极技术凭借材料创新与结构优化,成为突破传统电解槽能耗瓶颈的核心路径。该技术从电解反应核心环节入手,通过提升电极导电效率、优化反应环境,实现能耗降低与效能提升的双重目标,为行业绿色转型提供关键支撑。石墨化阴极以高纯度石墨为基材,经高温石墨化处理晶体结构规整化,导电性能较传统阴极材料提升30%-40%,可将阴极压降从0.35-0.45V降至0.20-0.25V,显著减少电能损耗。其表面复合的TiB<sub>2</sub>涂层增强抗氟化盐腐蚀与抗钠渗透能力,使用寿命延长2-3倍,降低因阴极更换导致的停槽能耗与生产成本。模块化设计适配不同容量电解槽,嵌入式导电棒连接方式进一步降低接触电阻,改善电流分布均匀性,减少局部过热现象。开槽阳极通过在阳极本体开设8-12mm宽、60-80mm深的纵向或网格状导流槽,构建高效气泡溢出通道。传统阳极表面附着的CO<sub>2</sub>气泡易增加电解质电阻,而开槽结构加速气泡

脱离,降低阳极压降0.10-0.15V,电流效率提升2%-5%。优化的槽型参数改善电解质循环效率,使电解反应更均匀充分,阳极消耗速率降低10%-15%,减少固体废弃物排放。工业应用表明,该组合技术可使单位铝产品综合能耗降低8%-12%,单槽直流电耗减少450-700kWh/t-Al,年减少二氧化碳排放约14.6t/槽。石墨化阴极的长寿命特性使电解槽连续运行周期延长至48-60个月,开槽阳极降低电极故障发生率,设备利用率提升50%以上,单槽日产量增加3%-5%。技术应用减少氟化物挥发损失与固体废弃物产生,降低环保治理成本,实现节能与环保协同发展。作为铝电解节能的关键技术方向,石墨化阴极与开槽阳极通过材料升级、结构优化与工艺适配,从源头破解传统电极能耗高、寿命短的难题,其规模化应用将推动铝电解行业向低能耗、高效率、绿色化方向转型,为行业可持续发展注入新动能。

## 5 结语

铝电解槽节能技术的发展与应用,是行业应对能源挑战、实现可持续发展的必然选择。新型阴极结构、高效阳极、电解槽热场控制等关键技术,以及石墨化阴极与开槽阳极等新节能技术,从不同层面降低了能耗,提高了生产效率,提升了环境效益。随着技术的不断创新与完善,这些节能技术将在铝电解行业得到更广泛的应用,推动行业向低能耗、高效率、绿色化方向转型,在全球节能减排和绿色发展的大趋势下,发挥更为重要的作用。

## [参考文献]

- [1]刘良,王森泰.铝电解槽节能技术应用与探索[J].世界有色金属,2024(20):8-10.
- [2]李成元,刘京领,王攀,等.铝电解槽新型节能阴极结构技术的探究与应用[J].绿色矿冶,2025,41(3):68-71+76.
- [3]苗旭,白翔宇,刘杰.大型铝电解槽新式节能阴极结构技术的应用研究[J].世界有色金属,2025(12):15-17.
- [4]刘昆鹏,练新强,王攀,等.铝电解槽连续高效启动技术的应用实践[J].云南冶金,2025,54(2):133-135.