

铝工业低碳转型及铝冶炼纳入全国碳市场的挑战与机遇

中国有色金属工业协会 李丹



欧中ETS项目网站下载资料合规声明

以下内容的编制仅限用于支持本项目项下开展的培训与研究活动，且仅用于信息传递及参考目的，未经内容提供方事先书面许可，不得以任何形式、通过任何手段，全部或部分复制、分发或用于商业目的。对于因使用该内容所含信息而导致的任何损失或损害，内容提供方不承担任何责任。

Compliance Statement for Downloading Materials From EU-China ETS Project Website

These materials have been prepared solely for the purpose of supporting training activities conducted under this project. It is provided for informational and reference purposes only. The materials contained herein may not be reproduced, distributed, or utilised for commercial purposes, in whole or in part, in any form or by any means, without the prior written consent of the presenting party. The author accepts no responsibility or liability for any loss or damage arising from the use of the information contained in this presentation.



目录

1

铝工业绿色低碳发展现状

2

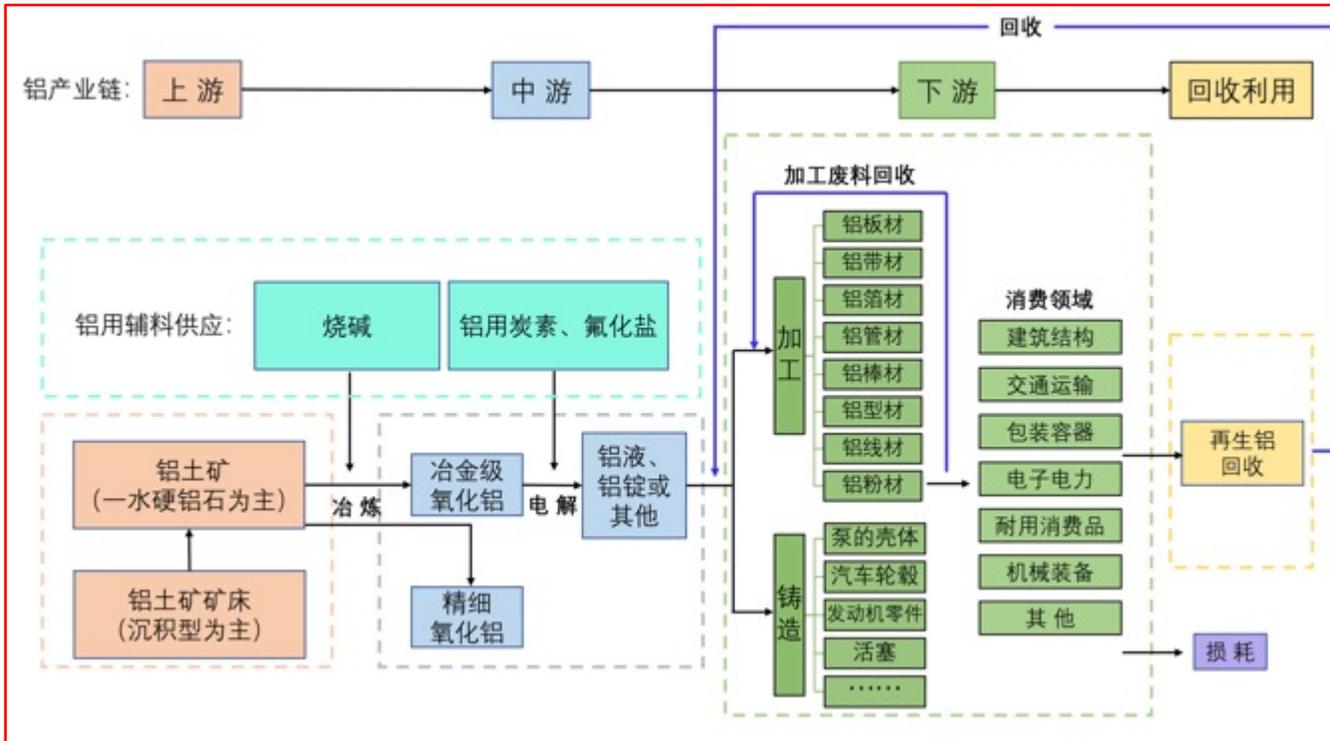
铝工业低碳转型路径

3

铝冶炼纳入全国碳市场挑战与机遇

1.1 铝产业链发展现状

一是建立了全球最完整、规模最大的铝产业链



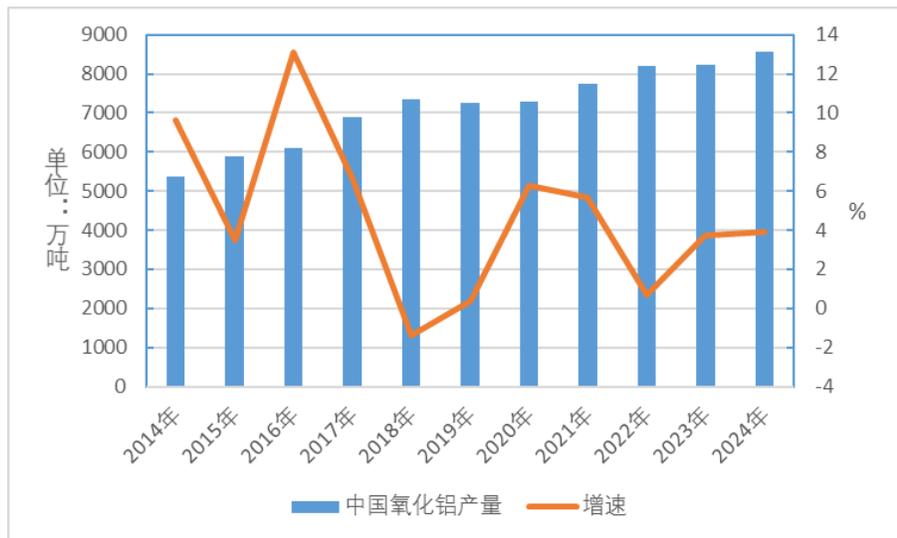
铝工业产业链

2024年，中国氧化铝、电解铝产量分别为：**8552万吨、4401万吨**。其中，电解铝产量占全球电解铝总量的**60.3%**。

按照国家政策，原则上不可再新增没有矿产资源的氧化铝产能。通过实施供给侧结构改革，所取得的4543万吨/年合规产能“天花板”改革成果促进了行业的持续健康发展”。通过实施30%出口关税，基本杜绝了电解铝出口。

1.1 铝产业链发展现状

二是铝冶炼技术装备全球领先



目前，我国新建单条氧化铝生产线产能规模达到160万吨；电解铝行业已经淘汰全部落后产能，400KA和500KA电解槽成为主流装备，600KA生产线在全球率先产业化运行；我国电解铝成套装备实现了向印度、土耳其、马来西亚等国家出口。

中国电解槽槽型情况

电解槽槽型	300kA及以上	400kA及以上	500kA及以上	600kA及以上
产能占比	86.8%	75%	45%	10%

1.1 铝产业链发展现状

三是“新三样”需求助推铝加工稳步发展

2024年，中国铝加工材综合产量4900万吨，同比增长4.4%，比上年提高0.5个百分点。剔除铝箔坯料后的实际铝加工材产量为4286万吨，增长4.2%。

工业型材产量首次超过建筑型材。工业铝型材增长23.2%至1170万吨，建筑型材下降19.9%至985万吨，连续4年下降；铝板带材同比恢复性增长9.3%，产量1475万吨，剔除铝箔料后产量861万吨，增长11.8%。其中易拉罐料增长27.8%至230万吨；汽车车身薄板增长22.2%至55万吨；建筑装饰板材下降13.6%。

新能源汽车、光伏、储能“新三样”消费领域有效拉动铝消费，2024年中国新能源汽车型材产量140万吨，同比增长42.9%；光伏铝型材产量为395万吨，同比增长16.2%；电池箔产量为45万吨，同比增长25.0%。

2024年中国铝加工材分品种产量(万吨)

	铝挤压材	铝板带	铝箔	铝线	铝粉	铝锻件和其它	合计
产量	2330	1475	540	510	18	27	4900
增幅 (%)	-0.4	9.3	5.9	12.1	20.0	8.0	4.4

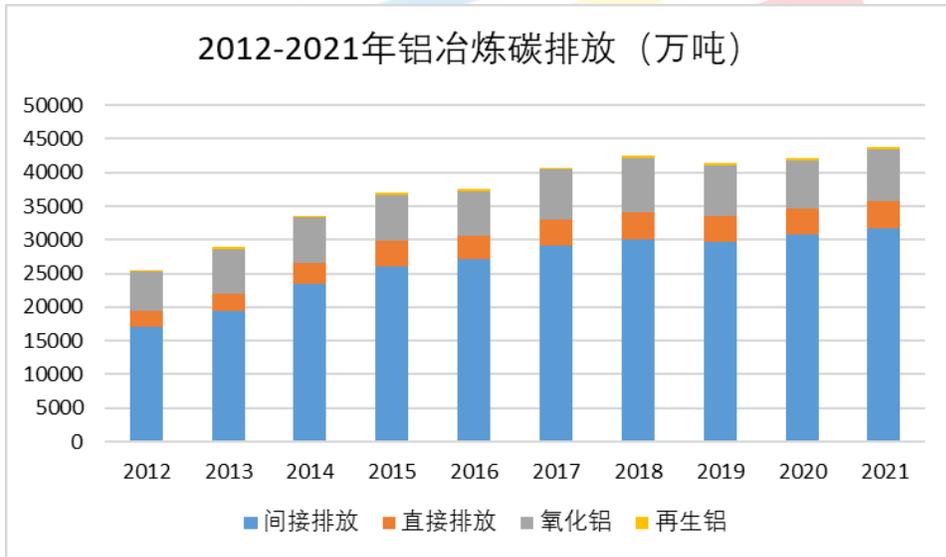
1.2 铝工业绿色低碳发展现状

➤ 铝冶炼是有色行业碳排放“双控”的“牛鼻子”

碳排放总量：2023年铝工业碳排放约5亿吨，电解铝碳排放4.2亿吨，占比75%以上。

碳排放强度：2023年，每吨电解铝平均碳排放为10.2tCO₂/Al₂O₃，其中电力间接碳排放8.55tCO₂/Al₂O₃，占比85%；直接排放1.65tCO₂/Al₂O₃；炭阳极消耗直接1.4tCO₂/Al₂O₃，占比13%，阳极效应碳排放0.25tCO₂/Al₂O₃，占比2%。

2021-2023年中国电解铝碳排放量



	单位	2021	2022	2023
电解铝产量	万吨	3849	4017	4159
间接排放	万吨	35602	35251	35795
阳极消耗产生的直接排放	万吨	5510	5673	5844
阳极效应产生的PFC直接排放	万吨	973	1008	1042
排放合计	万吨	42085	41932	42681

1.2 铝工业绿色低碳发展现状

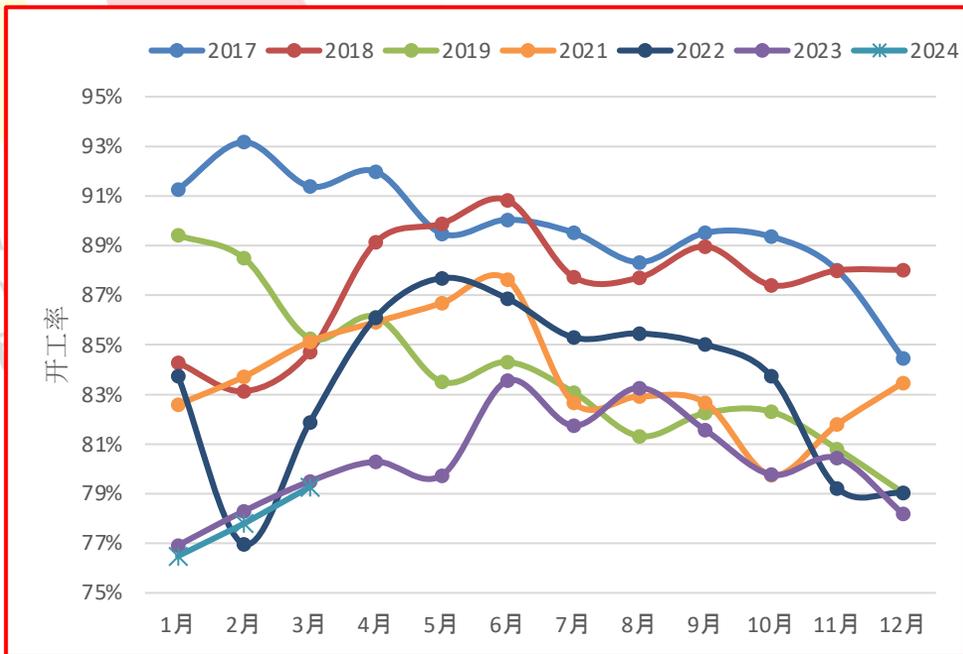
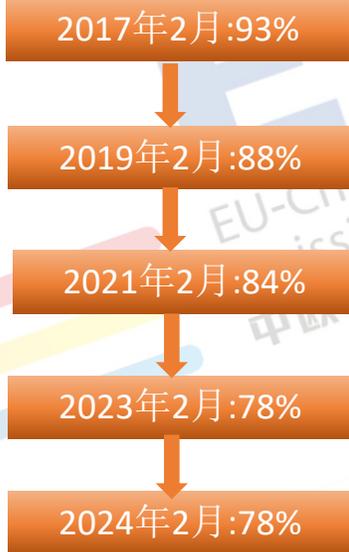
氧化铝产能快速扩张，面临能耗和碳排放双控压力

中国氧化铝产能持续增长，2023年氧化铝建成产能10335万吨/年。还有一批在建及拟建项目。其中在建1440万吨/年、拟建1770万吨/年。

一旦全部建成，中国氧化铝产能将超过1.3亿吨/年。若不合理引导，造成产能过剩。

能源资源瓶颈加剧，能耗和碳排放总量预计将增长38%。

氧化铝产能利用率



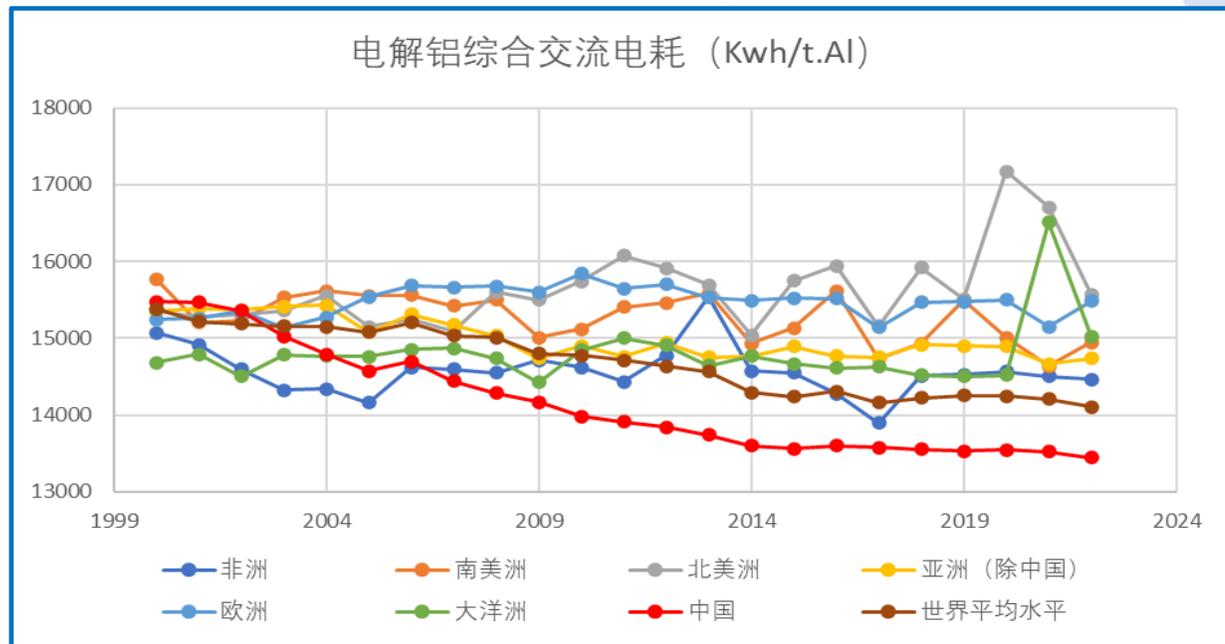
氧化铝产能利用率

1.2 铝工业绿色低碳发展现状

➤ 电解铝能源结构进一步优化

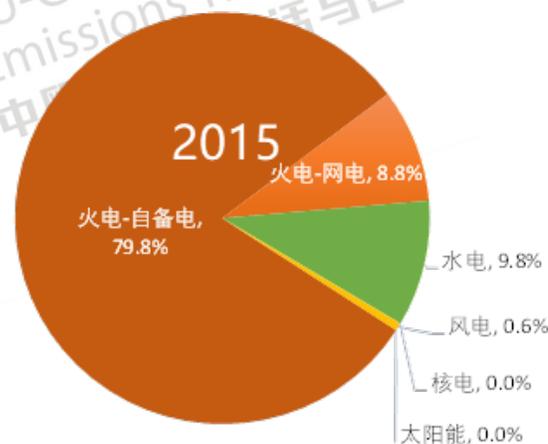
2023年中国电解铝综合交流电耗13323kWh/t，比国际平均综合交流电耗低1000kWh左右。

截至2023年底，我国电解铝清洁能源比例增加至24.4%，比2015年提高了13%；已基本完成国家2025年电解铝清洁能源比例达到25%的目标要求，2030年30%以上的目标有望提前实现。

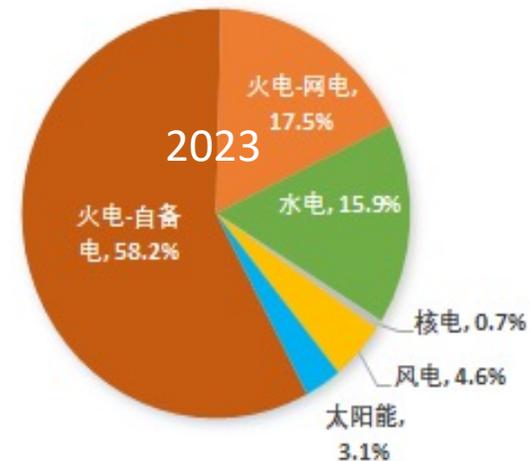


国内外电解铝综合交流电耗对比

2015年电解铝能源结构占比



2023年电解铝能源结构占比



1.3 铝工业发展面临的问题

➤ 国际绿色贸易壁垒压力趋于增加

传统贸易摩擦案件超过70件，压力犹存；以欧盟碳关税和涉疆法案为由的新型贸易壁垒日趋增多。

按国别及铝材品种统计贸易摩擦案件

国别	未锻轧铝	铝挤压材	铝丝	铝板带	铝箔	铝管	铝制结构件	家用铝器具等	其他铝制品	铝制轮毂
	7601	7604	7605	7606	7607	7608	7610	7615	7616	8708
欧盟(含英国)		反倾销		反倾销	反倾销;反补贴;反规避	反倾销	反倾销	反倾销	反倾销	反倾销
阿根廷				反倾销	反倾销	反倾销		反倾销		反倾销
埃及	保障措施		保障措施							
澳大利亚		双反;反倾销				双反	双反			双反
巴拉圭		反倾销					反倾销			
巴西				反倾销;反补贴	★反倾销;反补贴					
哥伦比亚	★反倾销					反倾销				
海合会				反倾销						
加拿大		双反					双反			
黎巴嫩		反倾销								
美国	可诉性补贴;232	双反;232	232	双反;232	★双反;232	双反;232	双反	双反	双反;232	
墨西哥					★反倾销			反倾销	反倾销	
南非		反倾销						反倾销		
欧亚经济联盟				反倾销				反倾销	反倾销	反倾销
泰国	★反倾销				★反倾销					
土耳其			★特保		★反倾销;特保	★				
乌克兰										反倾销
印度	保障措施			反倾销;特保	★反倾销;特保			反倾销	反倾销	反倾销
印度尼西亚					保障措施					
约旦		保障措施								
越南	★反倾销									
中国台湾地区					反倾销					

备注：美国301征税范围动态调整，未在表中标明。目前广泛涉及铝土矿、氧化铝、铝废碎料、铝材及制品。

欧盟碳边境调节机制 (CBAM)

- CBAM覆盖范围包括未锻轧铝、铝材和部分铝制品；
- 2023年，中国对欧盟出口相关铝产品69万吨，约占中国总出口量8.7%。
- CBAM短期内对中国铝材及制品整体出口影响有限。 **英国版CBAM**

➤ 时间：拟于2027年启动

➤ 范围：碳的直接排放和间接排放

美国《清洁竞争法案》

从长远来看，对中国铝产业发展产生一定影响

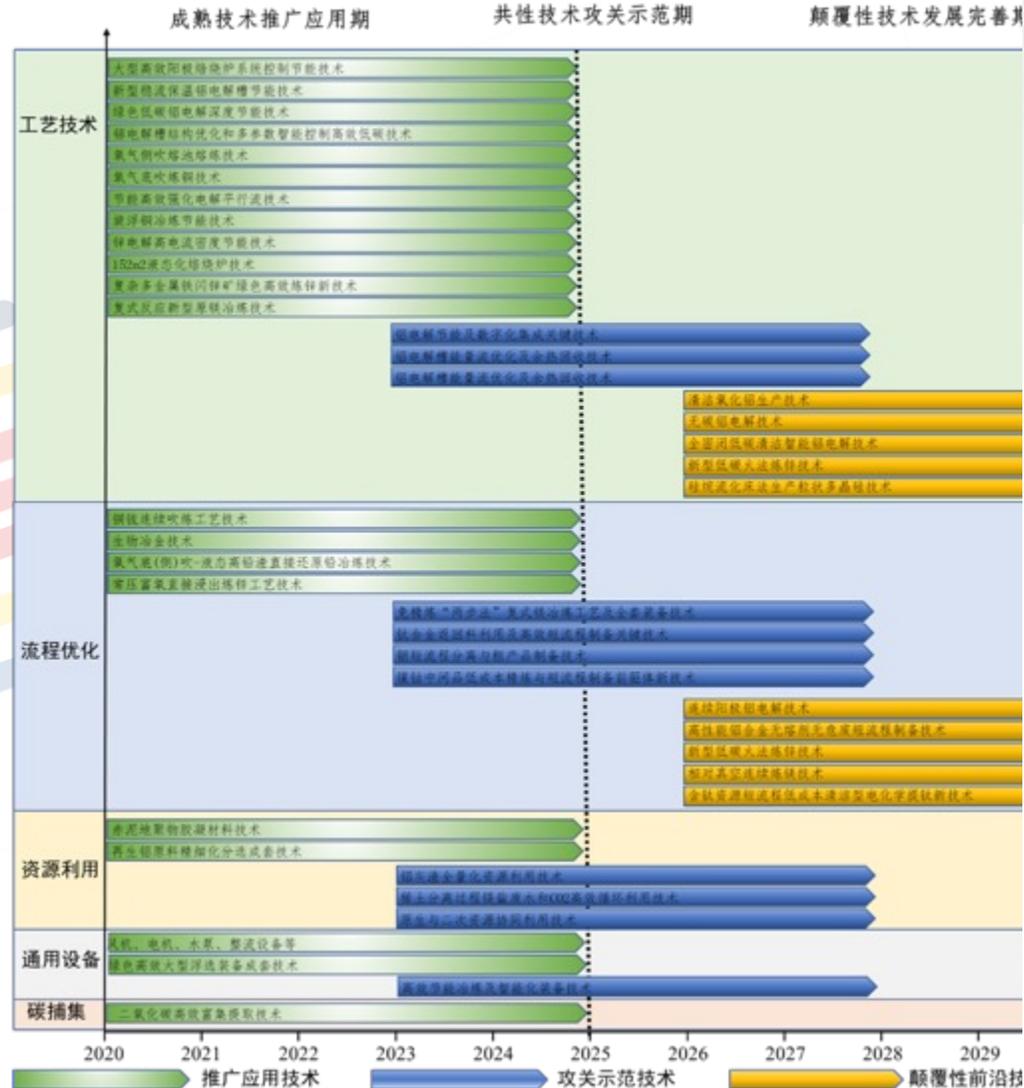
1.3 铝工业发展面临的问题

节能要求不断提高，节能降碳遇到瓶颈

目前，电解铝生产工艺仍为冰晶石-氧化铝熔盐电解法。经过100多年来的工艺持续优化，工艺指标潜力挖掘已近极限，在生产工艺没有发生颠覆性改变的情况下，指标下降空间有限。

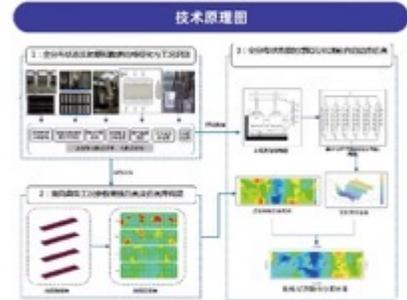
铝工业绿色低碳技术发展的短板在于基础研究不足，资金投入主要倾向于技术推广应用和技术示范。由于基础研究周期长、见效慢等原因，对于惰性阳极等前瞻性、颠覆性、基础共性研究投资不足，技术升级进入瓶颈，绿色低碳技术突破缓慢。

有色金属行业低碳技术发展路线图



15 铝电解智能制造系统的关键技术

技术简介
该技术集成了大型铝电解槽分布式在线检测与状态感知、数字孪生、智能决策等系列技术。在国际上率先攻克了阳极电流分布等复杂分布式参数的经济、可靠、精准在线检测与工程化应用难题，构建了国内首个面向全行业提供工艺优化与决策支持服务的铝电解智能大数据中心。



节能降碳潜力
该技术预计到2030年实现全行业推广应用，可实现当量碳排放减少1200万吨/年左右。



1.3 铝工业发展面临的问题

➤ 再生铝保级利用水平较低，税收政策不完善

中国的再生铝**保级利用水平较低**。与发达国家相比，整体竞争能力相差甚远，制造成本高，产品结构单一，技术含量低，几乎全部是普通的铸造铝合金，尚未实现保级循环利用。

税收政策不完善，财政部、税务总局发布《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》（简称40号文）。40号文正式开始施行后，因主体不同、具体的条款和后续问题也不尽相同。针对回收公司主要涉及到成本认定方式，包括台账、收据、自制凭证及发票等。针对再生企业方面，主要面对的是如何解决个体工商户原材料发票的问题。

目录

1

铝工业绿色低碳发展现状

2

铝工业低碳转型路径

3

铝冶炼纳入全国碳市场挑战与机遇

2.1 铝冶炼碳达峰碳中和

➤ 能耗“双控”向碳排放“双控”：有色行业预计今年碳达峰

第35卷 第2期
2022年2月

环境科学研究
Research of Environmental Sciences

Vol.35, No.2
Feb., 2022

中国铝冶炼行业二氧化碳排放达峰路径研究

王丽娟¹, 邵朱强^{2*}, 熊慧³, 李丹^{4*}, 杨富强³, 严刚¹

1. 生态环境部环境规划院, 北京 100012

2. 中国有色金属工业技术开发交流中心有限公司, 北京 100814

3. 北京安泰科信息股份有限公司, 北京 100814

4. 中国有色金属工业协会, 北京 100814

摘要: 铝冶炼行业是高耗能、高排放行业,也是有色金属行业中CO₂排放量最大的领域,在全国2030年碳达峰背景下,铝冶炼行业将面临巨大的减排压力。统筹考虑社会经济发展、能源结构、工艺结构、技术进步、进出口影响等因素,采用回归分析和情景分析等方法,对2021—2035年我国铝冶炼行业碳排放趋势及影响因素进行分析,识别碳减排的主要驱动因素,提出推动碳达峰的关键举措,为制定碳达峰目标背景下的铝冶炼行业碳排放控制路径提供参考。结果表明:①实现铝冶炼行业碳达峰任务艰巨,在严格落实电解铝产能总量控制以及多项措施实施的前提下,预计可实现铝冶炼行业“十四五”末期至“十五五”初期达峰,峰值在 5.3×10^8 — 6.4×10^8 t之间,达峰后保持2年左右平台期,产能控制是削峰的关键。②提高再生铝利用水平是决定铝冶炼行业能否快速达峰的关键,到2030年其对行业碳减排的贡献率为77.3%。③推进清洁能源替代,鼓励电解铝产能向可再生电力富集地区转移是铝冶炼行业碳减排的重要手段,到2030年其对行业碳减排的贡献率为21.5%。④提高短流程比例也是铝冶炼行业碳减排的重要方向,到2030年其对行业碳减排的贡献率为1.2%。研究显示,铝冶炼行业碳减排工作重点聚焦于推进严控产能总量、调整优化产业结构、加强清洁能源替代、强化技术降碳等方面。

关键词: 铝冶炼行业; CO₂ 排放; 碳达峰; 情景分析; 控制路径

中图分类号: X24

文章编号: 1001-6929(2022)02-0377-08

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.18

在基准情景、低碳情景、强化情景下,铝冶炼行业碳排放量均在“十四五”末期至“十五五”初期达峰。

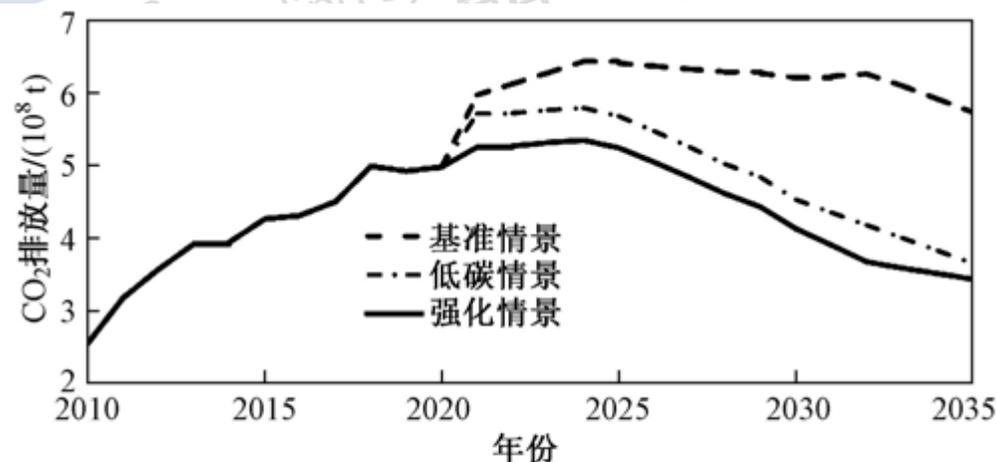
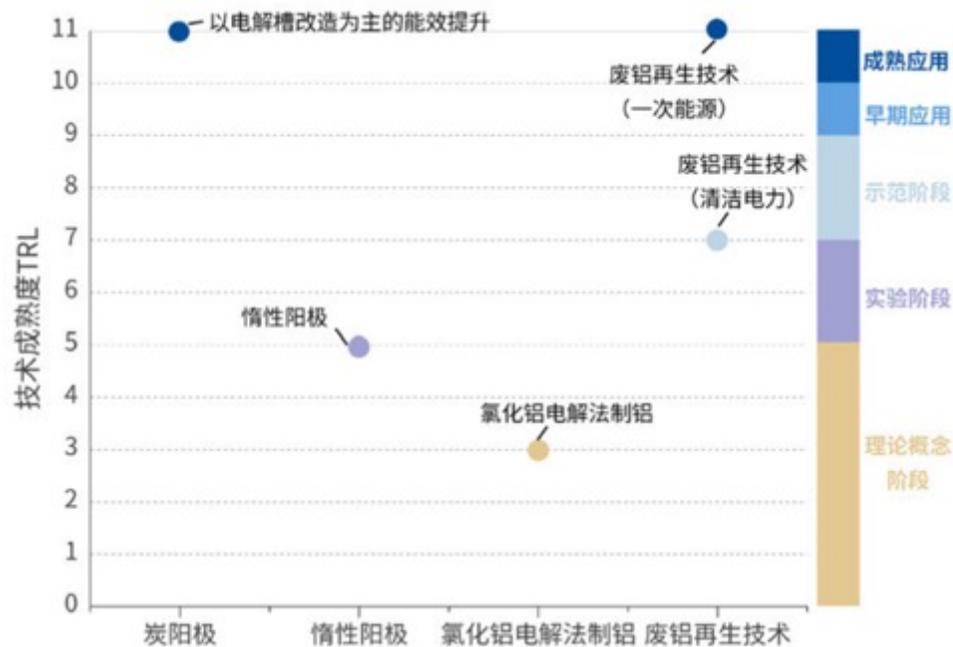


图5 2010—2035年我国铝冶炼行业不同情景下CO₂排放量

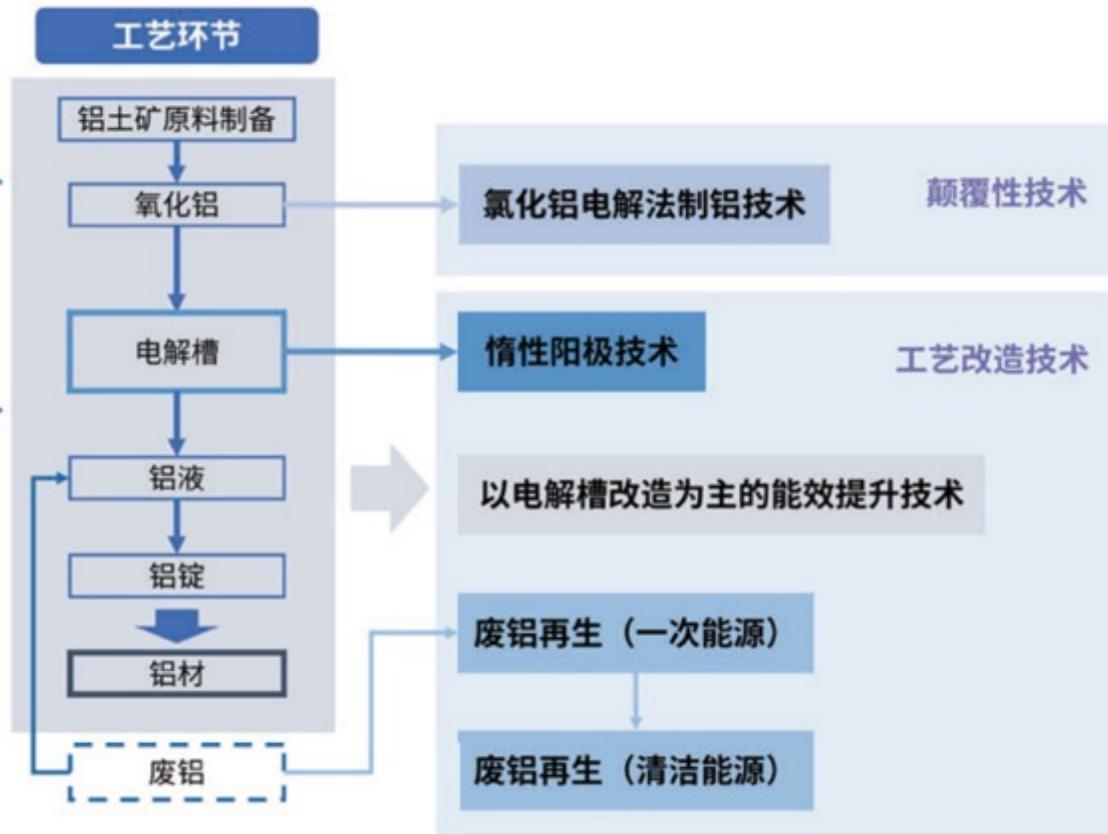
2.1 铝冶炼碳达峰碳中和

➤ 能耗“双控”向碳排放“双控”：铝冶炼碳中和展望

在碳中和目标之下，铝冶炼行业有望使用电解槽改造为主的能效提升技术、废铝再生技术、惰性阳极技术和氯化铝电解法制铝技术实现持续降碳。

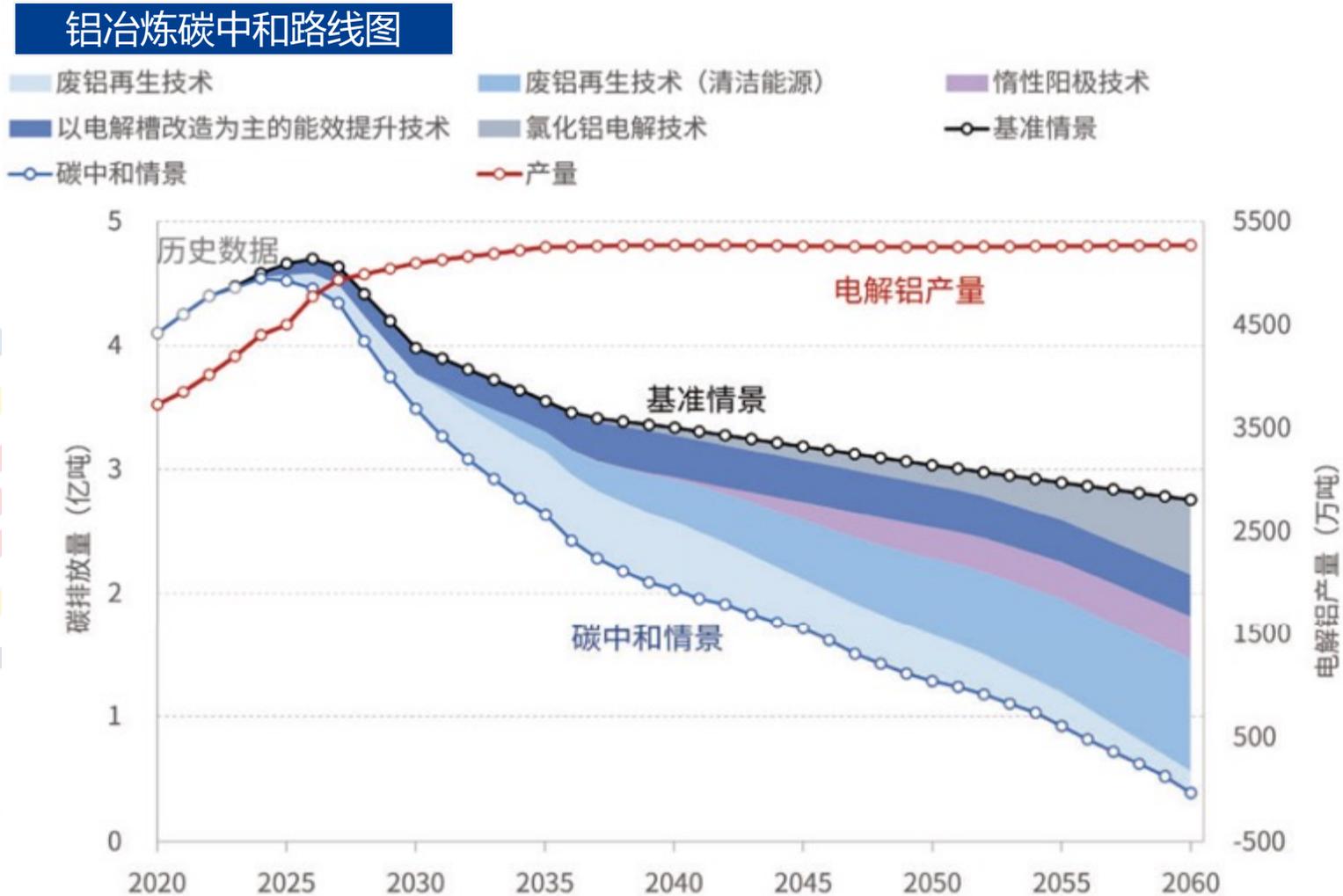


常规工艺技术
炭阳极铝冶炼



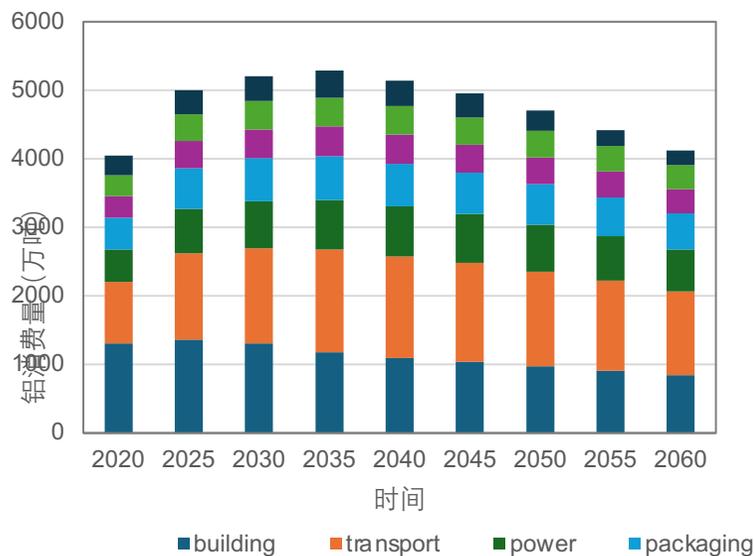
2.1 铝冶炼碳达峰碳中和

- 2035 年前，电解铝行业碳排放下降主要依靠以电解槽改造为主的能效提升技术和再生铝在下游使用的占比提高，二者带来的碳减排共计约 0.9 亿吨，其中，废铝再生技术减排约 70%。
- 2035—2050 年，能效提升技术经过多年研发与实践，电解铝单位产品电耗逐渐下降。再生铝占比上升，清洁能源的替代导致的碳排放下降较其他因素更为显著，带来碳减排约为 1 亿吨。
- 预计到 2060 年，废铝再生技术、惰性阳极技术和氯化铝电解技术减排量分别占铝冶炼行业总减排量的约 45%、15% 和 25%。

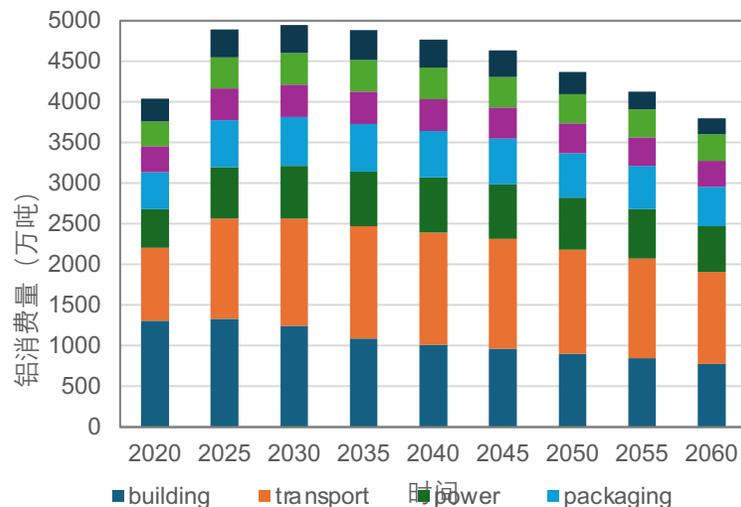


2.2 铝工业低碳转型路径

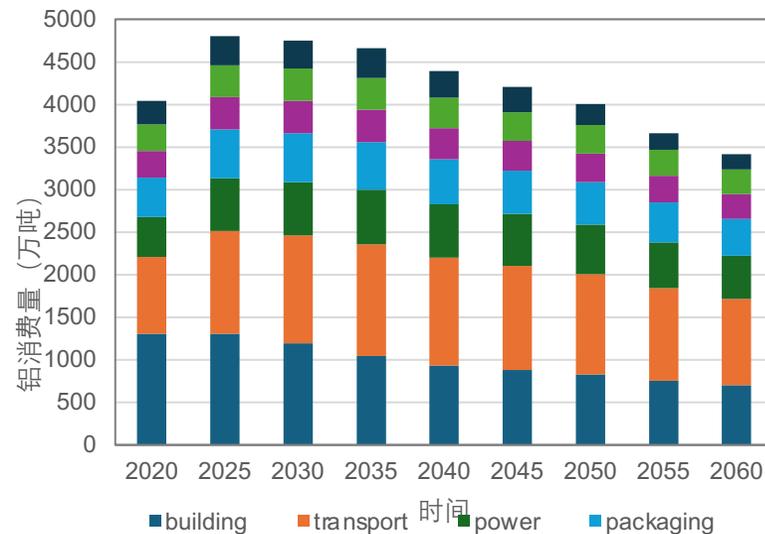
一是严控电解铝产能天花板



基准情景下消费量预测



强化情景下消费量预测



碳中和情景下消费量预测

- 近几年，受供给侧结构改革红利，电解铝产能逐渐逼近天花板；
- 铝冶炼行业的发展须在满足国民经济发展需要的前提下，坚持总量控制，持续严控产能天花板；
- 国务院印发《2024 - 2025年节能降碳行动方案》、《电解铝行业节能降碳专项行动计划》。

2.2 铝工业低碳转型路径

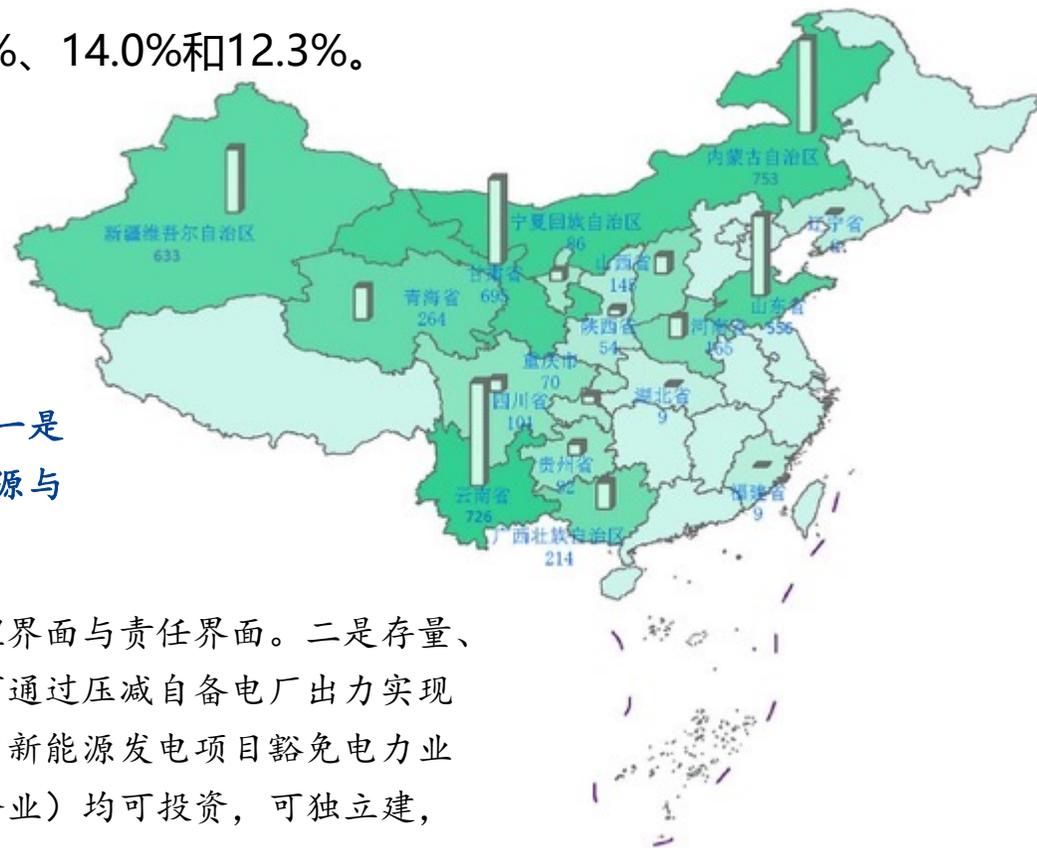
二是优化产业布局和能源结构

- 电解铝产能经历“煤电铝” — “水电铝” — “风光铝” 转移；推动核电在电解铝产业中的应用；
- 在寻求绿色能源的同时，企业积极参与建设以消纳可再生能源为主的微电网，布局开发一批“源网荷储”一体化项目；
- 《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》有望进一步推动电解铝用能结构向绿电转型：

第一，精准。《通知》明确提出了绿电直连政策的适用范围，**需具备三要素**：一是电源为风电、太阳能发电、生物质发电等新能源；二是电力用户唯一；三是电源与电力用户通过直接连接的专用电力线路相连，不直接接入公网。

第二，灵活。一是项目可并网、可离网，其中并网项目要与公网形成清晰的物理界面与责任界面。二是存量、增量负荷都可参与，既指出新增负荷可配套建设新能源项目；也明确存量负荷可通过压减自备电厂出力实现清洁能源替代。三是可按项目自主安排的发用电曲线下达调度计划。四是项目中新能源发电项目豁免电力业务许可，在现货市场连续运行地区余电可上网。五是各类经营主体（不含电网企业）均可投资，可独立建，也可合作建。

预计2025年中国电解铝产能:内蒙古(753万吨/年)、云南(726万吨/年)、新疆(633万吨/年)和山东(556万吨/年)四个省/区的电解铝产能列居前四位，占比分别为16.7%、16.1%、14.0%和12.3%。



2.2 铝工业低碳转型路径

三是坚持科技创新驱动引领

技术名称	技术原理概述	碳减排效果	技术成熟度	技术挑战
以电解槽改造为主的能效提升	通过优化电解槽结构、改进保温材料、降低电解温度以及优化电流分布等措施，减少电解过程中的热损失和电能消耗	吨铝 CO ₂ 排放减少约 5%	11	平均每台槽多增加投资 2-8 万元，铝电解槽双端节能技术更加昂贵，投资相对较大
惰性阳极技术	电解过程中采用不消耗或消耗极为缓慢的阳极替代传统的炭素阳极，从而消除与炭阳极有关的排放	吨铝 CO ₂ 排放减少约 15%	5	研发难度大，资金需求量大，周期长，目前阳极使用寿命无法满足工业化应用
氯化铝电解法制铝技术	直流电通入溶有氯化铝的碱金属和碱土金属氯化物电解质中，在电解槽阴极析出铝的一种铝电解方法	吨铝 CO ₂ 排放减少 40% 以上	3	研发难度大，生产流程增长，关键设备与材料问题尚未解决，产生有毒气体，需收集
废铝再生技术（一次能源）	再生铝是由废纯铝、废铝合金或含铝废料，经重新熔炼得到，是金属铝的一个重要来源	吨铝 CO ₂ 排放减少约 90%	11	废铝回收体系不完善，保级利用难度大
废铝再生技术（清洁能源）	通过优化废铝回收、预处理、熔炼和精炼工艺，结合清洁能源利用和环保技术，实现废铝的高效再生与节能减排	吨铝 CO ₂ 排放减少 95% 以上	7	清洁能源成本有待降低

2.2 铝工业低碳转型路径

四是大力发展再生有色金属构建铝产业链绿色发展模式

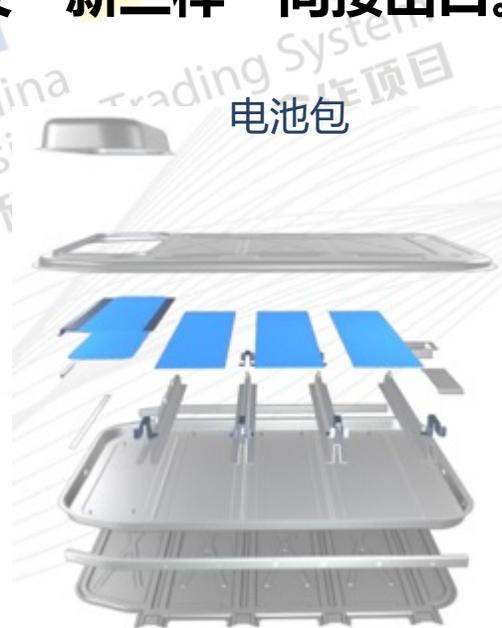
- 推动原铝、再生铝和铝加工融合发展；
- 提升再生铝闭环回收和保级循环利用水平，逐步扩大再生铝用量；
- 鼓励用绿电铝、再生铝生产的铝材和铝制品直接出口及“新三样”间接出口。



生产原合金牌号的闭环回收体系开始建立，如西南铝、中孚等罐料生产商的“cantocan”闭环回收，创新金属3C废料的闭环回收等。



变形合金用于加工坯料生产的比例提升，如明泰铝业每年超百万吨产品中一半使用的是废铝原料



新能源汽车对轻量化的要求更迫切

2.2 铝工业低碳转型路径

五是实现市场化规范化的电解铝碳交易

- 电解铝即将被纳入全国碳排放权交易统一大市场，相关技术文件也已开始征求各方意见；
- 要积极创新发展模式，充分利用碳交易机制，激发碳交易市场活力，借鉴国外成功经验，鼓励企业在建立负碳产业集聚区等方面发挥积极作用，通过市场化规范化的电解铝碳交易，加快推动产业低碳转型。



2.2 铝工业低碳转型路径

六是推动行业EPD平台的应用

中国有色金属工业协会于2024年6月5日上线中国有色金属行业环境产品声明平台（EPD平台，发布了首批碳足迹报告。于2025年6月5日全国有色金属双碳大会期间，上线有色金属行业碳足迹数据库1.0版本，发布了电解铝产品碳足迹因子1.0版本。



电解铝产品碳足迹因子1.0版本

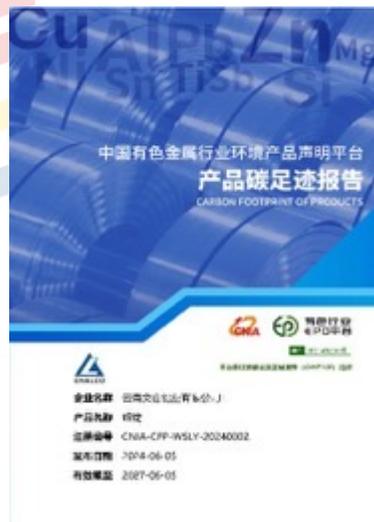
产品名称	碳足迹因子 (tCO ₂ e/t)
预焙阳极	0.9864
氧化铝(进口矿)	1.2003
氧化铝(国产矿)	1.4012
铝液	9.7846
铝锭	9.9668

产品名称	碳足迹因子 (tCO ₂ e/t)	发布日期
预焙阳极	0.9864	2024
氧化铝(进口矿)	1.2003	2024
氧化铝(国产矿)	1.4012	2024
铝液	9.7846	2024
铝锭	9.9668	2024

2.2 铝工业低碳转型路径

七是构建绿色低碳标准体系

- 推动和落实《有色金属行业绿色低碳标准化三年行动计划》，2023年共发布61项、报批55项、审定7项、在研41项、预研并申报41项；
- 积极开展有色金属行业碳排放核算、产品碳足迹量化、分级管理和低碳评价等标准，构建有色金属行业碳足迹数据库，全面提升我国在国际碳排放核算、产品碳足迹核算标准话语权。



2.2 铝工业低碳转型路径

八是减污降碳协同增效

- 积极推进铝工业大气污染防治协同控制。高质量阳极技术，降低硫含量，协同降低直接排放。
- 积极推进固体废物污染防治协同控制。铝工业生产过程中产生大量的固体废物，主要有赤泥、铝灰、大修渣、炭渣等。赤泥大规模低成本综合利用至今仍是世界难题。



中铝山东和山东高速合作生产的赤泥基多功能凝胶材料生产车间



广西华众利用赤泥作为原料生产水泥项目

目录

1

铝工业绿色低碳发展现状

2

铝工业低碳转型路径

3

铝冶炼纳入全国碳市场挑战与机遇

✓ 有色金属行业双碳相关政策

工信部等关于印发有色金属行业碳达峰实施方案的通知（工信部联原〔2022〕153号）

- “十四五”期间，有色金属产业结构、用能结构明显优化，低碳工艺研发应用取得重要进展，重点品种单位产品能耗、碳排放强度进一步降低，再生金属供应占比达到24%以上。
- “十五五”期间，有色金属行业用能结构大幅改善，电解铝使用可再生能源比例达到30%以上，绿色低碳、循环发展的产业体系基本建立。确保2030年前有色金属行业实现碳达峰。

国家发展改革委等部门关于印发《电解铝行业节能降碳专项行动计划》的通知(发改环资〔2024〕972号)

- 到2025年底电解铝行业能效标杆水平以上产能占比达到30%，能效基准水平以下完成技术改造或淘汰退出
- 行业可再生能源利用比例达到25%以上，再生铝产量达到1150万吨

通过实施节能降碳改造，电解铝行业2024年—2025年形成节能量约250万吨标准煤、减排二氧化碳约650万吨

生态环境部等部门关于印发《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》的通知（环气候〔2024〕30号）

“指导行业协会、企业报送产品碳足迹因子，充实完善国家数据库” “建立产品碳标识认证制度” “建立产品碳足迹分级管理制度” “探索建立碳足迹信息披露制度” “鼓励国资央企加强供应链碳足迹管理” “鼓励行业组织、龙头企业推进碳足迹信息披露相关服务平台建设与国际合作”

✓ 全国碳排放权交易市场覆盖铝冶炼行业

2025年3月21日，生态环境部办公厅发布全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案。

启动实施阶段（2024—2026年）：2024 年度作为首个管控年度，2025 年底前完成首次履约工作。2024年度配额基于经核查的实际碳排放量等量分配；2025、2026 年度配额采用碳排放强度控制的思路分配。

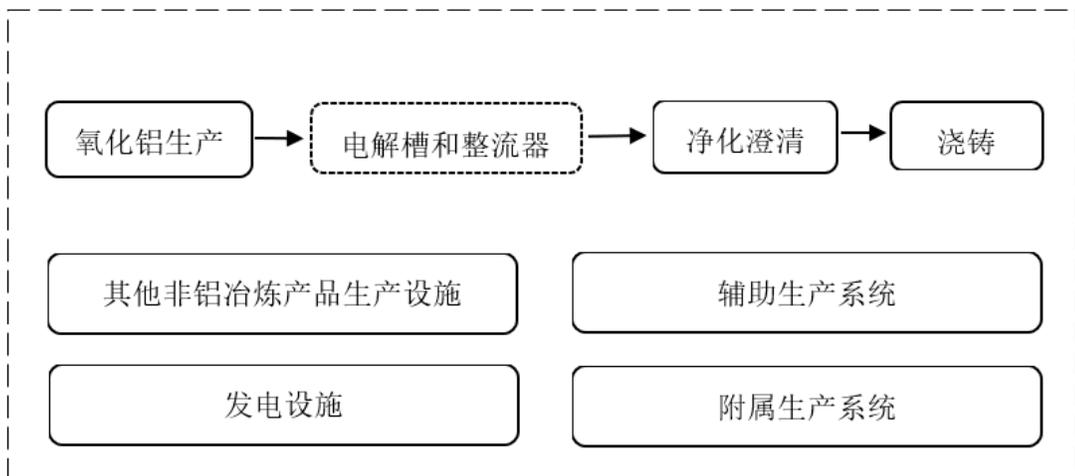
深化完善阶段（2027年—）：碳排放数据质量全面改善，数据准确性、完整性全面加强。

- **实施重点排放单位名录管理：**电解铝行业管控温室气体种类为**二氧化碳、四氟化碳（CF₄）和六氟化二碳（C₂F₆）**；年度温室气体直接排放达到**2.6万吨**二氧化碳当量的单位作为重点排放单位，纳入全国碳排放权交易市场管理。
- **开展核算报告核查：**发布了《**铝冶炼行业温室气体排放数据核算与报告技术指南**》；电解铝企业根据核算报告指南要求，编制年度排放报告，通过**全国碳排放权交易市场管理平台**报送。各省级生态环境主管部门对重点排放单位年度排放报告开展核查，核查结果作为配额分配与清缴的依据。
- **实施配额管理：**生态环境部会同有关部门制定年度配额总量和分配方案；启动实施阶段基于碳排放强度控制思路实施配额免费分配，深化完善阶段推动碳排放强度不断下降；各省级生态环境主管部门会同同级有关部门，根据年度碳排放配额总量和分配方案，向本行政区域内重点排放单位分配配额；电解铝重点排放单位需按年度向所在省级生态环境主管部门足额清缴其碳排放配额。

✓ 核心挑战

➤ 数据监测：中小企业数据体系薄弱，核算误差风险高。

铝电解工序核算边界：电解槽和整流变压器的集合。



企业层级核算边界 铝电解工序核算边界

图2 核算边界示意图

企业层级排放源

a) **能源作为原材料用途的排放**：铝电解工序阳极作为原材料消耗产生的二氧化碳排放。

b) **阳极效应排放**：阳极效应所导致的四氟化碳 (CF_4) 和六氟化二碳 (C_2F_6) 排放。

c) **化石燃料燃烧排放**：化石燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备（如锅炉、窑炉、内燃机、运输车辆等）中与氧气发生氧化过程产生的二氧化碳排放。

d) **碳酸盐分解排放**：如铝冶炼企业使用石灰石（主要成分为碳酸钙）或纯碱（主要成分为碳酸钠）等碳酸盐且在生产过程中发生了碳酸盐分解化学反应，则还包括碳酸盐分解所产生的二氧化碳排放。

✓ 核心挑战

以阳极效应排放核算为例

$$E_{\text{阳极效应},j} = EF_{\text{CF}_4} \times P_j \times GWP_{\text{CF}_4} \times 10^{-3} + EF_{\text{C}_2\text{F}_6} \times P_j \times GWP_{\text{C}_2\text{F}_6} \times 10^{-3}$$

$E_{\text{阳极效应},j}$	—	铝电解工序j阳极效应排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO _{2,e} ）；
EF_{CF_4}	—	阳极效应的CF ₄ 排放因子，单位为千克四氟化碳/吨铝（kgCF ₄ /tAl）；
P_j	—	铝电解工序j阳极效应的活动数据，即铝液产量，单位为吨铝（tAl）；
GWP_{CF_4}	—	CF ₄ 的全球变暖潜势，无量纲；
$EF_{\text{C}_2\text{F}_6}$	—	阳极效应的C ₂ F ₆ 排放因子，单位为千克六氟化二碳/吨铝（kgC ₂ F ₆ /tAl）；
$GWP_{\text{C}_2\text{F}_6}$	—	C ₂ F ₆ 的全球变暖潜势，无量纲；
j	—	铝电解工序代号。

铝液产量的计量与监测

a) 铝液产量是指铝电解工序实际产出的**电解原铝液产量**，包含入库、销售及用到下一工序的产量，**不包含**正常生产槽、大修启动槽、二次启动槽和新建槽回灌的铝液产量。

铝液产量按以下优先序获取：

- 1) 采用生产系统记录的**电子汽车衡计量数据**；
- 2) 不具备电子汽车衡计量条件的，采用**铝电解车间之外的电子吊秤计量的数据**。

b) 企业应使用依法经计量检定合格或者校准的计量器具，计量器具的配备和管理应符合GB 17167、GB/T 20902等标准的要求。计量器具应确保在有效的检定/校准周期内，并符合JJG 539、JJF 1834、JJG 1118等规程或规范的要求。

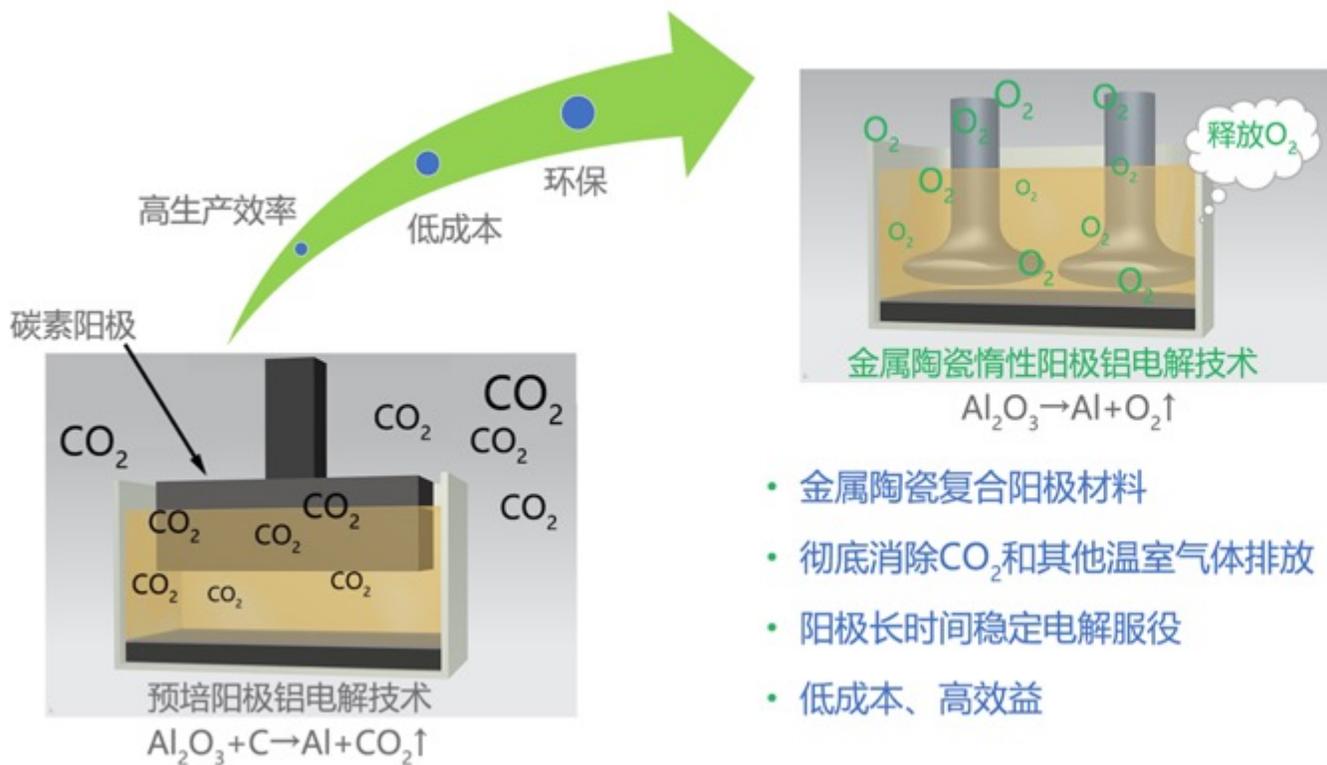
缺省值取值：

- ① 四氟化碳（CF₄）排放因子采用缺省值**0.02** kgCF₄/tAl，六氟化二碳（C₂F₆）排放因子采用缺省值**0.0011** kgC₂F₆/tAl。；
- ② 四氟化碳（CF₄）全球变暖潜势取值**6630**；六氟化二碳（C₂F₆）全球变暖潜势取值**11100**（取IPCC AR5报告）。

✓ 核心挑战

➤ 技术替代瓶颈：技术替代与成本控制

无碳铝电解技术是指没有二氧化碳和其它温室气体的排放，反而释放氧气的新型铝电解技术。该技术采用低温熔盐电解质，用惰性阳极取代传统炭阳极，但存在较大技术瓶颈和成本控制等核心挑战。



✓ 核心挑战

➤ 制度性激励脱节弱化促进作用

全国碳市场现行配额分配机制对铝、钢铁等控排企业的约束力，与其电力清洁化转型存在激励脱节。

- 当碳排放核算仅覆盖生产环节直接排放而剔除外购电力间接排放时，企业购买绿电无法形成有效碳资产，绿电投入的成本增加无法通过碳配额盈余变现，可能形成“绿电投入无收益，高碳火电无惩罚”的悖论。
- 当前绿电交易溢价约0.03-0.05元/千瓦时，对应减排成本约200-300元/吨CO₂，显著高于碳市场70元/吨的碳价水平。这种价差使得企业更倾向于购买低价火电并支付碳配额成本（吨铝支出小于10元），而非主动承担绿电溢价（吨铝成本增400+元）。同时，跨省绿电交易障碍（如云南水电输送山东的输电费达0.08元/千瓦时）进一步压缩了碳市场与清洁能源的协同空间，形成“低碳价-弱流动-高绿电成本”的负向循环。

✓ 发展机遇

➤ 碳市场是应对CBAM的重要手段之一

- 欧盟是我国铝材及铝制品重要出口市场，CBAM实施将对产品竞争力产生一定影响，进而导致相关企业的边际利润与贸易份额承压。在此背景下，企业推动积极构建碳数据核算与碳管理体系，以“算好账”为基础，为应对未来工作要求积累起数据基础与决策依据，将“碳”作为生产经营管理的重要要素，积极推进企业低碳管理。
- CBAM与欧盟碳市场发展改革紧密相关，也将生产国的碳定价机制作为定价的重要依据之一，因此建设和发展碳排放权交易市场是我国应对CBAM的重要手段之一。

欧盟将在2025年底前评估是否扩大覆盖产品范围，以及纳入间接排放的可能性。若将间接排放纳入征税范围，由于中国和欧盟能源结构的差异，对我国出口产品的影响将显著增加。此外，英国、日本、加拿大、澳大利亚等国正在起草相关涉碳贸易法案。铝工业下一步亟需应用推广与全生命周期碳足迹精准摸底等基础性工作，以夯实数据基础、提升产品绿色竞争力，有效应对国际贸易规则变化并推动行业低碳转型。

✓ 发展机遇

➤ 进一步推动铝冶炼节能环保水平

短期可突破的铝电解槽 节能技术

01 铝电解槽的电能消耗

工业铝电解槽的电能消耗量取决于平均电压和电流效率，降低平均电压或提高电流效率是实现节能降耗的关键。

01



02

02 节能技术降低槽电压

新型稳流保温铝电解槽节能技术通过优化阴、阳极组材质、规格和结构，以及低阴极电压降组装技术，有效降低槽电压。

03 优化材质结构降电阻

技术通过优化阴、阳极组的材质和规格结构，降低电阻，减少铝液界面变形，释放有效极距，提高电流效率。

03

04

04 降低自耗提高利用率

优化后的电解槽阴、阳极自耗能量降低，节能技术改善内衬材料和结构，加强保温，降低无效散热，提高能量利用率。

✓ 发展机遇

➤ 推动再生铝产业加速发展

- 用再生铝生产铝材，省去了氧化铝生产电解铝的电耗，可谓“一次耗能，终身受用”，用1吨再生铝替代1吨电解铝，可减排10.6吨碳排放。再生有色金属产业已成为实现双碳目标的生力军。
- 2024年中国再生铝产量1055万吨，同比增长11.1%；《铝产业高质量发展实施方案（2025-2027年）》提出到2027年产量1500万吨以上。
- 2024年再生铝原料在变形铝合金中占比超过40%，预计2025年将超过50%。

创新金属再生铝年产能170万吨，产量121万吨，其中回收再生铝81万吨、自有产线回用铝40万吨；明泰铝业再生铝循环保级应用产能超过100万吨；南山、中孚、西南铝等罐料生产商向“can to can”闭环回收应用发展。



谢谢

李丹 联系方式: 15210566551