

## 深度报告——碳排放

全国碳市场扩容系列专题（一）：  
铝冶炼行业——绿电铺就“铝”途

走势评级：CEA：看涨  
报告日期：2024 年 6 月 20 日

## ★铝冶炼行业的基准值测算

基于《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》（征求意见稿）的设定，过程排放使用缺省值计算，阳极消耗碳排放强度为  $1.424\text{tCO}_2\text{e/tAl}$ ，阳极效应碳排放强度为  $0.1454\text{tCO}_2\text{e/tAl}$ ；不同企业铝电解环节碳排放强度的差异仅仅与用电量和用电结构有关。我们收集整理了 87 家电解铝生产企业的用电结构情况，其中 17 家已建成分布式光伏发电系统，总装机容量约 106.5 万千瓦；3 家已建成风电项目，总装机容量约 180 万千瓦。经大致测算，样本企业 2023 年绿色电力发电量约为 33 亿千瓦时；2023 年电解铝行业绿电交易量约为 27 亿千瓦时。基于行业碳配额总体平衡的原则，基准值约为  $9.264\text{tCO}_2\text{e/tAl}$ ，考虑总体略短缺和略盈余的情况，基准值可能落在  $9\sim 9.5\text{tCO}_2\text{e/tAl}$  的区间内，忽略履约豁免政策的影响，总体配额盈余或短缺的绝对值大约在 1,000 万吨以内。

## ★部分电解铝企业配额盈缺情况

从收集的信息推算，行业配额盈余将主要集中于云铝股份、霍煤鸿骏铝电和广西来宾银海铝业等企业。建成产能超过 100 万吨的电解铝企业（非集团）中，在不考虑未公开的绿电交易的情况下，除内蒙古锦联铝材外，可能都将面临不同程度的配额缺口。此外，约 13 家企业存在足够的电耗优势，大概率不存在配额缺口。基于目前的配额分配方式，按照 100 元/吨的碳价计算，每吨火电铝的配额缺口成本不超过 30 元，当绿电溢价为 6 分/千瓦时时，碳成本与绿电溢价成本相当。对于电解铝主要产区，在现阶段的绿电溢价水平下，电解铝企业对绿电的需求将略强于对碳配额的需求。

## ★电解铝企业未来或向风光资源丰富地区聚集

考虑到不同地区资源禀赋的差异和清洁能源发电的特性，在电解铝生产大省中，内蒙古和新疆在未来可以逐渐将其现有的电解铝产能就地转化为绿电铝，且有充足的容纳新产能的空间，云南或已无法容纳更多的产能，而山东则面临较大的产能外移压力。

## ★风险提示

碳市场扩容进程缓慢，配额供应收紧程度不及预期等。



金晓 首席分析师（能源与碳中和）

从业资格号：F3005393

投资咨询号：Z0012069

Tel: 8621-63325888-2483

Email: xiao.jin@orientfutures.com

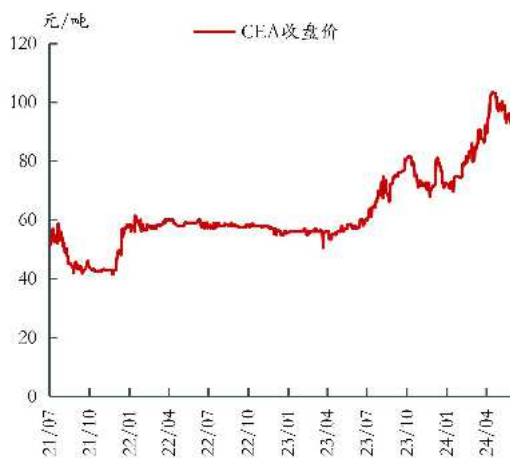
联系人：

张可可 分析师（碳排放）

从业资格号：F03117993

Email: keke.zhang@orientfutures.com

## 主力合约行情走势图（碳排放）



**重要事项：**本报告版权归上海东证期货有限公司所有。未获得东证期货书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。本报告的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成交易建议，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。  
**有关分析师承诺，见本报告最后部分。并请阅读报告最后一页的免责声明。**

## 目录

1、 铝冶炼行业概况.....	5
2、 原铝生产过程中的能耗和温室气体排放.....	8
2.1、 氧化铝生产过程的能耗和温室气体排放.....	8
2.2、 铝电解工序的能耗和温室气体排放.....	9
2.3、 我国电解铝企业能耗现状.....	11
3、 铝冶炼行业即将纳入全国碳市场.....	15
3.1、 铝冶炼行业温室气体排放核算浅析.....	15
3.2、 铝冶炼行业配额分配方案的设想.....	18
3.3、 部分电解铝企业配额盈缺情况.....	22
3.4、 碳排放管理下绿电的环境溢价将进一步凸显.....	24
4、 电解铝行业展望.....	26
4.1、 绿电铝发展和评价现状.....	26
4.2、 电解铝企业未来或向风光资源丰富地区聚集.....	27
5、 风险提示.....	31

## 图表目录

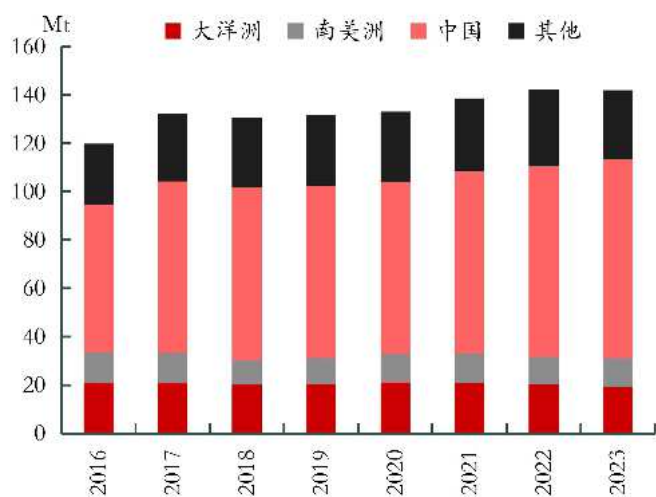
图表 1：分地区氧化铝产量.....	5
图表 2：分地区原铝产量.....	5
图表 3：我国冶金级氧化铝产能（月度） .....	5
图表 4：我国电解铝产能（月度） .....	5
图表 5：我国冶金级氧化铝运行产能分布（2024 年 5 月） .....	6
图表 6：我国电解铝运行产能分布（2024 年 5 月） .....	6
图表 7：我国再生铝产量.....	6
图表 8：我国再生铝产量占比.....	6
图表 9：铝生产简化流程图.....	7
图表 10：铝生命周期温室气体排放量占比.....	7
图表 11：拜耳法生产氧化铝流程简图.....	8
图表 12：拜耳法氧化铝生产工艺物质流量图.....	9
图表 13：电解铝生产流程简图.....	9
图表 14：2022 年分地区原铝冶炼电力消耗结构.....	10
图表 15：中国铝业电解铝生产碳排放强度.....	11
图表 16：2023 年云铝股份用电结构.....	11
图表 17：电解铝单位产品能源消耗限额等级.....	12
图表 18：我国部分地区电解铝企业能耗情况.....	13
图表 19：铝行业能效管理政策梳理.....	15
图表 20：铝冶炼行业温室气体排放核算边界.....	16
图表 21：阳极消耗排放计算相关参数及缺省值.....	16
图表 22：阳极效应排放计算相关参数及缺省值.....	17
图表 23：电解铝行业不同能耗水平对应碳排放强度.....	18
图表 24：其他碳市场电解铝行业基准值设定.....	19
图表 25：样本企业光伏装机容量分布（万千瓦） .....	20
图表 26：样本企业光伏装机容量区域分布（万千瓦） .....	20
图表 27：样本企业风电装机容量分布（万千瓦） .....	20
图表 28：样本企业在建/拟建风光发电项目分布（万千瓦） .....	20
图表 29：2021 年区域电力平均二氧化碳排放因子.....	21
图表 30：典型企业配额盈缺情况.....	23
图表 31：存在电耗优势的电解铝企业.....	23
图表 32：各省绿电交易环境溢价情况.....	24
图表 33：分电网区域绿电交易量历史变动.....	24

图表 34：分电网区域绿电交易环境溢价历史变动.....	24
图表 35：不同电耗水平下绿电铝的绿电成本与火电铝的碳成本对比.....	25
图表 36：电解铝绿电溢价与碳价的均衡情形.....	25
图表 37：2023 年电解铝行业用电结构.....	26
图表 38：2023 年我国绿电铝产能分布（按运行产能计）.....	26
图表 39：绿电铝核准额度省级产区 TOP5.....	27
图表 40：绿电铝核准额度企业/集团 TOP6.....	27
图表 41：水力发电量存在明显季节性.....	28
图表 42：2017 年以来云南省弃水压力明显缓解.....	28
图表 43：2021 年以来云南省内用电量增速明显高于发电量增速.....	28
图表 44：云南电解铝开工率波动较大.....	28
图表 45：2023 年云南省发电设备装机结构.....	29
图表 46：2023 年云南省发电量结构.....	29
图表 47：内蒙古发电设备装机容量.....	30
图表 48：新疆发电设备装机容量.....	30
图表 49：甘肃发电设备装机容量.....	30
图表 50：内蒙古、新疆、甘肃绿电量.....	30

## 1、铝冶炼行业概况

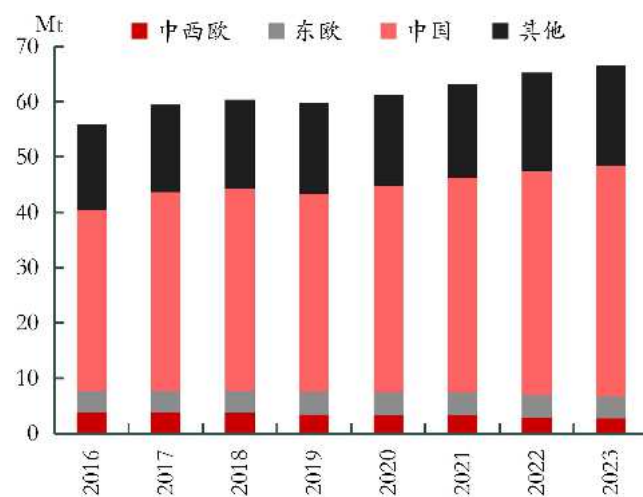
由于资源丰富、应用广泛，铝是全球生产和消费量最大的有色金属品种，铝冶炼也是全球最大的有色金属工业活动。我国是全球最大的铝生产和消费国，根据 IAI 数据，2023 年全球氧化铝和原铝产量分别为 1.42 亿吨和 7,059 万吨，我国产量占比分别为 58%和 59%。

图表 1：分地区氧化铝产量



资料来源：IAI

图表 2：分地区原铝产量



资料来源：IAI

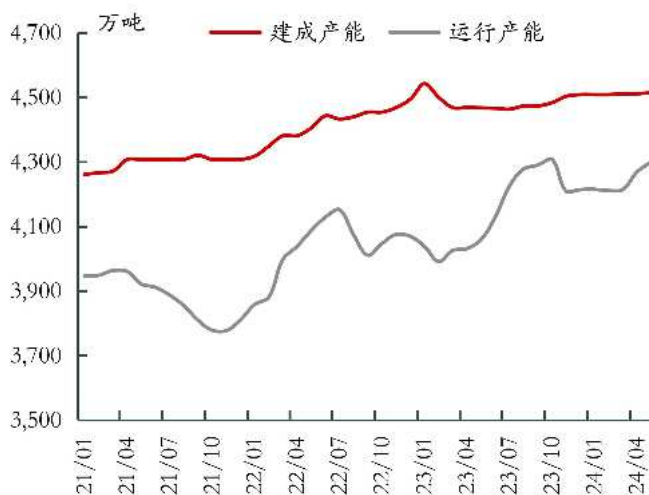
由于政策严格管控，我国氧化铝和电解铝建成产能已基本达到峰值，其中电解铝建成产能已基本接近合规产能上限。从国内产能分布来看，我国氧化铝产能主要分布在山东、山西、广西、河南等地，电解铝产能则主要分布在山东、新疆、内蒙古、云南等地。

图表 3：我国冶金级氧化铝产能（月度）



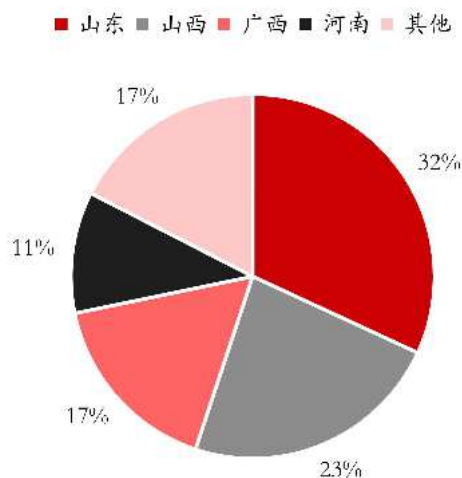
资料来源：Mysteel

图表 4：我国电解铝产能（月度）



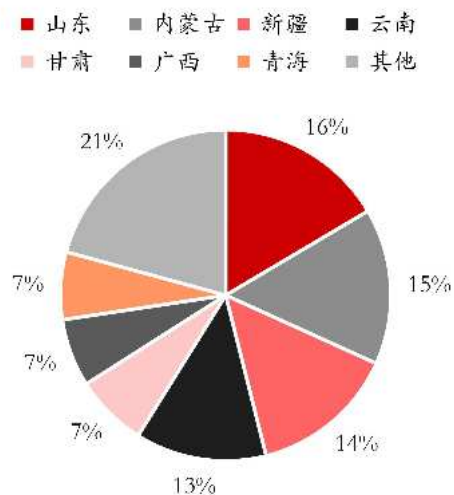
资料来源：Mysteel

图表 5：我国冶金级氧化铝运行产能分布（2024 年 5 月）



资料来源：Mysteel，东证衍生品研究院

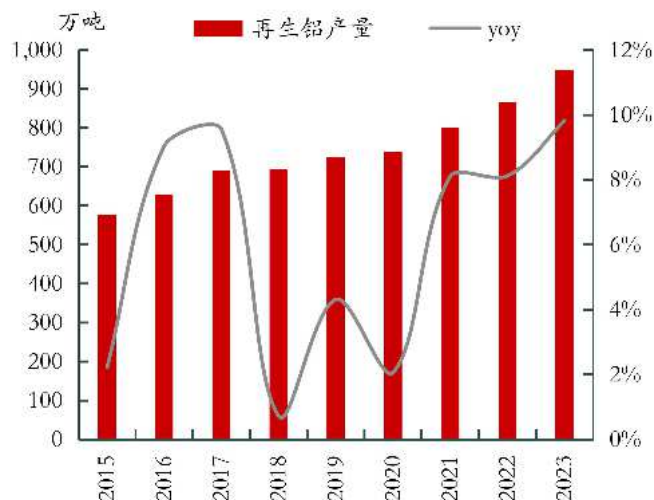
图表 6：我国电解铝运行产能分布（2024 年 5 月）



资料来源：Mysteel，东证衍生品研究院

铝价值链包括铝土矿开采、氧化铝生产、原铝或再生铝生产、终端产品生产以及回收利用等全过程。由于能耗强度和碳排放强度均较低，再生铝在碳中和的背景下更具有成本优势，但由于废铝回收等政策体系尚不完善、行业存在准入门槛和技术壁垒等因素，再生铝行业的发展受到一定限制。世界再生铝产量占比超过 30%，而我国目前约为 18%，仍有较大的发展空间。

图表 7：我国再生铝产量



资料来源：商务部，CMRA，东证衍生品研究院

图表 8：我国再生铝产量占比

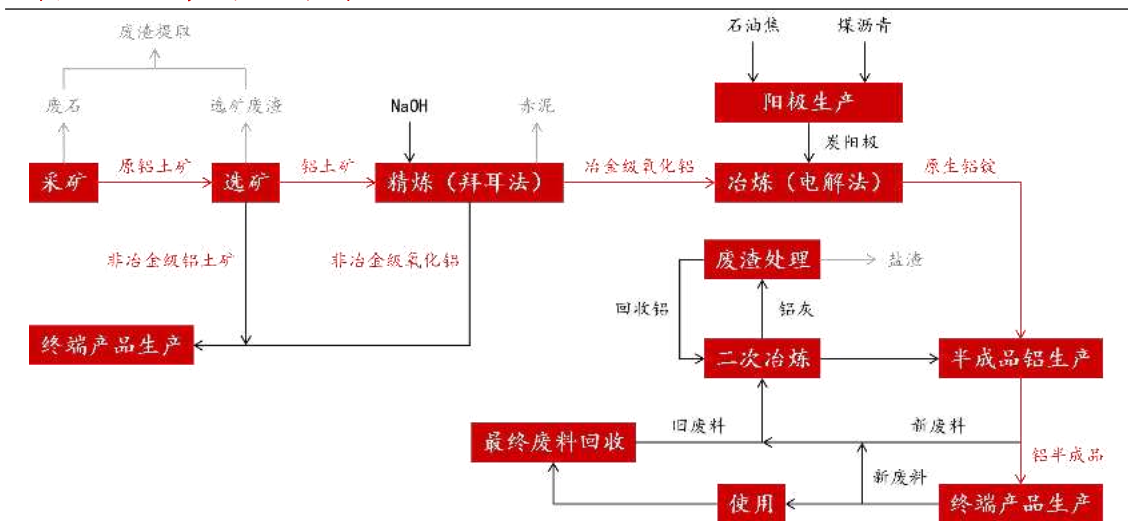


资料来源：国家统计局，商务部，CMRA，东证衍生品研究院



从全生命周期的视角来看，铝冶炼流程包括了从矿石开采到废料回收的全过程，主要的中间产品和产成品包括氧化铝、原铝（电解铝）和再生铝。氧化铝和原铝的生产也是整个产业链中碳排放量最大的环节。

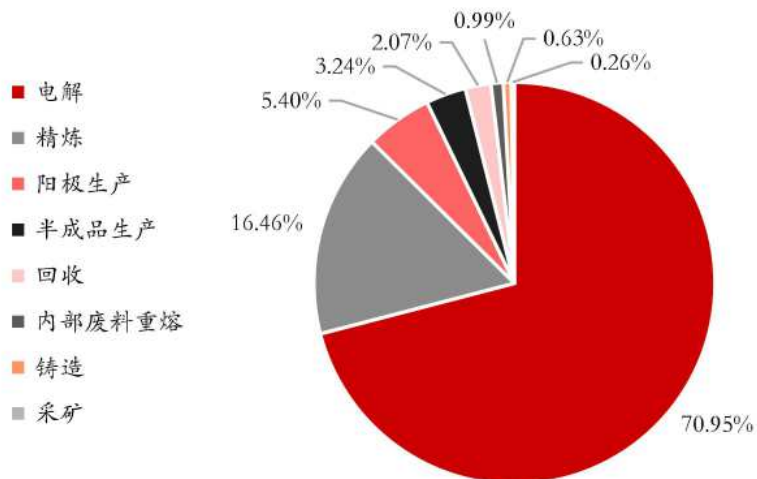
图表 9：铝生产简化流程图



资料来源：JRC，东证衍生品研究院

从具体的生产环节来看，电解环节的排放量占到全生命周期的约 70%，其次是氧化铝精炼。电解环节的排放量主要来自于电力的间接排放，火电是原铝主产国电解耗电量的主要来源，因此该环节碳排放强度较高。

图表 10：铝生命周期温室气体排放量占比



资料来源：IAI，东证衍生品研究院

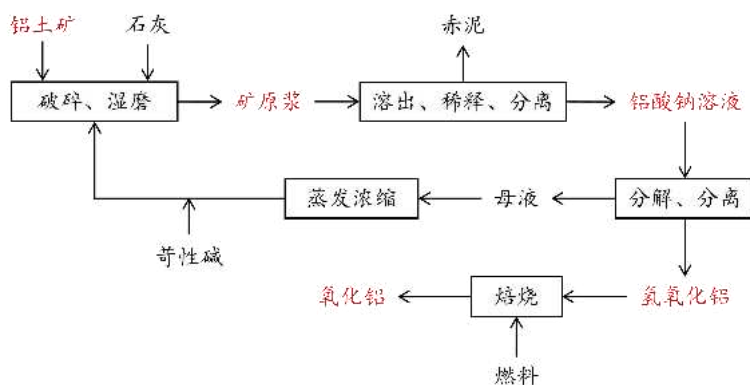
## 2、原铝生产过程中的能耗和温室气体排放

原铝生产过程的能耗主要是电力、热力以及直接能源消耗，温室气体排放则主要来自于电/热消耗的间接排放、燃料燃烧的直接排放和主要冶炼过程中化学反应的直接排放。

### 2.1、氧化铝生产过程的能耗和温室气体排放

拜耳法是目前世界主流的氧化铝生产工艺，其基本原理是使用氢氧化钠溶出铝土矿中的水合氧化铝得到铝酸钠溶液，添加晶种后搅拌析出氢氧化铝晶体，最后焙烧得到氧化铝产品。我国生产氧化铝的原料消耗大约为，每生产1吨氧化铝，约消耗铝土矿2.4-2.7吨，烧碱0.11-0.13吨，石灰0.2-0.25吨，使用不同品位的铝土矿会影响实际的原料用量。

图表 11：拜耳法生产氧化铝流程简图



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

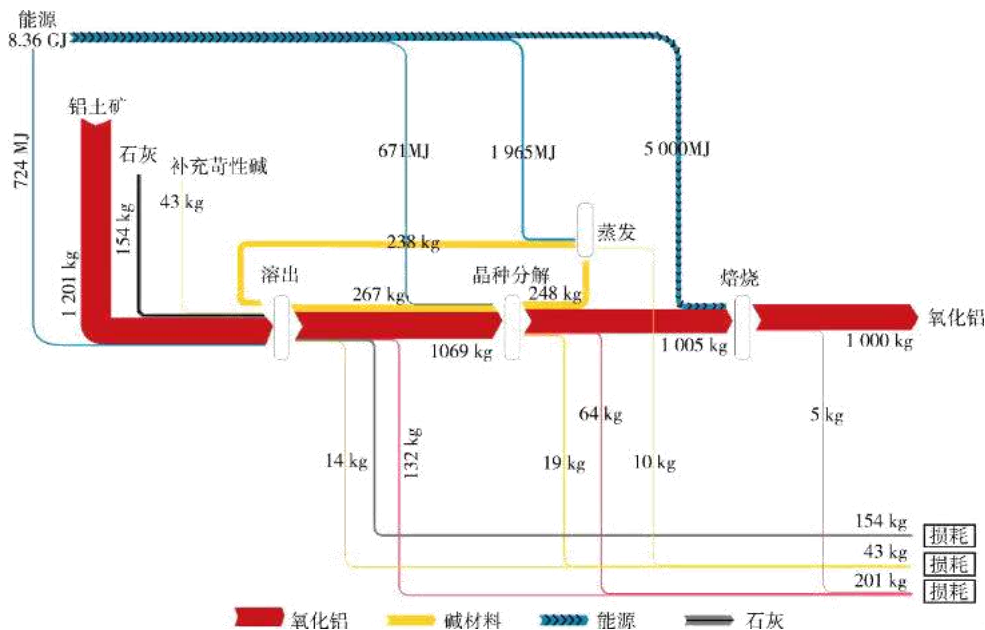
拜耳法生产工艺过程中的温室气体排放主要来自于石灰石分解过程的直接排放（如果使用纯碱也会分解产生二氧化碳）、燃料燃烧过程的直接排放以及使用电力的间接排放。

我国铝土矿资源以一水硬铝石型铝土矿为主，具有高铝、高硅、低铁等特点，但溶出条件较为严苛。添加石灰可以提高一水硬铝石型铝土矿中氧化铝的溶出速度和溶出率，减少苛性碱的损失，并起到脱硫脱硅、改善赤泥沉降性能等作用。石灰石（ $\text{CaCO}_3$ ）分解为生石灰（ $\text{CaO}$ ）的过程中会产生二氧化碳。

同时，铝酸钠溶液的溶出过程需要高温高压的环境，母液的蒸发环节则需要低压蒸汽，这两个环节所使用的蒸汽大约占到总蒸汽消耗量的67%。而蒸汽的产生来自燃料（主要是动力煤）燃烧，会产生二氧化碳。在氢氧化铝焙烧过程中，焙烧炉所使用的燃料主要是重油、煤气、天然气等，也会产生大量的二氧化碳排放。蒸汽和焙烧燃料占到整个氧化铝生产过程能耗的80%以上。



图表 12：拜耳法氧化铝生产工艺物质流量图



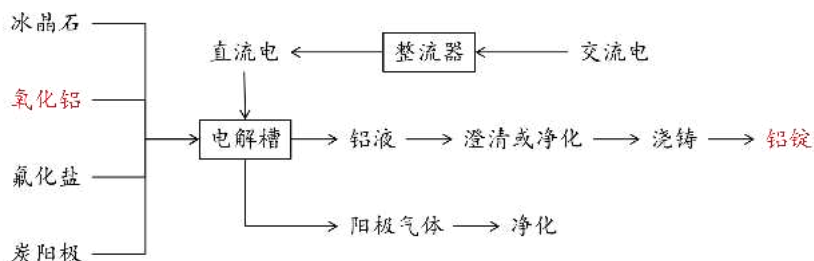
资料来源：《氧化铝不同生产工艺资源环境效率比较》

## 2.2、铝电解工序的能耗和温室气体排放

电解铝的生产普遍采用冰晶石—氧化铝熔融电解法（又称霍尔—埃鲁特熔盐电解法），在电解工序中，以氧化铝为电解质原料、冰晶石为溶剂、氟化盐等为辅料、预焙炭块作为阳极。当向电解槽中通入直流电后，即在两极上发生电化学反应，在阴极上析出铝液。

在这一过程中，温室气体排放主要包括：1）阳极消耗产生的直接二氧化碳排放；2）铝电解工序电力消耗产生的间接二氧化碳排放；3）电解过程中因阳极效应产生的四氟化碳（ $\text{CF}_4$ ）和六氟化二碳（ $\text{C}_2\text{F}_6$ ）温室气体排放。

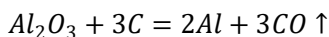
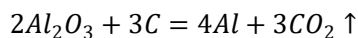
图表 13：电解铝生产流程简图



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 1. 阳极消耗排放

在实际生产过程中，电解槽中的阳极产物主要是  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$ ， $\text{CO}$  由电解过程中的副反应产生：

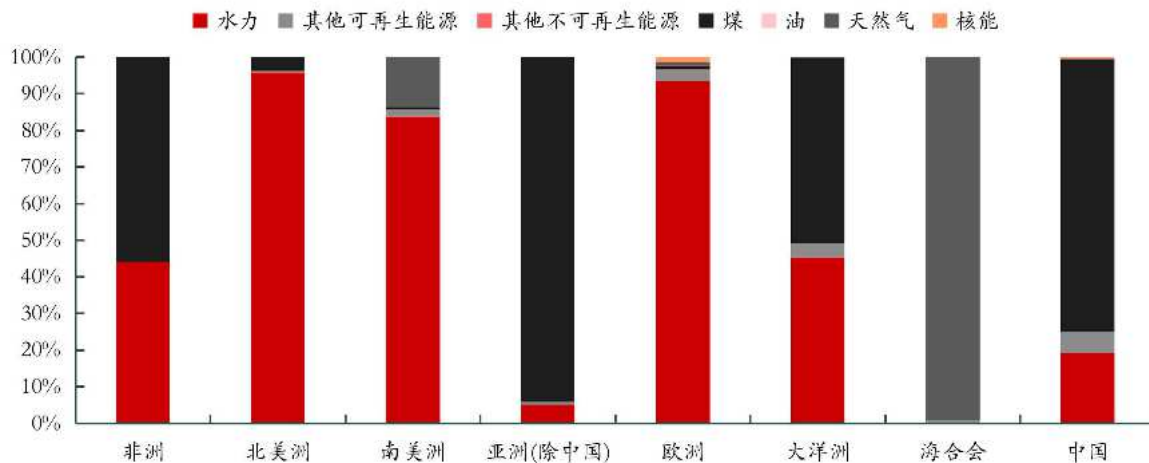


## 2. 电力消耗排放

电解铝生产过程中最大的能源消耗就是电力。整流器将交流电转换为直流电，为电解槽提供稳定的直流电源。生产一吨铝大约需要消耗 13,500 度电，如果这些电力全部来自于煤电，那么大约会产生 11-12 吨二氧化碳间接排放，如果按照平均电力排放因子<sup>1</sup>计算，则对应约 8 吨二氧化碳间接排放。

从电解铝的实际电力消耗结构来看，根据 IAI 公布的数据，我国 2022 年煤电消耗占比约为 75%，占据主导地位，水电消耗占比约为 19%。中国以外的亚洲国家煤电占比更高，而北美、南美以及欧洲基本都是水电铝，海合会依赖其充足的天然气储备满足了其几乎全部的电解铝用电需求。

图表 14：2022 年分地区原铝冶炼电力消耗结构



资料来源：IAI，东证衍生品研究院

## 3. 阳极效应排放

当电解质中的氧化铝浓度低于正常值时，阳极表面含氧离子浓度会迅速降低，造成阳极过电位和槽电压相应增加，此现象为“阳极效应”。在此过程中，冰晶石熔融盐 ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )

<sup>1</sup> 2021 年全国电力平均二氧化碳排放因子（不包括市场化交易的非化石能源电量）为 0.5942kgCO<sub>2</sub>/kWh。

会与炭阳极发生反应产生四氟化碳（CF<sub>4</sub>）和六氟化二碳 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>，其全球变暖潜势（GWP）分别为 6,630 和 11,100<sup>2</sup>。



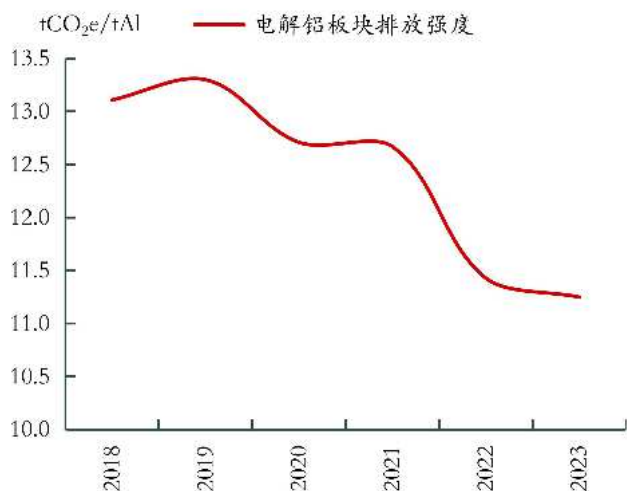
由于全氟化碳是 GWP 最大的温室气体种类，因此即使是微小的排放也不容忽视。

### 2.3、我国电解铝企业能耗现状

电解铝行业的碳排放绝大部分来自于电力消耗的间接排放。电解铝行业的用电一般分为自备电和网电，目前自备电占比约 60%，均为火电，由于政策管控，自备电占比正逐年下降，绿电占比则不断提升。根据中国有色金属协会的数据，我国电解铝行业绿电使用比例从 2015 年的 13.4% 提升至 2023 年的 24.4%。

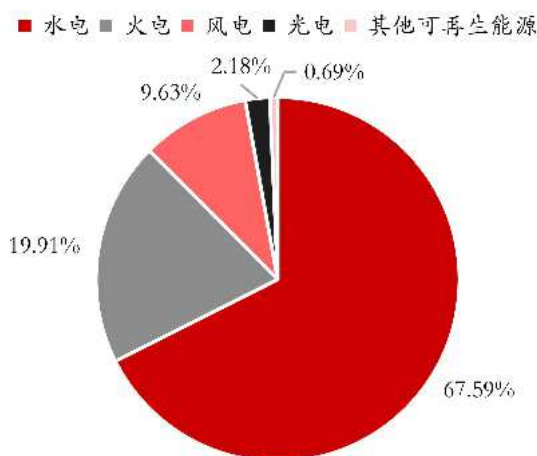
从目前可公开查询到相关数据的部分企业为例，中国铝业（含云铝股份）目前铝电解环节所使用的绿电占比约为 45%，2023 年电解铝板块碳排放强度<sup>3</sup>为 11.25tCO<sub>2</sub>e/tAl，较 2018 年下降 14.2%；云铝股份绿电占比则超过了 80%，其中水电占据绝对优势。

图表 15：中国铝业电解铝生产碳排放强度



资料来源：公司公告

图表 16：2023 年云铝股份用电结构



资料来源：公司公告

用电结构影响着碳排放强度，而电解槽的电耗水平则影响着用电量。自 2024 年 1 月 1 日起，《电解铝和氧化铝单位产品能源消耗限额》（GB 21346—2022）正式实施，其中，

<sup>2</sup> 数据来自联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告（IPCC AR5 报告），即四氟化碳和六氟化二碳的温室效应分别是等量二氧化碳的 11,100 倍和 6,630 倍。

<sup>3</sup> 核算方式可能与《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》（征求意见稿）存在较大差异。

电解铝能耗强度被分为 3 个等级<sup>4</sup>。该文件中规定，现有电解铝企业单位产品能耗限定值应不大于 3 级，新建、改扩建电解铝企业单位产品能耗准入值应不大于 2 级。同时，2014 年 9 月开始实施的 GB 21346-2013 标准被废止。对比两版标准，新的标准降低了现有产能的能耗限定值，而提高了对新建产能的能耗限定值，即在提高对现有企业已有设备的能效要求的同时，降低了对新建、改扩建项目的门槛。

图表 17：电解铝单位产品能源消耗限额等级

指标	能耗限额等级 (GB 21346-2022)			能耗限额限定值 (GB 21346-2013)		
	1 级	2 级	3 级	先进值	新建	现有
铝液交流电耗 (kWh/t)	≤12,950	≤13,000	≤13,350	≤12,650	≤12,750	≤13,700
铝液综合交流电耗 (kWh/t)	≤13,250	≤13,350	≤13,700	≤13,050	≤13,150	≤14,050
铝锭综合交流电耗 (kWh/t)	≤13,300	≤13,400	≤13,750	≤13,100	≤13,200	≤14,100
铝锭综合单耗 (kgce/t)	≤1,670	≤1,680	≤1,720	≤1,660	≤1,680	≤1,760

资料来源：国家标准化管理委员会

2021 年 8 月，国家发改委发布《关于完善电解铝行业阶梯电价政策的通知》，其中明确，每年一季度，省级节能主管部门要会同有关部门结合本地实际，组织对当地所有电解铝企业开展专项节能监察，于 3 月底前形成节能监察结果，包括当地所有电解铝企业上年度及节能技术改造前后（如有）的铝液综合交流电耗、铝液生产用电量等，节能监察结果应同时转省级发展改革部门。

从已公示的部分省市（内蒙古、河南、青海、新疆、山东、宁夏、广西）的交流电耗数据情况来看，2021-2022 年，大部分已公示的产能的铝液交流电耗在 13,200-13,500kWh/t 左右，铝液综合交流电耗在 13,400-13,800kWh/t 左右，均低于 GB 21346-2013 所规定的限定值。目前只有内蒙古自治区公布了 2023 年的能耗数据，省内铝液综合交流电耗极差较大，中位数为 13,407kWh/t。

<sup>4</sup> 铝液交流电耗的统计范围为：电能进入电解槽整流器起，至铝液过磅离开电解车间止消耗的电量扣除电解槽启动、停槽短路口压降消耗的电量。铝液综合交流电耗的统计范围为：原料进入生产界区起，至铝液过磅离开电解车间止消耗的电量（含电解铝液生产、电解槽启动、停槽短路口压降、系列烟气净化、整流、空压机、物料输送、动力照明等辅助系统消耗的交流电量和线路损失）。

图表 18：我国部分地区电解铝企业能耗情况<sup>5</sup>

统计年份	地区	企业名称	铝液交流电耗 (kWh/tAl)	铝液综合交流电耗 (kWh/tAl)
2023	内蒙古	内蒙古华云新材料有限公司		13,009.64
		包头铝业有限公司		13,407.01
		包头市新恒丰能源有限公司		13,333.27
		东方希望包头稀土铝业有限公司		13,441.10
		鄂尔多斯市蒙泰铝业有限责任公司		13,042.05
		大唐国际呼和浩特铝电有限责任公司		13,645.50
		内蒙古创源金属有限公司		13,295.72
		内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司		13,490.07
		内蒙古锦联铝材有限公司		13,477.91
2022	河南	河南万基铝业股份有限公司	13,147.72	13,415.99
		伊电控股集团有限公司	13,133.00	13,571.28
		焦作万方铝业股份有限公司		13,627.46
		河南中孚铝业有限公司	13,195.09	13,435.66
		河南恒康铝业有限公司		13,497.44
2022	青海	(8 家电解铝生产企业)		13,650 以下
2022	重庆	(3 家电解铝生产企业)	13,226.00	13,523.00
2022	新疆	兵团第八师天山铝业股份有限公司	13,241.80	13,433.20
2021		新疆农六师铝业有限公司	13,237.64	13,624.39
		新疆东方希望有色金属有限公司	13,512.67	13,948.33
		新疆其亚铝电有限公司	13,387.00	13,776.00
		新疆天龙矿业股份有限公司	13,416.00	13,689.00
		新疆神火煤电有限公司	13,548.00	13,876.50
		新疆嘉润资源控股有限公司	13,456.00	13,836.00
		新疆众和股份有限公司	13,161.00	13,495.00
2021	山东	山东南山铝业股份有限公司		13,713.59
		聊城信源集团有限公司		13,334.96
		山东信发华源铝业有限公司		13,471.50
		山东信发华信铝业有限公司		13,247.67
		滨州市宏诺新材料有限公司		13,471.50
		邹平县宏茂新材料科技有限公司		13,460.77
		邹平县宏正新材料科技有限公司		13,444.85
		邹平县汇盛新材料科技有限公司		13,472.20
		惠民县汇宏新材料有限公司		13,462.73
		阳信县汇宏新材料有限公司		13,468.94
		滨州市北海汇宏新材料有限公司		13,459.72
2021	宁夏	青铜峡铝业股份有限公司宁东铝业分公司	13,338.00	
		青铜峡铝业股份有限公司青铜峡铝业分公司	13,427.00	
		宁夏宁创新材料科技有限公司	13,522.00	

<sup>5</sup> 除山东省外，其余地区企业电耗取各生产线能耗算术平均数。

2021	广西	广西华磊新材料有限公司	12,734.98	
		广西信发铝电有限公司	13,292.93	
		广西百色银海铝业有限责任公司	13,441.32	
		广西百矿铝业有限公司	13,074.18	
		广西翔吉有色金属有限公司	13,259.60	
		广西来宾银海铝业有限责任公司	12,943.77	

资料来源：重庆市能源利用监测中心，广西壮族自治区发改委，河南省发改委，青海省工信厅，山东省发改委，新疆生产建设兵团工信厅，新疆维吾尔自治区工信厅，内蒙古自治区工信厅，宁夏回族自治区工信厅，东征衍生品研究院

2024年4月，工信部对2023年重点行业能效“领跑者”进行公示，其中电解铝行业的“领跑者”企业为广西华磊新材料有限公司，其铝液交流电耗12,744.46kWh/t，代表了我国电解铝行业的能效先进水平。

电解槽的电耗水平很大程度上取决于电解槽的结构和容量。按照阳极结构，铝电解槽可以分为自焙阳极电解槽和预焙阳极电解槽两大类；按照电流强度，可以分为小型（85kA以下）、中型（85-160kA）、大型（160-400kA）和超大型（400kA以上）电解槽。目前电解铝企业广泛使用的是大型与超大型预焙阳极电解槽，具有单槽容量大、能源利用率高、污染小等特点。

在保证运行稳定性的前提下，理论上电流强度越大，电解能耗强度越低。根据气候变化绿皮书《应对气候变化报告（2023）：积极稳妥推进碳达峰碳中和》，截至2022年底，中国自主研发的400kA及以上槽型的电解铝产能占比达到72.6%，500kA及以上槽型的电解铝产能占比达到36.7%，600kA及以上槽型的电解铝产能占比达到8.8%；2022年，中国氧化铝综合能耗为321kgce/t，较2021年下降了48kgce/t；电解铝综合交流电耗为13,448kWh/t，较2021年下降了63kWh/t；平均电解铝直流电耗为12,783kWh/t，较2021年下降了40kWh/t。目前我国在建、拟建的项目中，约95%以上的产能采用500或600kA的槽型，未来大容量、高效节能槽型的产能所占比重量会越来越大。

为了规范电解铝的行业秩序、推动电解铝行业的节能降耗工作，我国近几年不断出台和完善相关的政策指引，推进铝行业供给侧结构性改革，严控新增产能，加强环保监督，加速淘汰落后产能。随着电解铝行业纳入全国碳市场，碳排放强度大的企业将面临更大的绿色转型压力。根据GB 21346-2022，国家发展改革委等部门制定了《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》，其中铝液交流电耗的基准水平为13,350kWh/t，标杆水平为13,000kWh/t。结合政策指引，预计2025年国内所有铝电解槽的交流电耗均在13,350kWh/t以下，30%的电解槽在13,000kWh/t以下。



图表 19：铝行业能效管理政策梳理

时间	文件名称	相关内容
2021 年 8 月	《关于完善电解铝行业阶梯电价政策的通知》	按铝液综合交流电耗对电解铝行业阶梯电价进行分档。基于清洁能源利用水平动态调整加价标准。鼓励电解铝企业提高风电、光伏发电等非水可再生能源利用水平，减少化石能源消耗。
2021 年 9 月	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	新建、扩建电解铝等高耗能高排放项目严格落实产能等量或减量置换。充分发挥政府投资引导作用，构建与碳达峰、碳中和相适应的投融资体系，严控电解铝等高碳项目投资。
2021 年 10 月	《2030 年前碳达峰行动方案》	巩固化解电解铝过剩产能成果，严格执行产能置换，严控新增产能。推进清洁能源替代，提高水电、风电、太阳能发电等应用比重。
2021 年 10 月	《关于严格能效约束推动重点领域节能降碳的若干意见》	到 2025 年，通过实施节能降碳行动，电解铝等重点行业 and 数据中心达到标杆水平的产能比例超过 30%，行业整体能效水平明显提升，碳排放强度明显下降，绿色低碳发展能力显著增强。
2021 年 10 月	《关于印发〈“十四五”全国清洁生产推动方案〉的通知》	要求严格高耗能高排放项目准入，新建、改建、扩建项目应采取先进适用的工艺技术和装备，单位产品能耗、物耗和水耗等达到清洁生产水平。
2021 年 11 月	《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》	明确重点区域严禁新增电解铝产能。
2022 年 2 月	《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022 版）》	电解铝领域重点推动节能低碳技术改造，鼓励电解铝企业提升清洁能源消纳能力。到 2025 年，电解铝能效标杆水平以上产能比例达到 30%，能效基准水平以下产能基本清零。
2022 年 11 月	《有色金属行业碳达峰实施方案》	鼓励消纳可再生能源，提高可再生能源使用比例，逐步减少使用火电的电解铝产能。“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。
2023 年 6 月	《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023 版）》	对拟建、在建项目，应对照能效标杆水平建设实施。对能效介于标杆水平和基准水平之间的存量项目，鼓励加强绿色低碳工艺技术装备应用。对能效低于基准水平的存量项目，各地要明确改造升级和淘汰时限。
2023 年 11 月	《空气质量持续改善行动计划》	加快退出重点行业落后产能。引导重点区域电解铝等产业有序调整优化。
2023 年 12 月	《关于印发集成电路制造、锂离子电池及相关电池材料制造、电解铝、水泥制造四个行业建设项目环境影响评价文件审批原则的通知》	新建电解铝项目铝液交流电耗应达到能效标杆水平。将温室气体排放纳入电解铝项目环境影响评价，核算建设项目温室气体排放量。鼓励电解铝项目使用绿电、铝电解槽及低温电解烟气余热利用、新型阴极节能及阳极保护、铝水直接合金化等协同减污降碳技术。

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

### 3、铝冶炼行业即将纳入全国碳市场

今年 1 月 30 日，在中国有色金属工业协会举行的新闻发布会上，中国有色金属工业协会党常委、副会长兼新闻发言人陈学森表示，按照《碳排放权交易管理办法（试行）》要求，年度温室气体排放量达到 2.6 万吨二氧化碳当量的单位应列入温室气体重点排放单位。根据电解铝企业碳排放核查数据，全国共有 80 余家电解铝企业将纳入全国碳市场。

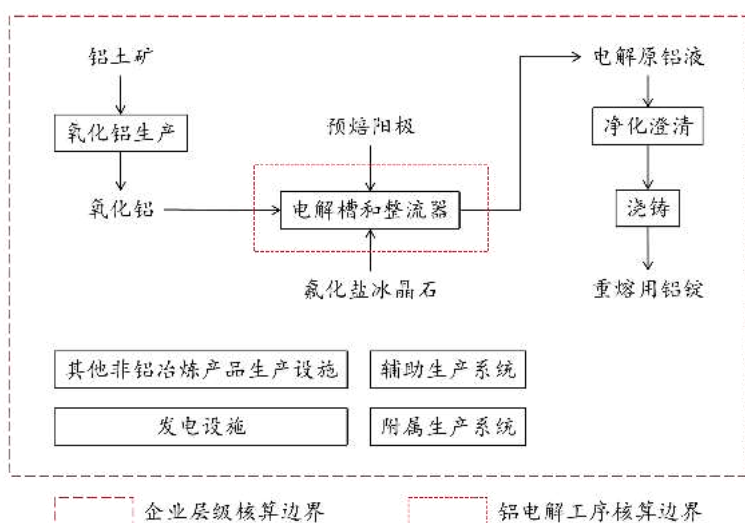
#### 3.1、铝冶炼行业温室气体排放核算浅析

根据生态环境部 2024 年 3 月 15 日发布的《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》（征求意见稿）（以下简称《指南》），铝冶炼生产企业铝电解工序的核算边界为电解槽和整流器等生产装置的集合，企业层级的核算边界是以铝冶炼生产为主营业务的

独立法人或视同法人的独立核算单位为边界，包括主要生产系统、辅助生产系统和附属生产系统。

考虑到数据质量管理以及核算和监管能力等问题，目前《指南》仅对设施层级即铝电解工序的碳排放进行配额分配和排放核查，企业层级的碳排放仅作为报告项，不开展核查。因此目前我们重点关注铝电解工序过程中的温室气体排放。除了二氧化碳排放以外，还包括全氟化碳排放。

图表 20：铝冶炼行业温室气体排放核算边界



资料来源：生态环境部，东证衍生品研究院

针对阳极消耗排放、阳极效应排放和电力消耗排放，《指南》都给出了明确的计算方法指引，其中，阳极消耗排放和阳极效应排放都给出了相应指标的缺省值，且未要求进行排放量实测。

阳极消耗排放的计算公式为：

$$E_{\text{原材料}} = P \times NC_{\text{阳极}} \times (1 - S_{\text{阳极}} - A_{\text{阳极}}) \times \frac{44}{12}$$

图表 21：阳极消耗排放计算相关参数及缺省值

符号	内涵	单位	缺省值
$E_{\text{原材料}}$	阳极消耗产生的排放量	吨二氧化碳 (tCO <sub>2</sub> )	-
$P$	铝液产量	吨铝 (tAl)	-
$NC_{\text{阳极}}$	吨铝阳极净耗量	吨阳极/吨铝 (tC <sub>阳极</sub> /tAl)	0.398
$S_{\text{阳极}}$	阳极平均含硫量	-	2%
$A_{\text{阳极}}$	阳极平均灰分含量	-	0.4%

资料来源：生态环境部

阳极效应排放的计算公式为：

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

**图表 22：阳极效应排放计算相关参数及缺省值**

符号	内涵	单位	缺省值
$E_{\text{阳极效应}}$	阳极效应产生的排放量	吨二氧化碳 (tCO <sub>2</sub> e)	-
$EF_{\text{CF}_4}$	阳极效应的 CF <sub>4</sub> 排放因子	千克四氟化碳/吨铝 (kgCF <sub>4</sub> /tAl)	0.02
$P$	铝液产量	吨铝 (tAl)	-
$GWP_{\text{CF}_4}$	CF <sub>4</sub> 的全球变暖潜势	-	6,630
$EF_{\text{C}_2\text{F}_6}$	阳极效应的 C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> 排放因子	千克六氟化二碳/吨铝 (kgCF <sub>4</sub> /tAl)	0.0011
$GWP_{\text{C}_2\text{F}_6}$	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> 的全球变暖潜势	-	11,100

资料来源：生态环境部

消耗交流电产生二氧化碳排放的计算公式为：

$$E_{\text{电}} = \left( AD_{\text{铝电解工序交流电耗}} - AD_{\text{自发自用非化石电}} - AD_{\text{购入电网非化石电}} \right) \times EF_{\text{电力}}$$

按照缺省值计算，每吨铝液的阳极消耗碳排放强度为 1.424tCO<sub>2</sub>/tAl，阳极效应碳排放强度为 0.1454tCO<sub>2</sub>e/tAl，即过程直接碳排放强度为 1.569tCO<sub>2</sub>e/tAl。如果阳极消耗和阳极效应的排放量计算均使用缺省值，那么不同企业铝电解环节温室气体排放强度的差异仅仅与用电量和用电结构有关。且《指南》明确，同一家企业内自产非化石能源电力通过专线直送给重点排放设施使用的电力；以及电力用户与非化石能源发电企业签署市场化交易合同，并通过电网配送给重点排放设施使用的非化石能源电力这两类电力，其间接排放按 0 计算。

在不同能耗水平和绿电占比的情景假设下，根据 2021 年全国电力平均二氧化碳排放因子（不包括市场化交易的非化石能源电量）0.5942 kgCO<sub>2</sub>/kWh 计算，全国铝冶炼行业电解环节的碳排放强度处于 1.5~9.5tCO<sub>2</sub>e/tAl 之间。如果按照平均绿电占比约 20% 计算，则碳排放强度大多处于 7.6~7.9tCO<sub>2</sub>e/tAl 之间。但实际上，无论是企业自身还是行业协会所公开表述的“绿电占比”数据，都与《指南》中所明确的两类排放量为 0 的电力的统计口径存在明显差异。在目前公开的大部分“绿电占比”数据中，都存在可能不被碳市场所认可的“绿电”，例如新能源保障性消纳和按照省电网绿电比例间接计算的数据。从碳排放核查的角度看，实际行业绿电占比应该是极小的。但无论如何，全国不同电解铝生产线的碳排放强度都将存在较大差异，这种差异主要来自于电力结构，能耗水平的提升所带来的减排作用较为有限。

图表 23：电解铝行业不同能耗水平对应碳排放强度

能耗水平	铝液交流电耗 (kWh/t)	绿电占比	间接碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> e/tAl)	直接碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> e/tAl)	总碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> e/tAl)
行业先进值	12,700	0%	7.546	1.569	9.115
		25%	5.660		7.229
		50%	3.773		5.342
		75%	1.887		3.456
		100%	0.000		1.569
行业标杆值	13,000	0%	7.725		9.294
		25%	5.793		7.362
		50%	3.862		5.431
		75%	1.931		3.500
		100%	0.000		1.569
行业基准值	13,350	0%	7.933		9.502
		25%	5.949		7.518
		50%	3.966		5.535
		75%	1.983		3.552
		100%	0.000		1.569

资料来源：东证衍生品研究院

### 3.2、铝冶炼行业配额分配方案的设想

根据市场公开消息，电解铝行业的配额分配将采用基准值法。参考发电行业，配额的总量设定分配大概率秉持总体平衡的原则，不额外增加行业负担，鼓励先进，惩罚落后。因此对于基准值的设定，需要考虑到两方面因素：一是行业总体平衡，二是给予高排放企业适度的减排压力。行业总体平衡意味着基准值设定应参考行业实际排放强度均值，在这种平衡条件下，给予高排放企业的压力和给予低排放企业的奖励应当基本对等。

目前，将电解铝行业纳入管控范围的碳市场主要包括欧盟碳市场、美国加州碳市场、我国福建省试点碳市场和重庆市试点碳市场。以上四个市场的配额分配均采用的是基准值法，但覆盖的排放范围和基准值设定均有较大差异。具体来看，欧盟碳市场和美国加州碳市场均仅对直接排放进行管理，欧盟碳市场的基准值设定与前述《指南》中计算得到的直接碳排放强度接近。

我国福建省试点碳市场仅覆盖间接排放，而重庆市试点碳市场包括了 PFCs 直接排放和间接排放，均与《指南》存在差异。从基准值设定来看，福建碳市场设定的电网排放因子为 0.6101kgCO<sub>2</sub>/kWh，即对应的交流电耗为 13,342kWh/tAl，处于行业偏低能效水平；重庆碳市场设定的直接排放强度约为 0.2825tCO<sub>2</sub>e/tAl，电网排放因子为 0.5810kgCO<sub>2</sub>/kWh，即对应的交流电耗为 12,863kWh/tAl，处于行业偏高能效水平。因此，两个试点碳市场的基准值设定对全国碳市场参考价值均较为有限。

**图表 24：其他碳市场电解铝行业基准值设定**

碳市场	适用时间	基准值 (tCO <sub>2</sub> e/tAl)	覆盖范围
欧盟碳市场	2021-2025 年	1.464	直接排放 (CO <sub>2</sub> +PFCs)
美国加州碳市场	2019 年至今	0.371	直接排放 (CO <sub>2</sub> +PFCs)
福建试点碳市场	2022 年	8.14	间接排放
重庆试点碳市场	2022 年	7.7557	直接排放 (PFCs) + 间接排放

资料来源：CARB, EC, 重庆市生态环境局, 福建省生态环境厅

如前述，电解铝生产线的排放强度差异来自于电力间接排放，因此，基准值的设定应当在铝液交流电耗的行业平均水平上进行小幅调整。由于不同电流强度电解槽的电耗差异范围并不大，大概率所有槽型都使用统一的基准值。假定纳入全国碳市场的电解铝企业的交流电耗均在 13,450kWh/t 以下，20%电解槽产能的交流电耗在 13,000kWh/t 以下，电解槽产能在 12,750~13,450kWh/t 之间大致呈正态分布，则均值为 13,100kWh/t。在均值水平上，绿电占比 100%的企业的碳排放强度将比不使用绿电的企业减少 7.78tCO<sub>2</sub>e/tAl，按照 100 元/吨的碳价计算，每吨铝存在 778 元的碳排放成本差异。

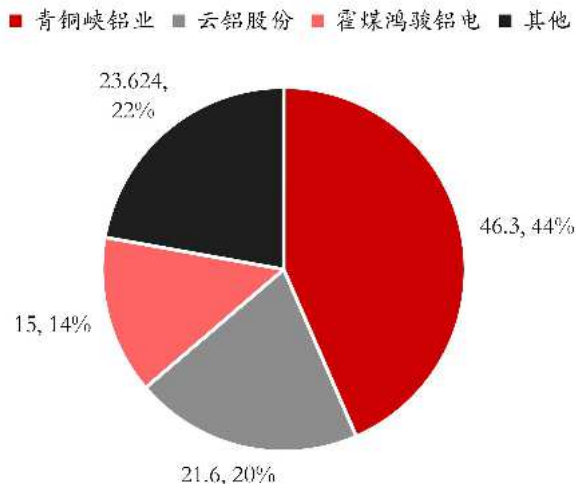
我们收集整理了 87 家电解铝生产企业的用电结构情况，其中拥有自备电的企业共 56 家，据不完全统计，其中 17 家已建成分布式光伏发电系统，总装机容量约 106.5 万千瓦；3 家已建成风电项目，总装机容量约 180 万千瓦；16 家有在建/拟建的风光发电项目，总容量约为 335 万千瓦。已建成的分布式光伏项目主要集中在宁夏、云南和内蒙古，已建成的风电项目中主要属于霍煤鸿骏铝电和青铜峡铝业，在建/拟建风光发电项目主要集中在内蒙古和新疆。经粗略估算，样本企业 2023 年绿色电力发电量约为 33 亿千瓦时。

绿电市场化交易方面，目前，我国国家电网、南方电网和蒙西电网均已开展绿电交易试点。据 2024 年全国能源工作会议披露，2023 年全年绿电交易电量累计达到 611 亿千瓦时。绿电交易主要以省内交易为主，存在跨省跨区交易难等问题。目前，绿电省间交易暂未对用户直接开放，需由电网企业汇总并确认省内用户绿色电力交易需求，再跨区跨省购买绿色电力产品。中电联数据显示，2023 年全国绿色电力省内交易量 537.7 亿千瓦时，占全国市场交易量的比重约为 0.95%。

根据 BNEF 数据，2023 年中国企业绿电交易中，科技巨头、重工业企业、车企和先进制造商目前在绿电市场中最为活跃，我们假定重工业企业绿电交易量占比约为 20%。电解铝行业用电量占全社会用电量的 7%左右，占高载能行业用电量的 25%左右，假定电解铝企业绿电交易量占重工业企业绿电交易量的比例也为 25%左右，那么 2023 年电解铝行业绿电交易量约为 27 亿千瓦时。综上，2023 年可以得到全国碳市场认可的绿电量约为 60 亿千瓦时。假定 2023 年电解铝全行业用电量约为 5,200 亿千瓦时，则绿电占比仅 1.15%。基于铝液平均交流电耗 13,100kWh/t，按照绿电占比 1.2%计算，行业平均碳排放强度约为 9.264tCO<sub>2</sub>e/tAl。考虑行业总体略短缺、平衡和略盈余三种情况，我们假设基准值大约落在 9~9.5tCO<sub>2</sub>e/tAl 的区间内，纳入碳市场的电解铝企业 2023 年的总产量为 4,000 万吨，忽略履约豁免政策的影响，总体配额盈余或短缺的绝对值大约在 1,000 万吨以内。

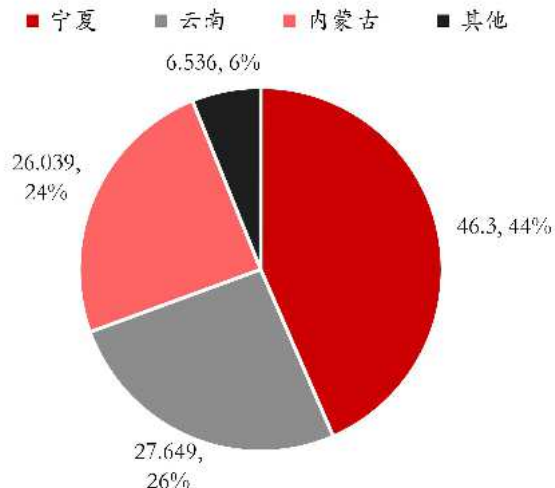


图表 25：样本企业光伏装机容量分布（万千瓦）



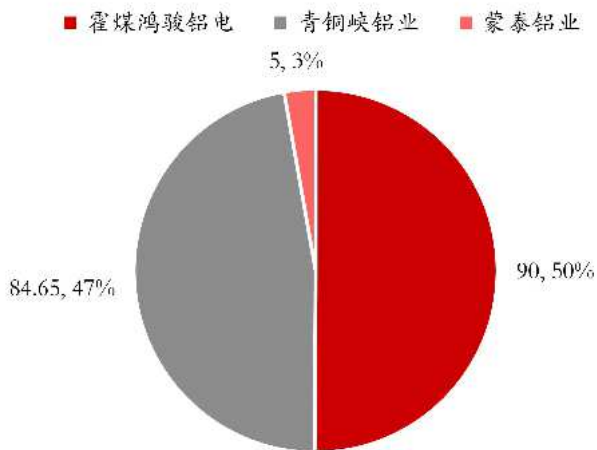
资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 26：样本企业光伏装机容量区域分布（万千瓦）



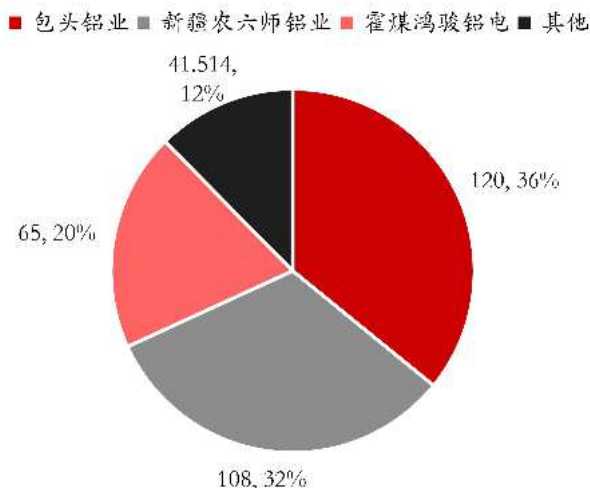
资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 27：样本企业风电装机容量分布（万千瓦）



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 28：样本企业在建/拟建风光发电项目分布（万千瓦）



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

除此之外，还需考虑到的一点是地区间电力结构差异。以西南地区为例，由于资源禀赋优势，西南地区水力发电量约占其总量的六成左右，待开发的水电资源也十分丰富。西南电网 2021 年电力平均碳排放因子仅 0.2113kgCO<sub>2</sub>/kWh，约为全国平均水平的三分之一，其电价优势吸引了大批电解铝企业的产能转移。



图表 29：2021 年区域电力平均二氧化碳排放因子

区域	因子 (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
华北	0.7120
东北	0.6012
华东	0.5992
华中	0.5354
西北	0.5951
南方	0.4326
西南	0.2113

资料来源：生态环境部

《指南》明确，企业与非化石能源发电企业签署市场化交易合同并通过电网配送给排放设施使用的非化石能源电力，其间接排放按 0 计算。但是由于地区资源禀赋的差异和区域间绿电交易的壁垒，可再生能源资源丰富的地区有着天然的低排放优势。如果这种区域差异过于明显，为了保证减排的公平性，就需要对配额的具体分配设置区域调整系数，即对电网排放因子较大的区域设定大于 1 的调整系数，减轻企业减排压力；对电网排放因子较小的区域设定小于 1 的调整系数，限制其配额数量。但就目前所设定的排放核算方式来看，大概率不会设置区域调整系数，或者即便设定了调整系数，也不会对配额量产生较大影响，因为影响配额数量的因子始终是电耗水平和非化石能源电力使用情况。

在将间接排放纳入到电解铝企业履约义务中的情况下，不可避免的就是电力相关配额和排放量重复计算的问题。这种情况的出现有以下几点客观原因：

**1. 温室气体核算方法设定。**《指南》中，除了与电力相关的间接排放，其他过程排放都是采用的缺省值，而不要求实测值。一方面，采用缺省值可以减少企业的核算工作量，另一方面，直接排在电解铝的生产过程中占比较小，且不同企业的直接排放强度可能不会有明显的差异。因此只有计算间接排放才能体现电解铝企业的实际碳排放强度差异，并依此实现“赏罚分明”。

**2. 用电结构中火电占比大。**欧洲国家的电解铝生产基本都是使用的水电，因此其电解铝生产过程中的几乎不存在间接排放。而我国电解铝用电结构中火电依然是占最大的，这也是导致间接排放占比极大的主要原因。用市场手段推动电解铝企业倾向于使用绿电，就必须为间接排放进行定价。

**3. 碳价—电价传导不畅通。**我国发电行业纳入全国碳市场后，火电企业将碳市场与电力市场联系起来。从理论上讲，在电力市场化条件下，碳价和电价会互相影响。一方面，碳价会作为发电成本体现在市场报价中，另一方面，电力市场供需也会影响火力发电量从而影响碳价。在 EU ETS 中，发电企业可以将 60%~100% 的碳成本转移到电价中，因此可以对发电行业的碳排放管理也影响着用电企业，推动企业实施节能减排。但是我国电力市场仍处在从“计划”向“市场”的转型阶段，碳价—电价传导存在较大阻碍。

碳市场的初衷是促进全社会减排，需要企业共担减排责任。重复计算并不会对全国碳市场运行造成明显负面影响：

**1. 配额分配自下而上。**我国碳市场与欧盟、加州等碳市场最大的区别之一在于配额总量的设定方式，EU ETS 采取的是总量控制和交易原则，自上而下进行配额的分配，在这种体系下，并不能允许出现配额和排放量的重复计算，因为欧盟的目的是把所有纳入 EU ETS 的行业的总排放控制在一定水平以下。而对于我国全国碳市场来说，配额的分配是自下而上的，即根据企业的实际产出进行配额分配，不进行总量控制，因此重复计算的问题并不会与碳市场体系相悖。

**2. 配额以免费分配为主。**从配额的分配方式来看，我国全国碳市场配额仍然是免费分配，即使重复计算也不会给企业造成过大的履约压力。随着我国电力市场化程度的提高和免费配额占比的降低，也可以参考欧盟碳市场给予高电耗企业一定的成本补偿。

整体上看，作为纳入全国碳市场的首批工业行业，电解铝配额分配方案大概率秉持行业整体平衡的原则，不会给予企业过大的压力，但是行业内部可能存在明显的碳成本分化。在碳市场的加持下，电解铝的内含环境价值将被体现出来，行业成本曲线更加陡峭，企业绿色转型的动机将愈发强烈，低效产能或被加速淘汰。

### 3.3、部分电解铝企业配额盈缺情况

产量排在前列的电解铝企业主要集中在山东、云南、新疆和内蒙古。可公开查询到的企业绿色电力市场化交易情况极少，但内蒙古电力市场自 2024 年 3 月才启动绿色电力交易，因此 2023 年无内蒙古电解铝企业使用外购绿电。从现有收集到 87 家电解铝企业的信息以及前文计算的基准值来推算，电解铝行业的配额盈余将主要集中在云铝股份、霍煤鸿骏铝电和广西来宾银海铝业等企业手中。建成产能超过 100 万吨的电解铝企业（非集团）中，在不考虑未公开的绿电交易的情况下，除内蒙古锦联铝材外，可能都将面临不同程度的配额缺口。

如果企业使用的电力不包括自发自用的绿电以及市场化交易的绿电，按照前文计算的行业配额总体平衡情况下的基准值  $9.264\text{tCO}_2\text{e/tAl}$ ，只有当铝液交流电耗不大于  $12,950\text{kWh/t}$  时，才不会出现配额缺口。综合爱泽咨询数据和我们收集到的各省对电解铝企业能耗情况的节能监察结果，大约有 13 家电解铝企业存在电耗优势，大概率不存在配额缺口。

图表 30：典型企业配额盈缺情况

公司/集团	2023 年原铝产量 (万吨)	铝液交流电耗 (千瓦时/吨)	自发自用绿电量 (亿千瓦时)	绿电交易 (亿千瓦时)	碳排放强度 (吨 CO <sub>2</sub> 当量/吨)	配额盈余 (万吨)
山东宏桥新型材料有限公司	490	13,050	-	-	9.323	-29
云铝股份 (含 7 家子公司)	239.95	13,050	1.81	5-10	9.031-9.155	26-56
新疆农六师铝业	170	13,140	-	-	9.377	-19
东兴铝业有限公司	169.25	13,160	-	-	9.389	-21
信发集团	165	13,100	-	-	9.353	-15
云南宏泰新型材料有限公司	121	13,050	0.84	-	9.282	-2
兵团第八师天山铝业	116.5	13,180	-	-	9.401	-16
内蒙古锦联铝材	105	12,950	1.35	-	9.187	8
青铜峡铝业	99	13,260	0.36	3.9	9.192	7
霍煤鸿骏铝电	86	12,950	20	-	7.882	119
新疆东方希望有色金属有限公司	82	13,250	-	-	9.442	-15
东方希望包头稀土铝业	81	12,930	-	-	9.252	2
内蒙古华云新材料有限公司	80	12,800	0.86	-	9.111	12
新疆神火煤电有限公司	80	13,200	-	-	9.412	-12
新疆其亚铝电有限公司	80	12,850	-	-	9.204	5
青海百河铝业	68.69	13,350	0.22	0.4	9.418	-13
黄河鑫业有限公司	55.5	13,210	0.14	2.5	9.136	7
内蒙古蒙泰集团	50	12,820	0.43	-	9.136	6
广西来宾银海铝业	50	12,890	-	4.5	8.693	29

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

注：部分产量数据以运行产能替代；铝液交流电耗为基于综合交流电耗的估计值；部分自发自用绿电量为估算值。

图表 31：存在电耗优势的电解铝企业

企业	2023 年原铝产量 (万吨)	铝液交流电耗 (千瓦时/吨)	电耗优势带来的配额盈余 (万吨)
广西华磊新材料有限公司	40	12,744.46	4.9
内蒙古华云新材料有限公司	80	12,800	7.1
内蒙古蒙泰集团	50	12,820	3.8
新疆其亚铝电有限公司	80	12,850	4.7
广西德保百矿铝业有限公司	30	12,850	1.8
广西田阳百矿铝业有限公司	50	12,860	2.7
内蒙古创源金属有限公司	79	12,880	3.3
广西田林百矿铝业有限公司	28	12,880	1.2
广西来宾银海铝业	50	12,890	1.8
包头市新恒丰能源有限公司	50	12,900	1.5
包头铝业有限公司	57	12,920	0.9
东方希望包头稀土铝业	81	12,930	1
广元市林丰铝电有限公司	25	12,930	0.3

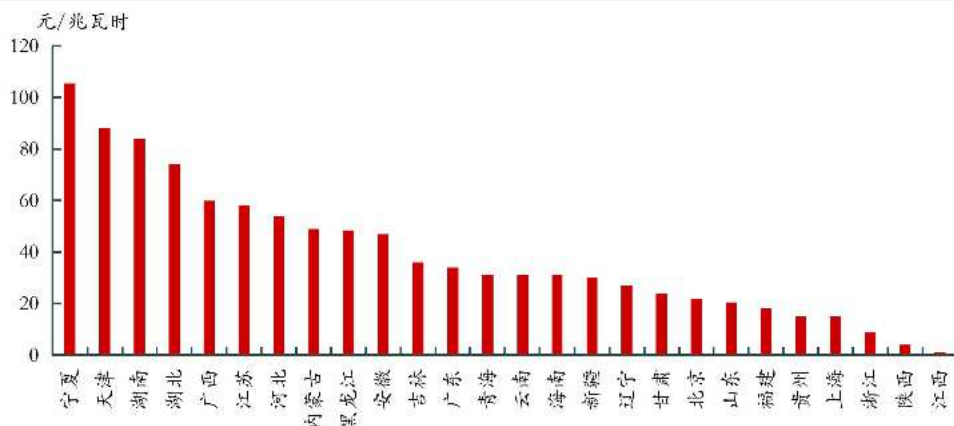
资料来源：东证衍生品研究院

注：产量数据以运行产能替代；铝液交流电耗为基于综合交流电耗的估计值。

### 3.4、碳排放管理下绿电的环境溢价将进一步凸显

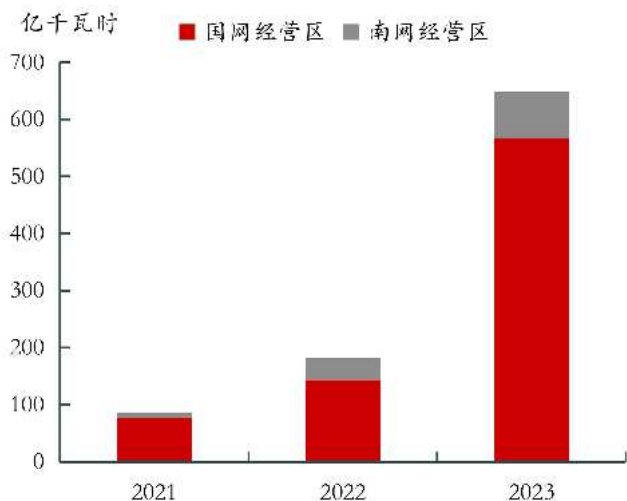
我国绿色电力交易试点自 2021 年 9 月启动,据北京电力交易中心统计,截至 2023 年 3 月,绿电交易成交电价普遍高于当地中长期市场均价,溢价幅度大部分为 20.53~105.52 元/兆瓦时。分区域来看,绿电交易主要集中在国家电网经营区,2023 年交易量明显增长,涨幅约 300%;2023 年南方电网绿电交易量涨幅约超 100%。绿电环境溢价方面,南方电网溢价整体较低,且历史波动幅度较小,而国家电网绿电溢价波动较大。

图表 32: 各省绿电交易环境溢价情况



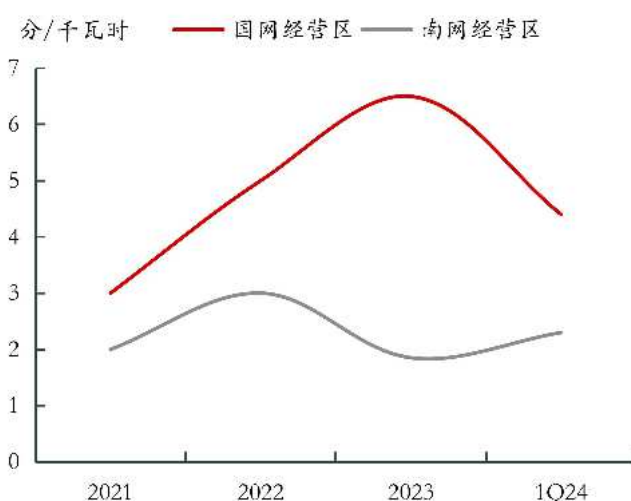
资料来源: 北京电力交易中心

图表 33: 分电网区域绿电交易量历史变动



资料来源: 北京电力交易中心, 广州电力交易中心

图表 34: 分电网区域绿电交易环境溢价历史变动



资料来源: 北京电力交易中心, 广州电力交易中心, 公开资料整理, 东证衍生品研究院

对于电解铝企业来说,在行业纳入碳市场以后,势必需要权衡绿电溢价成本与碳排放成本。从现阶段的情况来看,如果下一履约周期配额依旧是全部免费分配,那么电解铝企

业需要的碳成本即为配额缺口部分。按照 100 元/吨的碳价计算，每吨火电铝的配额缺口成本不超过 30 元，当绿电溢价为 6 分/千瓦时时，碳成本与绿电溢价成本相当。对于电解铝主要产区，在现阶段的绿电溢价水平下，电解铝企业对绿电的需求将略强于对碳配额的需求。我们计算了在不同的电力排放因子和绿电溢价情况下，使得绿电溢价成本与碳排放成本相等的均衡碳价。在相同的绿电溢价水平下，随着电力排放因子的下降，均衡碳价会逐渐上升。在电解铝行业纳入碳市场的情况下，碳市场与绿电市场的发展被更紧密的联系起来。未来如果免费配额分配的比例逐渐降低，高排放企业所需承担的碳成本或绿电成本将逐渐提高，届时将充分激发企业的减排动力。

图表 35：不同电耗水平下绿电铝的绿电成本与火电铝的碳成本对比

铝液交流电耗 (千瓦时/吨)	绿电溢价 (分/千瓦时)	电量超额部分绿电溢价 (元/吨铝)	火电铝碳成本 (元/吨铝)
配额全部免费分配，基准值为 9.264tCO <sub>2</sub> c/tAl，碳价 100 元/吨			
12,800	2	-3	-9
13,000		1	3
13,300		7	21
12,800	4	-6	-9
13,000		2	3
13,300		14	21
12,800	6	-9	-9
13,000		3	3
13,300		21	21
12,800	8	-12	-9
13,000		4	3
13,300		28	21

资料来源：东证衍生品研究院

图表 36：电解铝绿电溢价与碳价的均衡情形

电力排放因子 (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	绿电溢价 (分/千瓦时)	对应均衡碳价 (元/吨)
0.58	5	86
	10	172
	15	259
	20	344
0.56	5	89
	10	179
	15	268
	20	357
0.54	5	93
	10	185
	15	278
	20	370

资料来源：东证衍生品研究院



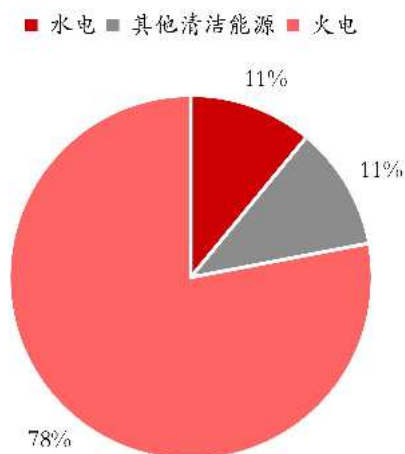
## 4、电解铝行业展望

### 4.1、绿电铝发展和评价现状

自 2017 年我国确立了 4,543 万吨产能天花板以来，电解铝产业结构持续调整，高能耗、高污染、高成本的电解铝产能基本淘汰。燃煤自备电厂受到严格管制，电解铝企业也不断向清洁能源丰富的地区转移，行业清洁能源占比不断提高。

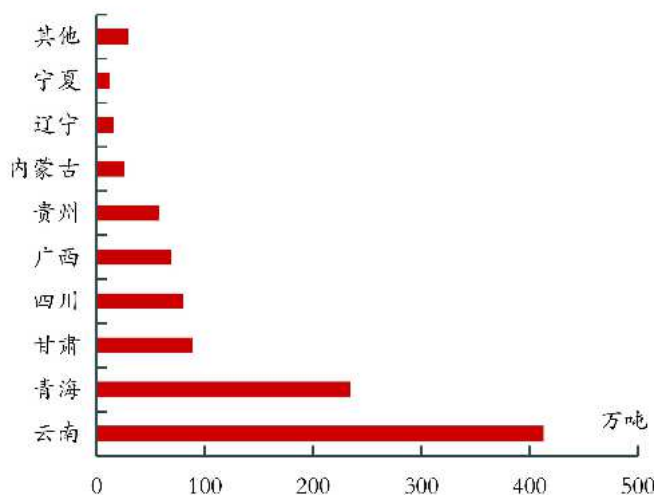
2023 年我国电解铝产量为 4,159 万吨，根据 2023 年已公布的各省清洁能源比例来测算，我国 2023 年的原铝产量中，绿电铝占比 22%，其中绿电铝产量中水电铝占比 51.48%。截至 2023 年底，我国电解铝清洁能源比例已经增加至 24.4%，按照清洁能源占比计算的绿电铝产量约 1,015 万吨。从地区分布来看，绿电铝主要集中在水电资源丰富的西南地区，云南地区绿电铝产量占全国的 40%以上。

图表 37：2023 年电解铝行业用电结构



资料来源：爱择咨询

图表 38：2023 年我国绿电铝产能分布（按运行产能计）



资料来源：安泰科

2023 年 6 月，中国有色金属工业协会绿色产品评价中心启动了绿电铝评价工作，建立了目前我国最为规范绿电铝评价体系。但是从评价细则来看，绿色产品评价中心制定的《绿电铝评价及交易实施细则》与生态环境部制定的《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》（征求意见稿）中对于“绿电”的界定存在较大的差异，“绿电铝”的界定范围更为宽松，被认定为“绿电铝”的产品并不一定能够得到碳市场的认可。但是“绿电铝”评价可以作为目前电解铝行业绿色发展情况的一个写照。

截至 2024 年 4 月，共有 33 家企业获得绿电铝评价证书，累计核发评价证书 53 张，绿电产品评价总额度超过 300 万吨。从地区分布来看，绿电铝主要集中在云南省，有赖于其丰富的水电资源。从企业/集团分布来看，云铝股份、云南宏泰、云南神火排在前列。



图表 39：绿电铝核准额度省级产区 TOP5

产地	核准额度 (吨)	证书数量 (张)	参与企业数量 (家)
云南	1,650,000	11	6
四川	330,000	8	4
内蒙	326,528	10	7
青海	128,796	9	5
甘肃	97,571	5	4

资料来源：中国有色金属工业协会绿色产品评价中心

图表 40：绿电铝核准额度企业/集团 TOP6

企业/集团	核准额度 (万吨)
云铝股份	60
云南宏泰	60
云南神火	45
国家电投	34
四川中孚	30
中铝股份 (不含云铝股份)	11

资料来源：中国有色金属工业协会绿色产品评价中心

我们从绿色产品评价中心了解到，在已参评的企业中，关于绿电消费证明材料，大部分企业提供了与发电公司或售电公司签订的双边交易购售电合同，少部分通过电力交易系统中的数据或各省/自治区绿电比例来证明绿电消费量。但企业在选择参评周期时有较大的灵活性，因此目前的累计核准额度无法与全年的电解铝产量进行比较。未来，绿电铝的评价标准可能也会随着碳市场的发展而有所调整，尤其是依照各省/自治区绿电比例来计算绿电铝额度的方式大概率会被取消，从而推动企业积极参与绿电交易。

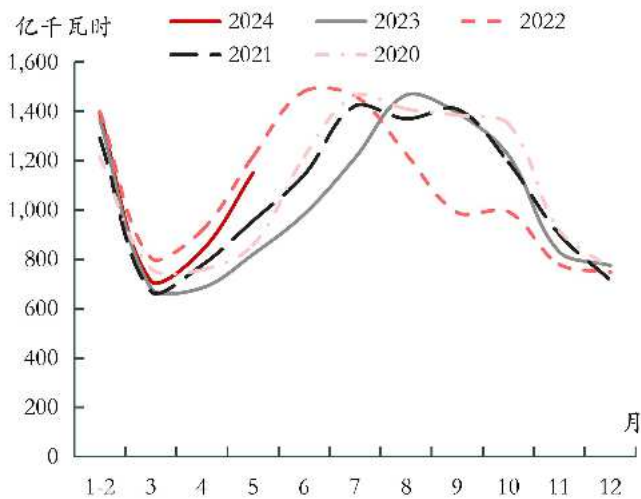
## 4.2、电解铝企业未来或向风光资源丰富地区聚集

2017 年以来，随着电解铝行业供给侧结构性改革的推进以及环保政策的实施，云南、青海、四川凭借电力结构和电价优势吸引力大批电解铝企业的产能转移，其中以云南为典型代表。2017 年，云南印发《关于推动水电铝材一体化发展的实施意见》，并开始从山东、河南、山西、甘肃等省份承接电解铝产能。但随着电解铝、多晶硅等高能耗产业的引入，用电矛盾也在进一步凸显。

由于水电装机占比大、水电丰多枯少的特性，云南在汛期曾存在较大的弃水压力，“十二五”后期开始，用电量增长大幅低于预期，弃水矛盾日益突出，2016 年弃水电量达到历史最高值 314 亿千瓦时。高耗能企业的聚集带来的电力需求一定程度上缓解了丰水期的弃水压力，但同时也增加了枯水期的用电矛盾。近年来，云南省内用电量增速明显高于发电量增速，且西电东送电量也有所下降，用电结构由总体富余转变为“丰平枯紧”，经常出现枯水期限电限产的情况，工业企业受到明显影响。

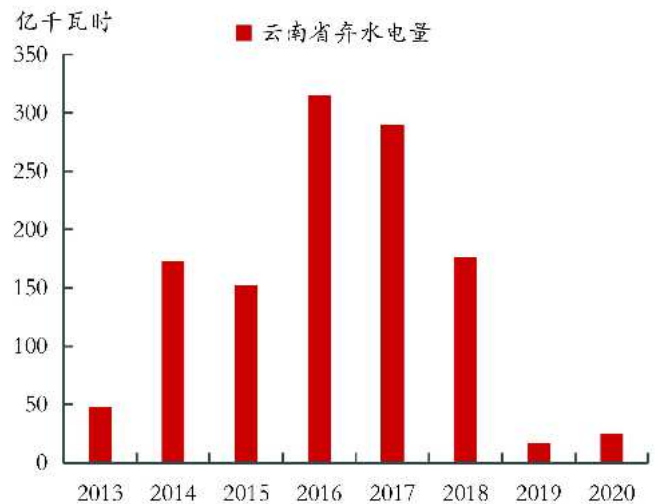
电力结构灵活性方面，云南省火电装机占比仅 11%，首批抽水蓄能电站自 2024 年 4 月才开工建设，对电力供应的调节能力不足，电力供需形式严峻。综上，未来西南地区可能无法容纳更多的高耗能企业，对电解铝企业来说，电力稳定性会对电解铝的生产产生较大影响，向风光电资源丰富的地区聚集可能是更优的选择。

图表 41：水力发电量存在明显季节性



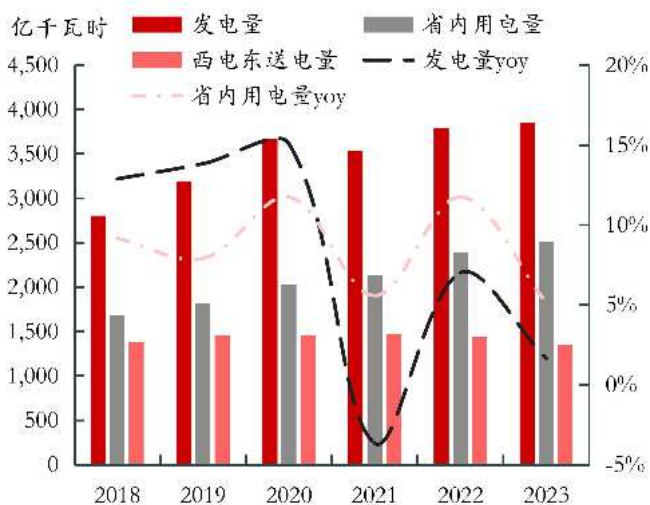
资料来源：国家统计局

图表 42：2017 年以来云南省弃水压力明显缓解



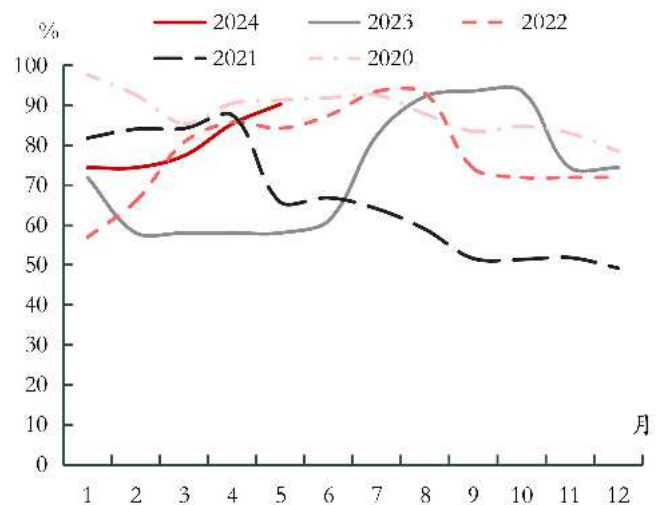
资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 43：2021 年以来云南省内用电量增速明显高于发电量增速



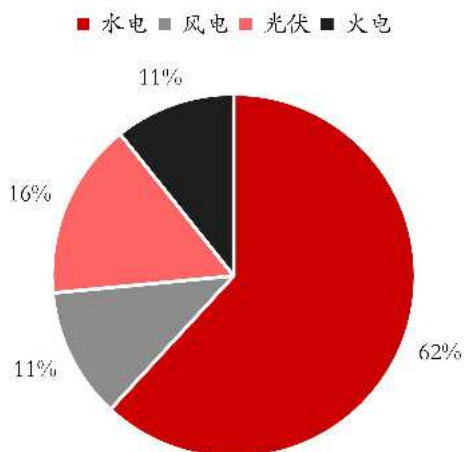
资料来源：昆明电力交易中心，东证衍生品研究院

图表 44：云南电解铝开工率波动较大

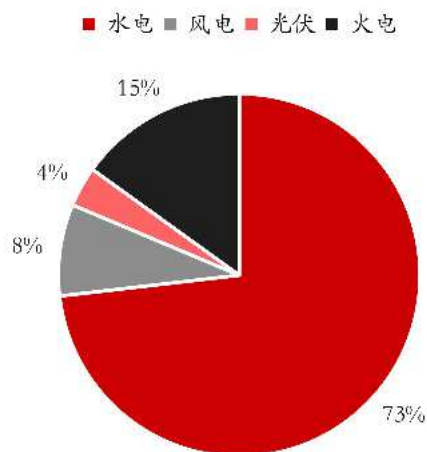


资料来源：iFinD

图表 45: 2023 年云南省发电设备装机容量结构



图表 46: 2023 年云南省发电量结构



资料来源：昆明电力交易中心，东证衍生品研究院

注：按照统计局要求，2023 年起，乌东德和白鹤滩两个水电厂装机和电量各统计一半

资料来源：昆明电力交易中心，东证衍生品研究院

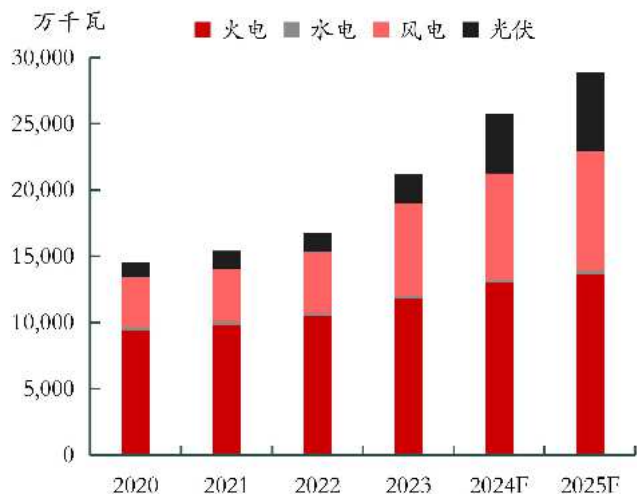
从资源禀赋来看，我国内陆及沿海风能资源丰富的地区包括内蒙古、新疆、黑龙江和甘肃等地，太阳能资源丰富的区域主要集中在西藏、青海、新疆、内蒙古和甘肃等地。综合来看，内蒙古、新疆和甘肃或许是电解铝绿色转型的较好选择。

首先，从现有的建成产能分布来看，内蒙古、新疆和甘肃集中了全国约 40% 的电解铝产能，按照 13,000kWh/t 的电耗来计算，绿电需求量分别为 860、800 和 400 亿千瓦时。2023 年这三个地区非化石能源发电量分别为 1,516、1,264 和 1,059 亿千瓦时，基本可以满足其现有的电解铝的绿色用电需求。根据地区规划和相关部门预测，2025 年，这三个地区的新能源发电量将超过 6,000 亿千瓦时，如果全部用于绿电铝生产，可以满足我国几乎全部的电解铝产能用电需求。

其次，风电和光伏也存在季节性波动的特点，但二者的季节性互补的，整体的波动较小，此外，内蒙古、新疆和甘肃本身拥有丰富的火电资源，尤其是内蒙古还拥有极为丰富的煤炭资源。在其现有的发电结构中，火电仍然是占比最大的电力来源，可以在风光发电不足时发挥有效的调节作用，因此短期来看内蒙古等地区的电解铝企业几乎不会受到能源方面的限制。

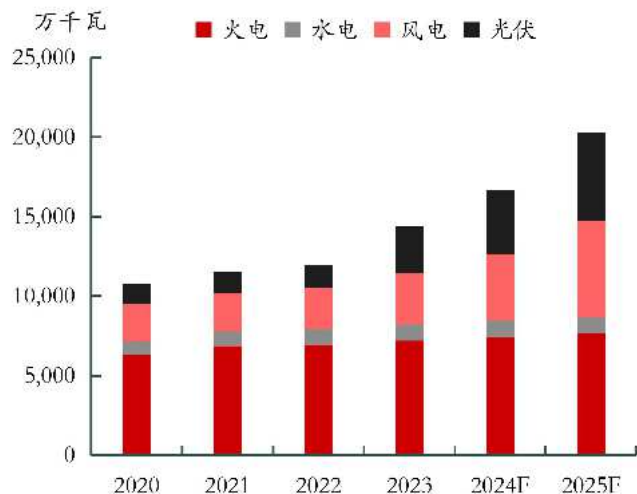
内蒙古等地的电解铝产能可以就地完成绿色转型，而山东等地区的电解铝企业则面临着明显的外迁压力，目前当地铝企基本都是依靠自备燃煤电厂来供给生产用电。尽管山东省也是光伏大省，2023 年光伏装机容量超 5,600 万千瓦，居全国第一，但受到地形和人口密度的影响，其中七成以上为分布式光伏，且 10 千伏以上并网的分布式光伏只有 400 万千瓦左右。分布式光伏面临的并网难、消纳难、易受天气影响等问题使得其不能在短期内为电解铝企业的绿色转型进行有力托底。如果要在碳市场上获得一定优势，山东电解铝产能的向外转移是必然的。

图表 47: 内蒙古发电设备装机容量



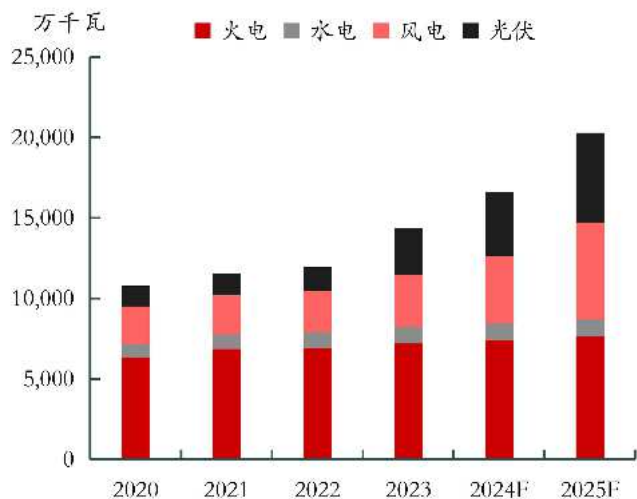
资料来源: 内蒙古自治区统计局, 东证衍生品研究院

图表 48: 新疆发电设备装机容量



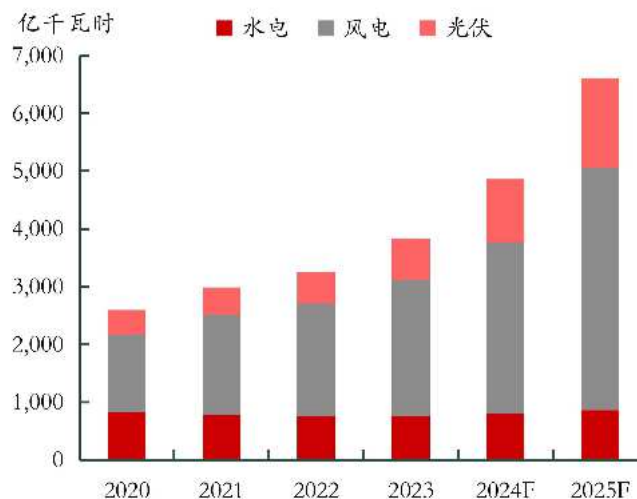
资料来源: 中电联, 公开资料整理, 东证衍生品研究院

图表 49: 甘肃发电设备装机容量



资料来源: 甘肃省统计局, 东证衍生品研究院

图表 50: 内蒙古、新疆、甘肃绿电量



资料来源: 甘肃省工信厅, 新疆维吾尔自治区统计局, 公开资料整理, 东证衍生品研究院

回顾近几年的企业电解铝产能转移情况, 以山东魏桥创业集团为典型代表, 其先后将 203 万吨、192.86 万吨产能分别转移至云南文山州(云南宏泰新型材料有限公司)和红河州(云南宏合新型材料有限公司), 在当地开展了两个绿色铝产业园区项目, 前者已经建成投产, 产能正在逐渐转移, 后者也已经步入了建设尾声。两个项目全部建成落地后, 云南地区或许已经无法再承接更多的产能转移。

综合来看，目前山东、内蒙古、新疆和云南这四个地区的电解铝建成产能排在全国前列，其中，内蒙古和新疆在未来可以逐渐将其现有的电解铝产能就地转化为绿电铝，且有充足的容纳新产能的空间，云南已经无法容纳更多的产能，而山东则面临较大的产能外移压力。对于河南、山西、陕西等电解铝产能略少但可再生能源发电资源较为匮乏的地区，同样存在一定的产能外移压力。而在其他风光资源较为丰富或产能极少的地区，现有的电解铝产能则有就地进行绿色转化的潜力。

随着国内和国际社会对于产品含碳量的要求愈加严格，为维持产品竞争力和应对国际绿色贸易壁垒，绿电铝需求的将逐渐增长。而在铝冶炼行业纳入碳市场后，相关企业将面临一定的风险和收益，火电铝将面临成本和低碳价值的双重劣势，必须重视自身的能耗结构优化和生产工艺改进，绿电铝在越来越受到市场青睐的同时也会获得碳市场上的额外收益。在此基础上，绿电的环境价值也会得到更好的凸显，有利于绿电交易活跃度的提升。但作为首批纳入碳市场的工业行业，为保证履约工作的顺利开展和平稳运行，相关各方可能也面临着一定的压力。

## 5、风险提示

全国碳市场扩围不及预期，配额供应收紧程度不及预期等。

**期货走势评级体系（以收盘价的变动幅度为判断标准）**

走势评级	短期（1-3 个月）	中期（3-6 个月）	长期（6-12 个月）
强烈看涨	上涨 15%以上	上涨 15%以上	上涨 15%以上
看涨	上涨 5-15%	上涨 5-15%	上涨 5-15%
震荡	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%
看跌	下跌 5-15%	下跌 5-15%	下跌 5-15%
强烈看跌	下跌 15%以上	下跌 15%以上	下跌 15%以上

**上海东证期货有限公司**

上海东证期货有限公司成立于 2008 年，是一家经中国证券监督管理委员会批准的经营期货业务的综合性公司。东证期货是东方证券股份有限公司全资子公司。公司主要从事商品期货经纪、金融期货经纪、期货交易咨询、资产管理、基金销售等业务，拥有上海期货交易所、大连商品交易所、郑州商品交易所、上海国际能源交易中心和广州期货交易所会员资格，是中国金融期货交易所全面结算会员。公司拥有东证润和资本管理有限公司，上海东祺投资管理有限公司和东证期货国际（新加坡）私人有限公司三家全资子公司。

自成立以来，东证期货秉承稳健经营、创新发展的宗旨，坚持以金融科技助力衍生品发展为主线，通过大数据、云计算、人工智能、区块链等金融科技手段打造研究和技术两大核心竞争力，坚持市场化、国际化、集团化发展方向，朝着建设一流衍生品服务商的目标继续前行。



## 免责声明

本报告由上海东证期货有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本公司已取得期货投资咨询业务资格，投资咨询业务资格：证监许可【2011】1454号。

本研究报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本研究报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的报告之外，绝大多数研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买投资标的的邀请或向人作出邀请。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为东证衍生品研究院，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

---

## 东证衍生品研究院

地址：上海市中山南路318号东方国际金融广场2号楼21楼

联系人：梁爽

电话：8621-63325888-1592

传真：8621-33315862

网址：[www.orientfutures.com](http://www.orientfutures.com)

Email：[research@orientfutures.com](mailto:research@orientfutures.com)