

Influence of Carbon Peak and Carbon Neutralization on Production Capacity and Output
of Electrolytic Aluminum Industry

by

Xiaowen Ruan

A Dissertation Presented in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Degree
Doctor of Business Administration

Approved March 2023 by the
Graduate Supervisory Committee:

Xiaochuan Huang, Co-Chair

Jianfei Sun, Co-Chair

Tan Wang

ARIZONA STATE UNIVERSITY

May 2023

碳达峰及碳中和对电解铝行业产能及产量的影响

阮晓雯

全球金融工商管理博士
学位论文

研究生管理委员会
于二零二三年三月批准：

黄晓川，联席主席
孙剑非，联席主席
王坦

亚利桑那州立大学

二零二三年五月

ABSTRACT

At the 75th UN General Assembly in 2020, China made a solemn commitment to the world: strive to reach the peak of carbon emissions by 2030 and to achieve carbon neutrality by 2060.

Achieving carbon emission peak and carbon neutralization means that China will undergo profound changes in industrial structure, energy sources, investment and lifestyle. As one of the significant sources of carbon emission, the industry of electrolytic aluminum is under scrutiny on controlling its energy consumption and the level of production.

Extant research primarily focuses on the policies regarding carbon emissions at the macro-level, and lacks data support. Using business data of electrolytic aluminum listed enterprises before and after the implementation of the two policies regarding carbon emissions, this study examines how the carbon emission policies affect the levels of the capacity and production of electrolytic aluminum industry.

This study also uses the same method to study production capacity and output level of similar firms in other industries, which are not a major source of carbon emissions and hence is less likely to be adversely affected by carbon policies. Utilizing this control sample, this paper continues to find the impact of carbon neutralization and carbon peak policies on electrolytic aluminum industry to be negative.

摘要

2021年10月24日,中共中央、国务院印发《关于全面准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,再次对碳达峰碳中和做出战略部署。意见中重点指出,到2030年单位国内生产总值能耗大幅下降;与2005年相比,单位GDP的二氧化碳排放量下降了65%以上;非化石能源消费比例达到25%左右。11月7日,中共中央、国务院发布关于深入打好污染防治攻坚战的意见。其中提到,坚决遏制高耗能、高排放项目盲目发展。

2020年第七十五届联合国大会上,我国向世界郑重承诺:力争在2030年前实现碳达峰,努力争取在2060年前实现碳中和。

实现碳达峰、碳中和目标,意味着我国在产业结构、能源结构、投资结构、生活方式等方面都将发生深刻转变。服务好碳达峰、碳中和的战略部署,是未来一段时期金融工作的重点之一。通过对电解铝环节能耗控制和总量控制是实现碳排放下降的重要途径之一。

目前大多研究文献集中在宏观层面的“双碳”目标趋势与热点分析,研究推导缺乏数据支撑。大多数文献以某一个因子为重点进行研究,研究具有片面性。为了有效量化通过对电解铝行业产能布局、产量调整,通过对电解铝上市企业经营数据在“双碳”目标实施前后变化的定量分析,进一步理解和分析碳达峰及碳中和对电解铝行业的影响。

量化和评估碳达峰和碳中和目标实施前后对电解铝行业的影响,本文将电解铝行业政策实施前后的政策变量作为此研究的主要自变量。同时,将电解铝上市企业的产能或产量作为因变量,将总资产、资产负债率等作为控制变量予以研究。本文选取的数据示例来自于WIND数据库和CSMAR经济金融研究数据库。

距离碳达峰及碳中和具体目标首次公布的时间短,碳达峰、碳中和工作的路线图、施工图处于建立与推进阶段,可研究的目标公布后的上市企业样本数据有限,在研究电解铝上市企业样本的基础上,本文也尝试用同样的方法研究控制组上市企业的财务数据及产能、产量数据,通过对比"双碳"目标对电解铝影响的差异,更加完整地论证碳中和及碳达峰战略对电解铝行业的影响。

目录

	页码
表格列表.....	vi
图列表	vii
章节	
一、导论 选题背景及研究意义.....	1
1.1 选题背景.....	1
1.1.1“碳中和”战略的重要意义	1
1.1.2 推动能源消费结构调整.....	4
1.1.3 对电解铝行业企业的影响	6
1.2 研究意义	7
1.3 当前研究缺陷.....	11
1.4 本文创新点	12
二、文献与理论框架.....	13
2.1 文献回顾.....	13
2.1.1 能源方面	13
2.1.2 技术方面.....	13
2.1.3 经济方面.....	14
2.1.4 能源路径.....	14
2.1.5 技术路径.....	15

章节	页码
2.1.6 社会路径.....	15
2.1.7 煤炭行业.....	15
2.1.8 电力行业.....	16
2.1.9 金融行业.....	16
2.2 理论框架	17
三、数据与样本.....	18
3.1 数据收集与定义.....	18
3.2 清洗数据.....	20
3.3 样本选择.....	21
四、实证方法与发现.....	23
4.1 实证方法	23
4.1.1 行业背景与政策背景的研究.....	23
4.1.2 文献研究（本文的立论基础）	35
4.1.3 回归分析（本文的技术路线）	42
4.1.4 描述性统计	44
4.2 基准研究验证结果与分析	44
4.2.1 回归方程验证结果.....	44
4.2.2 回归方程验证分析.....	51
4.3 补充检验验证结果与分析	53

章节	页码
4.3.1 补充检验验证结果	54
4.4 基于实证结果的分析与讨论	58
4.4.1 基准研究方程与补充检验回归方程结果对比分析	58
4.4.2 DID 双重差分实证分析.....	59
4.4.3 南山铝业实例分析.....	60
4.4.4 其他分析	74
五、总结与建议.....	83
5.1 总结.....	83
5.2 建议.....	84
参考文献.....	89

表格列表

表格	页码
4-1 :因变量与自变量、控制变量定义表	43
4-2 :方程描述性统计结果I.....	47
4-3 :方程描述性统计结果II.....	47
4-4 :方程相关性检验I.....	49
4-5 :方程相关性检验II.....	50
4-6 :产能方程回归检验结果	53
4-7 :产量方程回归检验结果.....	53
4-8 :方程描述性统计结果.....	57
4-9 :产能基准研究方程与补充检验方程回归结果对比表	58
4-10 :产量基准研究方程与补充检验方程回归结果对比表.....	58
4-11 :电解铝企业及其同行业公司双重差分实证分析(PC1).....	59
4-12 : 电解铝企业及其同行业公司双重差分实证分析(PC2)	60

图列表

图	页码
1-1 :工业革命后全球平均温度迅速上升	1
1-2 :中国电解铝单吨耗电量低于世界均值,单吨碳排放高于世界均值.....	3
1-3 :中国减碳目标进程	4
1-4 :产业结构调整、工业节能、能源结构调整等.....	5
1-5 :单吨电解铝碳排放核心集中于电解环节	7
1-6 :我国电解铝碳排放占国内总量比重先升后稳	8
1-7 :电解铝行业碳达峰管控政策、产业要求	9
2-1 :本文的理论框架.....	17
4-1 :分省份电解铝产能(万吨)及自备电覆盖率	28
4-2 :2015-2021 年全球二氧化碳排放量及增速	36
4-3 :全球“碳达峰”实现情况	37
4-4 :全球原铝温室气体排放	39
4-5 :铝行业碳达峰管控逐渐趋严, 产业要求逐渐明晰	41
4-6 :单位产品综合能耗表	54
4-7 :公司电解铝毛利率水平.....	61
4-8 :公司期间费用率(不计研发费用)	61
4-9 :产品产能、优势	62
4-10 :毛利增长图.....	63

图	页码
4-11 :南山铝业毛利率高于众多铝加工企业	64
4-12 :南山铝业电解铝端盈利能力处于行业地位	65
4-13 :南山铝业吨盈利测算	66
4-14 :预焙阳极、氧化铝、电力在电解铝成本中占比稳定.....	67
4-15 :南山铝业电力自给率.....	68
4-16 :南山铝业电解铝电力成本优势测算(单位:元/吨)	68
4-17 :2020 年各省份大工业电价间相差很大(单位: 元/度).....	69
4-18 :氧化铝成本中铝土矿与能耗占比有所上升	70
4-19 :南山铝业的铝土矿海外采购成本(单位:元/吨).....	71
4-20 :南山吨氧化铝生产成本测算(单位:元/吨)	71
4-21 :南山铝业氧化铝成本处于全国领先水平(单位:元/吨).....	72
4-22 :南山铝业电解铝成本优势测算(单位:元/吨).....	72
4-23 :电解铝产能控制政策演化、强化.....	73
4-24 :2016-2021 年中国电解铝产量及增速情况表	73
4-25 :2016-2021 年 11 月中国电解铝产能及增速情况.....	74
4-26 :国内水电铝产量上升	76
4-27 :2011-2020 年中国再生铝产量与增速	77
4-28 :2016-2021 年中国再生铝产量占原铝比重统计情况	78

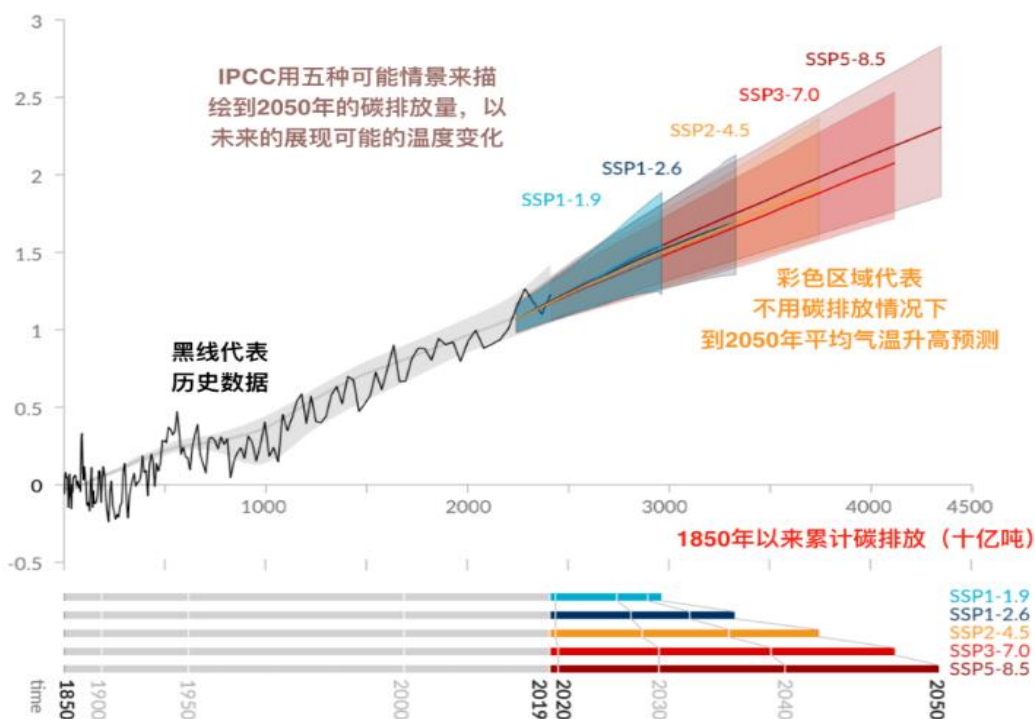
一、导论 选题背景及研究意义

1.1 选题背景

1.1.1“碳中和”战略的重要意义

2015年12月,第21届联合国气候变化大会通过《巴黎协定》(2016年10月正式生效),其目标是将全球平均气温较前工业化时期上升幅度(下称全球温升)控制在2摄氏度以内,并努力将全球温升控制在1.5摄氏度以内,如图1-1所示。2018年10月,政府间气候变化专门委员会(IPCC)表示,如果想达到《巴黎协定》的1.5摄氏度目标,则需要2050年前将全球碳净排放量降至零(即“碳中和”)。2016年以来,全球掀起“碳中和”热潮,据不完全统计,全球已经有50多个经济体宣布甚至立法规定2050年(或之前)达到“碳中和”,全球前六大碳排放经济体中欧盟和中国、日本已经明确作出“碳中和”承诺。

图 1-1:工业革命后全球平均温度迅速上升



资料来源：中国气候变化蓝皮书，IPCC 报告

碳达峰是指中国承诺在 2030 年之前，二氧化碳排放量不再增加，达到峰值后将逐渐减少。

碳中和是指企业、团体或个人计算一定时期内直接或间接产生的温室气体排放总量，然后通过植树造林、节能减排抵消自身的二氧化碳排放，从而实现二氧化碳“零排放”。

根据英国 BP 发布的《全球能源展望》报告,2019 年中国碳排放达到 98.26 亿吨等量二氧化碳 (tCo_{2e}) ,排名全球首位,并且占到全球碳排放的 28.8%。

但从两个角度看中国碳排放并不多,其一是从人均碳排放量角度看,2019 年中国人均碳排放 7tCo_{2e},不到美国的一半,也低于俄罗斯和日本; 其二是从人均历史累积碳排放量角度看,从 1900 年至 2010 年,我国每人历史累积碳排放量仅为 0.406tCo_{2e},远低于欧美发达经济体,甚至不到墨西哥的一半。碳排放量和经济发展阶段以及经济结构有密切关联,如图 1-2 所示,在工业化过程中一个经济体的碳排放总量是上升的,只有等到这个经济体完成工业化后,随着经济重心由制造业转向服务业,它的碳排放量才会达到顶峰然后缓慢下降。目前,欧美发达经济体碳排放量基本上在 2000 年之前达到峰值。

图 1-2:中国电解铝单吨耗电量低于世界均值,单吨碳排放高于世界均值

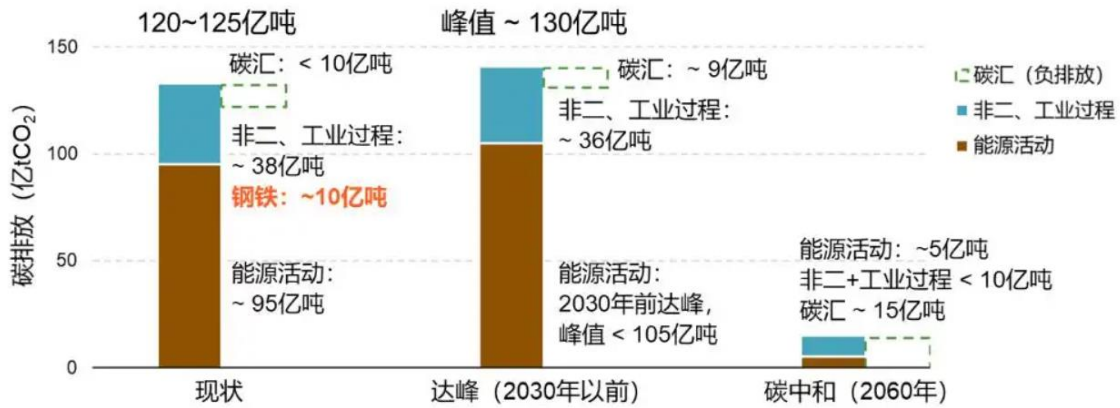
中国	平均单吨耗电量 (kwh)	水利发电	煤炭发电	天然气	核能	平均单吨二氧化碳排放量(吨)
2012	13,844	10%	90%	0%	0%	13.8
2013	13,740	10%	90%	0%	0%	13.5
2014	13,596	10%	90%	0%	0%	13.3
2016	13,599	10%	90%	0%	0%	13.2
2017	13,579	10%	90%	0%	0%	13.2
2018	13,555	10%	89%	0%	1%	13.0
2019	13,531	11%	88%	0%	1%	12.8
全球	平均单吨耗电量 (kwh)	水利发电	煤炭发电	天然气	核能	平均单吨二氧化碳排放量(吨)
2012	14,584	32%	58%	9%	1%	10.0
2013	14,487	31%	59%	9%	1%	10.0
2014	14,269	28%	61%	10%	1%	10.1
2016	14,336	26%	63%	10%	1%	10.3
2017	14,172	26%	64%	9%	1%	10.4
2018	14,238	25%	64%	9%	2%	10.4
2019	14,273	25%	64%	10%	1%	10.4

资料来源:IAI,国盛证券研究所

中国很早就开始积极参与国际应对气候变化事务,如图 1-3 所示,2009 年,在哥本哈根气候变化大会上,中国政府正式宣布了控制温室气体排放的行动目标,即到 2020 年,单位 GDP 的二氧化碳排放量将比 2005 年减少 40%至 45%。参加 2014 年 12 月第 20 轮《联合国气候变化框架公约》缔约方大会的中国代表表示,2016—2020 年,中国将把每年的二氧化碳排放量控制在 100 亿吨以下。2020 年 9 月,国家领导人在联合国大会上向世界宣布了 2030 年前实现“碳达峰”、到 2060 年实现“碳中和”的宏伟目标。2020 年 12 月,国家领导人在气候雄心峰会上公布 2020 年版国家自主贡献目标 (NDC),到 2030 年,中国单位 GDP 二氧化碳排放量将比 2005 年下降 65%以上,非化石能源占一次能源消费的比重将达到 25%左右,森林蓄积量将比 2005 年增加 60 亿立方米,风力发电和太阳能发电总

装机容量将达到 12 亿千瓦以上。

图 1-3:中国减碳目标进程



资料来源:国网电力科学研究院, 国际能源署

1.1.2 推动能源消费结构调整

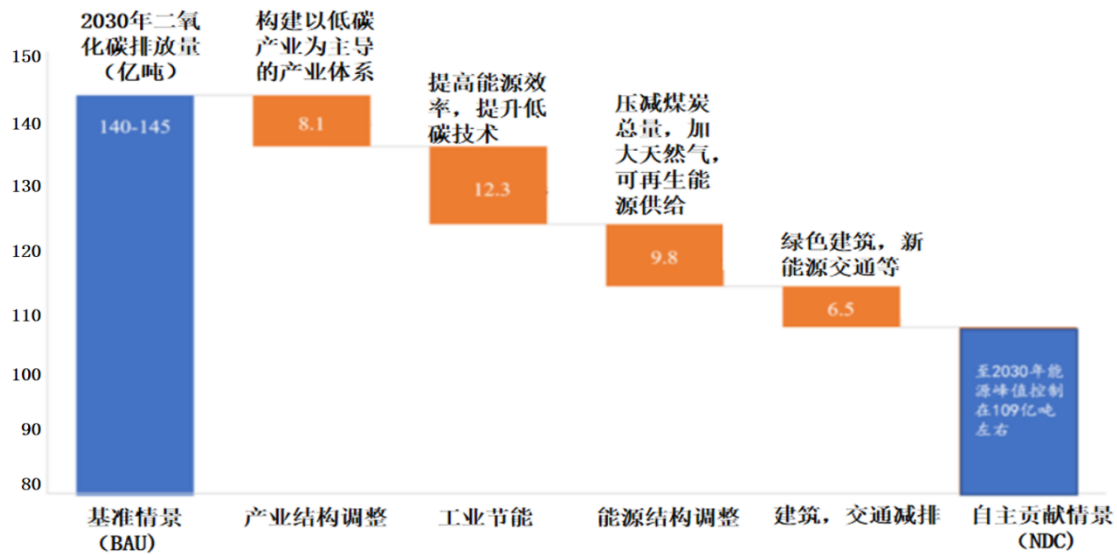
如图 1-4 所示, 能源碳排放主要有几大来源, 分别是发电碳排放、工业 (化工与冶金排放)、交通运输 (燃料排放)、建筑 (建设、生活排放)。与全球以及欧美发达经济体相比, 中国能源碳排放主要有以下特征: 发电碳排放占比全球领先, 工业碳排放占比远超欧美, 交通运输行业占比较低。根据清华大学的研究结果, 预计到 2030 年中国化石能源消费将逐步达峰, 非化石能源将逐步成为中国能源供应的主要来源。其中煤炭消费将在 2020—2025 年间进入平台期, 随后逐步回落, 消费年化减少 0.5% 左右; 石油消费增速趋缓, 将于 2025—2030 年间达峰, 年化消费增速 1.15%, 较 2010—2020 年消费增速回落 2.59 个百分点; 天然气燃烧碳排放相对较低, 是未来石化能源的主要消费增长点, 预计到 2030 年, 天然气消费量

将达到 7.8 亿吨标准煤,较 2020 年增长 85.1%。

从下游消费来看,预计交通运输行业的低碳化将进一步加快新能源汽车替代速度。近年来,中国陆续公布多项政策支持鼓励新能源汽车发展,在扶持新能源汽车的同时部分地区也开始对传统燃油车实施更为严格的限制措施。全球范围内多国也已经公布了禁售燃油车的计划表,欧美发达国家在禁售政策上更为激进。OPEC 预计到 2045 年全球道路交通原油需求 4700 万桶/日,较 2019 年仅增长 260 万桶/日,其中 70%的需求增长发生在 2019—2025 年,需求在 2035 年达到峰值。

对于另一大碳排放来源化工行业而言,未来需要持续推进行业转型升级,但伴随国内大量炼化设施相继投产,短期内化工依然将对原油需求形成支撑。近年来以恒力石化、浙石化等民营企业为代表的炼化一体化装置大量投产落地,对成品油的收率形成明显影响,其他轻质组分收率也有所提升。2020 年中国先后投产中科炼化 1000 万吨装置、中化泉州以及古雷炼化一期项目,2021 年预计浙石化二期 2000 万吨装置以及盛虹 1600 万吨装置即将投产,2022 年起广东石化 2000 万吨、裕龙岛炼 2000 万吨等项目也将逐步投产,中国炼化产能进入新一轮快速扩张周期。

图 1-4:产业结构调整、工业节能、能源结构调整等



资料来源:《碳达峰与碳中和国际政策背景及中国计划》, 国盛证券研究所

1.1.3 对电解铝行业企业的影响

从供应端来讲,有色是高耗能高排放行业,首当其冲的是铝行业。按照火电生产工艺来看,每生产一吨电解铝,将向环境排放多达 11.2 吨碳,是钢铁生产单位碳排放量的六倍。2019 年,中国电解铝行业二氧化碳排放总量约为 4.12 亿吨,约占当年全国二氧化碳净排放量的 5%,是有色行业排放量最高的品种。电解铝行业势必成为未来“碳中和”目标的重要责任主体,减排压力巨大。“碳中和”对电解铝行业供应端影响主要包括两个方面:一方面电解铝产能天花板进一步下移,2017 年国家发改委等四部委确定未来电解铝产能天花板在 4500 万吨,目前全国电解铝运行产能已达 3955 万吨/年,建成产能规模 4320 万吨/年;“碳中和”背景下,能耗双控压力加大,针对高耗能行业的产能禁入政策或更为严格,进一步削弱供给弹性,电解铝产能天花板大概率将进一步下移。另一方面电解铝供应发生结构性变化,中国电解铝生产目前仍以火电为主,而碳排放主要发生在火电生产电解铝过程当中,而如果用水电生产电解铝,每吨碳排放量比起火电铝减少 86%。预计在“碳中和”背景下,水电铝将逐渐成为主导,其

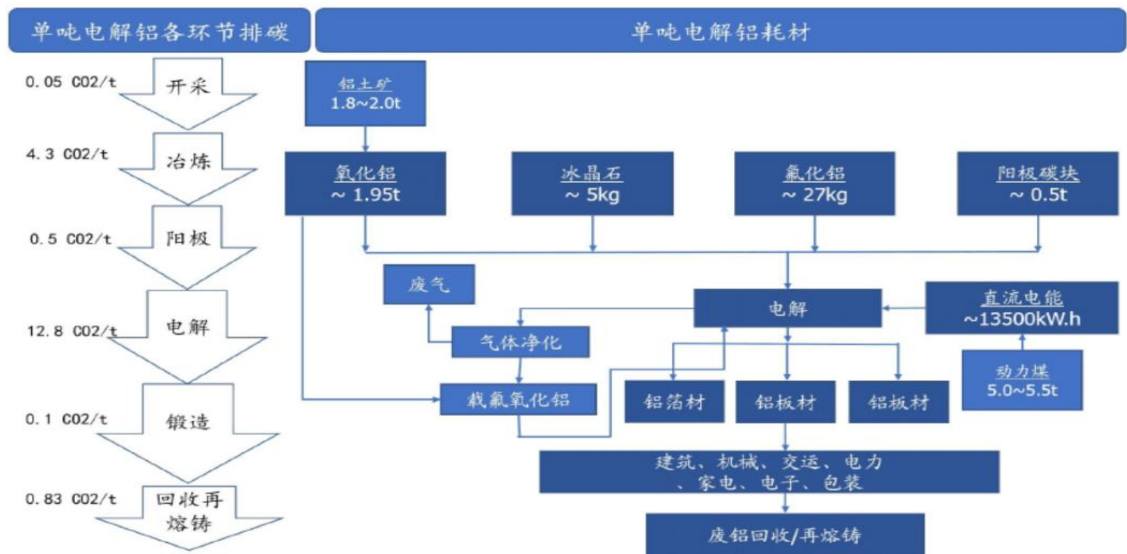
成本也将更具有优势,电解铝行业供应结构将发生改变。

从需求端来讲,“碳中和”意味着更多的电力将取代化石能源消费,全社会对电力的需求将大大增加。作为一种导电性仅次于银的有色金属,铜是发展清洁能源和终端电气化不可或缺的材料。因此,在实现“碳达峰”和“碳中和”目标的过程中,势必会增加发电端和用电端对铜的需求。在“碳中和”目标的指导下,中国将重点从电力深度脱碳和提高终端电气化率两个方面减少碳排放。电力的深度脱碳将促进风电和光伏清洁能源的发展,而终端电气化率的提高将导致工业领域能源消费从煤炭向电力的转变,以及交通领域新能源汽车的发展。

1.2 研究意义

在碳中和的背景下,开源节流是主要措施,我国要实现碳中和,就必须将政策着力于工业生产端的减碳,这就会带来上游周期行业的新一轮供给侧改革。电解铝工业不但属于高耗能行业,且对环境影响较大。如图 1-5 所示,2019 年全球吨铝碳排放(从铝土矿到铝材)为 16.5 吨,其中电解铝环节为 12.8 吨,占比 77.6%;而电力能耗对应的碳排放为 10.4 吨,占电解铝环节的比例高达 81.3%,是主要碳排放来源。2019 年中国水电生产电解铝占比仅为 11%,明显低于全球水电平均占比 25%,使得我国电解铝的吨铝电力消耗的碳排放为 12.2 吨,高于全球平均水平的 10.4 吨。通过对电解铝环节能耗控制和总量控制是实现碳排放下降的重要途径之一。

图 1-5:单吨电解铝碳排放核心集中于电解环节



注:各环节耗碳量采用 IAI 测算均值, 回收及再熔铸环节排碳量假设为铝土矿至锻造全流程 5%

资料来源:IAI, SMM,《中国 2030 年能源电力发展规划研究及 2060 年展望》, 安泰科,

国盛证券研究所测算

图 1-6:我国电解铝碳排放占国内总量比重先升后稳

年份	电解铝产量(万吨)	电解环节			铝生命周期		
		排碳量(万吨, CO2)	占第二产业碳排放比重	占国内碳排放比重	排碳量(万吨, CO2)	占第二产业碳排放比重	占国内碳排放比重
2012	2,277	29,145	3.4%	2.9%	37,570	4.3%	3.7%
2013	2,521	32,267	3.7%	3.2%	41,594	4.7%	4.1%
2014	2,807	35,928	4.2%	3.6%	46,313	5.4%	4.6%
2015	3,081	39,434	4.8%	4.0%	50,833	6.2%	5.2%
2016	3,252	41,621	5.2%	4.3%	53,653	6.6%	5.6%
2017	3,653	46,765	5.7%	4.8%	60,282	7.4%	6.2%
2018	3,649	46,713	5.5%	4.7%	60,217	7.1%	6.0%
2019	3,573	45,738	5.3%	4.5%	58,959	6.8%	5.7%
2020	3,724	47,673	5.4%	4.5%	61,454	6.9%	5.8%

资料来源:《“十四五”期间我国碳排放总量及其结构预测》, 国盛证券研究所测算

2020 年 9 月,政府工作报告正式确定了“碳达峰、碳中和”目标,同时,也预示着正式开启了我国能源系统、经济系统、科技创新系统,全面向绿色转型的新时代,在实现这一目标过程

中,各行各业将迎来新的困难和挑战,但同时,也会带来科技创新、能源、经济转型的重大机遇。实现“碳中和”的目标意味着颠覆性的能源革命、科技革命和经济转型,有色金属电解铝行业作为高耗能、二氧化碳排放高的品种,未来需要加快绿色转型和技术创新,具有完善节能减排设施的大型企业将占有更多的市场份额。与此同时,铝行业碳达峰管控逐渐趋严,产业要求逐渐明晰,如图 1-7 所示。

图 1-7:电解铝行业碳达峰管控政策、产业要求

中国电解铝产业相关政策汇总一览

发布日期	发布单位	政策名称	主要内容
2022年8月	生态环境部	《工业领域碳达峰实施方案》	以水泥、钢铁、石化、电解铝等行业为重点，聚焦低碳原料替代、短流程制造等关键技术，推进生产工艺革新和设备改造，减少工业过程温室气体排放。鼓励各地区、各行业探索绿色低碳技术推广新机制
2022年6月	工业和信息化部	《工业能效提升行动计划》	《工业能效提升行动计划》提出到2025年，重点工业行业能效全面提升，数据中心等重点领域能效明显提升，应用，标准，服务和监管体系逐步完善，钢铁、石化、电解铝、建材等行业重点产品能效达到国际先进水平，规模以上工业单位增加值能耗比2020年下降13.5%
2022年6月	工业和信息化部	《工业水效提升行动计划》	严格执行钢铁、水泥、平板玻璃、电解铝等行业产能置换政策，严控磷铵、黄磷、电石等行业新增产能，新建项目应实施产能等量或减量置换
2022年4月	生态环境部	《“十四五”环境影响评价与排污许可工作实施方案》	在重点区域钢铁、焦化、水泥熟料、平板玻璃、电解铝、电解锰、氧化铝、煤化工、炼油、炼化等行业项目环评审批中，严格落实产能替代、压减等措施
2022年2月	国务院	《关于加快推进城镇环境基础设施建设的指导意见》	健全区域性再生资源回收利用体系，推进废钢铁、废有色金属、报废机动车、退役光伏组件和风电机组叶片、废旧家电、废旧电池、废旧轮胎、废旧木制品、废旧纺织品、废塑料、废纸、废玻璃等废弃物分类利用和集中处置
2022年2月	生态环境部	《关于研究处理全国人大常委会固体废物污染环境防治法执法检查报告及审议意见情况的报告》	修订完善铜冶炼、铝、铅锌、铍行业规范条件，依法依规淘汰落后产能，全面推行清洁生产
2022年1月	国务院	《“十四五”节能减排综合工作方案》	到2025年，通过实施节能降碳行动，钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石等重点行业产能和数据中心达到能效标杆水平的比例超过30%
2021年12月	国家发展改革委	《关于振作工业经济运行推动工业高质量发展的实施方案的通知》	推动钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃等重点行业和数据中心加大节能力度，加快工业节能降碳技术装备推广应用
2021年10月	国家发展改革委	《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，钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石等重点行业产能和数据中心达到标杆水平的产能比例超过30%
2021年1月	工业和信息化部	中国铝业和山东魏桥发布《加快铝业绿色低碳发展联合倡议书》	严控产能总量，严格执行电解铝产能指标置换规定，守住电解铝产能“天花板”，落实铝行业准入条件，力争国内氧化铝、电解铝在“十四五”期间达到产能、产量峰值
2020年11月	国家发展改革委	中国有色金属工业协会《中国铝工业“十四五”发展思路》	“十四五”期间，国内点击二氯布局调整将基本完成，产能形成天花板
2020年3月	工业和信息化部	《铝行业规范条件》（2020年第6号）	电解铝企业须采用高效低耗、环境友好的大型预焙电解槽技术，不得采用国家明令禁止或淘汰的设备、工艺
2019年7月	工业和信息化部	《电解铝清洁生产评价指标体系》	对电解铝电流强度160KA的企业从生产工艺及装备要求等六个方面规定其清洁生产的一般要求
2018年12月	工业和信息化部	《关于促进氧化铝产业有序发展的通知》	要以综合回收率在80%以上，每吨氧化铝综合能耗低于380千克标准煤，生产1吨氧化铝新水消耗量低于3吨为目标
2018年1月	工业和信息化部	《关于电解铝企业通过兼并重组等方式实施产能置换有关事项的通知》	2011年至2017年关停并列入淘汰公告的电解铝产能指标须在2018年12月31日前完成产能置换，逾期将不得用于置换；2018年及以后宣布淘汰的电解铝产能指标仍可进行置换或者集团内部转移
2017年4月	生态环境部	《清理整顿电解铝行业违法违规项目专项行动方案》	对2013年5月之后新建设的违法违规项目以及未落实1494号文件处理意见的项目，在建的要立即停建，建成的要立即停产

资料来源:中商产业研究院整理

如图 1-7 所示,可以预期,随着全球碳排放标准越来越严格,新能源体系越来越完善,对于有色金属电解铝行业来说,机遇在于新能源行业发展的爆发,这也是新消费的增长点。挑战在于供应端。虽然这可能不会导致产能扩张停滞,但碳排放将不可避免地导致成本上升,因为,一方面,碳排放来自技术进步和冶炼等工艺的设备升级,以减少碳排放;另一方面,一些冶炼企业需要购买碳排放权。

在此背景下,通过对电解铝行业产能布局、产量调整、开工率、碳排放基准值的划定与分配、进出口量、通过对电解铝行业龙头企业成本端、供给、需求端、供应链物流端等方面数据在"双碳"政策实施前后变化的分析,对影响碳中和及碳达峰对电解铝行业企业实施效果进行研究,可以对本行业及其他行业如新能源行业的企业战略布局及调整具有参考意义。期待通过对这个课题的研究,对电解铝行业的企业发展模式做一点有益的探索。

1.3 当前研究缺陷

从文献回顾看,虽然国内外已有关于供给侧结构性改革等对电解铝产业、产能布局、成本端的影响分析,但却存在如下问题:第一,在供给侧改革,化解煤电过剩产能,放缓燃煤发电建设步伐,火电装机增速持续放缓的背景条件下,缺少对在碳达峰及碳中和战略条件推进下,各综合性因素对电解铝产业影响的研究分析。第二,文献研究从宏观角度,分析碳达峰及碳中和背景下,电解铝产业可能会受到的影响,缺少对电解铝行业企业的成本端、供给端、需求端、供应链物流端等方面的定性研究及定量分析,从个体研究,看行业特征,对影响碳中和及碳达峰政策推行前后对电解铝行业实施效果及影响的探讨。本论文将从理论和实证两方面解决以上两个难题,分析碳中和及碳达峰的推动,对行业产能占比重的龙头企业带来的影响。

1.4 本文创新点

本论文将从理论和实证两方面解决以上两个难题,分析碳中和及碳达峰的推动,对行业产能占比重的龙头企业带来的影响。

研究方法上,本文构建的碳中和及碳达峰对龙头企业的供需、物流、成本端的影响模型将突破以往研究模式,通过比较分析碳中和及碳达峰战略实施前及实施后,龙头企业的各项指标的变化,而不再仅限于宏观角度的分析。通过理论层面与实际数据相结合的方式,更加全面地对碳中和及碳达峰战略对电解铝行业的影响机理进行阐释。

对宏观调控提出具有现实指导意义的新思路和相关政策建议。从中国实际国情出发,电解铝行业在落实碳中和及碳达峰战略目标时,既要考虑目标的执行和达成情况,又要考虑我国能源结构特点及转型对行业带来的影响。改变用电能源机构(水电铝)以及循环利用(再生铝)具有的可持续发展意义都要给予足够的重视。

二、文献与理论框架

2.1 文献回顾

通过对文献的梳理可以发现,碳达峰与碳中和的主要研究领域包括三个方面:影响碳达峰与碳中和的因素、碳达峰与碳中和的实现路径和碳达峰与碳中和目标下的挑战与机遇。影响碳达峰与碳中和的因素主要是能源、技术以及经济三方面。实现碳达峰与碳中和的途径主要是改变能源结构、发展技术及思想观念创新。碳达峰与碳中和对煤炭等化石燃料行业、运输行业、电力行业、金融行业有显著的影响,主要是促进它们适应低碳发展之路与刺激转型升级。

影响碳达峰与碳中和的因素:

2.1.1 能源方面

碳排放主要来自化石燃料的燃烧,能源运用的规模和结构可以从根本上影响碳排放的数量,进而影响碳达峰与碳中和实现的时间和规模。

(邵帅,张曦,赵兴荣,2017)(运用广义迪氏指数分解法研究了碳达峰的因素影响机理,他们的研究发现制造业产出规模的扩张增加了碳排放,但在 2011 年后其效应明显减弱,从而为碳达峰提供了有利条件。投资碳强度的增加减少了碳排放,但在 2020 年后其效应明显缩小,从而对碳排放的促降效应有所减弱。能源对碳排放的影响程度有区域性的特点,对于东北老工业基地这类以煤炭作为主要能源的地区,能源对碳排放的影响是显著的。在毕莹和方白运用拓展的 STIRPAT 模型对辽宁省碳排放进行的研究中,他们发现能源结构和产业结构都对辽宁省碳排放产生了明显的正向影响。

2.1.2 技术方面

技术进步不仅可以从源头减少碳排放,而且可以在碳排放的过程中减少其危害,进而促进碳达峰与碳中和的实现。节能减排技术的研发提升了碳排放效率,对减少碳排放的影响是持续性的(邵帅,张曦,赵兴荣,2017)。碳排放强度被视为评估地区或行业减排技术的替代指标,它对碳排放产生正向影响也证明了技术进步会减少碳排放(毕莹,杨方白,2017)。

2.1.3 经济方面

碳排放是经济活动的结果,虽然从长期来看"双碳"目标实现对经济发展有促进作用,但在短期内对经济增长有负面影响。一方面限制了传统行业创造利润的空间,另一方面建设配套清洁能源的基础设施也产生高昂的成本,而被涉及的行业是否有成熟的技术和丰富的资金支持其度过转型期,企业管理层是否愿意从长远出发而放弃短期利益都未可知,因此对宏观经济的考量限制了"双碳"目标实现的强度。

碳达峰与碳中和的实现路径:

2.1.4 能源路径

控制能源总量是控制碳排放的前提,这不仅要求中国大幅提高能源利用效率,还需要充分开发和利用中国极其丰富的可再生能源,提高非化石能源在一次能源消费中的比重。建议具体措施包括政府管制煤炭行业,削弱其碳排放能力;降低可再生能源的价格,使消费者直接受益;与合作伙伴国家合作,携手打造世界级绿色能源产业。另外,发展全国用能权、碳排放权交易市场,可以让市场自动调节能源的使用效率,使得被限制的能源被更需要它的部门使用,尽量减少对宏观经济的损失(胡鞍钢,2021)。作为中国能源战略之首,优化能源要考虑结构和地域两方面:结构方面的转型是循序渐进、互相磨合的;地域空间方面,中、东部

地区要充分发展本地可再生能源,降低对西部电力能源输送的依赖程度,同理,南部地区也要降低对北部地区煤炭资源的需求。

2.1.5 技术路径

技术是推动能源转型的重要因素,加快绿色能源与现代化智能技术融合发展,使经济发展与碳排放脱钩,对双碳目标的实现具有不言而喻的作用(胡鞍钢,2021)。负排放技术和碳汇的应用为能源系统提供灵活性,高能耗循环利用技术以较低成本实现显著的减排效应,能效提高技术改善供给侧和消费侧的能源利用方式,兼顾经济发展与减排行动。

2.1.6 社会路径

碳达峰与碳中和目标的实现离不开社会公众的积极参与。企业权衡利润最大化与承担社会责任,既需要政府大力宣传低碳政策,又要引导其自主研发改进工艺。对个人而言,政府加深其对双碳目标的理解,倡导其自发选择低碳环保的生活方式。思想观念的创新需要人们重新认识能源安全观,高碳模式不是经济增长的必需条件;要重新认识资源禀赋,意识到我国丰富的可再生资源将成为主导能源。

碳达峰与碳中和目标下的挑战与机遇:

如果中国碳排放在 2030 年达到峰值,对中国宏观经济的四大主体都会产生影响。会使居民的可支配收入增加,企业的总收入增加,政府储蓄减少,进出口增加。此外,碳达峰与碳中和也会对相关行业产生不同的影响。

2.1.7 煤炭行业

煤炭行业的优势在于具有市场基础,在短期内不易实现被新能源替代;劣势在于全球新能源发展趋势下,国际社会舆论、环保政策、产品缺乏科技创新等都给我国煤炭发展带来阻

碍,使未来投资环境恶化,在碳达峰之后,其劣势会更加严峻。煤炭行业应实施煤炭高效清洁利用,降低碳排放水平,坚持创新驱动,延长煤制品产业链,建立转型退出机制(孙旭东,张蕾欣,张博,2021)。

2.1.8 电力行业

电能会成为主要的清洁能源,分布式电源及储能方面有较大发展潜力。通过技术创新支撑用电量的增加;充分利用新材料、新技术,实现规模化应用;利用峰谷价差降低用能费用(屈博,刘畅,李德智,郭炳庆,2021)。

2.1.9 金融行业

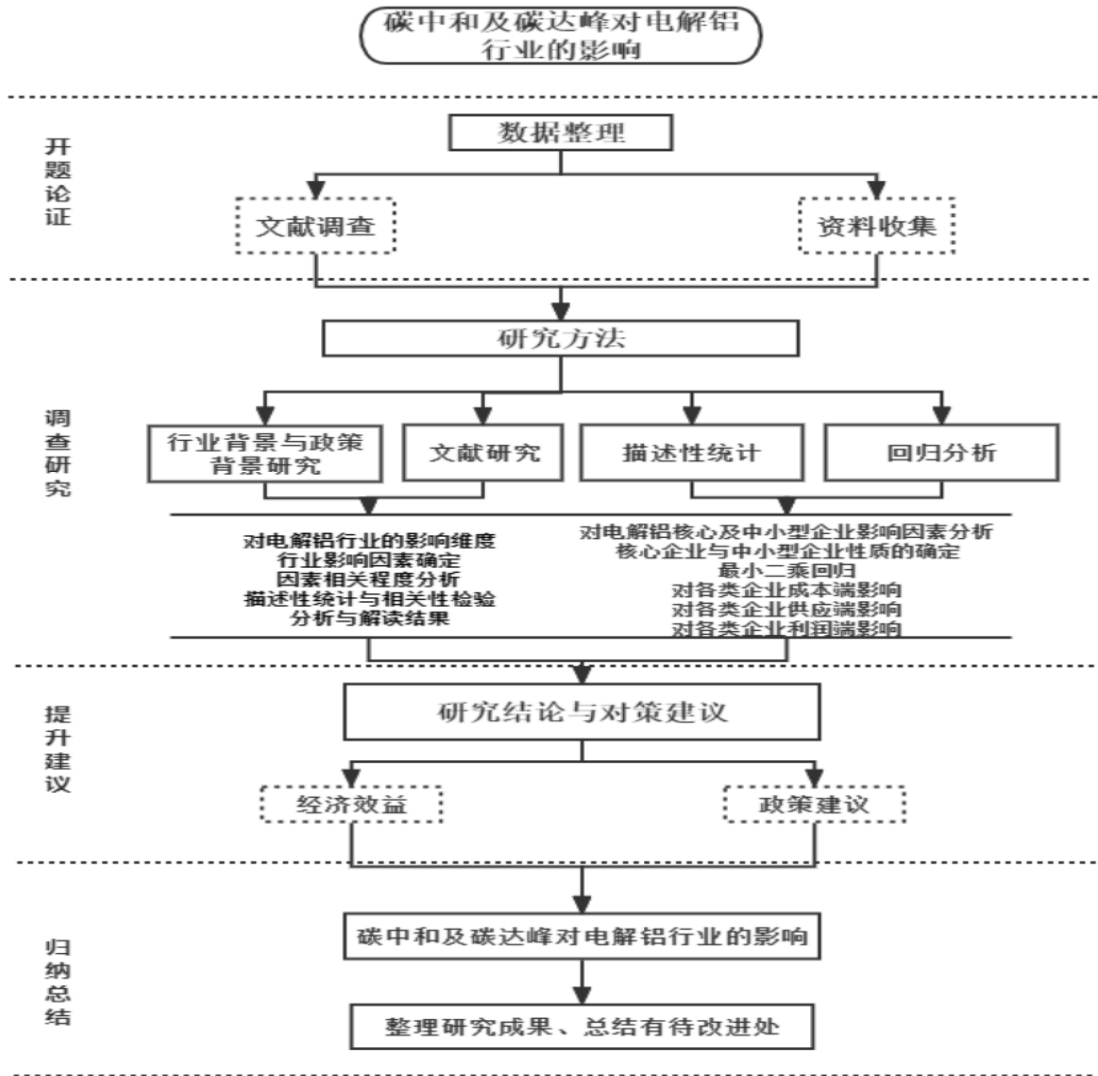
在双碳目标下,我国金融行业存在很多挑战:外部性问题;信息不对称问题。不健全的相关政策法规;考虑碳因素的企业比较少;市场对低碳发展的支持度不够等。总体来看,绿色金融的发展关键在于创新,金融行业需要开拓绿色发展之路(苏小军,张伟,梁超。绿色资产管理业务的实践与发展方向[J]。中国外汇,2021)。

综上所述,现有的对碳达峰碳中和的研究主要集中在能源、技术、经济、行业这种宏观层面,而对企业及其单个影响维度的微观层面的研究较少。发展"双碳"目标实现不应只关注宏观政策的制定,还应考虑如何落实,比如头部企业需要更多地落实能源结构的转型,及需要集中关注如何节能减排。此外,现有研究大多只是提出改进的观点与建议,没有真正落到实处去实践,无法验证观点的可行性。总之,碳达峰与碳中和的研究仍有许多缺失,有更多的研究空间值得思考。

2.2 理论框架

本文的理论框架图，如图 2-1 所示：

图 2-1:本文的理论框架



三、数据与样本

3.1 数据收集与定义

本文研究使用的电解铝企业数据，来自电解铝在 A 股上市公司及产量规模在行业排名长期靠前的大型企业，他们是：中国铝业、神火股份、中孚实业、南山铝业、焦作万方、电投能源、天山铝业、云铝股份，8 家企业生产数据及区域行业数据,包括 2015 年至 2022 年季度末行业企业的产能、产量、供应量及消费量等,均使用国内大宗商品市场信息提供商百川盈孚，其对企业产能的计算，主要通过标准工时的标准资料法，该方法利用企业历史信息进行快速制定标准工时，由于是企业本身产生的历史数据，所以标准工时普遍比较准确。

本文研究使用的其他公开数据,如上市板块、IPO 日期、资产总计、总市值、资产负债率、每股收益等来自于 WIND 数据库和 CSMAR 经济金融研究数据库中 2015 年至 2022 年季度末的财报数据。WIND 作为金融数据和分析工具服务商,其数据内容涵盖股票、基金、债券、外汇、保险、期货、金融衍生品、现货交易、宏观经济、金融新闻等领域,能够为本文的研究提供充分的实证支持。CSMAR 数据库借鉴芝加哥大学 CRSP、标准普尔 Compustat、纽约交易所 TAQ、I/B/E/S、Thomson 等国际知名数据库的专业标准，结合中国实际开发的经济金融数据库。目前 CSMAR 数据库已涵盖因子研究、人物特征、绿色经济、股票、公司等 18 大系列,包含 130+个数据库、4000 多张表、4 万多个字段。

本文按照如下方式提取相关的研究数据：

- 1、行业企业数据提取时间。2015 年(中国在第 75 届联合国大会首次提出双碳目标前 6 年)到 2022 年 12 月 31 日,按季度提取各类别在季度末最后一天的数值。

2、行业企业的选择。选择电解铝行业上市公司 8 家,上市公司选择的标准为,公司成立日期在 20 年以上,IPO 发行日期在 10 年以上,在沪深主板上市,市值规模处于同行业企业前 2/3,跨越了若干个牛熊周期,他们是:中国铝业、神火股份、中孚实业、南山铝业、焦作万方、电投能源、天山铝业、云铝股份。

3、资产总计与总市值的数据提取。总市值是按照某上市公司发行的股份,按照季度末最后一天的市场价格计算出来的股票总价值,其计算公式为:市值=每股股票市场价格*发行总股数。资产总计是企业拥有或控制的全部资产,包括流动资产、长期投资、固定资产、无形及递延资产、其他长期资产等,在企业当季的资产负债表中予以提取。

4、资产负债率及市值比。资产负债率根据 WIND 数据库中各上市企业季度财报数据提取,市值比(B/M)是根据 WIND 数据库中股东权益/公司市值,即每股净资产*流通股股数/总市值。其中股东权益,即净资产数据来源于 WIND 数据库企业当季财报的资产负债表。

5、ROA 及 ROA 波动率的数据计算。资产回报率(ROA),用于衡量每单位资产创造的净利润的指标,根据 WIND 数据库中各上市企业季度财报关键比率项中的数据直接提取,ROA 波动率是反映企业 ROA 过去的波动,计算方法为首先从 WIND 数据库中获得企业在每季度末最后一天的 ROA 数据;然后,对于每个 ROA 数据,求出该时间段末的 ROA 与上一时间段末的 ROA 的差值;最后除以上一时间段末的 ROA 值,得到的即为 ROA 波动率。

6、固定资产占比及现金资产率、营业收入同比增长率的计算。固定资产/资产总计 $\times 100\%$ 用于计算固定资产占比,固定资产比率越低,企业的资产流动越快。从资本运营能力来看,固定资产比率越低,企业的运营能力越强。现金资产率是现金资产在流动资产中所占的比率。根据 WIND 数据库中各上市企业季度资产负债表,分别提取“货币资金”及“流动

资产”数据计算所得。一般来说,现金资产率越高,说明银行的流动性越高,对债权人的保障程度越高。营业收入同比增长率为(当期营业收入-上期营业收入)/上期营业收入×100%,当期营业收入按季度数据提取。

7、每股收益、股价波动率数据提取及计算。根据 WIND 数据库中各上市公司公告提取每股收益。股价波动率,这里特指计算上升波动率,用于衡量股价变动大小,为(下一季度底部-上一季度底部)/两底部的时间距离。

8、库存周转率、产量及产能数据的提取。根据 WIND 数据库中各上市公司季报公告营运能力栏提取库存周转率数据。使用国内大宗商品市场信息提供商百川盈孚对有关企业地区季度数据收集分析所需数据。

3.2 清洗数据

数据清洗就是通过检查并处理无关数据、重复数据、空数据、异常数据、错误数据等来全面提升数据质量的过程,这个步骤的成功与否会直接影响建模的效果。对数据不加以清洗与规范就跑出的模型,大概率也是无法使用的。因此,在建模初期,就对需要加工的数据进行数据检测与数据清洗,以保证数据的质量。

好的数据质量需要满足以下五个标准:

- ✓ 唯一性: 不存在无意义的重复数据
- ✓ 完整性: 数据完整且连续
- ✓ 一致性: 数据在多数据源中意义一致
- ✓ 有效性: 这里主要指数据在分析的时间点是有效,而非过期或失效数据
- ✓ 准确性: 数据合理、准确,并符合数据类型的标准

为了提升数据的唯一性、完整性、一致性、有效性与准确性,按这 5 个维度逐一对数据清洗:

1、数据唯一性:检验数据是否存在重复,比如企业名称与其股票代码、上市板块、所在地、成立日期及 IPO 日期是一一对一的关系,数据清洗需要保证数据的唯一性。

2、数据完整性:主要核查数据的空值、缺失值的情况,即提取的数据库是否存在缺失值,一般用“NULL”或者“NA”表示,而空值则为“”,在系统检测某个字段是否完整时,需要将两个条件都写上。

3、数据一致性:统一不同数据源中字段的意义是否相符。比如在 WIND 数据库中“资产总计”,而在 CSMAR 经济金融研究数据库中命名为“总资产”,需要在数据清洗中统一命名取值。

4、数据有效性:更多的是指在分析的时间节点,数据是否有效。比如在提取的季度周期,企业是否处于正常运营等。

5、数据准确性:要求清理后的数据准确、合理及规范,在清理过程中,需要检查数据是否存在异常值、是否存在错误数据。比如:数值型数据,检查数据的最大值和最小值是否在合理的区间;负值是否存在,其存在是否合理等。

经过以上 5 个维度,发现的数据问题,使用删除数据、更正数据及填充、平滑数据,来提升数据质量。

3.3 样本选择

本文中的样本选取遵循准确性、可行性和可比性原则。首先权衡面板数据的时间维度和样本总量,选择时间区间是“双碳”目标提出前6年至今。

根据Wind的统计，2020年，中国电解铝产量为3724.46万吨。按照每吨电解铝13500千瓦时的耗电量计算，2020年的耗电量为5028亿千瓦时，占社会总用电量75110亿千瓦时的6.7%。电解铝生产过程中的二氧化碳排放主要体现在耗电量和电解过程中。电力消耗环节对应于电力生产过程中的碳排放，电解过程对应于阳极消耗和阳极效应。电解铝的二氧化碳排放量计算如下（注：电力排放因子值为0.8587，这是2015年至2017年中国中部六个区域电网OM排放因子的加权平均值）：结合2019年中国电解铝能源结构，中国电解铝产量为3573.25万吨，86%的电解铝能源来自火电，2019年全国电解铝碳排放量约为4.18亿吨，占全国二氧化碳排放总量98.26亿吨的4.3%（BP数据）。

因此，电解铝的峰值产能已成为影响“双碳”目标实现的关键行业之一。

研究样本同时经过以下处理：结合近6年来电解铝行业8家上市企业的实际财务数据、各区域产能产量、库存周转率等数据，剔除非上市企业(以民企为主),市场份额极低小型企业，剔除相关数据异常或缺失的样本。为了消除极端值的影响，本文对所有连续变量在5%和95%分位上进行Winsorize处理。

本文选择与电解铝同属有色金属产业的电解铜作为对照品种,选取与电解铝行业企业相同的维度数据进行分析,鉴于电解铜产品属性、上市企业规模、企业个数、企业成立时间、生产区域分布等与电解铝类似,其冶炼工序,碳排放量相对较小,"双碳"目标政策对铜冶炼产能的削减力度相对较小,影响程度小。

四、实证方法与发现

4.1 实证方法

4.1.1 行业背景与政策背景的研究

行业背景:

(一) 供给端：国内外新增产能有限

国内电解铝产能即将达到产能天花板,未来增量有限。预计2021年国内电解铝最终可实现投产产能291.5万吨,预计年内还可投产255.5万吨。新增产能主要位于云南、广西、贵州等地,其中云南以其丰富的水电资源吸引了包括云铝股份、神火股份、中国宏桥以及云南其亚等企业纷纷进驻,而今年新投产能的释放也主要集中在云南。据SMM统计,截至3月初,全国电解铝运行产能达3968万吨,有效建成产能规模4354万吨/年,全国电解铝企业开工率91.1%。目前电解铝剩余指标主要集中在中铝、神火以及部分在建尚未建成的企业中,随着新投产能的逐步释放,国内电解铝行业建成产能将逐步达到4400万吨的产能天花板,未来新增产量有限。

海外电解铝新增产能有限。据SMM统计,2019-2021年新投及复产产能为183.1万吨,其中2021年新投及复产产能为120.9万吨,而2020年海外电解铝产量为2795万吨,占比仅为4.33%,对海外电解铝产量影响有限。

(二)碳中和：中长期对电解铝新增产能形成抑制

2015年12月12日,巴黎气候变化大会通过了《巴黎协定》。该协议是继1992年《联合国气候变化框架公约》和1997年《京都议定书》之后,人类历史上处理气候变化问题的第三个里程碑式国际法律文件。它是全球气候治理进程中的重要里程碑,形成了

2020 年后的全球气候治理格局。该协议为 2020 年后应对气候变化的全球行动作出了安排，其长期目标是将全球平均气温与工业化前相比的上升控制在 2°C 以内，并努力将上升限制在 1.5°C 以内。

在《巴黎协定》签署 5 周年之际，全球 70 多位国家元首于 2020 年 12 月 12 日共同参与了气候雄心峰会。今年的气候雄心峰会旨在进一步推动各方在气候行动、融资，以及气候适应和抵御能力建设方面的雄心和努力。

此前，2020 年 9 月 22 日，联合国大会宣布，中国将力争到 2030 年达到二氧化碳排放峰值，到 2060 年实现碳中和；随后日本和韩国宣布在 2050 年 实现碳中和目标；欧盟发布《绿色新政》，将 2030 年减排目标从 40% 提高到 50% 至 55%，并宣布 2050 年实现碳中和。

碳排放现状：亚洲、大洋洲以及非洲的电解铝生产更多依靠火电

据 IAI 统计数据，亚洲、大洋洲以及非洲的电解铝生产所耗电力主要依靠煤炭，其中亚洲（除中国）电解铝耗电来源中 97% 的比例为煤炭，中国的这一比例为 88%，大洋洲和非洲的比例分别为 67% 和 49%。从吨铝二氧化碳排放量来看，三大洲的吨铝 二氧化碳排放量也在 9 吨以上，明显高于北美洲和欧洲的 2.7 和 1.9 吨，也高于天然气占主导的海湾国家的 6.1 吨。由以下数据可以发现，电解铝生产中消耗的以煤炭生产 的火电是造成电解铝行业碳排放数据高企的首要原因。

据 IAI 统计数据，2019 年国内电解铝产量 3580 万吨，按照吨铝电耗 13531kWh/吨计算，电解铝行业总耗电量为 4844.1 亿 kWh，占 2019 年我国全社会用电量 72255 亿 kWh 的 6.7%。按照吨铝二氧化碳排放量 12.8 吨计算，国内电解铝行业用电环节二氧化碳总排放量

为 4.58 亿吨,占 2019 年我国全社会碳排放量 100 亿吨的 4.58%。 虽然目前中国吨铝二氧化碳排放处于全球较高水平,但是国内电解铝单吨电耗处于全球最低水平,随后,随着国内电解铝用电结构的进一步优化,将会显著降低国内电解铝的单吨二氧化碳排放量。

2.减排措施:改善能源结构,提高水电及可再生能源供电来源占比

中国电解铝行业的用电模式分为自备电和电网电。截至 2019 年底,自备电站的比例约为 65%,为火力发电;电网电站的比例约为 35%,其中火力发电约占 21%,清洁能源发电约占 14%。据安泰客测算,在“十四五”节能减排的背景下,未来电解铝行业运营能力的能源结构将有一定调整,特别是在云南电解铝计划产能全部投产后,清洁能源的比例将大幅提高,从 2019 年的 14%提高到 24%。随着我国能源结构的整体改善,电解铝行业的能源结构将进一步优化。

3.电解铝生产全流程均存在碳排放:非电力环节占比 37%,再生铝优势明显

据 IAI 统计数据,全球电解铝电力环节吨铝二氧化碳排放量为 10.4 吨,然而除了电力环节对能源消耗导致的碳排放外,电解铝的其他生产环节亦会造成碳排放。分原材料来看,氧化铝环节的吨铝二氧化碳排放量为 3.1 吨,阳极碳素环节的吨铝二氧化碳排放为 0.5 吨。综合来看,电解铝从生产到最终运输的吨铝二氧化碳排放量为 16.5 吨,其中非电力环节为 6.1 吨,占比 37%。

据 IAI 统计数据,全球再生铝生产及运输环节吨铝二氧化碳排放量为 0.6 吨,其中旧废铝吨铝碳排放量为 0.4 吨,新废铝吨铝碳排放量为 0.2 吨。再生铝相对原铝在碳排放方面具备极高的优势,提高废铝回收率有利于电解铝行业碳减排目标的实现。

4.供应上限双保险:电解铝行业将可能优先纳入全国碳交易市场

据财联社资讯获悉,拥有良好碳排放数据库的水泥和电解铝行业很可能首先被纳入全国碳交易市场。除电力外,剩下的石化、化工、建材、钢铁、有色金属、造纸和航空等7个行业将在“畅通衔接、平稳过渡”的基调下,逐步纳入全国碳市场。

2020年11月20日,生态环境部办公厅印发《2019年和2020年全国碳排放权交易配额总量设置和分配实施方案(发电行业)(征求意见稿)》。根据2013年至2018年任何一年排放2.6万吨二氧化碳当量(约1万吨综合能耗标准煤)或以上的发电行业企业或其他经济组织(包括其他行业的自备电厂)的碳排放核查结果,选择确定2019年至2020年纳入全国碳市场配额管理的重点排放单位名单,并实行名录管理。重点排放单位名单中包括东方希望晋中铝业、中铝山西新材料、包头铝业、内蒙古霍煤鸿骏铝电、内蒙古锦联铝材、洛阳香江万基铝业、焦作万方铝业等四十余家电解铝企业。

2020年12月31日,生态环境部发布了《碳排放交易管理办法(试行)》,自2021年2月1日起实施。符合下列条件的温室气体排放单位应当纳入重点温室气体排放单元名单:(一)属于全国碳排放交易市场覆盖的行业;(二)年温室气体排放量达到26000吨二氧化碳当量。碳排放配额分配主要为无偿分配,可根据国家相关要求适时引入有偿分配。

电解铝行业纳入全国碳交易市场意义深远,对于自备电覆盖率较高的省份可以通过碳排放权交易进行成本优化,对相关碳排放权存在剩余的企业来说,可以通过碳排放权交易实现吨铝成本的降低。对于网电覆盖率较高的省份,更多通过电力企业参与碳交易市场而间接对电解铝企业成本进行调节。碳排放权交易或将使得全国电解铝成本曲线有所上移,但是省份之间的结构性差异也会逐步体现。总体来看,碳排放权交易将使得后续即将投产产能的单

位成本上升,或将对部分企业的投产形成抑制,进而对国内 4400 万吨电解铝产能上限形成双保险。

据 IAI 估计,2018 年全球由新废铝和旧废铝生产的再生铝产量达到 2,800 万吨,占原铝和再生铝总产量的 30%。发达国家的再生铝产量普遍超过原铝。根据联邦地理调查局的统计,2017 年美国再生铝产量为 370 万吨,而原生铝产量仅为 74 万吨,占总产量的 83.33%。根据中国有色金属工业协会再生金属分会提供的数据,2019 年,国内再生铝产量将达到 725 万吨,相当于原生铝和再生铝总产量的 17.14%。再生铝已成为中国铝工业的重要组成部分。

后期随着国内电解铝消费的逐年增长,每年的消费量可能达到或者超过 4400 万吨的电解铝产能上限,由此形成电解铝供应缺口,但是我们认为 4400 万吨的产能上限并不会因此而快速放开,国家相关部门或存在较长周期的论证过程。另外,国内目前再生铝占整个铝金属供给的比例相比全球平均水平依然偏低,并且再生铝还具备碳排放的绝对优势,因此我们认为即便国内铝消费超过了 4400 万吨,再生铝产量的逐步上升也可以作为电解铝的有益补充。目前海外电解铝整体供应宽松,因此在国内短缺的情况下,也可以从海外进口电解铝补充国内供给。综合来看,我们认为国内电解铝 4400 万吨的产能上限具备较为明显的硬约束,如图 4-1 所示。

图 4-1:分省份电解铝产能(万吨)及自备电覆盖率



数据来源:百川盈孚,广发证券发展研究中心

5.地方减排执行：内蒙古不再审批电解铝新增项目

2021年3月9日，内蒙古自治区发展和改革委员会、工业和信息化部、能源局联合发布了《确保完成“十四五”期间能源消费双控目标任务的若干保障措施》，其中提到，首次确定2021该地区能源消费双控目标单位GDP能耗降低3%，能耗增量控制在500万吨标准煤左右，总能耗增长率控制在1.9%左右，单位工业增加值（当量值）能耗下降4%以上。

新建项目：从2021起，电解铝和氧化铝（从高铝粉煤灰中提取氧化铝除外）等新产能项目将不再获批。如果确实有必要进行建设，则必须在该地区实施产能和能源消耗的削减和替换。

改建：改建电解铝项目要严格执行《关于提高部分行业建设项目准入条件规定的通知》文件规定。有序提高自治区高耗能行业能耗限额地方性标准。

节能技术改造：2021至2023年，电解铝等高耗能行业的重点耗能企业将重点进行节能技术改造。各盟市每年至少按照40%、40%、20%的进度完成全部改造任务，加快火电机组节能改造，力争改造后单位产品能耗达到国家能耗定额标准先进值。

绿色电价：落实自治区发改委、工业和信息化厅《关于调整部分行业电价政策和电力市场交易政策的通知》。

据百川盈孚,近日内蒙古各市政府已向电解铝企业下达《关于降低能耗的“双控”任务书》，降低电解铝企业一季度能耗总量。这一限制主要影响蒙古东部的电解铝企业。霍林郭勒市政府目标任务一季度计划新增能耗控制在2.896万吨标煤以内,单位GDP能耗下降3.8%。具体到电解铝企业影响来说：（1）A企业：年产能86万吨,计划减产40台电解槽,预计影响产能4万吨左右,开始时间待定。（2）B企业:年产能125万吨,减产39台电解槽,影响产能4万吨左右,目前已开始减产。（3）C企业:年产能80万吨,减产55台电解槽,影响产能7.5万吨左右,目前已开始减产。此次蒙东地区压减能耗影响电解铝产能合计15.5万吨。

（三）库存：国内淡季累库幅度低于历史同期水平

截止3月14日当周,国内电解铝累库至120.2万吨,低于去年同期的161.1万吨。如果以春节后第四周库存计算,目前的累库幅度也低于去年春节后第四周131.4万吨的水平。国内淡季累库幅度有限,预计今年库存高点位于130万吨左右,后期随着消费旺季的逐步来临,国内电解铝在低库存情况下的去库将对价格形成有力支撑。

截止 3 月 14 日当周,LME 电解铝库存出现大幅交仓,一周内库存大幅上升 60 万吨。交仓主要出现在马来西亚巴生港。据 LME 公布的自愿报告库存,2021 年 1 月巴生港 存在隐性库存 90.13 万吨,本周的大幅度交仓可能是隐性库存显性化。

(四) 需求端：碳中和带来新增需求亮点

1. 铝棒即将步入消费旺季,带动电解铝持续去库

截止 3 月 14 日当周,国内铝棒库存录得 25.15 万吨,较年内高点 26.8 万吨已经有所下降,表明国内铝棒即将迎来新一轮去库周期。铝棒的库存下降将带动上游电解铝持续去库。

2. 地产：新开工竣工数据边际改善,建筑铝型材开工率维持高位

2020 年国内房屋竣工累计增速为-4.9%,房屋新开工面积累计增速-1.2%。整体来看竣工及新开工增速虽尚未转正,但是建筑铝型材整体消费尚可,2020 年 4 月以来,建筑铝型材开工率基本高于去年同期水平,显示出地产竣工端的消费韧性。后期随着地产新开工逐步交付竣工,我们对地产竣工端铝材消费增速依然较为乐观。(国内建筑结构铝消费占全国铝消费比例约为 33%)

3. 汽车：销售数据边际改善,工业铝型材开工率同比大幅增长

2020 年,国内汽车销量累计增速-1.9%,实现了连续 7 个月的单月双位数增长,汽车消费增长边际大幅好转。国内工业铝型材开工率自 2020 年 6 月份以来同比大幅增长。汽车下游消费边际好转带动国内工业铝型材开工率同环比大幅好转。(国内交通运输行业铝消费占全国铝消费比例约为 22%)

4. 特高压：投资触底回升,铝线缆开工率存在提升空间

2020年,新增220千伏以上线路长度累计增速-2.5%,累计增速自7月份以来由负转正,显示出国内特高压用铝消费增速在下半年有所回升。2020年国内共核准建设特高压线路七条,随着七条特高压线路的实际开工建设,将显著拉动电力行业铝消费。(国内电力电子行业铝消费占全国铝消费比例约为12%)

5.铝材: 出口边际回暖,产量双位数增长

2020年,国内铝材产量累计同比增长12.2%,铝材作为电解铝下游消费端,体现出电解铝表观消费双位数增长。2020年6月以后,随着海外疫情的逐步缓解,国内铝材出口环比持续修复,推动国内下半年消费逐步修复,后期随着海外疫情的进一步缓解,铝材净出口或将得到进一步修复。(国内铝材净出口占国内铝材产量比例约为10%)

6.碳中和: 新能源车单车耗铝量高于传统燃油车

据IAI预测数据显示,2020年传统燃油车、纯电动以及插电混动汽车的单车耗铝量为136/158/198kg,2025年相关汽车的单车耗铝量将增至180/227/238kg,2030年相关汽车的单车耗铝量将增至223/284/265kg。碳中和所引致的汽车轻量化趋势将从单车铝密度提升和新能源汽车渗透率提升两个层面影响提高汽车行业铝消费量。假设全球新能源汽车销量从2020年的312.5万辆增长到2025年的1359.22万辆,则对应铝消费量将从2020年的53.35万吨增长到2025年的313.22万吨。

7.碳中和: 光伏构成电解铝未来需求的增长亮点

太阳能是一种可再生的无污染的新能源,挤压铝材是制造太阳能光伏组件最有竞争力的可选材料,电池板框架支柱、支撑杆、拉杆等都可以用铝合金制造,是铝型材应用的新市场。

铝型材在光伏领域主要产品在太阳能光伏边框和太阳能光伏支架等。太阳能光伏边框和支架主要起到固定、密封太阳能电池组件、增强组件强度、便于运输和安装等作用,其性能将影响到太阳能电池组件的寿命。按照使用的原材料可将太阳能边框分为三类:铝型材边框、不锈钢边框、玻璃钢型材边框,由于铝型材具备重量轻、耐蚀性强、成形容易、强度高、易切削和加工、可回收等特点,目前在太阳能边框中应用为最为普遍。

根据中国光伏行业协会及工信部发布的《中国光伏产业发展路线图》描述,2018年,市场上大部分电池组件使用的是铝边框,铝边框使用率高达93.3%。我国是世界第一大太阳能电池和模组生产基地,未来光伏行业对铝材需求量的前景十分广阔。

据IRENA,2019年全球光伏累计装机量为580.16GW,中国光伏累计装机量为205.07GW。根据IEA对年均新增装机量的预测,我们预测至2025年,全球光伏累计装机量(主要情景)约为1725.11GW,2023-2025年均复合增速8.89%。加速情景下将达到约1823.12GW,2023-2025年均复合增速10.91%。我们预测至2025年,中国光伏累计装机量(主要情景)约为451.35GW,2023-2025年均复合增速12.28%。加速情景下将达到约474.69GW,2023-2025年均复合增速14.18%。

按照光伏铝密度2.09万吨/GW计算,预计在主要情形下,全球光伏耗铝量将从2019年225.53万吨增长至2025年的294.22万吨;预计在加速情形下,全球光伏耗铝量将从2019年的225.53万吨增长至2025年的374.8万吨。

加总新能源汽车行业和光伏行业未来铝需求预测,我们预计在主要情形下,全球光伏+新能源车铝消费量将从2019年的260.38万吨增长至2025年的607.44万吨;预计在加速情形下,全球光伏+新能源车铝消费量将从2019年的260.38万吨增长至2025年

的 688.02 万吨。据 IAI 统计数据，2020 年全球电解铝产量为 6529.6 万吨，2025 年光伏+新能源车消费量占 2020 年产量比例将从目前的 4%提升至 9.3-10.54%。

政策方面：

2015年12月，《巴黎气候大会》习总书记提出：把生态文明建设作为十三五重要内容。

2017年，国家发展改革委等四部委印发《关于印发电解铝行业违法违规项目清理整治行动方案的通知》。铝供给侧改革正式开始实施，电解铝进入低供给增长时代。

2021年2月，《国务院关于加强建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》指出，推进垃圾分类回收和再生资源回收“两网融合”，鼓励地方建立再生资源区域交易中心。加快废旧材料回收利用体系建设，加强废纸、废塑料、废轮胎、废金属、废玻璃等可再生资源回收利用，提高资源产出和回收利用率。

2021年3月，国务院总理李克强在《政府工作报告》中表示：到2030年实现国家对气候变化独立贡献的目标。“十四五”期间，单位GDP能耗和二氧化碳排放量分别下降13.5%和18%。北方清洁取暖率达到70%。扎实做好碳达峰和碳中和工作。制定2030年碳排放达峰行动计划。开展能源、冶金、化工等重点行业绿色转型，不断优化工艺流程，完善技术装备，降低大宗固体废物生产强度。

2021年4月，中美气候危机联合声明中国气候变化特使解振华、美国总统气候问题特使约翰·克里，上海会谈双方发表了如下声明：中国和美国致力于共同努力解决气候危机，并根据形势的严重性和紧迫性应对气候危机。保持全球平均气温升幅在2°C以下，长期目标在1.5°C以内。

同年,《领导人气候峰会》国家主席习近平:中国正在制定碳达峰行动计划,中国将严格控制煤电项目,在“十四五”期间严格控制煤炭消费增长,并在“十五五”期间逐步减少。我们还将加强对非二氧化碳温室气体的控制,并在全国碳市场推出在线交易。

《2021年能源工作指导意见》国家能源局:2021年煤炭占能源消费比重下降到56%以下,新增电能替代电量2000亿千瓦时左右,电能占终端能耗的比重力争达到28%左右;将单位GDP能耗降低约3%;非化石能源发电装机容量力争达到11亿千瓦左右。根据统计局的数据,2020年煤炭消费将占能源消费总量的56.8%,比上年下降0.9%。

工信部部长肖亚庆表示实现碳达峰、碳中和要落实好国务院发布的《2030年碳达峰行动计划》,积极开展工业领域碳达峰行动,出台工业领域及重点行业碳达峰行动方案,以钢铁、有色金属等行业为重点,严格落实钢铁、水泥、电解铝等行业产能。

2021年5月,国家发展改革委、住房城乡建设部有关《“十四五”城市生活垃圾分类处理设施发展规划》指出,推进可回收物回收利用设施建设。各地要根据生活垃圾分类后可回收物的数量和种类,综合考虑环保要求、技术水平、区域合作等因素,推动建设一批技术水平高、示范性强的回收项目,提高可回收材料的回收利用率。

2021年6月,《“共同行动助力碳达峰碳中和”高层论坛》:碳中和碳达峰目标的提出是以习近平同志为核心的党中央经过深思熟虑作出的重大决策。我国正在制定双碳“1+N”的政策体系,将在十个领域采取加速转型和创新的政策措施和行动。

2021年7月,国务院在《“十四五”循环经济发展规划》:为再生铝产业设定了在2025年达到1150万吨的年产量目标。

2021年8月,《国家发展和改革委员会关于完善电解铝行业阶梯价格政策的通知》将完善阶梯价格的分级和涨价标准。根据铝液综合交流功耗(见刚性部分中的定义和计算方法),对电解铝行业阶梯电价进行分级,分级标准为每吨13650千瓦时。电解铝企业铝液综合交流电耗不高于分级标准的,不增加铝液生产电耗。如果高于分级标准,每超过20千瓦时,铝液生产用电量将每千瓦时增加0.01元。如果低于20千瓦时,则按20千瓦时计算。

2021年10月,中共中央、国务院《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、扩建钢铁、水泥、平板玻璃、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,出台煤电、石化、煤化工等产能控制政策。

2021年12月,工业和信息化部2021年10月,科学技术部2021年10月,自然资源部,《“十四五”原材料工业发展规划》,大幅提高铁金属国内自给率,废铜比达到30%以上,再生铜和铝产量的比例分别达到35%和20%。开发“城市矿山”资源,支持有竞争力的企业建立大型废铜和再生铝、锂、钴、钨、钼回收基地和产业集群,推动再生金属回收、拆解、加工、分类和配送一体化发展。

2021年12月,生态环境部等18部委,《“十四五”时期无废城市“建设工作方案》,支持金属冶炼2021年12月,造纸2021年12月,汽车制造等龙头企业将与可再生资源回收和加工企业合作,建设废铜、铁、有色金属、废纸综合绿色分拣、加工和配送中心,以及废动力电池回收中心。

4.1.2 文献研究(本文的立论基础)

4.1.2.1 全球碳达峰及碳中和研究进展

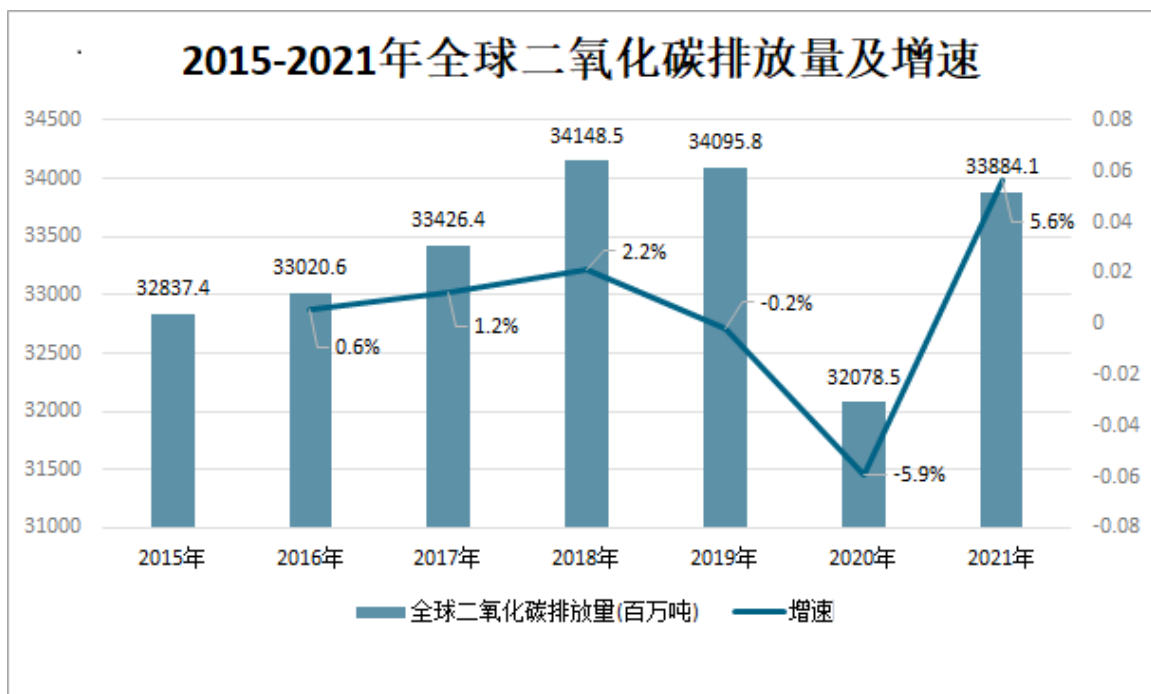
碳中和最早的研究发表于1995年。Schlamadinger et al,1995,

Biomass&Bioenergy 构建碳中和评价指数回答“替代化石燃料的生物质能源在全生命周期是否真的为碳中性”这一争议。

碳达峰最早的研究发表于 2000 年。De Vries et al,2000,Technological Forecasting and Social Change 基于 1994 年 IPCC 报告 IS92 情景,采用 IMAGE 模型预测全球碳排放将于 2040 年达峰,峰值为 12.8GtC/yr,预计至 2100 年温升仅为 1.4°C。

碳达峰是实现碳中和的基础和前提,达峰时间的早晚和峰值的高低直接影响碳中和实现的时长和难度。世界资源研究所(WRI)认为,碳达峰并不单指碳排放量在某个时间点达到峰值,而是一个过程,即碳排放首先进入平台期并可能在一定范围内波动,然后进入平稳下降阶段。碳排放峰值是碳排放从增加到减少的历史转折点,标志着碳排放与经济发展脱钩,如图 4-2 所示。

图 4-2:2015-2021年全球二氧化碳排放量及增速



资料来源:BP、智研咨询整理

Energy Transitions Commission(2008)认为碳达峰的目标包括达峰时间和峰值。一般而言,碳达峰峰值指在所讨论的时间周期内,一个经济体温室气体(主要是二氧化碳)的最高排放量值。根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告,将峰值定义为“在排放量降低之前达到的最高值”。据经济合作与发展组织(OECD)统计数据显示,1990年、2000年、2010年和2020年碳排放达峰国家的数量分别为18、31、50和54个,如图4-3所示。

图 4-3:全球“碳达峰”实现情况

时间	国家
1990及以前已实现	阿塞拜疆、白俄罗斯、保加利亚、克罗地亚、捷克、爱沙尼亚、格鲁吉亚、德国、匈牙利、哈萨克斯坦、拉脱维亚、摩尔多瓦、挪威、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛伐克、塔吉克斯坦、乌克兰
1990年到2000年已实现	法国(1991)、立陶宛(1991)、卢森堡(1991)、黑山共和国(1991)、美国(1991)、波兰(1992)、瑞典(1993)、芬兰(1994)、比利时(1996)、丹麦(1996)、荷兰(1996)、哥斯达黎加(1999)、摩纳哥(2000)、瑞士(2000)
2000年到2010年已实现	爱尔兰(2001)、密克罗尼西亚(2001)、奥地利(2003)、巴西(2004)、葡萄牙(2005)、澳大利亚(2006)、加拿大(2007)、希腊(2007)、意大利(2007)、西班牙(2007)、美国(2007)、圣马力诺(2007)、塞浦路(2008)、冰岛(2008)、列支敦士登(2008)、斯洛文尼亚(2008)
未实现	日本、马耳他、新西兰、韩国的碳排放将在2020年以前达峰,中国、马绍尔群岛、墨西哥、新加坡的碳排放预计在2030年以前达峰

根据联合国环境规划署发布的《2020年排放差距报告》，G20经济体的碳排放量占全球总量的78%；目前，已有9个经济体（法国、英国、中国、日本、韩国、加拿大、南非、阿根廷、墨西哥）提出了净零排放目标。与此同时，整个欧盟也提出了到2050年实现净零排放的目标，但事实上，没有一个大型经济体真正实现了碳中和。Caron Trust（2018）认为，尽管疫情导致全球二氧化碳（CO₂）排放量暂时下降，但到21世纪末，世界仍在朝着升温超过3°C的趋势发展，这对实现《巴黎协定》中承诺的目标构成了重大挑战。所有国家都需要做出巨大努力来实现碳中和的目标。

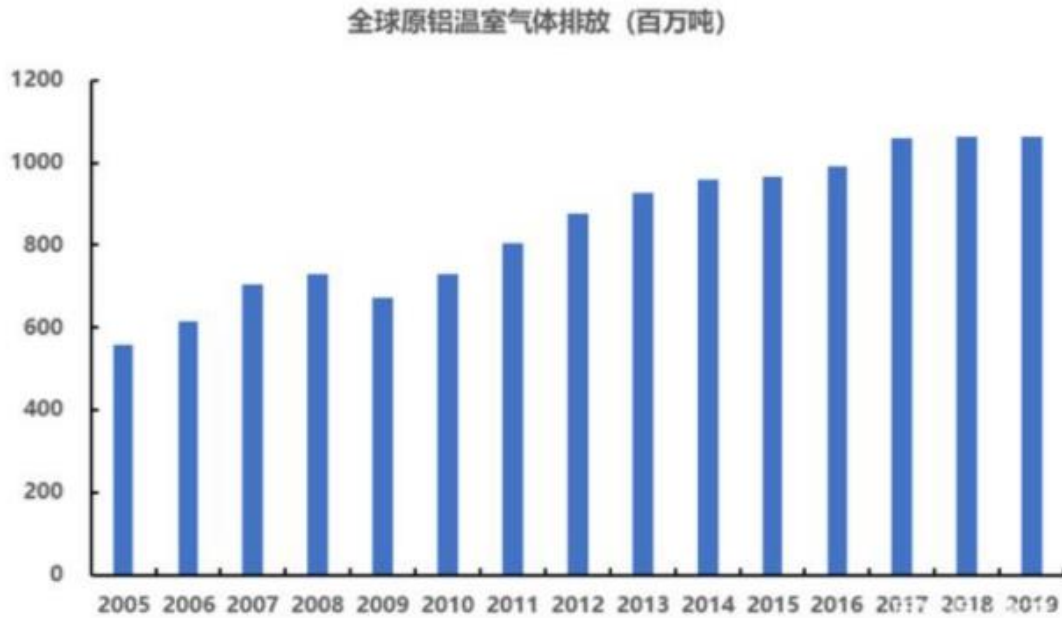
杨昌进、田勇和徐贤根据麦肯锡的报告《应对气候变化：中国的对策》认为，2016年中国的温室气体净排放量为160亿吨二氧化碳当量，40年后实现净零碳排放是一项非常艰巨的任务。为了实现碳中和的愿景，中国目前面临着多重挑战。例如，中国煤炭消费占比较高，优化能源结构、建立绿色低碳经济体系的任务艰巨；同时，中国制造业处于全球价值链的中低端，经济结构调整和产业升级任务艰巨。

姜克军和冯胜波（2021）根据世界银行的世界发展指标（WDI）数据，认为沿线大多数国家都是发展中国家或欠发达国家，绿色转型需要巨额投资。尽管这些国家的经济规模不大，全球温室气体排放比例也不高，但2014年，沿线56个国家的化石能源消费比例高于经合组织24个国家的平均水平。因此，如果我们不从现在开始，提高可再生能源在能源结构中的比例，这些国家的经济发展将成为全球减少碳排放统一行动中的“负资产”。发展中国家能否实现低碳发展对全球气候变化具有决定性作用；一带一路沿线国家在全球生产网络中实施绿色低碳发展的努力，将极大地影响全球碳排放和碳中和愿景的实现。

4.1.2.2 电解铝行业的碳排放现状

丛建辉,王晓培,刘婷,杨晓俊(2018)对2005-2019年全球电解铝企业带来的碳排放量研究后指出,2005-2019年全球电解铝企业带来的碳排放量增长89.55%,属于高碳排放行业。2019年全球电解铝产量6433万吨,碳排放量为10.52亿吨。2005-2019年,全球电解铝碳排放总量从5.55亿吨涨至10.52亿吨,增幅达89.55%,复合增长率为4.36%,如图4-4所示。

图 4-4:全球原铝温室气体排放



李佳龙（2019）研究分析了中国电解铝行业的碳排放量，并指出其碳排放量占社会平均总量的 5%。2020 年，中国电解铝产量为 3712.4 万吨。据估计，生产一吨电解铝需要消耗 1350kWh 的电能。该行业总用电量约为 5011.74 亿千瓦时，占 2020 年社会总用电量 7511 亿千瓦时的 6.67%，而电解过程中生产一吨电解铝所排放的二氧化碳约为 1.8 吨。研究表明，电力排放是电解铝生产中碳排放的主要“罪魁祸首”。2019 年，每吨电解铝的平均碳排放量为 10.7 吨电力，占 64.8%，这是最大的因素。

周莹莹,贺倩,李楠(2019)通过对数据进行分析,结果表明,自备热电厂是电解铝和碳排放高的主要原因。研究表明,电解铝生产的电力环节分为火电生产和水电生产。利用热能生产一吨电解铝所排放的二氧化碳约为 11.2 吨,而利用水力发电生产一吨电解质铝所排放二氧化碳几乎为零。中国电解铝行业的用电模式分为自备电和电网电。截至 2019 年底,

自备电站比例约为 65%，全部为火力发电；电网发电比例约为 35%，其中火力发电约占 21%，清洁能源发电约占 14%。

综上所述,电解铝的峰值产能和产量已成为实现双碳目标的关键行业之一。建成产能越来越接近 4500 万吨的“天花板”，但这并不意味着生产能力已达到顶峰。随着指标越来越稀缺，整合指标资源，激活闲置产能，将困在环境容量中的指标转移到合适的地方，将成为电解铝行业未来两年的主要重点，即抓住产能转移，激活指标，提高电解铝的产能利用率。

4.1.2.3 电解铝行业企业碳排放达峰的政策引导

依据马忠民,刘娟娟(2017)研究及分析表明政策指引方向明晰,产能上限与碳达峰对铝产业形成双重天花板。自 2017 年下发《清理整顿电解铝行业违法违规项目专项行动方案》(以下简称“656 号文”)及 2018 年下发《关于电解铝企业兼并重组实施产能置换有关事项的通知》(以下简称“12 号文”)以来,相关部门加大清理整顿电解铝违法违规项目力度(如清除魏桥、信发、东方希望等企业违法违规产能约 380 万吨),落实产能置换指标,电解铝产能快速且无序增长的势头得到遏制,合规产能“天花板”定于 4500 万吨左右。

李侠祥,张学珍,王芳,张丽娟(2017)研究 2021 年起行业自上而下发布节能减碳相关倡议与发展思路后指出,根据 2021 年 4 月国家有关部门制定《有色行业碳达峰实施方案》,《方案》初步提出至 2025 年有色行业力争率先实现碳达峰。根据有色金属工业协会统计,2020 年有色金属碳排放 6.6 亿吨,铝行业碳排放按 4.3 万吨测算则对应全行业 65%排放体量。考虑到铝产业在有色行业排碳占比大,在有色行业 2025 年实现碳达峰预期下,铝行业至少需同步实现碳达峰,对铝产能释放形成进一步制约,如图 4-5 所示。

图 4-5:铝行业碳达峰管控逐渐趋严，产业要求逐渐明晰

中国电解铝产业相关政策汇总一览			
发布日期	发布单位	政策名称	主要内容
2022年8月	生态环境部	《工业领域碳达峰实施方案》	以水泥、钢铁、石化、电解铝等行业为重点，聚焦低碳原料替代、短流程制造等关键技术，推进生产工艺革新和设备改造，减少工业过程温室气体排放。鼓励各地区、各行业探索绿色低碳技术推广新机制
2022年6月	工业和信息化部	《工业能效提升行动计划》	《工业能效提升行动计划》提出到2025年，重点工业行业能效全面提升，数据中心等重点领域能效明显提升，应用，标准，服务和监管体系逐步完善，钢铁、石化、电解铝、建材等行业重点产品能效达到国际先进水平，规模以上工业单位增加值能耗比2020年下降13.5%
2022年6月	工业和信息化部	《工业水效提升行动计划》	严格执行钢铁、水泥、平板玻璃、电解铝等行业产能置换政策，严控磷铵、黄磷、电石等行业新增产能，新建项目应实施产能等量或减量置换
2022年4月	生态环境部	《“十四五”环境影响评价与排污许可工作实施方案》	在重点区域钢铁、焦化、水泥熟料、平板玻璃、电解铝、电解锰、氧化铝、煤化工、炼油、炼化等行业项目环评审批中，严格落实产能替代、压减等措施
2022年2月	国务院	《关于加快推进城镇环境基础设施建设的指导意见》	健全区域性再生资源回收利用体系，推进废钢铁、废有色金属、报废机动车、退役光伏组件和风电机组叶片、废旧家电、废旧电池、废旧轮胎、废旧木制品、废旧纺织品、废塑料、废纸、废玻璃等废弃物分类利用和集中处置
2022年2月	生态环境部	《关于研究处理全国人大常委会固体废物污染环境防治法执法检查报告及审议意见情况的报告》	修订完善铜冶炼、铝、铅锌、铍行业规范条件，依法依规淘汰落后产能，全面推行清洁生产
2022年1月	国务院	《“十四五”节能减排综合工作方案》	到2025年，通过实施节能降碳行动，钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石等重点行业产能和数据中心达到能效标杆水平的比例超过30%
2021年12月	国家发展改革委	《关于振作工业经济运行推动工业高质量发展的实施方案的通知》	推动钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃等重点行业和数据中心加大节能力度，加快工业节能降碳技术装备推广应用
2021年10月	国家发展改革委	《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，钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石等重点行业产能和数据中心达到标杆水平的产能比例超过30%
2021年1月	工业和信息化部	中国铝业和山东魏桥发布《加快铝业绿色低碳发展联合倡议书》	严控产能总量，严格执行电解铝产能指标置换规定，守住电解铝产能“天花板”，落实铝行业准入条件，力争国内氧化铝、电解铝在“十四五”期间达到产能、产量峰值
2020年11月	国家发展改革委	中国有色金属工业协会《中国铝工业“十四五”发展思路》	“十四五”期间，国内点击二氯布局调整将基本完成，产能形成天花板
2020年3月	工业和信息化部	《铝行业规范条件》（2020年第6号）	电解铝企业须采用高效低耗、环境友好的大型预焙电解槽技术，不得采用国家明令禁止或淘汰的设备、工艺
2019年7月	工业和信息化部	《电解铝清洁生产评价指标体系》	对电解铝电流强度160KA的企业从生产工艺及装备要求等六个方面规定其清洁生产的一般要求
2018年12月	工业和信息化部	《关于促进氧化铝产业有序发展的通知》	要以综合回收率在80%以上，每吨氧化铝综合能耗低于380千克标准煤，生产1吨氧化铝新水消耗量低于3吨为目标
2018年1月	工业和信息化部	《关于电解铝企业通过兼并重组等方式实施产能置换有关事项的通知》	2011年至2017年关停并列入淘汰公告的电解铝产能指标须在2018年12月31日前完成产能置换，逾期将不得用于置换；2018年及以后宣布淘汰的电解铝产能指标仍可进行置换或者集团内部转移
2017年4月	生态环境部	《清理整顿电解铝行业违法违规项目专项行动方案》	对2013年5月之后新建设的违法违规项目以及未落实1494号文件处理意见的项目，在建的要立即停建，建成的要立即停产

资料来源: 中国环境科学院, 人民网

4.1.3 回归分析 (本文的技术路线)

数据应用Stata软件,政策变量作为解释变量,产能及产量作为“被解释变量”,利用多元线性回归模型研究政策实施前后对企业产能及产量的影响:

具体回归模型如下:

$$CAP_{itj}/OSB_{itj}=\beta_0+\beta_1PC_{itj}+\beta_2TA_{itj}+\beta_3TDR_{itj}+\beta_4B_M_{itj}+\beta_5ROA_{itj}+\beta_6ROAV_{itj}+\beta_7FAR_{itj}+\beta_8CAR_{itj}+\beta_9OIGR_{itj}+\beta_{10}EPS_{itj}+\beta_{11}SV_{itj}+\beta_{12}ITR_{itj}+\varepsilon_{itj}$$

CAP_{itj} (Capacity): 位于省份j的企业i在时间t的产能

OSB_{itj} (Output):位于省份j的企业i在时间t的产量

PC_{itj} (Policy Change): 省份j的企业i在时间t的"双碳"目标政策变化

TA_{itj} (Total Assets):位于省份j的企业i在时间t的资产总计

TDR_{itj} (Debt To Asset Ratio):位于省份j的企业i在时间t的资产负债率

B_M_{itj} (Book-to-market ratio):位于省份j的企业i在时间t的市值比

ROA_{itj} (Return on Assets):位于省份j的企业i在时间t的资产收益率

$ROAV_{itj}$ (ROA Volatility): 位于省份j的企业i在时间t的ROA波动率

FAR_{itj} (Fixed Assets Ratio):位于省份j的企业i在时间t的固定资产占比

CAR_{itj} (Cash Asset Ratio):位于省份j的企业i在时间t的现金资产率

$OIGR_{itj}$ (Operating Income Growth Rate):位于省份j的企业i在时间t的营业收入同比增长率

EPS_{itj} (Earnings Per Share):位于省份j的企业i在时间t的每股收益

SV_{itj} (Stock Volatility): 位于省份j的企业i在时间t的股票波动率

ITR_{itj} (Inventory Turn Rate):位于省份j的企业i在时间t的库存周转率

本文研究使用的电解铝企业数据,具体见表4-1定义:

表 4-1:因变量与自变量、控制变量定义表

变量名称	变量定义	表达式
因变量		
CAP	产能	反映企业的生产规模 ^①
OSB	产量	电解铝的生产总量 ^②
自变量		
PC1	政策变量 1	电解铝产能及产量限制性政策第一次提出的时间段(2017. 3-2020. 6)及地区, 样本数据中 PC1 列用数字 1 表示, 未有政策限制用 0 表示
PC2	政策变量 2	限制性政策提出后, 双碳政策提出的时间段(2020. 9-2022. 12)及地区 样本数据中 PC2 列用数字 2 表示
控制变量		
TA	资产总计	企业全部资产(流动资产、固定资产、递延资产等)总合计 ^③
TDR	资产负债率	通过将企业的负债总额与资产总额相比较得出 ^④
B_M	市值比	企业的账面价值与股票的市场价值的比率 ^⑤
ROA	资产收益率	资产回报率(ROA), 用来衡量每单位资产创造多少净利润指标 ^⑥
ROAV	ROA 波动率	反映资产收益率的波动情况
FAR	固定资产占比	企业中固定资产占总资产比例
CAR	现金资产率	现金资产率是指现金资产在流动资产中所占的比率
OIGR	营业收入同比增长率	企业在此期间内营业收入的增长或下降情况
EPS	每股收益	企业应当按照属于普通股股东的当期净利润 ^⑦
SV	股票波动率	波动率代表的是股票价格变动幅度的大小
ITR	库存周转率	是在某一时间段内库存货物周转的次数 ^⑧

1

^① 反映企业处理能力的技术参数,也可以反映企业的生产规模,数据来源为百川盈孚行业咨询机构;

^② 企业在单位时间的生产总量,数据来源为百川盈孚行业咨询机构;

^③ 数据来源于 WIND;

^④ 资产负债率是期末总负债除以总资产的百分比, 即总负债与总资产之间的比率,数据来源于 WIND;

WIND

4.1.4 描述性统计

描述性统计分析对影响电解铝行业企业产能及产量所有变量的有关数据进行统计性描述。应用Stata软件,以"双碳"目标政策变量为关键自变量,以产能及产量为关键因变量,对其进行均值、中位数、标准差、上\下四分位数进行集中趋势的描述性分析,描述该变量在本文样本中的分布。

4.2 基准研究验证结果与分析

4.2.1 回归方程验证结果

$$\begin{aligned} CAP_{itj}/OSB_{itj} = & \beta_0 + \beta_1 PC_{itj} + \beta_2 TA_{itj} + \beta_3 TDR_{itj} + \beta_4 B_M_{itj} + \beta_5 ROA_{itj} + \beta_6 ROAV_{itj} + \beta_7 FAR_{itj} \\ & + \beta_8 CAR_{itj} + \beta_9 OIGR_{itj} + \beta_{10} EPS_{itj} + \beta_{11} SV_{itj} + \beta_{12} ITR_{itj} + \varepsilon_{itj} \end{aligned}$$

我们对方程的数据组进行描述性统计,结果如表 4-2、4-3 所示。在 220 个观察样本中:

⑤账面市值比(BM)=股东权益/公司市值,股东权益(净资产)=资产总额-负债总额(每股净资产*流通股数);

⑥资产收益率=净利润/平均资产总额*100%,数据来源于 WIND;

⑦普通股每股利润=(税后利润-优先股股利)/发行在外的普通股平均股数,数据来源于 WIND;

⑧库存周转率=该期间出库总金额/[(期初库存金额+ 期末库存金额)/2]*100%数据来源于

(1) 电解铝企业的产能季度末平均为 84.5 万吨，中位数为 43 万吨，最大值为 239.1 万吨，最小值为 11.5 万吨，说明我国电解铝企业产能分布不均匀。主要布局在内蒙古地区、新疆地区、云南地区、山东等地区的企业产能占比居前。

(2) 在本文选取的 8 家上市企业中，上市企业资产总计平均为 505.62 亿元，中位数为 346.01 亿元，最大值为 2120 亿元，最小值仅为 15.21 亿元。说明电解铝上市企业季度末资产规模存在比较大的差异。

(3) 在 8 家上市电解铝企业中，季度末资产负债率均值为 54.77%，中位数 60.57%，最大值 100.55%，最小值 20.32%，整体上看，样本企业资产流动性小幅提升，且整体上应收款项对样本企业的资金占用较小，坏账风险较小。

(4) EPS(每股收益)用于衡量企业的经营业绩以及普通股的盈利水平和投资风险。其季度末均值为 0.18，中位数 0.1，最大值 1.5，最小值 -1.31，从中可以说明，电解铝上市企业盈利能力差异较大。ROA 波动率，季度末均值为 0.954，反映了 ROA 的波动比较高，不确定性较大，中位数 0.54，最大值 8.02，最小值 0。

(5) 从 8 家上市电解铝企业中，季度末固定资产占比均值为 44.89%，中位数 43.41%，最大值 68.54%，最小值 23%，表明电解铝企业重资产的行业特征，重资产企业的机器设备、房屋建筑物等固定资产的投入大。

(6) 现金资产率变量，一定程度上反映的是企业在不依靠存货销售及应收账款的情况下支付当前债务的能力，季度末均值为 11.43%，中位数 10.74%，最大值 66.53%，最小值 2.24%，一般来说“货币资金”占流动资产比重高，说明公司的资金储备率高，经营风险小，偿债能力也相对较强。

(7) 8家上市电解铝企业中，季度末营业收入同比增长率均值为9.51%，中位数2.81%，最大值137.65%，最小值-54.57%，说明1/2电解铝企业营业收入同比增长率为2.81%，当期取得的营业收入较同期有较大增长这对企业利润会产生积极影响；反之，1/4电解铝企业营业收入同比增长率为负，说明企业的销售收入有所下降。

(8) 股票波动率，季度末均值为4.95%，中位数2.29%，最大值110.8%，最小值-59.54%，该变量反映企业股票价格变动幅度的大小，股票价格涨跌幅度越大，价格走势来回拉锯程度越激烈，它的波动率就越大，反之越小。

(9) 上市电解铝企业中，库存周转率是衡量企业投入生产、存货管理水平、销售收回能力的综合性指标。季度末均值为4.09%，中位数3.24%，最大值15.99%，最小值0.59%，一般合理数值为3%，说明统计样本的8家电解铝企业存货有较强的流动性。

采用产能及产量数据的方程验证结果，我们首先对变量进行 Pearson 相关性检验，检验结果如表 4-4、4-5 所示。由各变量的相关系数可知，变量间的相关性较弱，政策变量 PC1、PC2 与产能呈正相关，与产量呈负相关。政策目标提出后，使得企业产能受到影响，对企业产量的影响为 0。资产负债率与产能及产量呈负相关，市值比与产能及产量呈负相关。ROA 与产能及产量呈正相关，ROA 高的企业，其利用资产创造利润的能力强，企业在增加收入和节约资金使用方面取得了良好的效果。EPS 与产能及产量呈正相关，其产能及产量越大，每股收益越高，表面观测的电解铝行业的 8 家企业，产能产量大，盈利能力强，每股收益高。ROAV 与产能及产量呈正相关，固定资产占比与产能及产量呈正相关。现金资产率与产能呈负相关，与产量呈正相关，产量越大的企业，其现金资产在流动资产中所占的比率越大。营业收入同比增长率与产能及产量呈正相关，营业收入同比增长率高，其产能及产量高，库存周转率与产能及产量呈正相关，库存周转率越大，表明销售情况好，企业在产能条件允许情况下，增加产量。初步判断指标选择较为合理。

表 4-4:方程相关性检验I

	CAP	PC1	PC2	TA	TDR	B_M	ROA	ROAV	FAR	CAR	OIGR	SV	ITR
CAP	1.0000												
PC1	0.0650	1.0000											
PC2	-0.0010	0.2697	1.0000										
TA	-0.3010	0.0679	0.0645	1.0000									
TDR	-0.7285	-0.0265	-0.1058	0.3147	1.0000								
B_M	0.2793	0.1953	-0.0627	0.2874	-0.1378	1.0000							
ROA	0.3021	0.2015	0.4194	-0.1475	-0.4990	-0.0068	1.0000						
ROAV	0.1428	0.1936	0.1742	-0.2349	-0.0720	-0.1871	-0.0383	1.0000					
FAR	-0.0261	0.1721	0.1364	0.0107	0.2343	0.1184	-0.0044	0.1824	1.0000				
CAR	-0.0875	0.1178	0.1430	-0.1133	0.1118	0.0621	-0.1369	0.0168	-0.4262	1.0000			
OIGR	-0.0143	0.3442	0.4455	0.0582	-0.0378	-0.1571	0.2768	0.1780	0.1553	0.0437	1.0000		
SV	-0.0603	-0.0196	0.0098	0.0015	0.0702	-0.2125	0.0445	0.0762	0.0468	0.0505	0.1117	1.0000	
ITR	-0.1560	0.0678	0.1205	0.0625	-0.0283	-0.0050	0.3207	-0.0649	0.1977	-0.1012	0.1086	0.0564	1.0000

49

	CAP	PC1	PC2	TA	TDR	B_M	ROAV	FAR	CAR	OIGR	EPS	SV	ITR
CAP	1.0000												
PC1	0.0650	1.0000											
PC2	-0.0010	0.2697	1.0000										
TA	-0.3010	0.0679	0.0645	1.0000									
TDR	-0.7285	-0.0265	-0.1058	0.3147	1.0000								
B_M	0.2793	0.1953	-0.0627	0.2874	-0.1378	1.0000							
ROAV	0.1428	0.1936	0.1742	-0.2349	-0.0720	-0.1871	1.0000						
FAR	-0.0261	0.1721	0.1364	0.0107	0.2343	0.1184	0.1824	1.0000					
CAR	-0.0875	0.1178	0.1430	-0.1133	0.1118	0.0621	0.0168	-0.4262	1.0000				
OIGR	-0.0143	0.3442	0.4455	0.0582	-0.0378	-0.1571	0.1780	0.1553	0.0437	1.0000			
EPS	0.1341	0.2190	0.4303	-0.1036	-0.2468	0.0214	0.0338	0.0649	-0.0437	0.2568	1.0000		
SV	-0.0603	-0.0196	0.0098	0.0015	0.0702	-0.2125	0.0762	0.0468	0.0505	0.1117	0.0647	1.0000	
ITR	-0.1560	0.0678	0.1205	0.0625	-0.0283	-0.0050	-0.0649	0.1977	-0.1012	0.1086	0.3751	0.0564	1.0000

表 4-5:方程相关性检验II

	OSB	PC1	PC2	TA	TDR	B_M	ROAV	FAR	CAR	OIGR	EPS	SV	ITR
OSB	1.0000												
PC1	0.0204	1.0000											
PC2	0.0327	0.2697	1.0000										
TA	-0.3261	0.0679	0.0645	1.0000									
TDR	-0.7532	-0.0265	-0.1058	0.3147	1.0000								
B_M	0.2321	0.1953	-0.0627	0.2874	-0.1378	1.0000							
ROAV	0.1566	0.1936	0.1742	-0.2349	-0.0720	-0.1871	1.0000						
FAR	-0.0591	0.1721	0.1364	0.0107	0.2343	0.1184	0.1824	1.0000					
CAR	-0.1046	0.1178	0.1430	-0.1133	0.1118	0.0621	0.0168	-0.4262	1.0000				
OIGR	0.0237	0.3442	0.4455	0.0582	-0.0378	-0.1571	0.1780	0.1553	0.0437	1.0000			
EPS	0.2263	0.2190	0.4303	-0.1036	-0.2468	0.0214	0.0338	0.0649	-0.0437	0.2568	1.0000		
SV	-0.0507	-0.0196	0.0098	0.0015	0.0702	-0.2125	0.0762	0.0468	0.0505	0.1117	0.0647	1.0000	
ITR	-0.0930	0.0678	0.1205	0.0625	-0.0283	-0.0050	-0.0649	0.1977	-0.1012	0.1086	0.3751	0.0564	1.0000

	OSB	PC1	PC2	TA	TDR	B_M	ROA	ROAV	FAR	CAR	OIGR	SV	ITR
OSB	1.0000												
PC1	0.0204	1.0000											
PC2	0.0327	0.2697	1.0000										
TA	-0.3261	0.0679	0.0645	1.0000									
TDR	-0.7532	-0.0265	-0.1058	0.3147	1.0000								
B_M	0.2321	0.1953	-0.0627	0.2874	-0.1378	1.0000							
ROA	0.3996	0.2015	0.4194	-0.1475	-0.4990	-0.0068	1.0000						
ROAV	0.1566	0.1936	0.1742	-0.2349	-0.0720	-0.1871	-0.0383	1.0000					
FAR	-0.0591	0.1721	0.1364	0.0107	0.2343	0.1184	-0.0044	0.1824	1.0000				
CAR	-0.1046	0.1178	0.1430	-0.1133	0.1118	0.0621	-0.1369	0.0168	-0.4262	1.0000			
OIGR	0.0237	0.3442	0.4455	0.0582	-0.0378	-0.1571	0.2768	0.1780	0.1553	0.0437	1.0000		
SV	-0.0507	-0.0196	0.0098	0.0015	0.0702	-0.2125	0.0445	0.0762	0.0468	0.0505	0.1117	1.0000	
ITR	-0.0930	0.0678	0.1205	0.0625	-0.0283	-0.0050	0.3207	-0.0649	0.1977	-0.1012	0.1086	0.0564	1.0000

4.2.2 回归方程验证分析

首先，本文通过模型检验碳达峰及碳中和政策对企业产能及产量的影响。表4-6(左)第(1)列显示的是加入政策I阶段、II阶段和控制变量的回归结果，相对政策I阶段、II阶段变量，资产负债率、市值比、ROA波动率、营业收入同比增长率、每股收益、股价波动率均对企业产能的影响为0，这与胡鞍钢(2021)的研究结果一致。R²与调整R²均大于50%，说明数据与模型拟合程度良好，再看回归方程F检验， $p < 0.05$ ，说明回归方程显著，自变量能够显著影响因变量。表4-6第(4)列中，PC1的 $p > |t| = 0.000$, PC2的 $p > |t| = 0.033$ ，表明在95%的置信水平下，PC1及PC2的颁布对企业产能有负显著影响。也就是说，限制性政策及双碳政策都有抑制电解铝供应增长，延缓产能天花板到来的时间，相当于在中期重设了一个隐形的天花板。双碳政策显著影响电解铝中长期供应释放，其重要推动不容忽视。2017年上半年，受益于供给侧改革，我国电解铝产能利用率有所回升；下半年，随着非法产能和环保限制的消除，电解铝供给进一步收缩，产能利用率进一步提高。2018年上半年，受益于电解铝价格上涨，电解铝主要发债企业营业收入大幅增长，但受部分企业成本上升影响，利润同比有所减少；下半年主要发债企业营业收入将维持增长状态，但受产能降低等因素影响，收入增速将有所下降，利润亦将有所减少。固定资产占比与产能有显著正影响，电解铝企业的固定资产通常是机械设备，其具有十分强的专业性，产能占比大的企业，其固定资产投资高。在供给侧改革与双碳政策的背景下，现金资产率与产能有显著正影响，货币资金占流动资产比重高，企业的资金储备率高，经营风险小，偿债能力较强。库存周转率与产能有显著负影响。

表 4-7 第 (4) 列中, PC1 的 $p>|t|=0.000$, PC2 的 $p>|t|=0.033$, 表明 PC1 及 PC2 的颁布对企业产量有显著的负影响。

表 4-6:产能方程回归检验结果

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	220
				F(12, 207)	=	37.27
Model	16118946.8	12	1343245.57	Prob > F	=	0.0000
Residual	7459623.53	207	36036.8287	R-squared	=	0.6836
				Adj R-squared	=	0.6653
Total	23578570.3	219	107664.705	Root MSE	=	189.83

CAP	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
PC1	-11.67515	.603262	-19.35	0.000	-12.86448	-10.48583
PC2	-60.26721	28.06959	-2.15	0.033	-115.6061	-4.928276
MC	-16.55804	15.74442	-1.05	0.294	-47.59801	14.48192
TDR	14.73072	30.87452	0.48	0.634	-46.13809	75.59954
B_M	.0084565	.0117201	0.72	0.471	-.0146495	.0315626
ROAV	6.637824	11.38055	0.58	0.560	-15.79883	29.07448
FAR	1002.582	154.5132	6.49	0.000	697.9606	1307.203
CAR	1110.988	207.2394	5.36	0.000	702.4175	1519.559
OIGR	-.3945127	.5277723	-0.75	0.456	-1.435011	.6459852
EPS	-.4596859	45.02431	-0.01	0.992	-89.22468	88.30531
SV	6.861208	50.66614	0.14	0.892	-93.0266	106.749
ITR	-21.95561	4.91045	-4.47	0.000	-31.63651	-12.27471
_cons	958.2245	362.8051	2.64	0.009	242.9576	1673.491

表 4-7:产量方程回归检验结果

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	220
Model	80021.1594	12	6668.42995	F(12, 207)	=	37.87
Residual	36447.4005	207	176.074399	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.6871
				Adj R-squared	=	0.6689
Total	116468.56	219	531.819908	Root MSE	=	13.269

OSB	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
PC1	-2.910452	2.158117	-1.35	0.179	-7.165159	1.344255
PC2	-4.956731	1.962054	-2.53	0.012	-8.824902	-1.088561
MC	-1.050087	1.100529	-0.95	0.341	-3.219768	1.119595
TDR	-.7938039	.0421678	-18.82	0.000	-.8769373	-.7106705
B_M	.0001652	.0008192	0.20	0.840	-.0014499	.0017803
ROAV	1.209267	.7954964	1.52	0.130	-.3590464	2.777581
FAR	57.9146	10.80042	5.36	0.000	36.62168	79.20751
CAR	68.80816	14.48596	4.75	0.000	40.24923	97.36708
OIGR	.0055457	.0368911	0.15	0.881	-.0671847	.0782761
EPS	8.131822	3.147182	2.58	0.010	1.927183	14.33646
SV	-1.219934	3.541544	-0.34	0.731	-8.202054	5.762186
ITR	-1.194043	.3432386	-3.48	0.001	-1.870735	-.5173518
_cons	67.00418	25.35994	2.64	0.009	17.0073	117.0011

4.3 补充检验验证结果与分析

大多数情况下,如果只有一组实验,不足以说明该自变量是影响因变量结果的唯一因素,需要设置一个未施加这种因素(自变量)而已知的实验结果作为对照,以明确这种因素所起的作用。通过把经过控制处理的一组(或者未知研究结果的一组)称为研究组,而未经过处理的一组(已知实验结果的一组)作为对照组。因此,在本文中,选择电解铜作为补充检验对象,如图 4-6 所示,相对于铝金属来说,铜冶炼生产过程中的碳排放量较少,铜冶炼环节 CO₂ 排放量 919 万吨,占有色行业碳排放量的 1.68%,平均生产 1 吨电解铜 CO₂ 排放量为 1.04 吨,电解铜未成为政府首批双碳政策目标品种。

图 4-6:单位产品综合能耗表

	单位产品综合能耗	单位	CO2 排放系数	单位	单位 CO2 排放量	单位	单位 CO2 排放量	单位	占比
氧化铝	430	Kgce/t	2.4678	KgCO2/kg	1061	KgCO2/t	7199	万吨	13.18%
电解铝	13200	Kgce/t	0.8953	KgCO2/kg	11818	KgCO2/t	44116	万吨	80.79%
铜冶炼	420	Kgce/t	2.4678	KgCO2/kg	1036	KgCO2/t	919	万吨	1.68%
铅冶炼	540	Kgce/t	2.4678	KgCO2/kg	1333	KgCO2/t	785	万吨	1.44%
锌冶炼	1000	Kgce/t	2.4678	KgCO2/kg	2468	KgCO2/t	1587	万吨	2.91%
合计							54739	万吨	

数据来源:中华人民共和国国家标准,碳排放交易网,生态环境部应对气候变化司

4.3.1 补充检验验证结果

由于双碳政策的提出,有色行业首当其冲,电解铝为重中之重。相对于铝金属来说,电解铜冶炼生产过程中的碳排放量较少,并未就电解铜碳排放有特别设置相应政策,因此,在数据处理中,将政策部分变量设置为 0。另外,由于上市企业电解铜产能数据未有或一定程度的延迟公布,统计分析中也未将该部分数据纳入其中。

1、采用描述性统计对对照组的 165 个观察样本数据进行验证,验证结果如表 4-8 所示:

(1)电解铜企业的产量季度末平均为 20.42 万吨,中位数为 4 万吨,最大值为 79.84 万吨,最小值为 0.16,说明我国电解铜企业规模、产量存在较大差距、产地分布不均匀,主要布局在内蒙地区、山东地区、云南地区、安徽等地区。

(2)在本文选取的 6 家上市企业中,上市企业资产总计平均为 434.06 亿元,中位数为 349.85 亿元,最大值为 2090 亿元,最小值仅为 29.7 亿元。说明电解铜上市企业季度末资产规模存在一定程度的差异。

(3)在 6 家上市电解铜企业中，季度末资产负债率均值为 61.3%，中位数 62.6%，最大值 75.29%，最小值 31.57%，整体上看，样本企业资产负债率水平适宜，且整体上应收款项对样本企业的资金占用较小，坏账风险较小。

(4)ROA 波动率，季度末均值为 0.32，反映了 ROA 的波动比较低，不确定性较小，中位数 0.185，最大值 3.91，最小值 0.01。

(5)从 6 家上市电解铜企业中，季度末固定资产占比均值为 29.58%，中位数 30.43%，最大值 44.02%，最小值 12.33%，符合电解铜企业重资产的行业特征，企业的机器设备、房屋建筑物等固定资产的投入大。

(6)现金资产率变量，季度末均值为 61.48%，中位数 29.44%，最大值 438%，最小值 3.21%，一般来说“货币资金”占流动资产比重高，说明公司的资金储备率高，最大值对应的企业云南铜业，由于具有深厚行业积淀，主要业务涵盖了铜的勘探、在贵金属和稀有金属的开采、选矿、冶炼、提取和加工、硫化工和贸易等领域，它是中国重要的铜、金、银和硫化学品生产基地。经过多年的发展，公司在铜及相关有色金属领域建立了较为完整的产业链，近几年在净资产收益率、经营活动现金流净额、经营活动现金流入的增速与营业收入增速等指标上都有很大程度的增长。

(7)6 家上市电解铜企业中，季度末营业收入同比增长率均值为 20.61%，中位数 12.81%，最大值 209.96%，最小值 -54.45%，说明 1/2 电解铜企业营业收入同比增长率为 12.81%，最大值与最小值相差数值大，说明上市企业的销售收入表现好坏不尽相同。

(8)股票波动率，季度末均值为 8.89%，中位数 3.51%，最大值 78.56%，最小值 -1，该变量反映企业股票价格变动幅度尚在合理范围区间且最大值与最小值相差较大。

(9)上市电解铜企业中,库存周转率季度末均值为 4.41%,中位数 3.48%, 最大值 25.16%, 最小值 0, 一般合理数值为 3%, 说明统计样本的 6 家电解铜企业存货有较强的流动且个别企业库存周转速度快。

表 4-8:方程描述性统计结果

stats	OSB	TA	TDR	BM	EPS	ROAV	FAR	CAR	OIGR	SV	ITR
mean	20.42205	4340574	61.3037	.5225477	.138057	.3150303	.2958109	.6148317	20.60945	.088934	4.413091
p50	3.99885	3498490	62.6	.4910018	.1025	.185	.3042788	.2944474	12.81	.0350615	3.48
sd	25.15413	4146687	9.964275	.2110506	.1691099	.4729534	.063569	.837404	38.09691	.3019262	3.977109
p25	1.905367	1440695	58.08	.3805995	.039	.11	.2519985	.2178366	-2.54	-.0823048	1.66
p75	33.16	4906199	69.54	.6336607	.21	.35	.3404852	.4514541	34.6	.2947333	6.08
min	.1660768	296968.5	31.57	.1452494	-.87	.005	.1232611	.0321229	-54.45	-1	0
max	79.8449	2.09e+07	75.29	1.077903	.95	3.905	.4401934	4.375051	209.96	.7856101	25.16
N	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165

57

4.4 基于实证结果的分析与讨论

4.4.1 DID 双重差分实证分析

鉴于其他电解企业与电解铝同属于有色金属，将其选取作为对照品种,选取与电解铝行业企业相同的维度数据进行分析,其他电解企业产品属性、上市企业规模、企业个数、企业成立时间、生产区域分布等与电解铝类似,其冶炼工序,碳排放量相对较小,“双碳”目标政策对这些企业产能的削减力度相对较小,影响程度小。设置对照组，作用在于排除无关变量对于产能及产量的干扰，使研究结果的误差降到最低，以相同政策期间，这些其他电解企业是否经历产能及产量变化，从侧面论证政策对电解铝行业企业产能及产量的影响。

电解铝企业为处理组（ $TREAT_1=1$ ），电解铝企业处于同行业的企业为控制组（ $TREAT_1=0$ ）

（行业标准采用：《证监会上市公司行业分类指引2012》），如表4-11，4-12所示，政策变量 PC_1 与电解铝实验组进行交互，在双重差分法下 PC_1 对电解铝的产能起到了负显著影响，即使得产能得以抑制， PC_2 对电解铝的产能影响为0。

表 4-9:电解铝企业及其同行业公司双重差分实证分析(PC1)

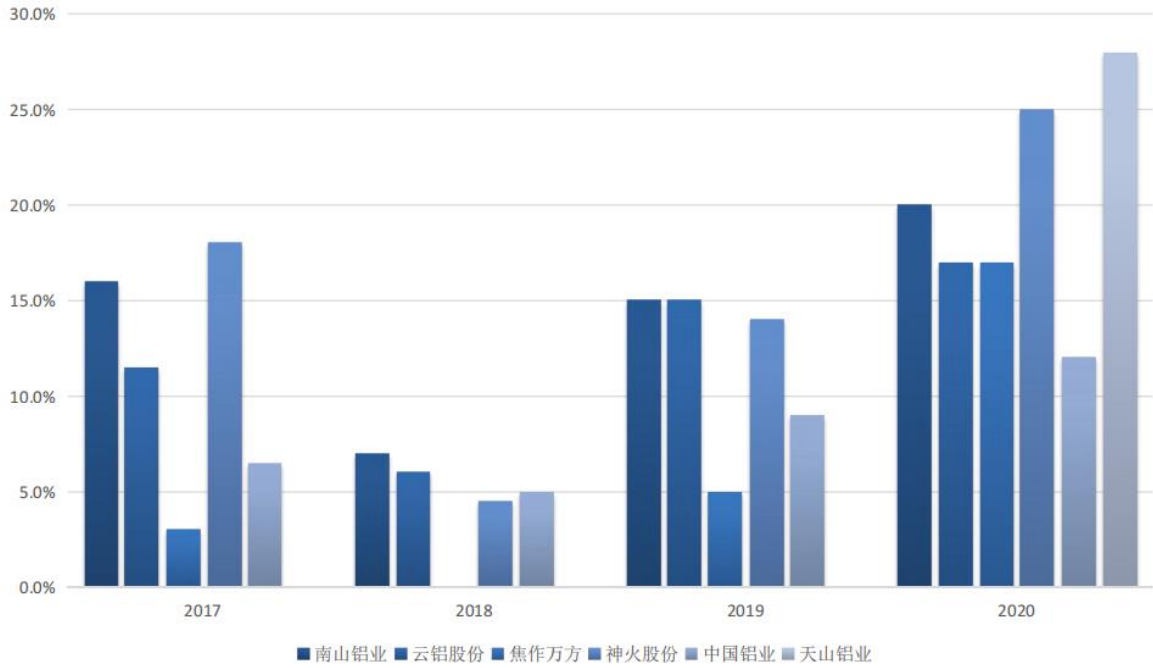
Linear regression

Number of obs	=	6,935
F(11, 343)	=	8.19
Prob > F	=	0.0000
R-squared	=	0.2546
Root MSE	=	2.1e+09

(Std. err. adjusted for 344 clusters in code)

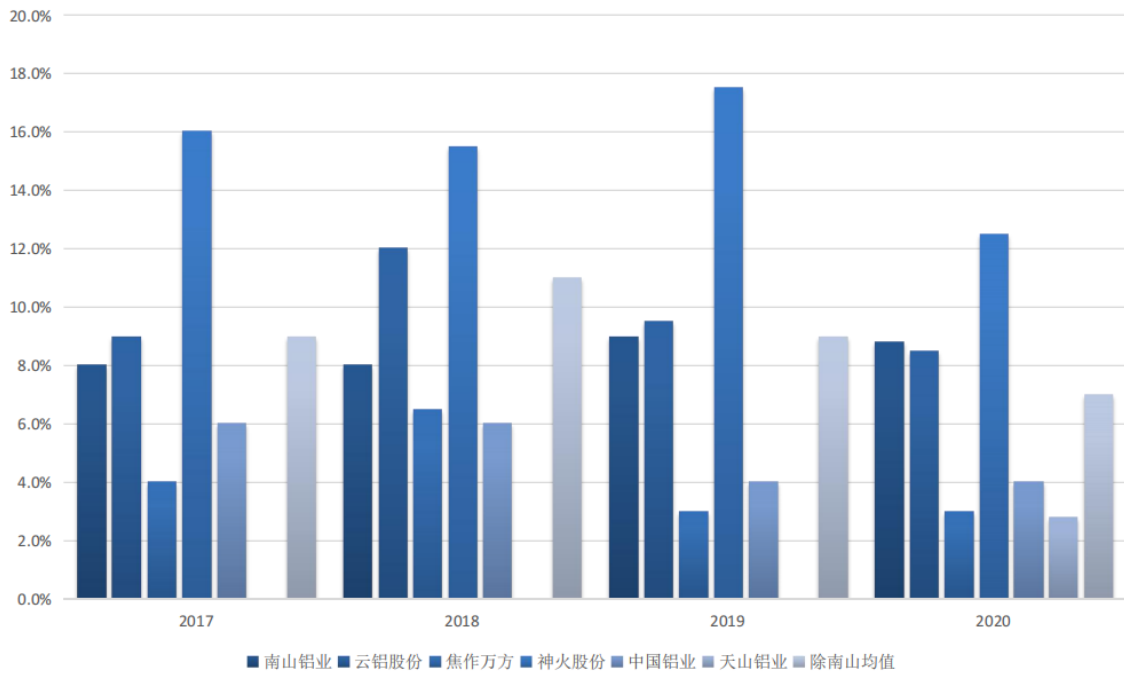
NI	Coefficient	Robust std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
PC1	6.85e+07	4.54e+07	1.51	0.132	-2.08e+07	1.58e+08
PC1_TREAT1	-2.88e+08	8.54e+07	-3.37	0.001	-4.56e+08	-1.20e+08
TREAT1	-1.08e+09	8.39e+08	-1.28	0.200	-2.73e+09	5.73e+08
SIZE	7.05e+08	2.96e+08	2.38	0.018	1.22e+08	1.29e+09
LEV	-1.85e+09	1.17e+09	-1.59	0.113	-4.15e+09	4.38e+08
ROAV	-307601.5	338460.4	-0.91	0.364	-973320.6	358117.6
FAR	2.19e+09	1.52e+09	1.43	0.153	-8.13e+08	5.18e+09
CAR	-1.14e+08	3.72e+08	-0.31	0.759	-8.46e+08	6.17e+08
OIGR	-181073.9	143561	-1.26	0.208	-463444.6	101296.9
EPS	1.42e+09	4.96e+08	2.86	0.004	4.45e+08	2.40e+09
ITR	28529.21	22373.11	1.28	0.203	-15476.57	72534.98
_cons	-1.53e+10	6.44e+09	-2.37	0.018	-2.80e+10	-2.63e+09

图 4-7:公司电解铝毛利率水平



资料来源:Wind, 公司公告, 中信证券研究所

图 4-8:公司期间费用率(不计研发费用)



资料来源:Wind, 公司公告, 中信证券研究所

自 2017 年中央政策开始严守电解铝产能上限，重点打击违规产能以来，新增电解铝产能的方法仅包括以下三种:1) 购买产能指标用于置换(等量或减量置换);2)关停自身原有产能后，投产新产能；3) 地方特批产能指标，主要包括云南鹤庆 70 万吨和广西 200 万吨。

产能角度，南山铝业冶炼端产能稳定，加工端持续增长。如图 4-9 所示，产业链上游，南山铝业拥有南山热电、东海热电两家电力生产企业，总装机量达到 181 万千瓦时，能充分满足自身电力需求。氧化铝方面，公司国内具有 140 万吨氧化铝产能满足自用，同时，2021 年印尼一期 100 万吨氧化铝已经开始投产，将为公司创造新的收入。

图 4-9:产品产能、优势

具体产品	产能	优势
电	181 万千瓦时，126 亿度电	自备电厂，电力完全自给
氧化铝	国内 140 万吨 印尼 100+100（在建）	国内产能充裕 印尼成本低廉
电解铝	81.6 万吨	产能稳定，成本领先

资料来源:Wind,中信证券研究所

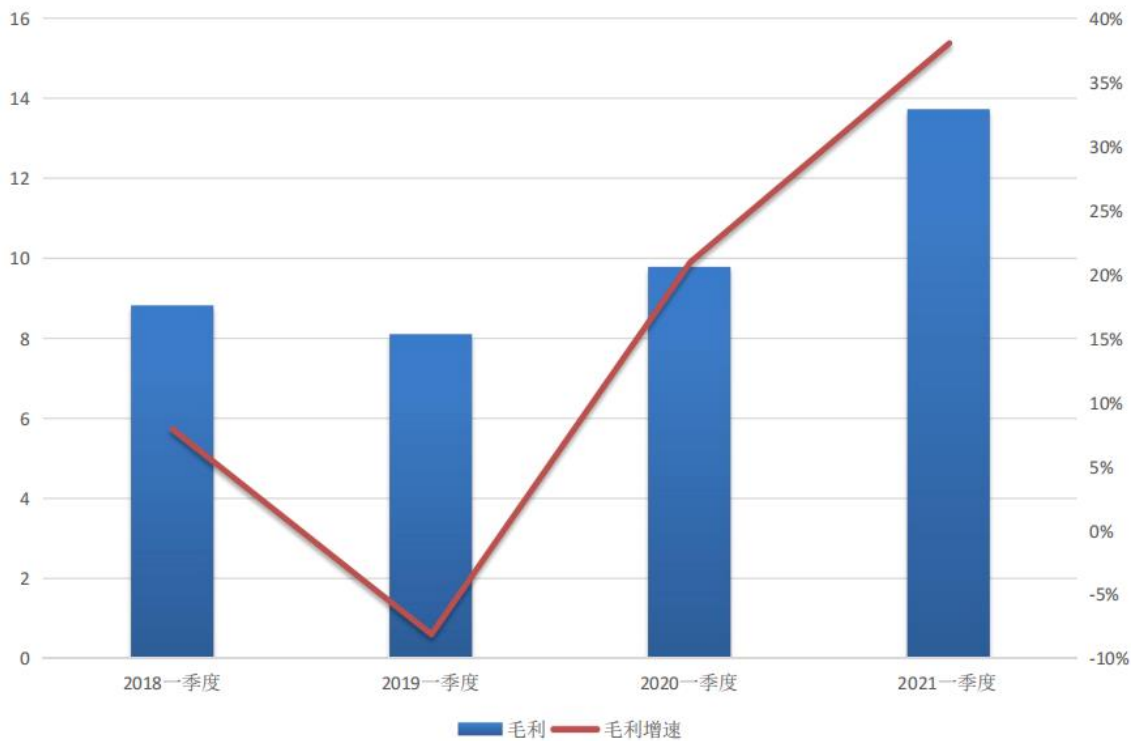
下游深加工赛道，公司拥有成熟的铸造，挤压与压延工艺，在多个细分领域都处于国内行业领先低位，2020 年开始公司汽车板，航空板等高附加值产品，扩建增产取得显著进展，这是其公司业绩增长主要来源之一。

产量角度，冶炼端满产，加工端持续放量。上游冶炼端，公司电解铝产量 2017-2020 年总体上区域稳定，每年基本达到满产状态。自从 2016 年收购山东怡力资产包后，南山铝业电解铝产量持续保持 83 万吨左右，产能利用率超过 100%。下游深加工端，南山铝业的

冷轧与热轧产量在 2017-2020 年增长明显，2020 年热轧产量超过 100 万吨，冷轧产量接近 70 万吨，产能利用率接近 100%。

冶炼端低成本，加工端高品质。南山铝业毛利从 2019 年开始逐年上升，连续 2 年都实现超过了 30% 的高速增长。会计”新收入准则“调整，2020 年销售费用中运费部分计入营业成本。为便于比较，将 2020 年毛利恢复至原会计口径（运费根据销售费用中其他项目变化率同比测算）。南山铝业原口径毛利超过 60 亿元，毛利增长率 30.83%。2021 年 1 季度，整体毛利率已经实现同比 37% 增长，如图 4-10 所示。

图 4-10:毛利增长图

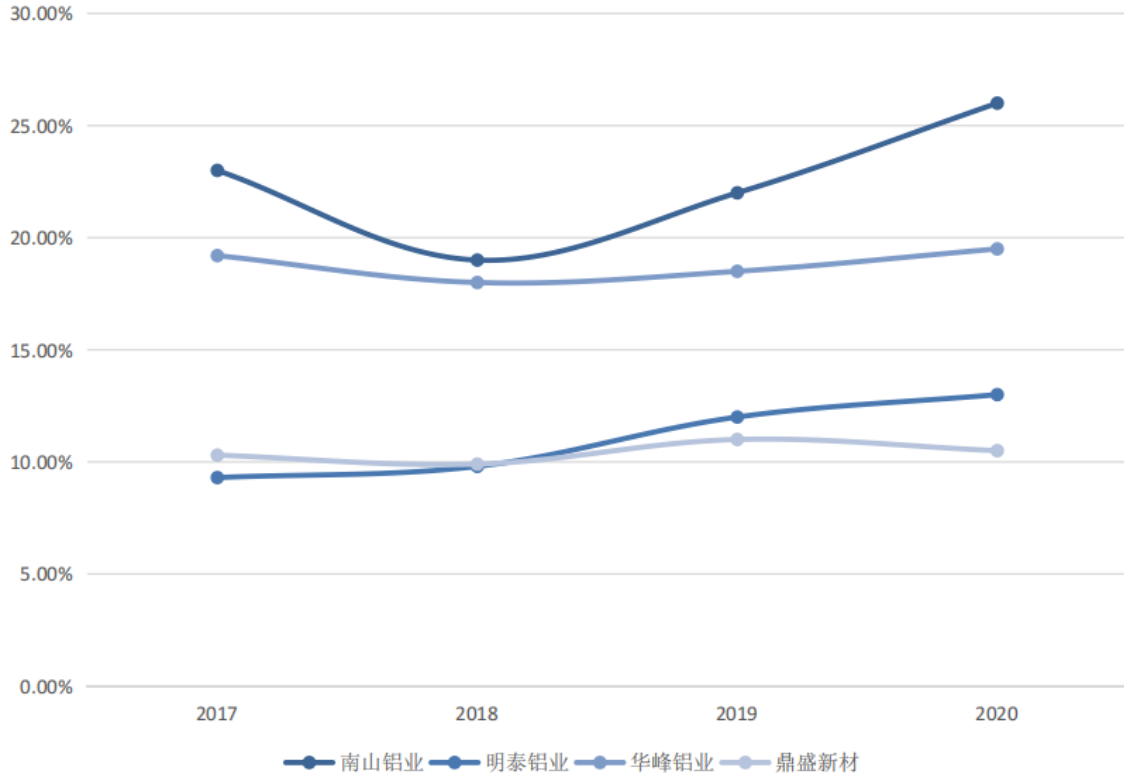


资料来源:Wind,中信证券研究所

相对于业内其他铝业公司，南山铝业核心的优势在于上游电解铝成本较低，以及下游铝加工高品质带来的高盈利。一体化布局之下，南山铝业毛利率既领先于中国宏桥、中国

铝业、云铝股份等冶炼铝生产龙头，和铝加工企业明泰铝业、华峰铝业、鼎胜新材相比，具有不小优势。根据原会计口径，如图 4-11 所示，南山 2020 年毛利率为 27.14%，领先优势有所扩大。

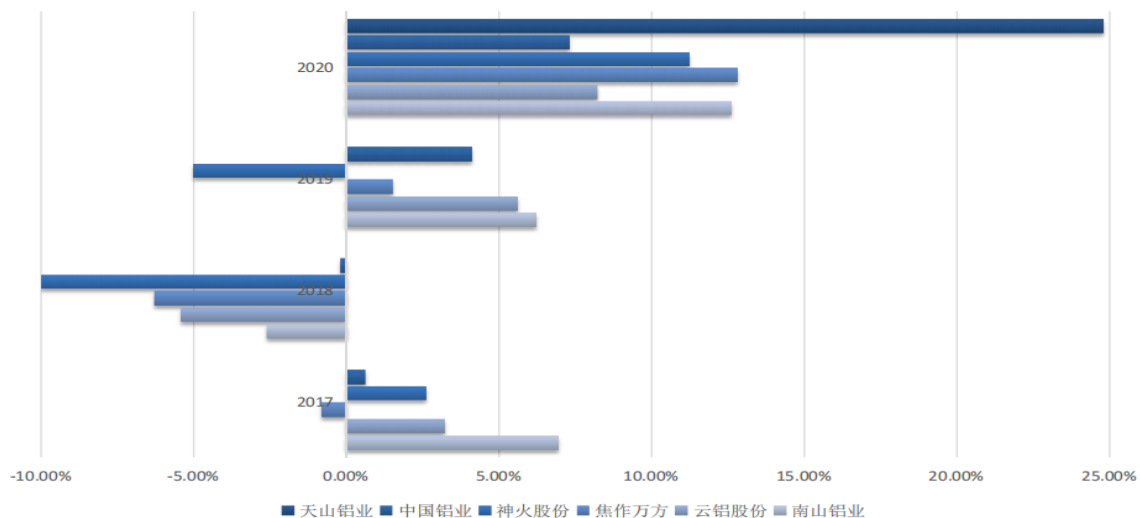
图 4-11:南山铝业毛利率高于众多铝加工企业



资料来源:Wind，中信证券研究所

南山铝业冶炼端虽然体量不及一些业内龙头企业，但在成本控制方面常年处于领先低位，毛利率低于神火股份，但扣除期间费用之后，真实盈利能力处于行业领先。用电解铝毛利率减去期间费用率（不含研发支出），衡量铝企电解铝端实际盈利能力，2017-2020 年南山铝业电解铝盈利能力均超过其余几家同业公司，仅次于天山铝业，如图 4-12 所示。

图 4-12:南山铝业电解铝端盈利能力处于行业地位



资料来源:Wind,中国金融研究院

由于南山铝业产业链一体化布局,电解铝直接供应自身下游铝加工,节省运费等,实际销售费用极低,进而使其冶炼电解铝实际盈利能力更为出色。如图 4-13 所示,除 2018 年行业整体不景气造成毛利与净利不高外,2017、2019、2020 年电解铝都能为南山带来稳定利润。

图 4-13:南山铝业吨盈利测算

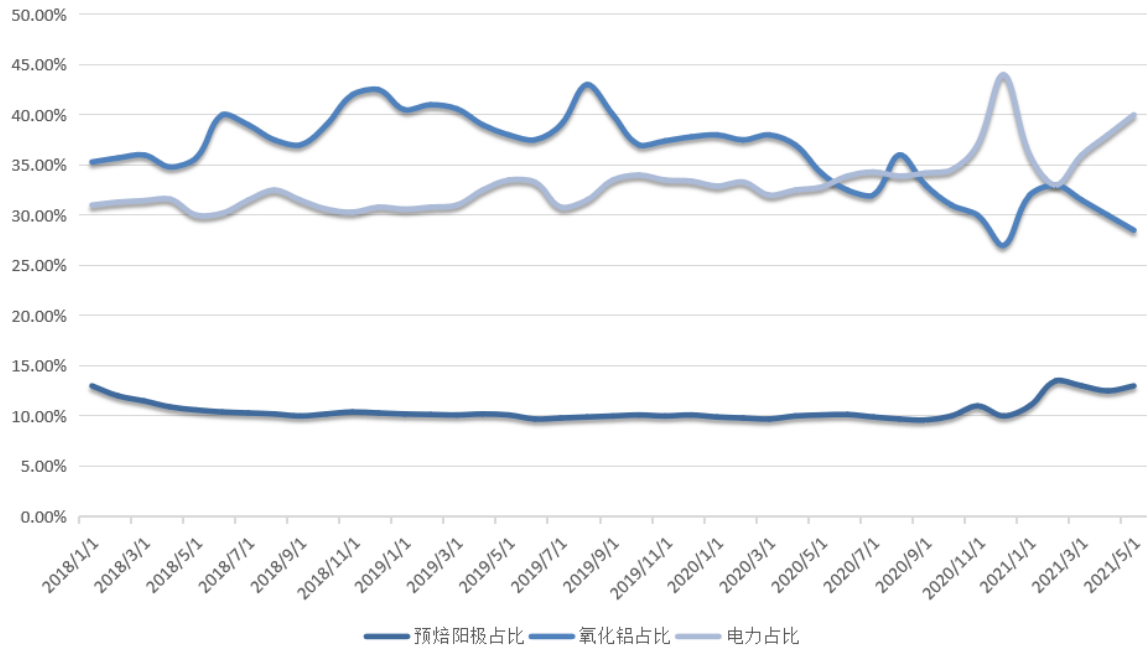
(期间费用以冶炼企业期间费用率均值测算, 单位:元/吨)

年份	2017	2018	2019	2020
长江有色平均铝价	14438	14198	13941	14190
南山铝锭毛利率	16.08%	7.73%	15%	18.64%
吨毛利	1984.3	942.06	1838.37	2340.72
吨生产成本	10355.87	11245.06	10417.45	10216.8
期间费用	1078.84	1211.7	1101.19	822.27
吨完全成本	11434.71	12456.76	11518.64	11039.07
吨盈利	905.46	-269.64	737.19	1518.46

资料来源:Wind, 中国金融研究院

南山铝业电解铝成本优势进行拆分。成本主要由电力、氧化铝、预焙阳极、氟化铝、人工、维修与折旧及三费构成, 其中氟化铝、人工、维修与折旧及三费环节占电解铝总成本约20%, 企业间电解铝成本差异的主要是电力、氧化铝和预焙阳极, 如图 4-14 所示。

图 4-14:预焙阳极、氧化铝、电力在电解铝成本中占比稳定



资料来源:Wind, 中国金融研究院

高效自备电，电力成本占优。在 2016 年收购怡力资产包后，南山铝业并入 33 万千瓦时和一台 22 万千瓦时的热电联产机组，总装机容量达到 181 万千瓦时，电力产能达到 126 亿度。

根据 Wind 数据，2018 年国内电解铝自备电占比约 67.1%。根据安泰科数据，2020 年随着产能转移，水电铝比例增高，电解铝行业自备电占比降至 63%左右。南山铝业电力自给率远超行业平均水平，如图 4-15 所示。

图 4-15:南山铝业电力自给率

时间	电力装机量(万千瓦)	发电量(亿千瓦时)	电力自给率(%)
2017	181	112.27	84.4
2018	181	117.54	96.63
2019	181	115.52	89.44
2020	181	116.8	97.07
2021Q1	181	27.88	97.02

资料来源:Wind, 企业债评级报告

相对于非自备电企业的外购电价,南山铝业的电力成本优势非常明显,2020年相比山东网点每度电节约成本超过0.2元,相比全国绝大部分省份也有很大优势。

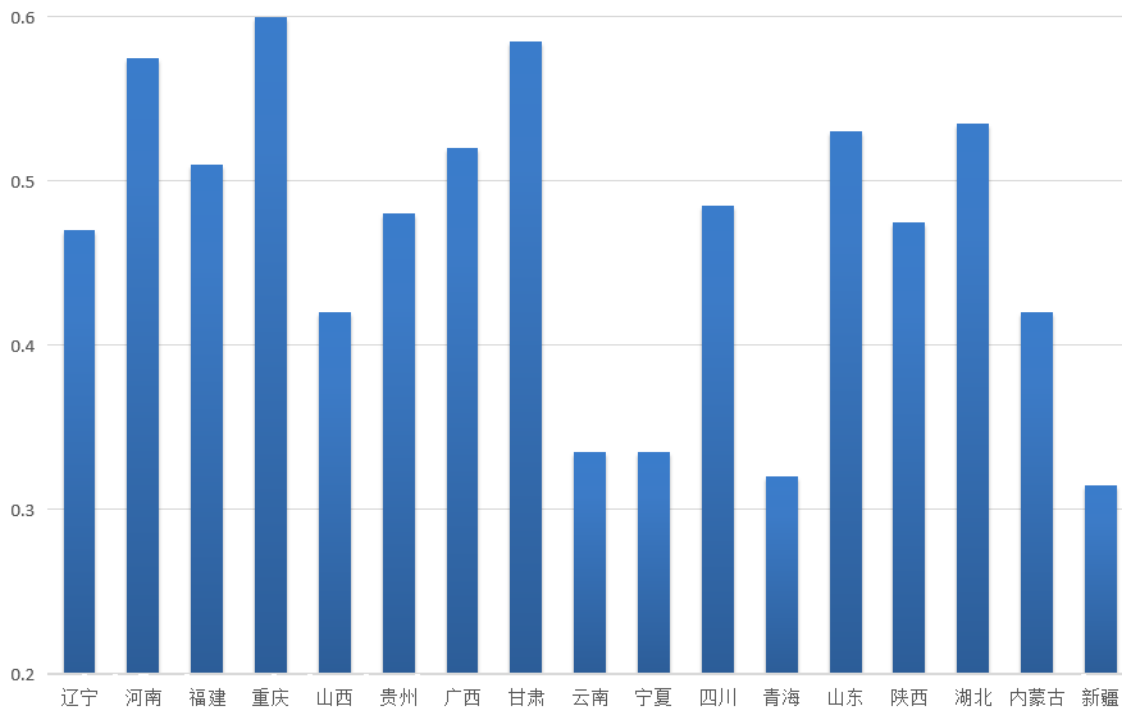
以南山铝业历史电解铝较高耗电水平13500度/吨测算,公司吨电力成本2018-2020年较行业测算成本间有一定优势,3年平均电力成本优势约为116元/吨,如图4-16、4-17所示。

图 4-16:南山铝业电解铝电力成本优势测算(单位:元/吨)

年份	公司吨铝不含税电力成本	行业电力成本测算	公司吨铝电力成本优势
2018	3887	3937	50
2019	3796	4004	208
2020	3889	3977	88
2021Q1	4439	4760	320

资料来源:Wind, 兴业证券研究所

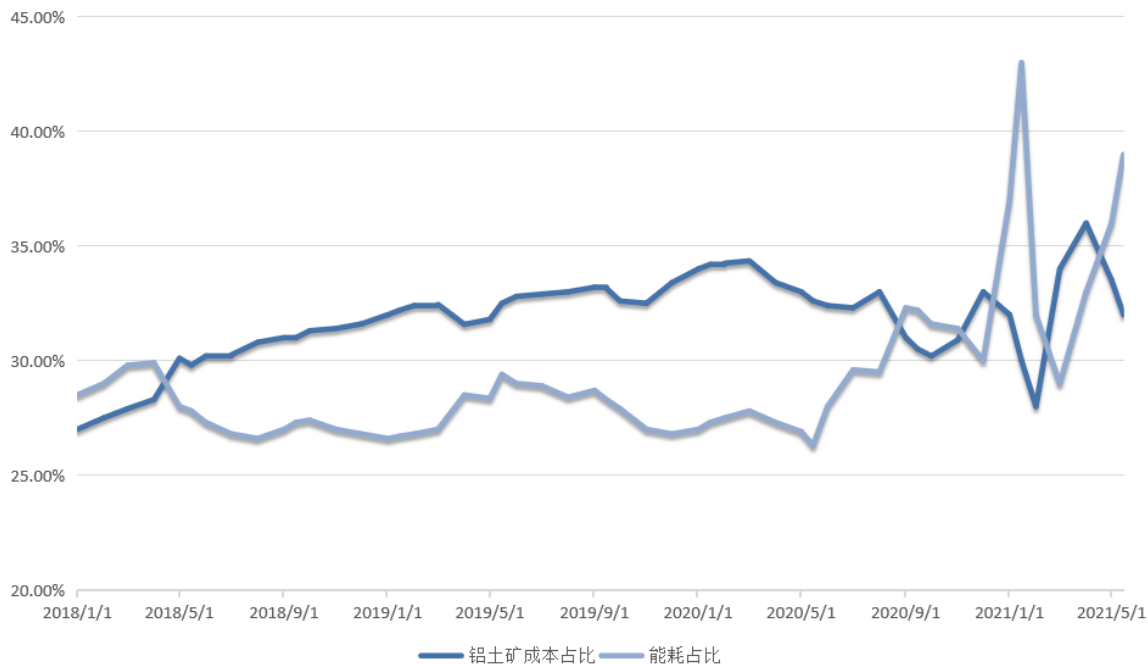
图 4-17:2020年各省份大工业电价间相差很大(单位: 元/度)



资料来源:Wind, 各省电价公告, 长江证券研究所

靠近港口低运费, 氧化铝成本占优。氧化铝成本受铝土矿和动力煤影响较大, 两者约占氧化铝成本的 60%, 如图 4-18 所示。

图 4-18:氧化铝成本中铝土矿与能耗占比有所上升

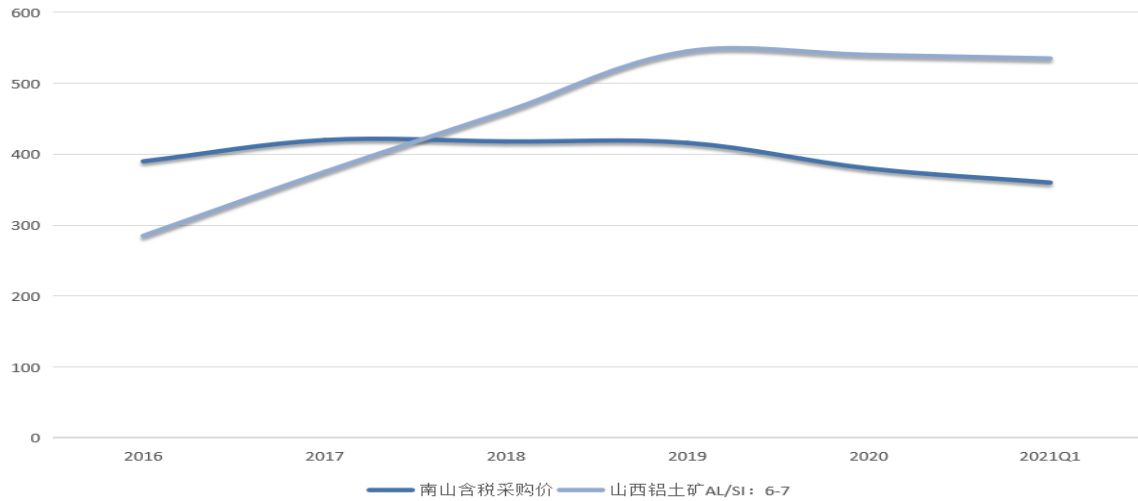


资料来源:Wind,中国金融研究院

尽管产能快速投放导致全球氧化铝供给逐步过剩，价格与盈利不断走低，但受益于进口原材料采购成本优势与港口区位优势，南山铝业氧化铝端目前仍能带来一定收益，较外购氧化铝企业仍具有不小成本优势。

南山铝业目前铝土矿大部门来自澳洲力拓，少部分来自所罗门、几内亚等地。澳洲铝土矿品味高且产量稳定，价格相比国内矿具有一定优势，同时公司靠近港口，铝土矿从龙口港到生产车间只有 15 公里，较省内或省外其他处于内陆的电解铝企业，运输成本优势明显，如图 4-19 所示。

图 4-19:南山铝业的铝土矿海外采购成本(单位:元/吨)



资料来源:Wind,长江证券研究所

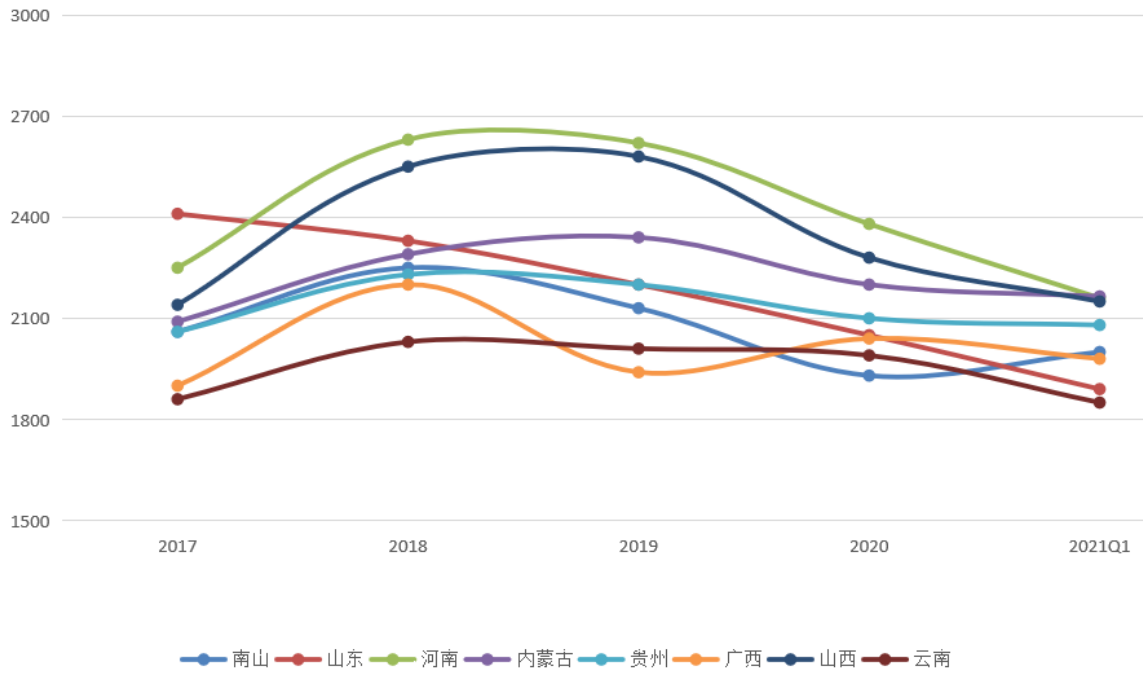
较之行业平均水平,南山铝业氧化铝 2018-2020 年平均成本优势为 414 元/吨,电解铝成本优势为 604 元/吨,如图 4-20、4-21、4-22 所示。

图 4-20:南山吨氧化铝生产成本测算(单位:元/吨)

时间	铝土矿不含税价格	铝土矿吨成本	煤炭不含税价格	能耗吨成本	液碱吨成本	其他吨成本	吨总生产成本
2017	360	813.6	541	625	325	320	2084
2018	371	838.5	552	638	458	311	2246
2019	380	858.8	531	614	345	311	2129
2020	350	791	521	602	189	311	1893
2021Q1	330	745.8	648	749	124	311	1930

资料来源:Wind,SMM,长江证券研究所

图 4-21:南山铝业氧化铝成本处于全国领先水平(单位:元/吨)



资料来源:Wind,SMM,长江证券研究所

图 4-22:南山铝业电解铝成本优势测算(单位:元/吨)

年份	南山铝业完全成本	行业成本测算	电解铝成本优势
2018	12457	12799	342
2019	11519	12386	867
2020	11039	11642	603

资料来源:Wind,长江证券研究所

对于南山铝业而言，一体化的业务布局，配套的产能控制政策演化、强化如4-23所示，使其业绩表现相对稳定，股价表现也是如此。

图 4-23:电解铝产能控制政策演化、强化

文件号	文件名	时间	详情
国发【2013】41号	《关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》	2013年10月	旨在积极稳妥化解钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃、船舶等行业产能严重过剩矛盾，对于违规项目将重手整治，计划5年时间取得重要进展
工信部【2015】127号	《关于部分产能严重过剩行业产能置换实施办法的通知》	2015年4月	1.针对电解铝、钢铁等产能过剩行业执行产能置换方案，严禁新增产能； 2.京津冀长三角等敏感地区采用1.25倍减量置换，其他地区可实施等量置换 3.制定电解槽产能换算机制
环保部工作方案	《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》	2017年3月	要求对“2+26”城市实施电解铝、化工类企业生产调控，各地采暖季电解铝厂限产30%以上
发改办产业【2017】656号	《清理整顿电解铝行业违法违规项目专项行动工作方案的通知》	2017年4月	1.首次落实地方责任严格管控 2.中央组织电解铝行业产能调查
工信部【2018】12号	《关于电解铝企业通过兼并重组等方式实施产能置换有关事项的通知》	2018年1月	1.等量或减量置换，在置换指标范围内的电解铝产能异地转移，只能等量或者减量置换，不能做加法，绝不允许借产能转移之机扩大产能 2.产能指标获取。电解铝产能置换指标可以通过兼并重组和市场交易的方式获得 3.2019年不会有新增的产能置换指标。置换产能指标，必须在2018年12月31日前完成置换，逾期无效。这就意味着2019年不会出现新增的电解铝产能指标。自2017年，完成指标置换的电解铝产能共有413万吨

资料来源:政府官网，长江证券研究所

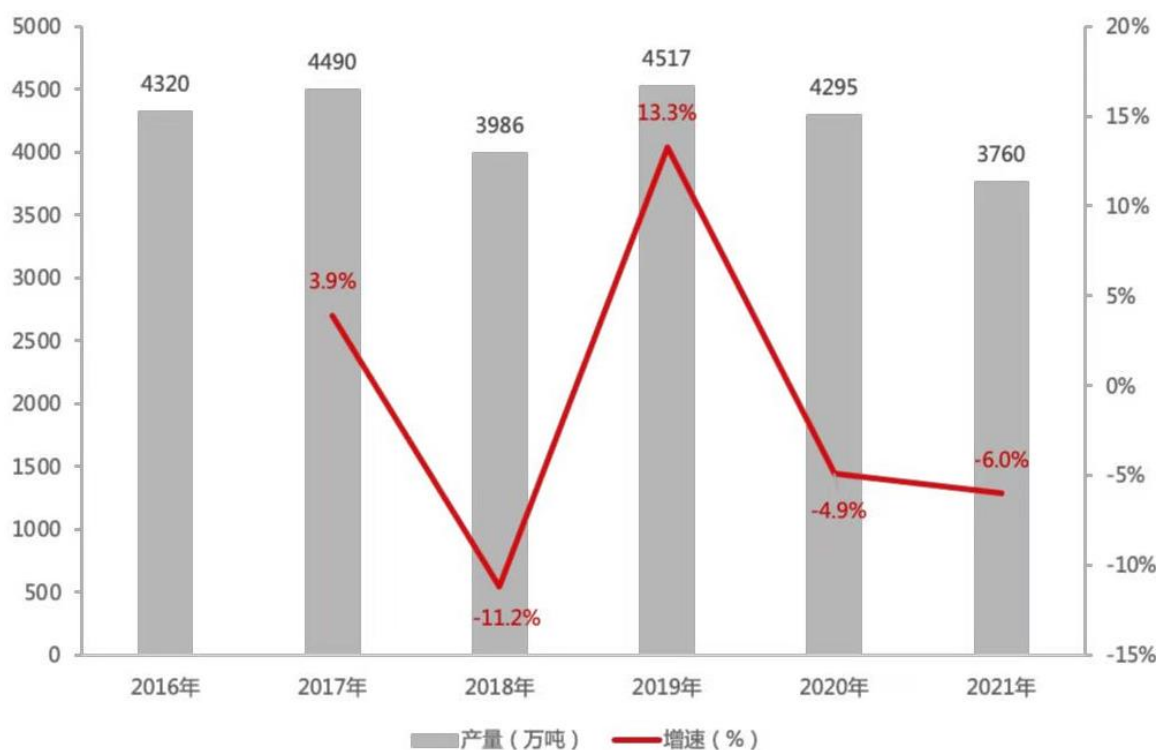
图 4-24:2016-2021年中国电解铝产量及增速情况表



资料来源:国家统计局, 华经产业研究院

另一方面, 由于近年来国家对电解铝行业进行严格的限产及去产能要求, 加上双碳政策背景下的能耗控制、限电、阶梯电价拉升成本等因素, 使得我国电解铝产能自 2019 年以来逐步下滑。据国家统计局, 华经产业研究院整理, 截至 2021 年 11 月我国电解铝产能 3760 万吨, 同比下降 6%, 如图 4-25 所示。

图 4-25:2016-2021年11月中国电解铝产能及增速情况



资料来源:公开资料整理

4.4.3 其他分析

结合上述分析,在碳中和的背景下,电解铝产业的消耗能源结构转型、严格控制新产能投产, 淘汰落后产能或成为节能减排的主要发展方向。主要有以下几个方面:

1. 完善行业准入标准，供给侧改革明确电解铝产能红线。由于未经批准就严重违规建设，中国电解铝产能自 2010 年以来迅速扩张，导致严重的供应侧过剩。为引导行业健康发展，2017 年 4 月，国家发展改革委等四部委印发了《电解铝行业清理整治违法项目专项行动工作方案》，对生产和在建违法项目进行整治。2017 年 6 月和 2018 年 1 月，国家先后发布了《关于开展燃煤自备电厂标准化建设和运行改造监管的通知》和《关于电解铝企业兼并重组实施产能置换有关问题的通知》，进一步清理自备电厂违规产能，同时明确电解铝产能置换方式、置换指标范围和期限。在上述政策的指导下，中国电解铝的长期产能预计将锁定在 4500 万吨左右。

国家宏观调控下的产能红线导致了对新电解铝产能审批的严格要求，增加了新产能投产的难度。在碳中和的背景下，能源消费双重控制的压力加大，高耗能行业的产能排除政策可能会更加严格。

2. 与火电铝相比，水电铝的碳排放量减少了 86%。根据安泰克的数据，用火电生产一吨电解铝的碳排放总量约为 13 吨，其中发电产生的碳排放量为 11.2 吨，电解产生的碳排放量为 1.8 吨。然而，当使用水力发电生产电解铝时，每吨排放量仅为 1.8 吨，其中发电环节没有碳排放，电解环节仅产生 1.8 吨 CO₂。

目前，我国电解铝产业的布局正在经历“由北向南”的过程。受电力成本的推动，我国电解铝产能自 2012 年以来共经历了两次区域上的迁移。第一次是 2012 年开始，河南等传统电解铝大省的产能主动清退，向新疆、内蒙等低电价地区转移。第二次则是 2017 年以来，电解铝产能从以新疆、山东为主的火电地区逐步向以云南为主的水电地区转移。据 SMM 统计，云南、四川、广西三省 2020、2021 年合计新增电解铝产能分别为 245.6、248.3 万吨，占全国新增

总产能的比例达 86%、79%。在碳中和的背景下，水电成本将更加有利，“北铝南移”进程有望加速，水电占比料将提升，如图 4-26 所示。

图 4-26:国内水电铝产量上升

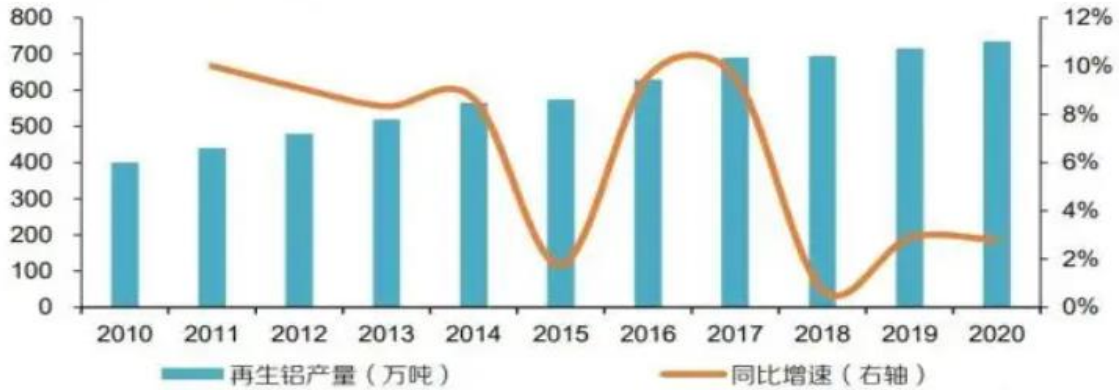
年份	单吨电解铝 环节碳排放	电解铝总产量	水力发电			火力发电		
			占比	对应产量	变动量	占比	对应产量	变动量
单位	t.CO2/Al	万吨	%	万吨	万吨	%	万吨	万吨
2020	12.80	3,724	10.7%	398	0	88.1%	3,281	0
<i>乐观情景</i>								
2025E	10.91	4,232	24.9%	1,055	656	75.1%	3,177	-104
<i>中性情景</i>								
2025E	11.88	3,969	18.3%	725	326	81.7%	3,244	-36
<i>悲观情景</i>								
2025E	12.96	3,710	10.8%	400	2	89.2%	3,310	29

资料来源:IAI, 《“十四五”期间我国碳排放总量及其结构预测》，wind，国盛证券研究所测算

3. 提升再生铝产量占比,再生铝是废铝料经熔化、合金化、精炼等工艺生成的铝合金。由于铝具有很强的耐腐蚀性，在使用过程中损失很小，可以多次回收。

中国再生铝产量占比远低于全球平均水平，未来仍有巨大提升空间。2019 年我国铝供应总量约为 4203 万吨,其中原铝产量 3513 万吨,占比 84%；再生铝产量约为 690 万吨,占比仅 16%。而根据 IAI,2019 年全球铝供应量约 9552 万吨,其中再生铝 3183 万吨,占比达 33.3%。此外，欧洲、北美和其他发达国家或地区的再生铝产量普遍超过原铝产量，日本使用再生铝进行生产，如图 4-27 所示。

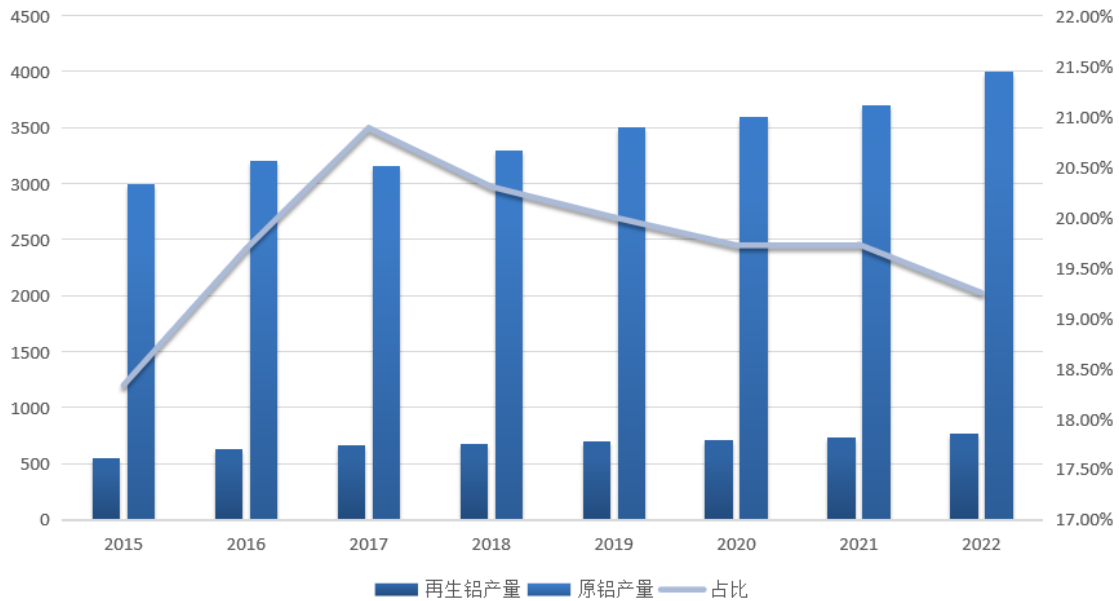
图 4-27:2011-2020年中国再生铝产量与增速



数据来源:海关总署、中国有色金属工业协会、中商产业研究院

再生铝生产工艺流程较原铝更为简单,单吨碳排放量较原铝减少 11 吨。铝合金可以从废铝原料中通过分选预处理、熔炼和铸锭获得,而在初级铝生产过程中不需要经过电解过程,因此能耗大大降低。根据 IAI 的数据,生产一吨原生铝的碳排放量约为 11.2 吨,而生产一吨再生铝的碳排量仅为 0.2 吨。2018 年,全球再生铝产量约为 3074 万吨,占铝供应总量的 31.6%,但碳排放量仅占铝行业碳排放总量的 1.7%。目前,我国再生铝资源的利用仍然不足,随着碳中和加强,再生铝产量占铝行业总供应的比例需实现大幅的提升,如图 4-28 所示。

图 4-28:2016-2021年中国再生铝产量占原铝比重统计情况



数据来源:国家统计局、中国有色金属工业协会、中商产业研究院

4. 淘汰高能耗低效益产能,逐步取消高耗能行业优惠电价,大幅减弱火电铝成本优势。未来随着电价优惠逐步取消,行业内成本曲线或将进一步异化,位于成本曲线右侧的高耗能、低效益产能可能被迫退出市场。而龙头企业有望凭借产能布局带来的成本优势及规模效应优势强者恒强,提升行业竞争力和集中度。

5. 2021年,由于国内电力供应不足,造成了电解铝供应的大量压减,主要涉及的省份是云南、广西和贵州。这三个省份均由南方电网负责输电。三省电力供应来源主要以火电和水电为主。其中广西、贵州的水电占比为30%左右,而云南则高达81%。今年由于火电电煤供应不足、水电降水不及预期,又承担了较重的西电东送任务,这造成了三省电力供应增速受限。同时需求端各省用电持续高增长,供需错配造成了三省供电紧张的局面。限电造成了电解铝运行产能的大量压减,同时由于这几个省份也是国内电解铝新增产能的主要区域,运行产能大量减产同时新增以及复产产能也大规模

模推迟通电。双控与限电的原因，有疫情等部分阶段性影响因素，但其背后双碳政策的重要推动不容忽视，双碳或将承接供给侧改革对未来相当长一段时间的电解铝供应造成重要影响。

6. 能源结构调整将抑制电解铝供应增长。目前国内发电以火力发电为主占 72.5%，绿电（风力、水力以及光伏）占比 23.9%。2020 年之前国内火电发电增速总体持续走低，至 2020 年已经降低至 2.2%，但疫情后随着国内制造业出口的大幅度增加，总用电量增速大幅上行，这也带动了国内火电产量增速大幅超出预期，2021 年 1-9 月国内火电发电量累计增速为 12.9%。过去几年国内绿电产量保持较快增速，尤其光伏和风电增速维持在两位数以上，由于水电体量较大，发电量增速较低，受此拖累过去几年绿电总发电量增速维持在 8% 左右。上一章提到，根据双碳政策十四五规划要求，国内未来五年内，火电发电量增速理论上需控制在 2% 以下，同时绿电增速需提高至 10% 以上。因此国内发电结构转变节奏将会加速。

2020 年国内水电、风电以及光伏新增装机容量较 2019 年明显加快，分别增加 1212、7238 以及 4875 万千瓦。2021 年随着双碳相关政策加速提出，国内各个省份均出台了力度较大的绿电支持政策。绿电装机容量增速明显加快，仅 1-9 月的水电、风电以及光伏装机量已经超过去年全年水平，总计 14657 万千瓦，同比去年增 10.0%。但 1-9 月的水电、风电以及光伏发电量仅比去年增 7%。可见光伏实际发电量与装机量并不匹配。由于绿电本身的特性，在未来能源结构调整过程中可能出现如下问题：

首先，绿电机组可用小时数受天气影响大。2021 年 1-9 月国内水电发电设备可利用小时数同比降 3.5%，风电可利用小时数同比增 5.9%。从往年经验来看，水电和风

电发电设备平均利用小时数不同年份之间差别较大，比如今年云南地区二季度汛期降水低于往年同期，造成当地水电供应不足，从而影响了工业用电，电解铝企业大量停产。近几年全球极端天气频发，对绿电供电形成调整，尤其当绿电比例持续上升后，受到恶劣天气影响的影响更大。

其次，风电和光伏发电稳定性不足。目前国内水电站的建设趋于饱和，同时水电对环境的影响也有一定争议，未来能够新建的水电项目有限。核电受限于安全性，也不适合大规模发展，生物能、地热能以及潮汐能等总发电量较低，后续实现我国发电结构调整的合理路径只能是大规模发展光伏和光能。云南电解铝产业的发展已经证明水电能够作为供电主体为电解铝企业使用，但光伏和风能够并网为电解铝企业使用的比例从目前的情况看仍然较低，主要是由于发电不稳定。国内光伏发电时间占每年的五分之一至六分之一，风能约占到四分之一到五分之一。同时因为风能和太阳能是没有办法预测的，因此这种非稳定电源占比超过一定比例就会使电网不稳定，有大面积停电的风险。

解决绿电发电不稳定的问题主要需要从储能和智能电网两方面着手：

储能系统调配，即要削峰填谷，将一天当中不同时段、不同季节的高发电量进行电量存储，然后在低发电量时段进行电量释放。目前可行的储能技术有以下几种：

第一，抽水蓄能，即用电低谷时通过电力将水从下水库抽至上水库，用电高峰再放水发电，弥补绿电存在的不稳定性短板。但抽水蓄能在电力系统中占比较小，难以有效满足绿电大规模高比例发展的需求。

第二，用燃气或燃煤电厂补偿季节性绿电发电不足。在绿电相对低渗透率的背景下，可以用燃气或火力发电来弥补绿电季节性发电不足的问题。2020 年国内新基建加速发展，部分特高压投产，某些地区煤电的定位已经逐步由主体电源向基础性电源转变，提供更多的调峰调频服务。不过这其中存在两方面问题，其一是这种方式不适用于绿电高渗透率的情况，其二是火电补偿发电期间会显著增加碳排放。

第三，电池储能，以目前的技术主要是要靠电池在峰电储电在谷电放出，其中的问题在于低成本的大规模储电技术仍然有待开发，目前此举生产的电价要比传统火电增加几倍。

智能电网：中国电力科学研究院将智能电网定义为基于物理电网，与现代先进传感和测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度融合的新型电网。它可以在满足用户用电需求的前提下，优化资源配置，确保供电的安全性、可靠性和经济性，满足环境约束，确保电能质量。中国清洁能源资源和负荷中心的分布不平衡，可再生能源的高比例要求高电网结构和调节能力，这需要快速发展以特高压骨干电网为核心的国家清洁能源资源优化平台。智能电网建设过程中，在发电环节、输电环节以及变电环节均有大量技术要求有待突破。同时对能源接入稳定性本身也有较高要求，这需要引入新型的电器设备与技术。另外，在用电与调度环节，保证用户与企业发电与电网系统的兼容性也是难点。总体来看，智能电网能够为绿电的发展提供帮助，但技术上仍有诸多难点等待突破。

全球电解铝生产主要采用冰晶石氧化铝熔盐电解法。其主要原理是利用直流电通过氧化铝原料，以碳为阳极，冰晶石为溶剂，在 950°C左右的高温下进行化学反应。

电解铝液的生产。其生产的第一个特点是高电流、高温和强磁场。全年连续运行 8760 小时；二是电力负荷大，相对稳定，但对供电可靠性和安全性要求较高；三是生产经营过程中经常出现阳极效应，存在一定程度的负荷浪涌。当电解铝的电流强度为 90%-100%时，可以加强生产过剩。当电流强度低于 90%时，没有输出，70%-90%处于隔热状态。如果停电，电解槽将在夏季 7-8 小时内凝固，冬季 3-4 小时内凝固。同时，冰晶石作为电解质在凝固状态下不导电。因此，一旦长时间停电，损失将很大。短期停电时，停电时间越长电耗越大；如果生产过程突然断电，并且短时间无法恢复，则影响电解设备寿命，并可能造成整个生产系统瘫痪。因此保证电源稳定对电解铝生产安全至关重要。

当新能源发电装机占比提高后，对电网的整体稳定性将形成不利影响。比如对于异步运行的云南电网而言，新能源高的波动性，将显著增加电网日常调频调控的难度，系统频率越限风险提升。此外，绿电占比高的电力系统在受到故障扰动后，稳定性的问题将进一步凸显，电压稳定以及频率稳定过程中的穿越性将对系统恢复稳定带来阻力。因此新能源占比的提升，会对电源稳定性、安全性要求的很高的电解铝生产带来隐患，这种隐患会随着新能源占比的提升而不断增加。当前国内发电结构的转变，对国内电解铝供应的影响尚不显著，但随着绿电渗透率的提升，电源不稳定性也将随之增加，并将对电解铝产能释放形成较大的影响。

五、总结与建议

5.1 总结

本文的研究利用丰富的实证数据对碳中和及碳达峰对电解铝行业产能及产量的影响这一课题进行了学术研究层次上的有效补充,结合研究的结果可以对政策制定方、监管层、电解铝行业企业等提出有实践意义的参考建议。

本文选取的数据样本来源于 WIND 数据库和 CSMAR 经济金融研究数据库。样本选择时间区间是“双碳”目标提出前 6 年至今。结合近 6 年来电解铝行业 8 家上市企业的实际财务数据、各区域产能产量、库存周转率等数据进行综合分析和验证,样本数据来源比较丰富,有较好的代表性。同时,基于前人在宏观层面的“双碳”目标趋势与热点分析,本文有效量化通过对电解铝行业产能布局、产量调整,通过对电解铝上市企业经营数据在“双碳”目标实施前后变化的定量分析,选取了这些研究成果中的一些重要因子加入本文的研究模型中,通过实际数据来进行验证分析,进一步理解和分析碳达峰及碳中和对电解铝行业企业产能及产量的影响。

本文量化和评估碳达峰和碳中和目标实施前后对电解铝行业产能及产量的影响,将电解铝行业政策实施前后的政策变量作为此研究的主要自变量。同时,将电解铝上市企业的产能或产量作为因变量,将资产总计、总市值、资产负债率、市值比、ROA、ROA 波动率、固定资产占比、现金资产率、营业收入同比、每股收益、股价波动率、库存周转率作为控制变量予以研究。

本文利用大量的季度实证数据,从微观层面分析了依据碳达峰和碳中和目标,各地政策实施前后,对电解铝行业企业产能及产量产生的影响,剖析导致其影响的可能原因和影响程

度。在研究过程中,通过数据统计分析验证理论模型,具体揭示了各种控制变量(资产总计、总市值、资产负债率、市值比、ROA、ROA 波动率、固定资产占比、现金资产率、营业收入同比、每股收益、股价波动率、库存周转率)与产能及产量的相关关系。结合实证结果的分析,我们可以对政策实施对产能及产量的影响提出有针对性的建议,帮助或引导政策制定方、监管层、电解铝行业企业关注政策实施的关键特征或效果,较为正确的颁布及落实政策。

本研究也存在很多的局限性,未来可以进一步改进和完善。首先,本文只研究了 8 家电解铝行业上市公司,缺乏对国企、民企等非上市企业产能及产量数值变化的研究。后期可以对国企、民企等非上市企业进行分析,使研究结果更加全面,更具有比较和参考意义。其次,在研究政策对样本企业产能及产量影响时,主要考虑了季度时点关键政策对产能及产量的影响,而企业推进力度及执行效率等其他重要因素,有必要在进一步的研究中结合政策因素进行考察分析;同时,由于本人的认识有限,可能并不知道对被解释变量产能及产量有重要影响的其他因素,为了保证模型参数估计的有效性,设置的解释变量之间应该是不相关的,而本人也很难确定哪些不相关的,因为在经济问题中很难找到影响同一结果的相互独立的因素,对于一些非常重要的变量,也会存在在实际中并没有这样的统计数据。最后,部分控制变量对产能及产量的影响程度及其解释还无法清晰地表达,个别指标与现实体会也有一定的相悖,这些都需要做进一步的研究分析。

5.2 建议 823037ParkHyatt!

我国“碳中和及碳达峰”政策体系仍处于建立初期,具有一定完善空间。坚持系统观念,处理好企业发展和“双碳”目标、整体和局部、短期和中长期的关系,需要政策制定方、监管层、

电解铝行业企业等的共同努力,结合本文的研究结果,从中国实际国情出发,我们提出了以下一些参考建议:

1、产业结构政策需要在深度和广度上延伸。在广度上,一些政策工具(如碳税)仍在讨论中,尚未开始实施;在深度上,首先,部分地区设立了“双碳”相关发展目标,但具体执行规定尚未充分建立;其次,绿色科技对我国“双碳”路径具有长远意义,重点改进一些能源技术创新体系,开始布局碳中和和相关零碳和富碳技术开发。例如碳捕获这一类的行业标准,也要抓紧开始制定。对于“双碳”,除了强调它的重要性,更关键地是在产业链和技术方面走在世界前列。现在开始布局,将来我国在碳达峰、碳中和方面的国际竞争力就会逐步增强。

2、碳排放交易政策需逐步形成广覆盖、多主体的碳排放交易市场。全国碳排放交易市场是“双碳目标”实现的重要配套设施,2021年7月16日全国碳排放交易市场正式开市,目前仅覆盖较为成熟的电力行业,需加快纳入电解铝行业,重点完善部分能源科技创新体系,开始布局与碳中和的相关的零碳和富碳技术发展。碳排放交易的地域限制需被打破,碳交易的统一性、流动性和灵活性增强全国碳交易市场由上海环交所负责交易系统建设,湖北武汉负责注册结算系统建设。交易标的主要由碳排放配额(CEA)和国家认证自愿减排(C CER)组成。主要面向高排放企业,国家根据其碳排放情况向其分配碳排放配额,盈余的碳排放配额可以作为商品在高排放企业间流通,实现碳排放的合理分配,激励高排放企业减排。

3、加大政策支持力度,推广绿色金融,持续完善绿色金融体系“五大支柱”。“双碳”目标的实现需要巨量投资,政策引导能够有效引导资金流向绿色产品和服务。2020年1月,生态环境部提出了应对气候变化的投融资指导意见,引导社会资本投向环保相关领域。中国人民银行等三部门指定《绿色债券支持项目目录(2021年版)》,上交所、深交所发布《绿色公司

债券上市的业务指引》,细化了绿色债券应用规则。2021年7月,央行发布会上表示人民银行正有序推进"双碳"目标实现支持工具设立工作,以精准直达方式支持清洁能源、节能环保、"双碳"目标实现技术的发展,并撬动更多社会资金促进"双碳"目标实现,碳减排支持工具的设计基于市场化、法治化和国际化的原则,充分体现了开放性和透明度,实现了"可操作性、可计算性和可验证性",以确保工具的准确性和直接性。2021年6月印发的《银行业金融机构绿色金融评价方案》提出,将绿色债券纳入评价体系,将绿色金融评估结果纳入中国人民银行的政策和审慎管理工具,如中国人民银行金融机构评级。央行在《2020年第四季度中国货币政策执行报告》表示,应逐步完善绿色金融"五大支柱",绿色金融标准体系、金融机构监管、信息披露要求、政策激励和约束制度、绿色金融产品和市场体系、绿色金融国际合作。"五大支柱"为绿色金融政策未来的发展方向提供了完整的思路。以双碳为边界修订新版绿色金融界定标准、完善信息披露制度并强化监管在近期内亟待完善。长期看,创新绿色金融市场工具、提高活跃度能够有效促进电解铝产业与金融融合,实现多元化金融工具为实体经济保驾护航。

4、供给侧能源改革和需求侧能源消费结构需要同步调整,以实现2030年碳达峰,2060年碳中和的目标、供给侧能源改革和需求侧能源消费结构需要同步调整。一方面实施产能压降与差别电价,促进高耗能产业供给侧改革。高耗能产业的产业结构调整是"双碳"目标实现的重要方式之一,针对"两高一剩"的电解铝行业"双碳"目标的实现,相关部委和行业协会发布政策促进高耗能产业的产量控制和产业结构优化。工信部更新《铝行业规范条件》等有色金属行业规范,推动其向环境友好、智能化转型。部分省份通过差别电价收紧电解铝行业碳排放,如江苏、甘肃、内蒙古等相继出台对高耗能行业企业按耗能分类实行差别电价。从

耗能成本上促进企业进行低碳升级,节能减排。以火电为主要电能供应来源的电解铝产业将现有火电产能面临整治整改,将其产能迁移;另一方面新产能投放或仅能以水电、可再生能源等作为能源供应。能源活动峰值控制在 109 亿吨左右,能源供给侧结构调整和消费侧调整需要协同发力。具体而言,到 2030 年,预计行业各方面碳排放总量将减少 36.7 亿吨,占 2030 年目标峰值的 33.7%,其中产业结构调整将减少碳排放 8.1 亿吨,占碳减排总量的 22.1%;工业节能减排碳 12.3 亿吨,占碳减排总量的 33.5%;能源结构调整减少碳排放 9.8 亿吨,占碳减排总量的 26.7%;建筑和交通减排 6.5 亿吨,占碳减排总量的 17.7%。

5、必须倡导气候变化问题的全球化应对。对碳排放来说,在哪里排放无关紧要,对大气造成的负面影响是一样的。然而碳排放会“走路”,这个国家管理严格,它就会往其他地方走。所以应对气候变化最有效方式一定是全球化应对。我们以往讲贸易全球化,接下来我们必须倡导气候变化应对的全球化。目前已经有很多国家提出碳中和的目标,可见各国在这个问题上还是有共识的,这种共识可以加速各国在碳中和问题上的行动步伐。我们倡导气候变化的全球化应对,这不仅有利于东西方国家加深合作,也有利于通过贸易的全球化来支持气候变化的全球化应对。例如,各国可以在节能减排、低碳零碳富碳等技术领域,通过资源互补、优化配置来互利共赢。

6、提升再生铝占铝行业总供应的比例。中国再生铝产量占比远低于全球平均水平,未来仍有巨大提升空间。2019 年我国铝供应总量约为 4203 万吨,其中原铝产量 3513 万吨,占比 84%;再生铝产量约为 690 万吨,占比仅 16%。而根据 IAI,2019 年全球铝供应量约 9552 万吨,其中再生铝 3183 万吨,占比达 33.3%。此外,欧洲和北美等发达国家或地区的再生铝产量普遍超过原铝产量,日本使用再生铝进行生产。再生铝的生产工艺比原铝简

单，每吨碳排放量比原铝少 11 吨。铝合金可以从废铝原料中通过分选预处理、熔炼和铸锭获得，而在初级铝生产过程中不需要经过电解过程，因此能耗大大降低。根据 IAI 的数据，生产一吨原生铝的碳排放量约为 11.2 吨，而生产一吨再生铝的碳排量仅为 0.2 吨。

2018 年，全球再生铝产量约为 3074 万吨，占铝供应总量的 31.6%，但碳排放量仅占铝行业碳排放总量的 1.7%。

参考文献

- 蒋含颖,段祎然,张哲,曹丽斌,徐少东,张立,蔡博峰.基于统计学的中国典型大城市 CO₂ 排放达峰研究[J].气候变化研究进展,2021,17(2):131-139.
- 李侠祥,张学珍,王芳,张丽娟.中国 2030 年碳排放达峰研究进展[J].地理科学研究,2017,6(1):26-34.
- 邵帅,张曦,赵兴荣.中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J].中国工业经济,2017,0(3):44-63.
- 毕莹,杨方白.辽宁省碳排放影响因素分析及达峰情景预测[J].东北财经大学学报,2017,0(4):91-96.
- 胡鞍钢.中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J].北京工业大学学报: 社会科学版,2021,21(3):1-15.
- 孙旭东,张蕾欣,张博.碳中和背景下我国煤炭行业的发展与转型研究[J].中国矿业,2021,30(2):1-6.
- 杨绪彪,朱丽萍.碳中和增长目标下解决航空碳排放的路径选择[J].经济问题探索,2015,0(7):18-22.
- 屈博,刘畅,李德智,郭炳庆.“碳中和”目标下的电能替代发展战略研究[J].电力需求侧管理,2021,23(2):1-3.
- 赵一冰,蔡闻佳,丛建辉等.低碳战略下供给侧减缓技术的综合成本效益分析[J].全球能源互联网,2020,3(4):319-327.
- 姜克隽,冯升波.走向巴黎协定温升目标已经在路上.气候变化 研究进展[J].2021,17(1) : 1-6.
- 杜祥宛.碳达峰与碳中和引领能源革命[N].中国科学报,2020-12-22(1).
- 王霞,张丽君,秦耀辰,et al.中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J].资源科学,2020,42(02):323-333.
- 李家龙.生产性服务业集聚对碳排放影响的实证研究[J].河池学院学报,2019,39(02):124-128.
- 曾军,姚庆国,李跃,et al.新旧动能转换背景下有色产业“双碳”目标实现路径仿真研究-以山东省为例[J].数学的实践与认识,2019,49(23):312-321.

- 郭茹,吕爽,曹晓静,et al.基于 ZSG-DEA 模型的中国六大行业"双碳"目标实现分配效率研究[J].生态经济,2020,36(01):13-18.
- 马歇尔。 经济学原理(上下)[M]。 商务印书馆, 北京, 2011。
- 庇古。 福利经济学(上下)[M]。 商务印书馆, 北京, 2006。
- Petrick S, Wagner U J。 The impact of carbon trading on industry: Evidence from German manufacturing firms[J]。 Kiel Working Papers, 2014。
- Nordhaus W, Review A E, Duflo E。 A Sketch of the Economics of the Greenhouse Effect[J]。 American Economic Review, 1991。
- Grossman G M, Krueger A B。 Economic Growth and the Environment[J]。 Nber Working Papers, 1995。
- Panayotou T。 Economic Growth and the Environment[J]。 CID Working Papers, 2000。
- Manta A G, Florea N M, Bdrcea R M。 The Nexus between Carbon Emissions, Energy Use, Economic Growth and Financial Development: Evidence from Central and Eastern European Countries[J]。 Sustainability, 2020。
- Albino, Vito, Ardito。 Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis[J]。 Applied Energy Barking Then Oxford, 2014。
- Nordhaus W D。 Stern Review: The economics of climate change[M]。 Cambridge University Press, 2006。
- Energy Transitions Commission(2018).Mission Possible:Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century。
- 苏小军, 张伟, 梁超。 绿色资产管理业务的实践与发展方向[J]。 中国外汇, 2021。
- 明明。 碳中和与经济增长: 此消彼长还是协同共赢? [R]。 中信证券, 2021。
- 王霞,张丽君,秦耀辰,张晶飞.中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J].资源科学,2020,0(2):323-333.
- 杨长进,田永,许鲜.实现碳达峰、碳中和的价税机制进路[J].价格理论与实践,2021(1):20-26.
- 王新利,黄元生.河北省能源消费碳排放强度影响因素分解[J].数学的实践与认识,2018,48(23):49-58.

- 闫庆友,尹洁婷.基于广义迪氏指数分解法的京津冀地区碳排放因素分解[J].科技管理研究,2017,0(19):239-245.
- 马忠民,刘娟娟.低碳经济背景下制造业投资决策的优化策略[J].现代商业,2017,0(32):120-121.
- 陈志建,张立,刘月梅,孔凡斌.湖南省能源碳排放峰值预测的研究[J].华东交通大学学报,2018,35(2):137-142.
- 丛建辉,王晓培,刘婷,杨晓俊.CO₂ 排放峰值问题探究:国别比较、历史经验与研究进展[J].资源开发与市场,2018,34(6):774-780.
- 刘宗明,赵月浩.基于产品全生命周期理念的食品包装低碳设计[J].食品与机械,2018,34(4):128-131.
- 周莹莹,贺倩,李楠.江苏省重点工业行业"双碳"目标实现驱动因素研究[J].环境保护与循环经济,2018,38(8):7-11.
- 杨冕,卢昕,段宏波.中国高耗能行业碳排放因素分解与达峰路径研究[J].系统工程理论与实践,2018,38(10):2501-2511.
- 佟庆周胜魏欣旸,纳入全国碳市场的铜冶炼企业碳排放核算方法解析,资源环境,2018
- 张宏,郭国标,铜冶炼企业降低碳排放强度的措施,有色冶金节能,2018
- 张城,李一夫,陈东,刘立伟,中国再生铝产业的现状、发展机遇及挑战,四川有色金属,2010年11月
- 陈英发,我国再生铝生产的现状及发展思路,世界有色金属,2005年第8期
- 傅长明,再生铝熔体处理技术,大众科技,2010年第11期
- 王胜兰,关于铝的再生利用探讨,河南冶金,2005年4月,第13卷第2