

# 重点工业行业碳达峰碳中和 需求洞察报告

(2022 年)

中国信息通信研究院产业与规划研究所  
工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组

2022年12月

---

## 版权声明

---

本报告版权属于中国信息通信研究院、工业互联网产业联盟，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院、工业互联网产业联盟”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

## 前 言

推进碳达峰碳中和，是党中央作出的重大战略决策，是我们对国际社会的庄严承诺，也是推动经济社会高质量发展的内在要求。在2021年12月8日至10日召开的中央经济工作会议上，习近平总书记再次强调要正确认识和把握碳达峰碳中和。工业是我国国民经济的主导产业，也是能源消费和碳排放的重要领域。在碳达峰碳中和目标指引下，工业领域亟须深入洞察重点行业关键环节的节能降碳需求，形成具有行业特色的碳达峰碳中和路径和举措，加快推动工业绿色低碳转型。

本报告主要面向工业领域行业管理人员、工业企业管理者和技术骨干，以及工业领域绿色低碳技术、装备、产品等供给方。本报告对我国工业能源消费及碳排放基本情况、工业节能降碳政策要点进行了总结，结合行业能源消费及碳排放规模、产业链上下游影响范围、业内关注程度等因素，选取了煤炭、电力、钢铁、水泥、石化化工、铝、纺织、汽车、工程机械、半导体和环保等11个重点行业，分析其节能降碳的关键需求，提出绿色低碳发展的实施路径建议，为工业领域碳达峰碳中和工作提供参考借鉴。

# 目 录

一、工业双碳整体情况.....	1
（一）工业是我国能耗碳排的重点领域.....	1
（二）工业节能降碳成绩斐然但仍任重道远.....	2
（三）工业领域节能降碳政策密集发布.....	4
（四）本报告聚焦的重点工业行业.....	5
二、煤炭行业需求洞察.....	6
（一）行业能耗和碳排放情况.....	6
（二）行业节能降碳重点环节.....	7
（三）行业双碳关键路径.....	10
三、电力行业需求洞察.....	11
（一）行业能耗和碳排放情况.....	11
（二）行业节能降碳重点环节.....	12
（三）行业双碳关键路径.....	15
四、钢铁行业需求洞察.....	16
（一）行业能耗和碳排放情况.....	16
（二）行业节能降碳重点环节.....	17
（三）行业双碳关键路径.....	20
五、水泥行业需求洞察.....	21
（一）行业能耗和碳排情况.....	21
（二）行业节能降碳重点环节.....	24
（三）行业双碳关键路径.....	26
六、石化化工行业需求洞察.....	27
（一）行业能耗和碳排放情况.....	27
（二）行业节能降碳重点环节.....	28
（三）行业双碳关键路径.....	31
七、铝行业需求洞察.....	32
（一）行业能耗和碳排放情况.....	32
（二）行业节能降碳重点环节.....	35

(三) 行业双碳关键路径.....	37
八、纺织行业需求洞察.....	38
(一) 行业能耗和碳排放情况.....	38
(二) 行业节能降碳重点环节.....	39
(三) 行业双碳关键路径.....	42
九、汽车行业需求洞察.....	44
(一) 行业能耗和碳排放情况.....	44
(二) 行业节能降碳重点环节.....	45
(三) 行业双碳关键路径.....	49
十、工程机械行业需求洞察.....	50
(一) 行业能耗和碳排放情况.....	50
(二) 行业节能降碳重点环节.....	51
(三) 行业双碳关键路径.....	54
十一、半导体行业需求洞察.....	55
(一) 行业能耗和碳排放情况.....	55
(二) 行业节能降碳重点环节.....	56
(三) 行业双碳关键路径.....	58
十二、环保行业需求洞察.....	58
(一) 行业能耗和碳排放情况.....	58
(二) 行业节能降碳重点环节.....	60
(三) 行业双碳关键路径.....	64
十三、重点工业行业需求共性特征.....	65
(一) 工业碳排放的基本形式.....	65
(二) 重点环节及关键影响因素.....	66
十四、工业行业双碳推进建议.....	68
(一) 加快构建碳达峰碳中和标准体系.....	68
(二) 深入推进重点环节节能降碳举措.....	69
(三) 大力推动数字化绿色化协同发展.....	70
(四) 有序推进大中小企业绿色协同发展.....	70



## 图 目 录

图 1	2011-2021 年我国电力行业碳排放情况 .....	12
图 2	钢铁行业产业结构图 .....	16
图 3	水泥行业产业结构图 .....	22
图 4	2012-2021 年水泥产量及增速情况 .....	23
图 5	铝行业产业结构图 .....	33
图 6	2016-2021 年电解铝产量及增速情况 .....	34
图 7	2016-2021 年电解铝产能及增速情况 .....	34
图 8	2019-2020 年中国电解铝能源消耗占比 .....	36
图 9	纺织产品生命周期主要环节 .....	38
图 10	典型纺纱环节工序流程图 .....	40
图 11	典型织造环节工序流程图 .....	41
图 12	典型印染环节工序流程图 .....	41
图 13	典型成衣制造环节流程图 .....	42
图 14	工程机械生产制造环节碳排放比例 .....	52
图 15	工程机械生产制造环节能源消耗构成 .....	53
图 16	半导体产业产业结构图 .....	55
图 17	火力发电厂烟气脱硫脱硝工艺过程图 .....	62
图 18	实验室样本检测与实时监测流程图 .....	63

## 表 目 录

表 1	2018-2021 年全社会用电结构 .....	14
表 2	钢铁行业碳排放源识别表.....	18
表 3	2017-2021 年我国水泥行业能耗和碳排放情况表 .....	24
表 4	水泥行业碳排放情况表.....	24
表 5	2020 年主要石化产品碳排放情况表.....	29
表 6	2020 年我国铝行业碳排放情况表.....	35
表 7	动力蓄电池制造过程主要耗能设备.....	47





实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。工业领域长期以来是我国能源消费和二氧化碳排放的第一大户，是影响全国整体碳达峰碳中和的关键。近期，《“十四五”工业绿色发展规划》等政策陆续发布，提出了工业领域碳排放的阶段目标，电力、钢铁、煤炭、石化、化工、汽车等重点工业行业双碳目标也逐步明确。对重点工业行业能耗碳排情况进行细致摸底，找到节能降碳的重点环节和关键因素，将有助于明确方向、抓住重点，推动工业领域双碳工作真正落实落细、见行见效。

## 一、工业双碳整体情况

### （一）工业是我国能耗碳排的重点领域

我国工业能源消费逐年增长，占全国能源消费总量的比例呈缓降态势。中国统计年鉴数据显示，工业能源消费总量随我国工业化进程加快而逐年上升，从 2000 年的 10.3 亿吨标准煤增长到 2020 年的 33.26 亿吨标准煤，占全国能源消费总量比重则由 2000 年的 70.1% 下降至 2020 年的 66.8%。从细分行业看，重点工业行业能源消费愈发集中。据测算，钢铁、建材、石化、化工、有色、电力六大高耗能行业能源消费长期以来占我国工业能源消费的比重一直保持在 70% 左右，但经济增加值占比仅为 33% 左右，节能形势较为严峻。近年来，我国工业能效水平不断提升。工业和信息化部统计数据显示，我国规模以上工业企业单位增加值能耗在“十二五”、“十三五”分别下降 28%、16%，2021 年进一步下降 5.6%，工业绿色化转型正在加快推进。但从主要工业品能源实物消耗量来看，剔除不可比因素后，我国生产同质性工业品

的能源效率仍落后于国际水平，如钢铁行业、电解铝行业比世界同期先进水平多消耗能源 3%-5%。

**我国工业碳排放量高速增长局面基本扭转，工业碳排放强度明显下降。**我国工业碳排放量呈先升后降再高位波动的态势，据测算，我国工业碳排放量从 2005 年的 41 亿吨，提升至 2019 年的 72 亿吨，涨幅约 75.7%，年均增速约 4.1%。近年来，我国政府积极采取控制能源消费总量、优化能源结构、提升能源效率、调整产业结构等重要举措，工业碳减排取得显著成效，2015 年我国工业碳排放量首次下降，较 2014 年下降 1.3%，2016 年又下降 2.6%，之后保持高位波动。同期，我国工业二氧化碳排放强度显著下降，国务院新闻办公室发布的《新时代的中国能源发展》数据显示，2019 年我国工业碳排放强度较 2005 年下降 57.8%，超过同期全国碳排放强度下降速度（约 48.1%），工业低碳转型已取得一定成效。

## **（二）工业节能降碳成绩斐然但仍任重道远**

“十三五”期间，我国扎实开展工业节能降碳工作，打牢工业能效提升基础。我国工业领域始终坚持“绿水青山就是金山银山”的发展理念，践行绿色低碳循环发展之路，建立了较为完善的工业节能制度体系。原油直接裂解制烯烃、换热式两段焦炉、铜冶炼连续吹炼等一批先进节能技术取得突破性进展，先进节能技术装备普及率大幅提升。发布实施钢铁企业能效评估导则、水泥制品单位产品能耗限额等工业节能标准 390 余项，建立健全工业节能标准体系。开展国家工业专项节能监察，实施工业节能诊断服务行动，推动重点行业领域合理高效

用能。实施重点用能行业能效“领跑者”行动，加快绿色数据中心建设，大力推动节能降碳技术改造。“十三五”以来，我国工业领域主要高能耗产品能效水平持续提升，规模以上工业单位增加值能耗大幅下降；钢铁行业提前完成 1.5 亿吨去产能目标，电解铝、水泥行业落后产能基本退出；高技术制造业增加值占规模以上工业增加值比重提高 3.3 个百分点，新能源汽车、可再生能源产业政策、技术、产业体系和配套环境等渐趋完善，产业规模全球领先。

“十四五”期间，我国工业节能降碳面临新的更高要求。从发展阶段看，国务院发展研究中心《中国发展观察》数据显示，截至 2021 年底，全世界已有 50 多个国家实现碳达峰，这些国家多数为后工业化国家或发达国家。我国仍处于工业化、城镇化深入发展的历史阶段，受区域发展不平衡、产业结构不均衡等因素影响，工业化中期、工业化后期和后工业化阶段特征同时出现、复杂交织，资源驱动型经济增长模式尚未根本改变，这更需要我们立足实际，统筹好工业健康发展和能源需求刚性增长的关系。从能源结构看，我国“富煤、缺油、少气”的自然资源禀赋，决定了“以煤为主”的能源消费基本结构。国家统计局数据显示，2010-2020 年间，我国煤炭消费占能源消费总量的比重每年减少约 1 个百分点左右，按照上述趋势，需要近 60 年才能实现零煤耗。由于单位标准煤炭燃烧产生的碳排放远高于其他化石能源，因此，我们要加快优化能源消费结构，提高清洁能源使用占比。从技术水平看，低碳技术创新是实现工业节能降碳的关键所在，也是各国抢占产业制高点的焦点。我国低碳技术水平总体上相对落后，重点行

业关键工序工艺、设备，如钢铁行业氢冶金和废钢回用短流程技术，有色行业氧化铝高效提取技术、再生铝资源循环技术，化工行业原油催化裂解多产化学品技术，以及不同行业间耦合集成减碳、数字化智能化低碳技术等方面，仍与世界先进水平存在差距。“十四五”时期，我们要开展重点行业碳排放驱动因素、影响机理、管控技术、减排措施等科技攻坚，推进前沿绿色低碳技术研发部署，加强低碳零碳负碳关键技术攻关、工程示范和成果转化。

### **（三）工业领域节能降碳政策密集发布**

**重点行业碳达峰、碳中和目标逐步明确。**2021 年 10 月 24 日，中共中央、国务院印发《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》，双碳“1+N”政策体系落地，工业、农业、建筑业、煤电、新型基础设施等领域相关碳达峰实施方案相继出台。《“十四五”工业绿色发展规划》进一步明确了工业领域的碳排放目标，提出到 2025 年单位工业增加值二氧化碳排放降低 18%，规模以上工业单位增加值能耗降低 13.5%，电力、钢铁、有色金属、煤炭等重点工业领域双碳目标逐步明确。2022 年 6 月，工业和信息化部、国家发展改革委等六部门联合发布《工业能效提升行动计划》，提出到 2025 年，规模以上工业单位增加值能耗比 2020 年下降 13.5%，钢铁、石化化工、有色金属、建材等行业重点产品能效达到国际先进水平。2022 年 8 月，工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部发布《工业领域碳达峰实施方案》，方案提出，“十四五”期间，产业结构与用能结构优化取得积极进展，能源资源利用效率大幅提升，建成一批绿色工厂



和绿色工业园区，研发、示范、推广一批减排效果显著的低碳零碳负碳技术工艺装备产品，筑牢工业领域碳达峰基础，到 2025 年，规模以上工业单位增加值能耗较 2020 年下降 13.5%，单位工业增加值二氧化碳排放下降幅度大于全社会下降幅度，重点行业二氧化碳排放强度明显下降。此外，江苏、浙江、山东、上海等地也围绕工业领域碳达峰、碳中和工作出台了相关政策文件，明确了重点行业节能减排目标。

**重点行业碳达峰、碳中和举措不断明晰。**加强工业领域碳达峰顶层设计，通过制定重点行业碳达峰路线图、明确降碳实施路径、开展降碳重大工程示范、加强非二氧化碳温室气体管控等方式，推进电力、钢铁、煤炭、石化化工、有色金属等重点行业落实碳达峰目标任务，成为各地方政府、企业的工作重点。具体而言，在产业结构调整上，通过遏制“两高”项目盲目发展，优化重点区域及流域的产业布局，使产业结构向绿色低碳化和高端化发展。在生产过程和方式变革上，通过推广数字化应用，推行绿色智能制造，实现生产清洁化和数字化转型。在工业能源消费上，通过引导工业企业使用清洁能源，建设分布式清洁能源和智慧能源系统，加强对余热余压余气综合利用，提高能源利用效率。

#### **（四）本报告聚焦的重点工业行业**

我国工业领域门类齐全、体系完整，本报告受篇幅和时间限制，主要参考近期重点政策，结合行业能源消费及碳排放规模、产业链上下游影响范围、业内关注程度等因素，聚焦部分重点行业开展分析研

究，包括煤炭、电力等能源供给环节，钢铁、水泥（建材行业代表）、石化化工、铝（有色金属行业代表）、纺织（消费品行业代表）、汽车和工程机械(装备制造行业代表)、半导体（电子行业代表）等重点行业，以及作为绿色低碳服务环节的环保行业。上述选取行业既是工业领域高耗能高碳排的行业，也在所属行业大类中具有相当的代表性。

## 二、煤炭行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

煤炭生产行业隶属于采矿业，主要包括煤炭开采、洗选，以及相关的专业和辅助性活动，即向地下开掘巷道采掘煤炭，或直接剥离地表土层挖掘煤炭，再从煤炭中去除矸石或其他杂质等活动，不包括煤制品的生产，水的蓄集、净化和分配，以及地质勘查、建筑工程活动。从分类看，包括烟煤和无烟煤开采洗选、褐煤开采洗选、其他煤炭采选及煤炭开采和洗选专业及辅助性活动。本报告涵盖了煤炭开采、煤炭洗选两个环节。

我国煤炭产量和消费量全球居首，存在分布不均、开采难度大等特点。《BP 世界能源统计年鉴（2022 版）》数据显示，2021 年，全球煤炭产量 81.73 亿吨，其中我国产量占比达到 50.5%，我国煤炭消费量也占到全球总消费量的 53.8%，成为世界煤炭生产及消费的第一大国。我国煤炭资源区域分布不均，主要集中在山西、内蒙古、新疆等地，呈现“西多东少，北富南贫”特点，与我国地区经济发达程度呈“逆向分布”，未来“北煤南运”、“西煤东调”的格局长期存在。同时由于我国煤矿地质结构复杂、开采难度大，相对其他国家而言，一些导致煤

矿发生生产事故的瓦斯、水、火、煤尘等灾害情况也更加突出。

**煤炭开采、洗选过程的碳排放占比不高，但会影响煤炭消费环节碳排放量水平。**煤炭开发利用全过程产生的碳排放约占全国碳排放总量的六七成左右，是我国碳减排的关键所在。其中，煤炭开采和洗选过程在煤炭整个生命周期的碳排放总量占比不算高，《煤炭学报》数据显示，2019 年我国煤炭开采洗选行业碳排放总量约为 4.213 亿吨，占比仅为 5.8%。《工程科学与技术》数据显示，虽然煤炭开采和洗选过程碳排放总量不多，但甲烷排放量占能源活动甲烷总排放量的 80% 以上，约占中国甲烷总排放量的 1/3，甲烷较二氧化碳具有更为显著的增温效益。同时，煤炭开采、洗选过程还将明显影响后续环节的碳排放，提升煤炭开采技术水平，可有效减少煤矸石的采出量，进而节约运力，减少运输环节的碳排放；提升煤炭洗选技术水平，可有效提升煤炭质量，降低运输和消费环节的碳排放。

## （二）行业节能降碳重点环节

根据《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》，煤炭开采及洗选过程中的碳排放主要来源于使用煤、石油、天然气、电力、热力等产生的碳排放和甲烷、二氧化碳逸散排放两部分。目前，甲烷、二氧化碳逸散排放约占煤炭生产总排放量的 60% 左右，未来将随瓦斯抽采技术的成熟和提升而逐渐下降。随着智慧煤矿的推广建设，煤炭先进生产装备逐步深入应用，煤炭开发效率不断提升，煤、石油、天然气的使用量占比将呈下降趋势，电能占比则会不断上升，整体碳排放量则将主要取决于清洁能源的使用比重。

## 1.煤炭开采环节

按照煤炭储藏条件的不同，煤炭开采有露天煤矿开采和井工煤矿开采两种情形。相比较来看，露天开采具有开采成本低、资源回采率高、碳排放相对较低的突出优势，但露天开采对先天条件要求比较苛刻。井工煤矿开采主要包括采掘、运输、通风、排水等环节，井工煤矿开采碳排放主要包括上述环节的甲烷和二氧化碳逸散排放，以及能源消耗产生的碳排放。

根据 IPCC 第 2 次科学评估报告显示，在甲烷和二氧化碳逸散方面，1 吨甲烷的温室效应当量相当于 1 吨二氧化碳的 21 倍，甲烷和二氧化碳逸散碳排放水平受到煤炭产量和瓦斯抽效率的波动影响。据全国政协委员姜耀东披露，2020 年，我国煤矿瓦斯抽采量为 128 亿立方米，但利用率只有 44.8%，一半以上瓦斯未被利用导致碳排放显著增加。未来煤矿瓦斯抽采利用是煤炭开发过程中碳减排的重要内容之一，随着瓦斯利用效率的提升，总体碳排放量呈现降低趋势。能源消耗产生的碳排放主要包括消耗煤炭、电力及油气产生的碳排放，《工程科学与技术》数据显示，2020 年煤炭消耗碳排放量占 54.7%，电力消耗碳排放占 38.1%，油气消耗碳排放占 7.2%。随着采煤机械化程度的提高，其中电力消耗碳排放占比呈现增加趋势。在煤炭开采过程中通风、采掘和运输阶段能源消耗最大，约占本阶段能耗的 70%以上。同时，由于地区、地质差异和采矿方式的不同，各矿区的能耗水平差异明显，如新疆青海等高原地区的采掘能耗占比较高，深井矿区的运输能耗占比较高，富水地区煤矿的排水能耗则占比较高。



## 2.煤炭洗选环节

煤炭洗选主要是指通过物理、化学或微生物分选的方法使煤和杂质有效分离，并加工成质量均匀、用途不同的煤炭产品。《中国能源大数据报告（2021）》煤炭篇数据显示，2020 年我国原煤入洗率达到 74.1%，比 2015 年提高 8.2 个百分点。通过对煤炭进行洗选可有效减少煤炭中的杂质，提升煤炭质量，减少运力浪费，降低燃煤过程中的污染物排放量。

煤炭洗选过程的碳排放主要来自于选煤厂的粉筛破碎、入洗分选、煤泥回收、浮精/尾煤回收、介质回收、产品脱水/干燥等生产过程中用能带来的碳排放，包括用煤、电能、热能等产生的能耗，其中以电能为主。《中国矿业大学学报》数据显示，2015 年煤炭洗选的平均能耗占煤炭生产总能耗的 28.85%，因此洗选阶段也是煤炭生产过程中主要的碳排放环节之一。为落实煤炭清洁高效利用要求，国家一直积极推动原煤入洗，目前焦煤入洗比例较高，动力煤入洗比例则相对较低。国家发展改革委在《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022 版）》中明确规定，选煤电力单耗方面，焦煤需要达到 8.5 千瓦时/吨，动力煤达到 4.5 千瓦时/吨。

对煤炭进行洗选还可有效减少煤炭运输和消费等环节的碳排放量。2013 年，中国煤炭加工利用协会副会长张绍强就曾表示，据测算，锅炉采用洗精煤作为燃料，可提高燃煤效率 10-15%。每多入选 1 亿吨原煤，仅提高燃煤效率方面就可节约 1000-1500 万吨煤炭。同时，原煤洗选还可去除约总量 18%的煤矸石、13%的灰分、0.35%的硫分，

可有效节约运力和能源消耗、减少二氧化硫等污染物排放。根据王国法院士的研究结果显示，降低煤中灰分硫分可有效降低烟气处理能耗，也会间接减少二氧化碳的排放。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是建设智能化煤矿降低生产用能，包括提高采煤工作面智能化水平，在掘进工作面减人提效，实现远程控制、智能安控全覆盖，固定岗位提高无人值守作业水平，形成基于综合管控平台的智能一体化管控<sup>5</sup>。二是积极应用数字技术提升生产工艺水平，从而降低生产环节的碳排放，包括加快探索煤炭精准开采，推进数字化选煤工艺应用，加强通风系统工程研究、实施智能通风工程，数字赋能资源回收利用和二次矿山开发等。三是构建数智化供应链降低流通过程中的碳排放，包括加强煤炭智慧供应链平台建设，通过赋能煤炭产业供应链实现节能减碳；建设煤炭行业的工业互联网双碳园区，依托产学研结合探索矿区零碳生态模式等。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是深化煤炭生产核心技术研发降低行业直接碳排。尽早部署应用煤矿二氧化碳捕集、利用与固化以及封存技术，持续攻关突破低浓度瓦斯提纯和利用关键工艺技术等瓦斯抽采利用技术，有序研发煤矿区新能源与煤耦合利用技术。二是优化生产工艺，降低生产生命周期的能耗。积极优化煤炭生产过程中的技术工艺，通过煤炭低碳化技术创新和煤炭产业低碳化实现“用煤（碳）不排碳”，开展大规模、高精度、全粒级干法选煤研究以优化煤炭选煤工艺流程。三是加强煤炭产业集群协同，实

**现产业链节能减排。**鼓励煤矿生产企业在煤矿区就近将煤炭转化为电力、热力、新材料、化工品；构建高度融合的“煤-电-化工-建材”等一体化的循环经济产业链；筹划建立现代物流企业，强化产业链上下游联盟，实现以需定供。

### 三、电力行业需求洞察

#### （一）行业能耗和碳排放情况

电力产业链始于利用发电动力装置将水能、化石燃料的热能等转换为电能，输送至远离发电厂的负荷中心，再通过电力系统中二次降压变压器低压侧，直接或降压与普通居民、商业用户和工业用户相连，并向用户分配电能，最终由用户消费电能。在上述各环节都可能涉及电能存储。本报告重点涵盖电力生产、电力输配储、电力消费等环节。

**我国电力装机容量和发电量全球领先，能源结构持续优化。**国家能源局统计数据显示，2021 年，我国全口径发电装机容量约 23.8 亿千瓦，占全球比重为 31.0%，全口径发电量约 8.38 万亿度，占全球比重为 30.5%。目前，传统火力发电依然是我国主要的发电方式，同时风、光等可再生能源快速发展，可再生能源发电量占比不断提高。国家能源局统计数据显示，“十三五”时期，全国非化石能源发电量年均增长 10.6%，占总发电量比重从 2015 年的 27.2% 上升至 2020 年的 33.9%。全球能源互联网发展合作组织预测数据显示，“十四五”期间，我国全社会用电总量将平稳增长，预计 2025 年全社会用电量将达到 10.7 万亿时，较 2020 年增长 42.6% 左右。

我国电力碳排放总量约占全社会四成，碳排放强度持续下降。中国电力企业联合会《电力行业碳达峰报告》数据显示，能源燃烧占全部二氧化碳排放的88%左右，电力行业排放占约41%。近年来，我国电力行业积极发展非化石能源，努力降低供电煤耗和线损率，行业碳排放强度持续下降，有效减缓了行业碳排放总量的增长速度。中国电力企业联合会《中国电力行业年度发展报告2022》数据显示，2021年，全国单位火电发电量二氧化碳排放约为828克/千瓦时，比2005年降低21.0%；全国单位发电量二氧化碳排放约为558克/千瓦时，比2005年降低35.0%。



来源：《中国电力行业年度发展报告2022》

图1 2011-2021年我国电力行业碳排放情况

## （二）行业节能降碳重点环节

电力行业碳排放主要集中在电力生产环节，大力促进电力生产环节节能降碳，将对推进电力行业乃至国家碳达峰进程产生关键性影响。电力输配储和电力消费环节不直接产生碳排放，但由于承担了消纳、



传输清洁电力，以及节电、绿电交易、电能替代的责任，可对电力行业整体节能降碳起到积极作用。

## 1. 电力生产环节

我国以煤为主的资源禀赋，决定了煤电在相当长时期内仍将承担保障我国能源电力安全的重要作用。目前，各火力发电厂的碳排放主要来源于化石燃料燃烧产生的二氧化碳。每台燃煤机组的煤耗率主要受汽轮机热耗率、燃煤锅炉热耗率、煤种、优化方案的设计水平等因素影响，也和电厂的厂用电率、机械制造工艺及水平等因素相关。燃煤机组主要生产过程中的碳排放包括：**一是在燃烧系统中**，煤粉在锅炉里燃烧，将水加热成蒸汽，将原煤的化学能转换成蒸汽的热能，根据行业经验测算，每消耗 1 吨煤，按含碳量 90% 计，将产生约 2.7 吨二氧化碳。**二是在汽水系统中**，蒸汽冲动汽轮机旋转，将蒸汽的热能转换成机械能。这一过程中机组负荷，如凝汽机端差变化等，将影响供电能耗。**三是在电气系统中**，汽轮机带动发电机旋转，通过电磁感应将汽轮机的机械能转换成电能。这一过程中主汽温度和气压的变化，以及发电机组其他设备负荷调整，将影响能耗和碳排放。

## 2. 电力输配储环节

输配电环节的碳排放主要包括输配电线路上的电量损耗间接产生的二氧化碳排放，以及六氟化硫设备的检修与退役过程产生的少量温室气体排放。同时，输配电网作为联接能源供给侧和消费侧的关键枢纽，是新型电力系统的核心物理基础，在优化调整能源供给、提升清洁能源输配能力、电力交易、再电气化、绿电消费等方面起到重要

作用。

电力存储环节的碳排放主要是在“削峰填谷”过程中，电力存储能力不足和能源循环效率偏低造成电能浪费，从而间接产生碳排放。随着新能源占比和终端电气化率的大幅提升，电力可靠供应和安全运行的压力不断增大，电力存储环节将与电网协调发展，在电力系统灵活调节方面发挥更加重要的作用。

### 3.电力消费环节

电力消费是电力产业链的最后环节，《我国电力发展与改革形势分析（2022）》报告数据显示，我国电力消费结构正逐步调整，第二产业用电比重收缩，第一产业、第三产业比重扩大。随着新兴服务业进一步快速发展和城乡居民生活水平提高，电力消费将进一步向三产和居民用电倾斜。电力消费不直接产生碳排放，但因电力浪费而产生的间接碳排放不容忽视。根据国际能源署、国家统计局数据测算，2018年我国生产单位 GDP 需要消费电力为 0.63kWh，相比 2010 年小幅降低 3.3%，但仍远高于主要工业国家水平，电力消费的效率还有很大的提升空间。

表 1 2018-2021 年全社会用电结构

	2018	2019	2020	2021
一产	1.10%	1.10%	1.10%	1.23%
二产	69.30%	68.60%	68.20%	67.52%
三产	15.60%	16.30%	16.10%	17.12%
居民	14.00%	14.10%	14.60%	14.13%

来源：《中国电力行业年度发展报告 2022》

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是建设数字电力基础设施。改造升级传统电力设施，完善数字发电、数字电网、数字用电、数字双碳服务等电力设施基础，建设能源数字经济平台、碳达峰碳中和支撑服务平台等新型设施。二是建设数字电厂。构建发电侧工业互联网平台，开展数字化运营管理，提升发电和新能源企业生产运营效率。三是建设数字电网。构建电网侧工业互联网平台，以及新型电力系统规划设计、调度和仿真、营销、智能运维系统，推动输配电环节数字化转型。四是建设数字用电系统。构建数字化需求侧管理平台、综合能源服务系统，探索虚拟电厂、微电网模式，提升用电服务效率。五是创新电力行业生态。在政策、资源、规划、设计、投资、装备、建设、并网、调度、交易、运维、试验、检测、科研、国际合作等方面开展跨界合作创新，推动产业链供应链上下游数据贯通、资源共享和业务协同。

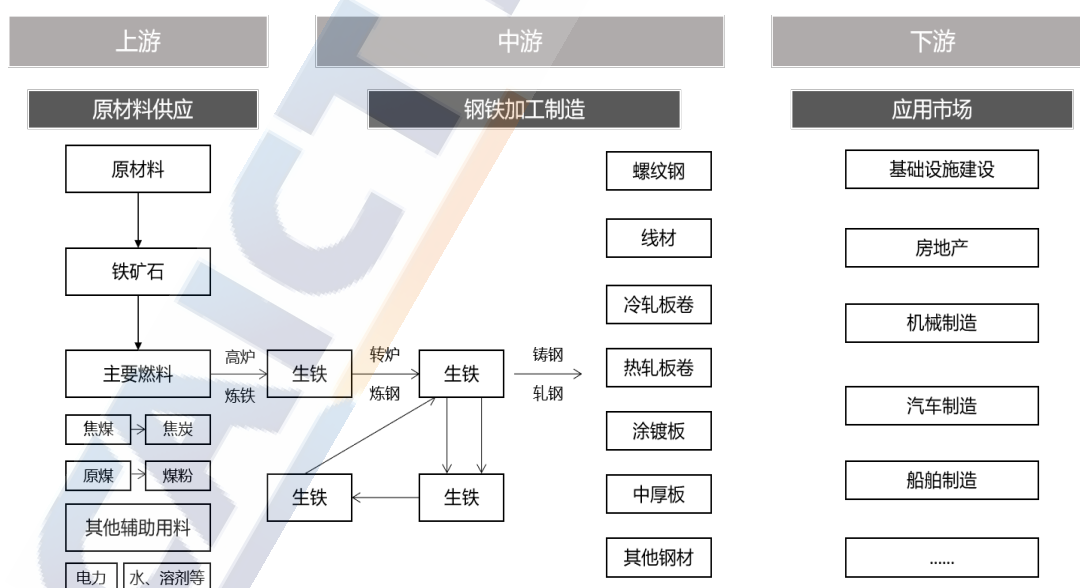
此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是优化能源结构。推广传统化石能源发电节能低碳化技术，对现役煤电机组进行节能改造，对新建煤电机组进行设计优化，建设 CCUS（二氧化碳捕集、利用与封存）示范工程，高效开发水电、风电、太阳能发电、核电等新能源和清洁能源，逐步降低燃煤发电等装机和发电量占比。二是建设新型电力绿色基础设施。如抽水蓄能电站、交直流混联大电网、微电网、局部直流电网和可调节负荷的能源互联网等，科学规划和建设电网侧新型储能设施。三是实施消费侧电气化改造。深入推进工业、建筑、交通电能替代，大力推进农村电气化，持续提高电力利

用效率。四是开展技术创新。推进高效率太阳能电池、可再生能源制氢、可控核聚变、零碳工业流程再造等低碳前沿技术攻关，强化推动氢能利用、新型电化学储能、降碳脱碳等关键技术研发和推广。

## 四、钢铁行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

钢铁行业指以铁、铬和锰等黑色金属矿物的开采、冶炼、加工为主的行业，包括矿物采选业、铁合金冶炼、钢加工业等细分行业。从产业链来看，钢铁行业的上游包括原材料和其他相关辅助材料等，其中原材料主要为铁矿石采选及燃料制备，其成本占钢铁行业成本的七八成；中游环节包括从生铁制备粗钢再到加工生产各类钢材的全过程；下游为钢材延伸加工、钢铁应用领域，其中包括基础设施建设、船舶制造、房地产、汽车制造等用到钢铁制品的行业。本报告重点涉及钢铁行业的中游加工制造环节。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 2 钢铁行业产业结构图



我国钢铁行业发展迅速，钢铁产量世界领先。从 1996 年至今，我国钢铁产量一直居于世界首位。世界钢协公布的《世界钢铁统计数据 2022》数据显示，中国 1032.8 百万吨位居全球第一，印度，日本，美国，俄罗斯分列二至五位。2021 年，我国钢铁行业效益呈前高后低走势，行业效益创历史最高，大中型钢厂全年总收入达 6.93 万亿元人民币，增长率达 32.7%；全年钢材产量 13.4 亿吨，同比增长 0.6%，达到近年来峰值。我国钢铁行业受严控新增产能要求的影响，行业产能已基本达峰，且产能利用率在过去两年已达到较高水平，未来钢铁产量继续上升空间较小，预期行业供给将较为平稳。

钢铁行业是我国能源终端消费领域碳排放最大的行业。全球能源互联网发展合作组织数据显示，2019 年，我国能源活动碳排放约 98 亿吨，占全社会碳排放的 87%左右，钢铁行业碳排放约占能源活动领域碳排放量的 17%，远高于第二、三位的建材（8%）和化工（6%）行业。2017 年，我国每吨钢排放 2 吨左右二氧化碳，远高于国际先进水平。2018 年，重点钢铁企业吨钢能耗达到 555 千克标准煤/吨，远高于德国 251 千克标准煤/吨、美国 276 千克标准煤/吨。由此可见，钢铁生产产生的碳排在能源消费领域占比最大，而且单位能耗相对较高，与国际领先水平相比还有一定差距。

## （二）行业节能降碳重点环节

钢铁行业生产过程中产生的碳排放主要来自燃料燃烧、工业生产排放、净购入电力使用、固碳产品隐含的碳排放，据测算，长流程钢厂碳排放中燃料碳排放占比达 94%，净购入电力碳排放占比约 6%。

从生产工序看,《关于高炉炼铁与非高炉炼铁的能耗比较》(王维兴等)数据显示,炼铁工序能耗占总能耗的 70%左右,炼钢工序能耗约占 3%-5%,轧钢工序能耗约占 10%-15%。

表 2 钢铁行业碳排放源识别表

碳排放分类	排放源/设施	排放设施位置	相应物料或能源种类
化石燃料燃烧 排放	焦炉	焦化厂	洗精煤、高炉煤气、 焦炉煤气
	烧结机、带式焙烧 机、竖炉	烧结厂、球团 厂	无烟煤、焦炭、焦炉 煤气
	高炉、热风炉	炼铁厂	无烟煤、焦炭、烟 煤、高炉煤气
	热电锅炉	电厂	自产焦炉煤气、高炉 煤气、转炉煤气
	火车	运输部	汽油
工业生产过程 排放	石灰窑	炼钢厂	白云石、石灰石
	转炉	炼钢厂	合金
	精炼炉	炼钢厂	电极
	电炉	炼钢厂	电极、合金
净购入电力产 生的排放	所有用电设备、设 施	公司内	电力
固碳产品隐含 的排放	焦炉	焦化厂	粗苯、焦油、焦炉煤 气
	转炉	炼钢厂	粗钢

来源:《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》

## 1. 燃料燃烧排放

钢铁行业生产过程中化石燃料燃烧产生的碳排放主要来自固定源排放和移动源排放,其中固定源排放包括锅炉、焦炉、高炉等固定

燃烧设备产生的碳排放，移动源排放包括运输车辆及搬运设备等产生的碳排放。

钢铁行业生产过程消耗的化石燃料中，焦炭占比最高。中国碳交易网站“易碳家”数据显示，2018 年国内黑色金属冶炼及加工行业燃料燃烧的碳排放有 64.7%来自于焦炭燃烧，有 33.9%来自于煤炭，1.4%来自于天然气。焦炭消耗高与我国高炉工艺占比高有密切关系。焦炭是高炉的主原料，除了作为燃料也是还原剂，还起到骨架支撑、稳定炉料透气性的作用。2020 年国内高炉生铁产量为 88752 万吨，高炉生铁与粗钢比为 0.833，2019 年为 0.812，比起同期全球平均水平 0.684 还有很大的改进空间，这也导致我国钢铁生产对焦炭的消耗依赖偏重。

## 2. 工业生产过程排放

在烧结、炼铁、炼钢等工序中，含碳原料和熔剂的使用会产生碳排放。在这些工序中，需消耗大量含碳原料，生产熔剂过程产生的碳排放约占总排放量的 6%。生产过程中部分碳固化在粗钢、粗苯和焦油中，这部分碳排放计算时应予扣除，约占总排放量的 4%。

## 3. 净购入使用的电力、热力产生的排放

钢铁行业生产过程中使用到外购的电力和热力，实际产生的碳排放来自电力、热力生产企业。从重点钢企的数据来看，2020 年吨钢耗电量 456.9 千瓦/吨，相当于吨钢总能耗的 8.4%。冶金规划院发布的《中国钢铁工业节能低碳发展报告(2020)》数据显示，2019 年国内钢企自发电量比例为 53%。测算钢企外购电力占总能耗的比重约 5%-6%。外购电力碳排放受电力供给结构决定，电力系统深度脱碳直接降

低钢铁行业外购电力碳排放量。

#### 4.固碳产品隐含的排放

钢铁行业生产过程中有一部分碳被固化在生铁、粗钢等加工产品中，还有一部分被固化在甲醇等衍生产品中。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是实施碳足迹管理。实现碳资产看得见、算得清、管得住，建设涵盖碳监测、核算、优化、交易的碳资产全景管理体系，在线核算碳排放数据，自动化碳对标、统计报表，智能预测碳排放变化，协同优化降低碳排能耗，精益对标挖掘节碳潜力，实现从碳引入至碳交易的智能化决策。二是打造能源智能导航系统。通过蒸汽、电力、水、煤气、氧气、压缩空气、原料等能源介质的跨工序协同联动、智能寻优与平衡、资源优化配置，构建能源介质多参数智能平衡模型，实施动态时效利润分析、优化策略智能化推送，实现钢铁企业全能源介质的智能管控。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是推广使用电弧炉冶炼法。将钢厂现有的大量高炉-转炉生产线转为电弧炉生产线，通过生产工艺升级换代，有效降低炼钢过程的碳排放量。二是优化能源结构。在冶炼过程中使用可再生能源，对于传统炼钢过程中要用到的煤、天然气或石油，逐步用可再生的氢能替代。三是梯级综合利用余热余能。重点推动各类低温烟气、冲渣水和循环冷却水等低品质余热回收，推广电炉烟气余热、高参数发电机组提升、低温余热有机朗肯循环（ORC）发电、低温余热多联供等先进技术，实现余热

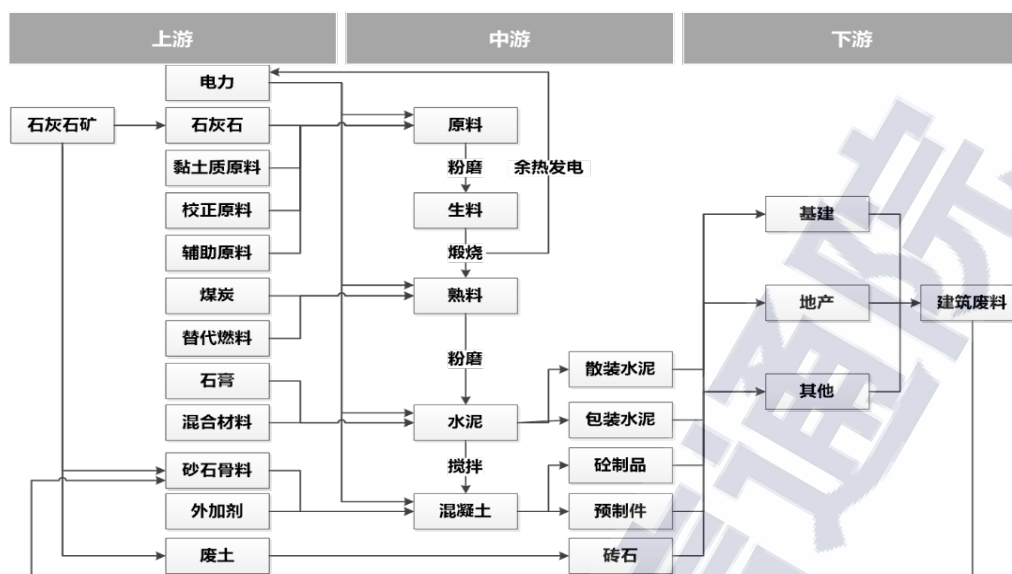


余能资源最大限度回收利用。四是改造通用公辅设施。应用高效节能电机、水泵、风机产品，提高能耗效率。五是开发应用 CCUS（碳捕获、利用与封存）技术。把生产过程中排放的二氧化碳提纯，投入新的生产过程中，实现二氧化碳资源化再利用。六是购买“森林碳汇”。通过植树造林、植被恢复等措施，吸收环境中的二氧化碳，从而实现“碳”的捕获和固定。

## 五、水泥行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排情况

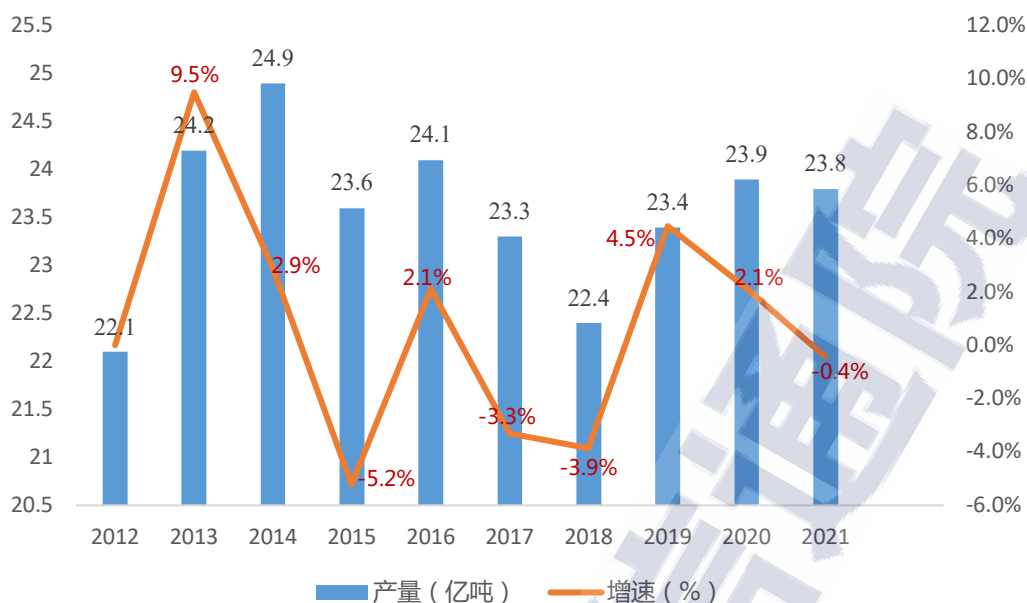
水泥产业链始于石灰石矿开采，以石灰石和黏土为主要原料，掺加校正原料或辅助原料，经破碎、配料、磨细制成生料，生料经过预热和预分解后进入水泥窑中煅烧成熟料，将熟料加适量石膏、辅助原料磨细即得水泥。除此之外，部分矿山与建筑的回收废料也会用于水泥、混凝土制造。用水泥和砂石骨料为主要原料，搅拌制成的砂浆或混凝土被广泛用于土木建筑、交通、水利、电力、石油、化工、国防等工程建设。本报告重点涵盖石灰石矿开采、水泥制造、混凝土制造、废料回收和再生等环节。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 3 水泥行业产业结构图

我国水泥产量连续多年位居世界第一。水泥是我国经济建设的重要基础原材料，我国水泥产量自 1985 年后一直保持世界第一位。2014 年我国水泥产量达到 24.9 亿吨的历史高位，此后保持在 22-24 亿吨区间。国家统计局数据显示，2021 年，我国水泥产量为 23.8 亿吨，约占全球水泥产量的 58%，我国年人均水泥消费量约 1.7 吨、是西方发达国家的 3 倍。我国城市化和建筑业增速放缓，预计未来新增建筑的水泥需求会进一步下降，已有建筑的维修和更新将逐渐主导未来的水泥需求。此外，混凝土替代建材（例如钢、预制材料、交错层积木材等）的应用也将进一步降低水泥需求空间。根据麦肯锡等机构预测，到 2050 年常规情形下的水泥需求下降将贡献水泥行业约 27% 的碳减排。



来源：国家统计局数据整理

图 4 2012-2021 年水泥产量及增速情况

水泥行业是能源消耗和碳排放的重点行业之一。水泥及混凝土是目前地球上消费量仅次于水的资源类型，从全球情况看，水泥行业贡献了碳排放总量的 7%。我国生产全球近六成水泥，水泥行业碳排放量超过全球水泥产业碳排放总量的一半。据测算，2021 年我国水泥行业能源消耗量约占工业能源消耗总量的 6.5%，水泥行业二氧化碳排放量约占全国碳排放总量的 12.6%。我国水泥行业能效水平尚未完全达标，国家发展改革委数据显示，按照电热当量计算法，截至 2020 年底，水泥行业能效优于标杆水平的产能约占 5%，能效低于基准水平的产能约占 24%。2022 年 2 月，国家发展改革委等多部门发布的《水泥行业节能降碳改造升级实施指南》明确要求，到 2025 年，水泥行业能效标杆水平以上的熟料产能比例达到 30%，能效基准水平以下熟料产能基本清零。水泥行业节能降碳任重而道远。

表 3 2017-2021 年我国水泥行业能耗和碳排放情况表

	2017	2018	2019	2020	2021	备注
工业能耗总量 (亿吨标煤)	33.26	30.23	31.12	32.25	33.26	国家统计局数据整理
水泥能耗占比 (%)	6.3%	6.7%	6.8%	6.7%	6.5%	按照 GB16780 水泥综合能耗估算
全国 CO <sub>2</sub> 总排放 (亿吨)	97.28	99.28	102.9	104.9	106.7	数据引用自全球碳计划组织(GCP)
水泥工业 CO <sub>2</sub> 总排 (亿吨)	12.7	12.6	13.4	13.9	13.5	按照 GB16780 水泥综合能耗估算
水泥工业碳排占比 (%)	13.0	12.7	13.0	13.2	12.6	
	%	%	%	%	%	

来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

## （二）行业节能降碳重点环节

按照工艺流程，水泥制造过程主要包括石灰石开采和破碎、熟料生产、水泥粉磨、混凝土预拌等环节。其中，熟料生产环节碳排放约占水泥制造全过程碳排放的 95%左右，是水泥行业节能降碳的关键。

表 4 水泥行业碳排放情况表

	石灰石开采破碎	熟料生产	水泥粉磨	混凝土预拌	浇筑
工艺流程	石灰石开采、破碎	熟料生产	水泥粉磨	混凝土预拌	
电力 (排放)	~1.5kW·h/t	48~61kW·h/t (16~21)	26~34kW·h/t (8.9~11.6)	1.3~2kW·h/m <sup>3</sup> (0.4~0.7)	



	(~ 0.6kgCO <sub>2</sub> /t)	kgCO <sub>2</sub> /t)	kgCO <sub>2</sub> /t)	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
化石燃料 (排放)	~1.36kgce/t (~ 3.8kgCO <sub>2</sub> /t)	94 ~ 109kgce/t (261 ~ 302kgCO <sub>2</sub> /t)	N/A	N/A
工艺	N/A	~ 480kgCO <sub>2</sub> /t (熟料煅烧碳酸 盐分解)	一吨水泥约消耗 0.6 ~ 0.8 吨的熟 料	一方混凝土水泥 掺量约 220 ~ 300kg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> 排放累计 (产品折算)	~ 4.4kgCO <sub>2</sub> /t	757 ~ 803 kgCO <sub>2</sub> /t	8.9 ~ 11.6 kgCO <sub>2</sub> /t (463 ~ 654 kgCO <sub>2</sub> /t)	0.4 ~ 0.7 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> (102 ~ 197 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub> 排放占比		~ 95%	~ 4.4%	

来源：根据 GB16780-2021 水泥单位产品能源消耗限额测算

## 1. 燃料燃烧排放

水泥熟料生产过程中，需要燃烧煤炭等传统化石燃料，为水泥熟料生产提供高温环境。通过化石燃料燃烧，回转窑内部烟气温度可达 1700-1800°C，将进入到窑内的物料加热至 1400°C 左右，高温煅烧产生的二氧化碳约占全生产过程碳排放总量的 25%-40%。此外，热处理和运输等设备使用燃油燃烧，废轮胎、废油和废塑料等替代燃料燃烧，污水污泥等废弃物里含有的非生物质碳燃烧等，都会产生一定碳排放。

## 2. 工业生产过程排放

水泥生产熟料过程中，熟料对应的碳酸盐分解所产生的二氧化碳约占全生产过程碳排放总量的 55%-70%。不同水泥体系的熟料矿物构成不同，各类熟料矿物碳酸盐分解的二氧化碳排放量差别大，如硅

酸盐水泥的主要矿物二氧化碳排放量是硫（铁）酸盐水泥的 2.68 倍。此外，窑炉排气（窑头）粉尘排放和旁路放风粉尘排放过程也会产生碳排放。生料中采用的配料，如钢渣、煤矸石、高碳粉煤灰等，含有可燃的非燃料碳，在生料高温煅烧过程中都会转化为二氧化碳。

### 3.其他碳排放

水泥生产企业净购入使用的电力和热力（如蒸汽）带来一定的间接碳排放。如果企业还生产其他产品，且生产活动存在温室气体排放，则这些产品的生产活动也会纳入企业温室气体排放核算。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是优化生产工艺流程。将工业物联网、机器人和人工智能应用于原燃料精确配比制备、智能化质量化验、混凝土精确配料控制、质量预测与调整、智慧现场安全管控、需求生产物流一体化调度等方面，实时优化调整生产参数并控制质量和安全风险，实现全流程精确化、低风险、低排放生产。二是提高物流运输效能。将工业互联网等技术应用于车辆/货船状态感知、位置服务、交通路径规划、中转库/码头自动化装运、物流调度等领域，结合运筹优化算法，可大幅降低物流运输环节的碳排放。三是实施建筑工程全过程管控。应用碳足迹数据库和数字孪生技术，可加强整体建筑工程碳排放管控。应用物联网、人工智能、云计算等技术，可为建筑工程提供低成本、易部署的寿命检测和运维指导。应用区块链、工业互联网等技术，可保障建筑维护、报废和废料处理跟踪的合规性与完整性。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是优化装

**备和设施水平。**对大规模的大型矿山开采生产装备的能耗碳排放控制和优化，开发应用碳捕集、使用和封存的基础设施，从而进行减碳。

**二是加大应用二次资源。**将二次资源（替代燃料减碳、替代原料减碳）大规模应用于生产过程，减少化石燃料和矿石用量的生产工艺，研发推广低碳水泥。

**三是优化运输方案。**优化运输综合调度方案及路径规划寻优，减少大规模大型运输设备的能耗碳排放和运输损耗。

**四是优化混凝土调配。**基于针对不同场合、不同距离、不同用途下各种质量需求的混凝土调配，进行精确生产以降低材料和人工损耗进而减碳。

**五是延长项目使用年限。**加强整体建筑工程碳排放管控，指导施工方提高施工过程中混凝土的设计和使用效率，延长整个项目的使用寿命。

## 六、石化化工行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

石化化工行业通过油气开采将原油和天然气从地下采出并分离，把原油、天然气加工成各种燃料油（汽油、煤油、柴油等）和润滑油以及液化石油气、石油焦碳、石蜡、沥青等石油产品，对炼油过程提供的原料油和气（如丙烷、汽油、柴油等）进行裂解，生成以乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯为代表的基本化工原料，再以基本化工原料生产多种有机化工原料及合成材料。石化化工行业生产出的石油产品及化工产品广泛应用于纺织服装、交通运输、电子轻工建材、日化、农业等领域。本报告重点涵盖油气开采、石油炼化、化工制造等环节。

我国石化化工行业平稳发展，消费峰值尚未到来。国家统计局数

据显示，2019 年以来，我国原油产量增速由负转正，原油生产实现稳增长，2021 年我国原油产量达 19897.6 万吨，同比增长 2.4%。我国天然气需求量持续增长，开采能力不断扩大，天然气产量逐年增长，2021 年我国天然气产量达到 2053.0 亿立方米，同比增长 8.2%；生产液化天然气 1545.1 万吨，同比增长 9.23%。重点化学品生产增幅较快，农用化学品总产量微幅波动，2021 年我国化肥产量达 5446.0 万吨，同比增长 1.7%；烧碱产量 3891.3 万吨，同比增长 7.8%；乙烯产量 2825.7 万吨，同比增长 25%。《世界与中国能源展望（2021 版）》数据显示，国内化工需求强劲，石油消费将保持长期增长，预计将在 2030 年达峰、约为 7.8 亿吨，天然气消费将于 2040 年达峰、峰值为 6500 亿立方米。

石化化工行业能源集中度较高，高耗能、高排放特点显著。石化化工行业作为资源型和能源型产业，是我国高耗能高排放行业之一。国家统计局数据显示，2010-2020 年，石化化工行业能源消费量保持增长，但年均增长速度有所放缓，由“十二五”期间的 6.73% 下降至“十三五”期间的 4.22%。“十三五”期间，我国石化化工行业碳排放总量年均增速约为 10%，2020 年工行业碳排放总量接近 14 亿吨，占全国碳排放总量的 12% 左右。随着需求及产能的持续增长，石化化工行业的能耗碳排仍将处于增长期，未来将面临巨大的绿色低碳转型压力。

## （二）行业节能降碳重点环节

石化化工行业碳排主要集中在油气开采、石油炼化、化工制造三大环节。《石化碳中和：我国化工行业碳排放现状面面观》数据显示，



石油天然气开采、原油加工及石油制品、无机碱制造、无机盐制造、有机化学原料制造、氮肥制造、塑料及合成树脂和合成纤维等子行业能耗，约占全行业能源消耗总量的 83.52%。从重点产品看，石油天然气开采中的油气开采、原油加工及石油制品中的原油加工、无机碱制造中的烧碱和纯碱、无机盐制造、有机化学原料制造中的煤制烯烃、烯烃（石油基）和对二甲苯、氮肥制造中的合成氨以及电石行业中的电石，这些产品的碳排放量约占全行业碳排放总量的 68.36%。

表 5 2020 年主要石化产品碳排放情况表

序号	重点产品名称	碳排放量（万吨二氧化碳）
1	油气开采	6414
2	原油加工	20338
3	煤制烯烃	10838
4	烯烃（石油基）、对二甲苯	14318
5	合成氨	18563
6	磷酸一铵、磷酸二铵	3660
7	烧碱、纯碱	10481
8	电石	9594
	合计	94206

来源：《石化碳中和：我国化工行业碳排放现状面面观》

## 1. 油气开采环节

据测算，“十三五”期间，我国油气开采环节中原油开采和天然气开采的碳排放量占比分别为 86%和 14%左右。

油气开采环节包括勘探钻井、场站管线建设、油气生产、油气传输等工序。其中，勘探钻井、油气生产两个主要工序对碳排放影响较

大。在勘探钻井阶段，勘探选区受现有技术条件制约，往往存在数据采集不完备等缺点，钻井决策风险较高，作业效率低，能源消耗大。同时，井队设备运转普遍依靠现场大功率柴油发电机提供动力，加大了工业碳排放。在油气采集生产阶段，抽油机是陆上油田普遍使用的一种举升方式，由于油气藏复杂的生产条件，非常容易造成抽油机低效运转，产生大量无效碳排放。

## 2.石油炼化环节

石油炼化环节的生产工艺流程较为复杂，运行条件苛刻，常用的工艺流程为常减压蒸馏、催化裂解、延迟焦化、加氢裂化、溶剂脱沥青、加氢精制、催化重整。石油炼化环节的能源消耗和碳排放受很多因素影响，包括生产工艺的先进性、各类装置和设备的能耗水平等，我国在这些方面都还存在优化与改进的空间。

油气的净化和冷却是石油炼化生产工艺流程中最重要的一环。其中，各类装置和设备的能量消耗是总体耗能中最关键的组成部分，加热炉、机泵、压缩机等装备是重点。加热炉是石油化工行业主要消耗燃料的功能设备，能耗占比达 50%以上，在燃烧过程中释放大量的二氧化碳、水蒸汽、二氧化硫、氧、氮等气体。机泵为整个生产过程提供动力，也是主要的能耗设备，其工程状况及长周期内平稳运转情况与整个工艺安全运行息息相关。压缩机是重要的动力设备和主要的耗能设备，类型有往复式、离心式、螺杆压缩机等。此外，在实际操作过程中，由于工作人员操作不当等各种异常情况发生，导致生产流程无法正常运行、油气回收利用率降低，也会严重影响工业能耗和碳排

放。

### 3.化工制造环节

化工行业除石油炼化所属燃料化工外，形成以酸、碱、化肥、农药、有机原料、塑料、合成橡胶、合成纤维、染料、涂料、医药、感光材料、合成洗涤剂、炸药、橡胶等生物化工、高分子化工、精细化工门类。

化工制造环节产生的碳排放主要受生产工艺和设备影响，包括工艺流程、过程参数(如转化率、回流比、循环比等)、装置操作弹性、反应操作条件等，采用高效分馏塔、换热器、空冷器、泵、压缩机、加热炉等传质、换热、旋转等节能设备，并提高单体设备的生产能力，可以从源头上实现节能降耗。

化工制造环节的能耗以电力和蒸汽消耗为主。目前，部分化工企业装置负荷率较低，电动机变频调速技术应用较少，造成一定的动力能源无效消耗。化工生产兼有吸热和放热过程，目前各系统装置之间的联合不够，无法实现较大范围内的冷、热物流优化匹配，也影响了能量的高效利用。此外，连续运行的换热器很容易出现结垢现象，导致换热效率降低，也会造成能源浪费。

#### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是实施数据驱动的炼油全流程一体化优化。对包括核心数据库(ODS)、计划优化系统(PIMS)、炼油全流程模拟(RSIM)和生产调度优化系统(ORION)等进行信息数据整合及协同优化，改进业务流程和组织结构，提升综合转化效率。二是应用数量模

**型优化生产工艺。**建立氢网络优化模型、热流和热交换模型、材料结构和性能关系模型、设备机理模型等，优化生产工艺，提高运行效率。设计全厂碳排放模型，预测碳排放强度，并采取有效措施降低重点环节碳排放强度。**三是建设碳核算、碳交易平台。**对生态系统的碳排放、监测、计划、调度、统计进行统一管理与优化，实现“事前”计划调度，“事中”监控分析，“事后”统计考核，全面提升能源管控的精细化程度，最大限度节能降耗。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，**一是实施技术改造。**对传统工艺和装置进行绿色化改造，加快应用绿色工艺、绿色产品以及微反应器、反应-分离耦合、超重力场、等离子体等先进共性技术，建设绿色工厂。**二是优化产业结构。**总量控制、集聚发展，有序推进新项目建设，淘汰落后产能，提升高端石化产品比重，优化原料结构，提升抗风险能力。**三是深入实施绿色发展战略。**建设绿色制造体系，实现清洁循环发展。加快落实污染防治行动计划，解决环境突出问题。**四是建立绿色低碳评价指标体系和标准体系，**强化质量管理和标准化工作。

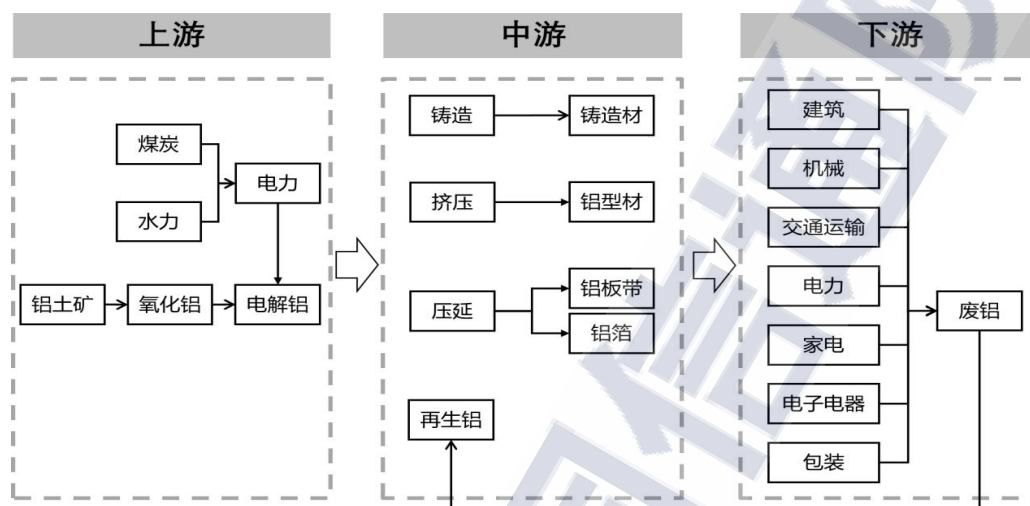
## 七、铝行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

铝产业链始于铝土矿开采，以拜耳法或烧结法将铝土矿转化为氧化铝，再以氧化铝为原料，用高温熔盐电解工艺生产原铝，添加合金元素后，通过铸造、挤压、延压等形式加工成铝型材、铝板带、铝箔，应用于建筑、机械、交通运输、电力、家电、电子电



器、包装等领域。除此之外，还有部分废铝回收用于再生铝生产。本报告重点涵盖铝土矿开采、氧化铝及电解铝生产、铝产品加工制造、铝废料回收和再生等环节。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

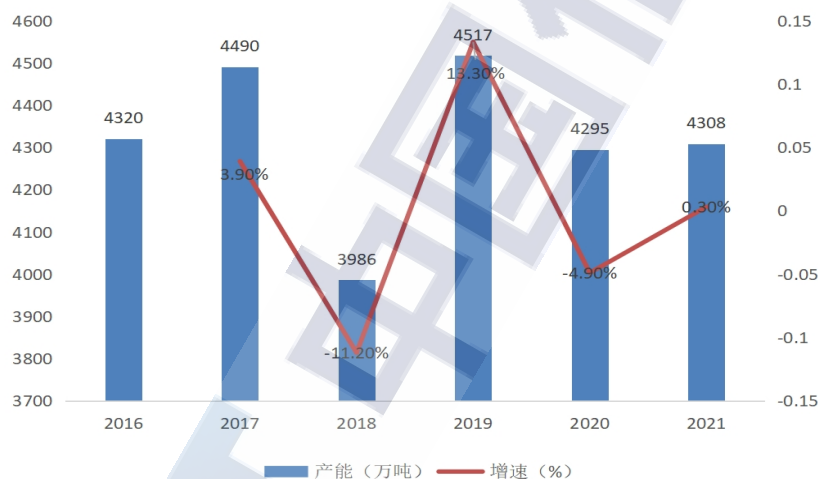
图 5 铝行业产业结构图

我国电解铝产量全球领先，产能天花板下低速增长。国际铝业协会数据显示，我国电解铝产量近年来稳居全球首位，遥遥领先于印度、俄罗斯、加拿大等全球铝产量排名靠前的其他国家。国家统计局数据显示，2021 年，我国电解铝产量达到 3850 万吨，同比增长 4.8%，在全球铝产量中占比超过 50%。2016 年，国家发展改革委等四部委印发《清理整顿电解铝行业违法违规项目专项行动方案的通知》，严查违规产能，设定 4500 万吨电解铝产能的上限要求，标志着我国电解铝产量步入低速增长期，未来几年新建项目将多为产能置换，提升运行产能利用率则成为企业核心目标。



来源：国家统计局数据整理

图 6 2016-2021 年电解铝产量及增速情况



来源：国家统计局、上海钢联数据整理

图 7 2016-2021 年电解铝产能及增速情况

铝行业是有色金属碳排放的主要来源，行业“双碳”目标压力大。

中国有色金属工业协会数据显示，2020 年，我国有色金属行业二氧化碳排放量约 6.6 亿吨，占全国总排放量的 4.7%，其中铝行业二氧化碳排放量约为 5.5 亿吨，占有色金属行业的 83.3%。我国新能源汽车、家电、建筑等产业动能强劲，铝消费强度不断增强。根据国际铝业协会预测，到 2030 年，全球铝需求量将增加近 40%，其中三分之二的

增长将来自中国，我国铝行业“双碳之路”任重道远。

## （二）行业节能降碳重点环节

中国有色金属工业协会统计数据显示，铝行业碳排放中原铝生产占比超过90%，其中，氧化铝环节占铝行业碳排放总量的14.6%，电解铝环节占铝行业碳排放总量的76.6%。铝材加工也是铝行业碳排放的主要环节，碳排放量占比为8.2%。推动原铝生产节能减排是铝行业实现碳达峰、碳中和目标的关键。

表6 2020年我国铝行业碳排放情况表

生产环节	二氧化碳单位产品排放量 (吨CO <sub>2</sub> /吨产品)	二氧化碳总排放量 (亿吨)	占比
铝土矿	0.01	0.02	0.4%
氧化铝	1.08	0.8	14.6%
电解铝	11.7	4.2	76.6%
再生铝	0.2	0.01	0.2%
铝材	1.1	0.45	8.2%
铝行业总计		5.5	100.0%

来源：中国有色金属工业协会

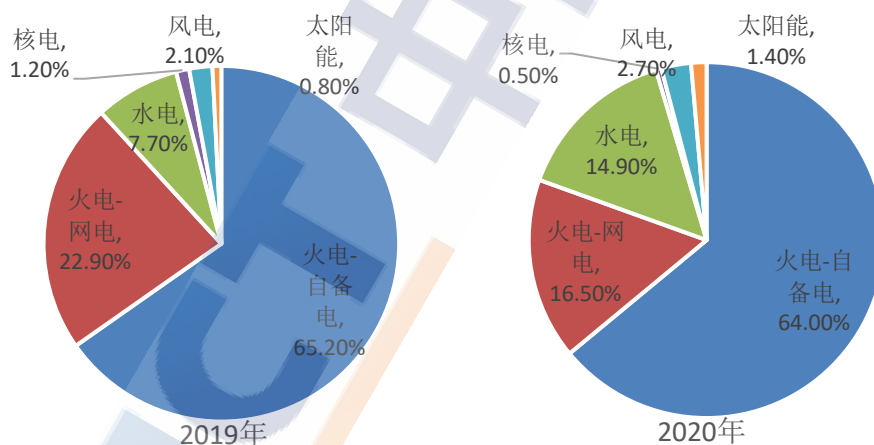
### 1.氧化铝环节

目前，我国主要通过拜耳法生产氧化铝，该方法对应的生产过程产生的碳排放包括：**一是**使用石灰石或纯碱作为生产原料时，碳酸盐分解产生的碳排放。**二是**煅烧石灰石、熟料窑烧制熟料和一次能源（氢氧化铝焙烧使用煤炭、石油、天然气等）或二次能源（炉煤气、重油、

柴油等）燃烧产生的碳排放。三是消耗电力、蒸汽或循环水、压缩空气等产生耗能工质的碳排放。除此之外，生产系统消耗润滑油以及运输系统使用的汽油、柴油等动力油，也是碳排放的主要来源。

## 2. 电解铝环节

电解铝生产的碳排放主要是电力消耗的碳排放，我国电解铝企业生产所需电力严重依赖火电，中国有色金属工业协会统计数据显示，2020年，我国火电消耗产生的碳排放量占电解铝碳排放量的比例超过80%。但随着产业结构调整，近年来我国电解铝运行产能消耗的清洁能源占比有所提升，2020年底约为20%，较2019年提高了8个百分点。除此之外，电解铝生产过程中阳极消耗、运输工具使用燃料、电解槽发生阳极效应，也是碳排放的重要来源。



来源：中国有色金属工业协会

图 8 2019-2020 年中国电解铝能源消耗占比

## 3. 铝加工环节

铝加工环节的碳排放主要涉及铸造、热轧等工序。在铸造工序中，我国大部分铝加工企业不是将电解铝铝水直接用于原材料铸造和成

品加工，而是将铝锭熔化再浇铸，造成了一定的能源浪费。在传统热轧工序中，需要将铝锭从常温加热到 550°C 左右，导致热量散失，造成燃煤浪费。目前，我国铝废料回收再生率较低，再生铝生产技术较为落后，很多优质的变形铝合金废料被降级使用，造成不少浪费。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是建设数字化碳排放体系。应用工业现场边缘侧数据采集技术、实时大数据分析、工业数字孪生技术和工业大数据平台等数字技术，构建贯穿生产和运营全过程各环节的碳足迹管理体系，实现产品碳排放量端到端的可信计算及追溯。二是建设数字化能源管理系统。设计能耗网状流转图，对工厂的能源使用、转换、损耗进行定量分析，识别能源流转过程中的关键能耗漏损点，通过能源平衡优化，实时动态调节能源配置，从而提升能源利用效率。三是推广应用工业机理模型。对铝开采、铝冶炼、铝加工等重点环节的高能耗高排放业务场景进行数据刻画和定义，结合工业知识和算法构建并应用机理模型，实现生产工艺优化和精准控制，帮助铝行业企业节能降碳。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是优化能源结构。收缩电解铝火电产能，增加清洁能源使用比例，在厂房或周边建设风、光电站，配合储能技术，实现清洁能源直供，从源头降低碳排放。二是优化产业结构。向新能源丰富的西南地区转移产能，打造铝集群化产业基地，降低物流运输和金属重熔过程中的碳排放。建设闭环回收体系，做好对废铝的回收和保级使用，有效降低铝行业碳

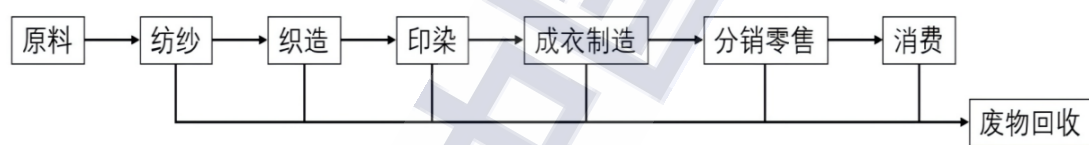


排放量。三是优化生产工艺与技术。采用铝液直接铸轧或哈兹列特工艺生产，省略铝的铸锭和重熔环节，减少烧损量和能源消耗量，研发、推广惰性阳极等电解铝颠覆性技术，减少电解铝环节的直接排放。

## 八、纺织行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

纺织业一般是指将各类纤维原材料经过纺纱和织造及印染精加工的工艺制成为纺织产品的过程。纺织业上游包括棉花、蚕茧丝、化学纤维等原材料生产，下游主要有服装业、家用纺织品、产业用纺织品等。从纺织产品的全生命周期来看，主要涵盖原材料获取、纺纱、织造、印染、成衣制造、分销零售、消费、废物回收等八个环节。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 9 纺织产品生命周期主要环节

我国纺织行业发展水平全球领先，同时面临多重发展压力。自我加入 WTO 组织后，我国纺织行业凭借低劳动力成本、低土地成本等优势快速发展，成为传统支柱产业之一，近年来一直保持占 GDP 比重 4.5%左右的水平。“十三五”时期，我国纺织行业在全球价值链中的位置稳步提升，至 2020 年底，全国纺织纤维加工量达到 5800 万吨，占全球加工总量的一半以上，化纤产量也维持在全球七成以上。2021 年，我国纺织行业顶住 2020 年疫情不利影响，全国规模以上纺织企业实现营业收入比上年增长 12.3%，两年平均增长率达到 1.2%；

实现利润总额增长 25.4%，两年平均增长 8.4%。然而，受中国经济结构转型升级、中美贸易摩擦等形势影响，传统密集型纺织企业劳动成本快速上升，纺织产业景气度下行加剧，企业主动收缩库存、经营转向保守，为降低生产成本，向越南、缅甸等东南亚国家转移部分产能。

**纺织行业能源消耗总量稳中有升，能源利用效率不断提高。**中国纺织工业联合会数据显示，2017 年全球纺织行业温室气体排放总量达 12 亿吨，占全球总排放量的 10%。《纺织行业“碳达峰碳中和”现状分析及建议对策》（吴波亮、谷湘琼等）数据显示，2018 年我国纺织业能耗总量约为 1.06 亿吨标准煤（对应 2.77 亿吨碳排放量），较 2015 年年均增长 1.1%；纺织行业能耗以电能为主，2018 年行业电力消耗量约为 2419 亿度电，同比增速 2.8%。从行业视角看，2019 年我国纺织业能耗总量达 1.07 亿吨标准煤，占到制造业总能耗的 4.0%，在制造业细分的 31 个门类中位居第 6 位。“十三五”期间，我国纺织行业在产能增加的基础上，能源消耗量仅呈微增态势，每万元产值综合能耗下降 25.5%。中国纺织工业联合会发布的《纺织行业“十四五”发展纲要》数据显示，“十四五”期末，纺织行业能源和水资源利用效率将进一步提升，预计单位工业增加值能源消耗、二氧化碳排放量分别降低 13.5%和 18%。

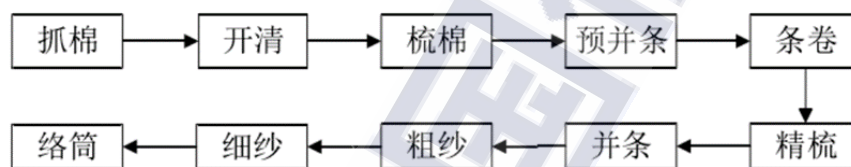
## （二）行业节能降碳重点环节

纺织行业生产过程中大量使用电动设备和传统热处理工艺，水、电、汽消耗量大，是能耗碳排的主要来源。根据 Quantis 研究统计，除原材料获取外（涉及农牧业和化工等上游行业，暂不做重点分析），

纺织行业生产过程中印染环节碳排放量占比最高，约 43%，纺纱、织造、成衣制造环节占比分别为 33%、14%、8%、其他环节碳排放量占比约 1%左右。

## 1. 纺纱环节

纺纱环节包括抓棉、开清、梳棉、预并条、条卷、精梳、并条、粗纱和细纱等核心工序，所使用的设备有络筒机、细纱机、粗纱机、并条机、精梳机、梳棉机等，各类设备的理论耗电水平直接影响行业碳排放水平。



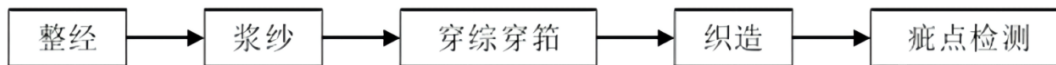
来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 10 典型纺纱环节工序流程图

## 2. 织造环节

织造环节包括整经、浆纱、穿综穿筘、织造、疵点检验等核心工序，所使用的设备有整经机、浆纱机、调浆机、织造机等。在织造环节中，整体加工过程基本由机器自动完成，电能消耗间接产生碳排放。

除此之外，部分物料消耗也会产生一定碳排放，如浆纱过程中，浆料、蜡液以及润滑剂的使用会造成包括二氧化碳在内的温室气体排放。浆纱设备工作时要使用蒸汽保持温度恒定，需要燃烧大量化石燃料，会直接产生碳排放。此外，对于过程废弃物的处理，也产生温室气体排放。



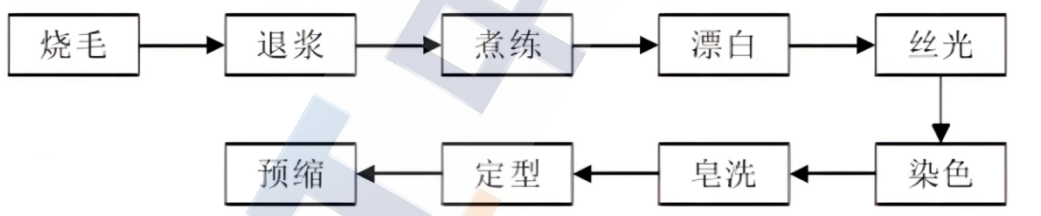
来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 11 典型织造环节工序流程图

### 3. 印染环节

坯布在印染环节历经烧毛、退浆、煮练、漂白、丝光、染色、皂洗、定型和预缩等工序，主要使用印染机、皂洗机、定型机、退卷机、坯布检验机、烧毛设备等设备，各类设备的理论耗电水平将影响行业碳排放水平。

除电力消耗产生的碳排放外，印染过程还需要消耗大量的染料、化学试剂、染整助剂，以及燃烧化石燃料（煤炭）产生蒸汽，都会造成温室气体排放。



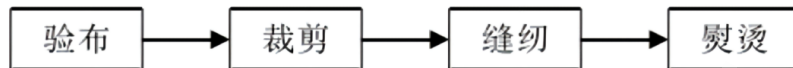
来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 12 典型印染环节工序流程图

### 4. 成衣制造环节

成衣制造环节包括验布、裁剪、缝纫和熨烫等工序，所使用的设备有验布机、裁剪机、熨斗和缝纫机等，各类设备的理论耗电水平将影响行业碳排放水平。





来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 13 典型成衣制造环节流程图

## 5.公共辅助设备环节

在纺纱、织造、印染和服装加工环节，会使用大量公共生产辅助设备，包括空调、空压机、照明灯和辅机等。其中，空调耗电量取决于工厂所在区域气候条件、机器设备数量和使用强度、空调的运转功率和时间、生产空间环境布置等因素。车间照明耗电量取决于照明工具功率、数量、工作时间，车间机器设备台数、生产水平等因素。此外，空压机与辅助设备的耗电情况也需要关注。

## 6.供应链合作环节

纺织业供应链涉及原棉供应商、棉纺企业、织造企业、印花染色后整理企业、纺织产品加工企业等各类主体。在供应链合作过程中，涉及到的能耗及温室气体排放环节主要是运输、包装两方面。纺织行业产业链较长，中间原材料、半成品、产成品的运输地点较为分散，终端产品绝大部分直接面向大众客户，导致总运输距离较长、不满载情况较多、重复运输比例较高，运输过程产生的能源消耗总量较大。包装也是纺织行业必不可少的重要环节，大量一次性甚至不可降解包装材料的使用增加了材料的消耗，对环境造成污染。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是应用数字技术提质增效。依托物联



网、5G、边缘计算技术，提升产业生产运行效率和纺织品质量控制水平，从而降低生产能耗和物耗。包括降低纺织生产设备运行能耗、污水废气处理能耗、设备和生产线空转能耗、空调和照明等生产辅助系统能耗以及产品生产物料消耗、报废品和返工相关能源物料损失。

**二是实施企业数字化转型。**通过云、AI、大数据等技术，加速业务、技术和经营管理创新，降低终端纺织品和服务的碳足迹。包括精准匹配市场需求、快速响应流行趋势、提升生产柔性化，从而减少产品返工和滞销带来的物料损失，尤其是对产品生命周期极短的快消服装领域。

**三是产业链数字化低碳协同。**借助工业互联网、智慧园区、智慧物流、数字化营销等手段，推进产业链上下游之间的协同、加强与消费者的互动，降低库存浪费、提升资源回收利用率。包括降低纺织品运输和仓储过程中的物料损耗，降低废旧纺织品回收利用过程中的碳足迹、推进废旧纺织品深度利用等。

**四是打通行业数据，强化绿色金融服务。**通过大数据分析为政府监管、金融机构融资提供更加精准的决策支撑。包括为纺织企业低碳节能改造、绿色能源使用提供更精准的直接财政补贴和税收优惠，以及为纺织企业绿色融资提供更具公信力背书、缩短融资周期、降低融资成本。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是积极研发低碳产品。在纺织产品研发设计的源头环节即倾向设计无污染或少污染、少能耗、少排放的产品，可有效减少整个生产过程中的碳排放量。

**二是持续改进工艺闭环。**利用少水及无水印染加工、气流染色和

小浴比液流染色、丝绸数码印花、清洁制浆和低能耗纺织上浆等技术，对关键高耗能工艺环节进行改造、改进，加强生产各工艺过程中的衔接和联动，实现节电、节水、节约蒸汽等目标。三是加大利用清洁能源。将燃煤锅炉替换为燃气锅炉、电锅炉等，利用纺织企业厂房较大、屋顶空间充足的优势来部署太阳能电池板，未来除燃煤替代和太阳能发电外还可推进绿电采购。四是协同优化供应链。发挥以集群为单位的低碳协同，挖掘产地型集群制造优势、销地型集群通路优势、加工型集群工艺优势和创新型集群产业配套优势，加强供应链各企业方的协同合作和智能化、低碳化发展。

## 九、汽车行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

汽车行业作为制造业的“集大成者”，产业链辐射面广，包括上游石化、钢铁、有色金属、橡胶、塑料等原材料供应，中游零部件制造和整车制造，下游公路交通运输、特种用途等国民经济相关领域。本报告重点涵盖汽车零部件及配件制造、整车制造、运行使用和回收利用等环节。

我国正由汽车大国向汽车强国迈进。我国是全球最大的汽车市场，汽车产销总量已连续 13 年稳居全球第一。汽车工业协会数据显示，2021 年我国汽车产销量分别完成 2608.2 万辆、2627.5 万辆，同比分别增长 3.4%、3.8%，我国汽车保有量达 3.02 亿辆、同比增长 7.47%。同时，我国也正成为汽车出口大国，2021 年我国汽车出口量达 201.5 万辆，同比增长 1 倍，占汽车销量总量的 7.7%、比上年提升 3.7 个百

分点。随着汽车行业加速“电动化、网联化、智能化”，我国迎来换道超车新机遇。汽车工业协会数据显示，2021 年我国新能源汽车产销量分别为 354.5 万辆、352.1 万辆，同比分别增长 159.5%、157.5%，连续 7 年产销量全球第一，初步预计 2025 年我国新能源汽车产销量有望突破 500 万辆。

**我国汽车行业碳排放总量高，单车碳排放强度高。**汽车行业是典型的资源能源密集型产业，据中汽中心测算，我国汽车碳排放量占交通领域碳排放总量的 80%以上，占全社会碳排放总量的 7.5%左右。世界银行数据显示，我国千人汽车保有量约为美国的五分之一，仍有较大增长空间，伴随汽车保有量的上升，我国汽车行业碳排放总量还将呈上升趋势。同时，我国汽车单车排放强度较高，与发达国家相比低碳竞争力偏弱，《中国汽车低碳行动计划研究报告（2021）》数据显示，我国纯电乘用车生命周期碳排放约高于欧盟 18%。

## （二）行业节能降碳重点环节

汽车行业碳排放主要集中在整车制造、零部件及配件制造、运行使用和回收利用等重点环节。《中国汽车低碳新行动计划研究报告（2021 年）》数据显示，2020 年，汽车使用阶段碳排放约 7.2 亿吨，占汽车全生命周期碳排放的九成左右。其次，汽车行业作为重工业，生产制造环节也是碳排放的主要来源，欧洲汽车制造商协会（ACEA）数据显示，汽车生产阶段的碳排放占汽车全生命周期碳排放的 8%左右。此外，包括回收利用在内的报废阶段碳排放贡献约占 1%左右。

## 1. 整车生产制造环节

汽车整车生产流程主要包括冲压、焊装、涂装以及总装四大环节，其碳排放主要包括工厂生产过程中化石燃料燃料或者消耗导致的直接碳排放，如焊装车间二保焊的二氧化碳排放和涂装车间烘干炉的天然气燃烧导致的碳排放；以及各工艺车间能源消耗导致的间接碳排放，如外购的电力、自来水、天然气、蒸汽等。电能消耗占汽车整车制造用能比重达 60%以上，主要来自于生产设备的电能消耗。

具体来看，**冲压车间**通常使用 800-2000 吨压铸机，将钢板冲压成门板、翼子板等，再通过机器人切除零碎料饼，完成后将冲压件放入料架备用，主要耗能设备为全自动化冲压线，主要能源能耗为电、压缩空气、冷却循环水等，冲压线的生产工艺水平对能耗有直接影响。**焊装车间**先将冲压出的小零件拼装成稍大的零部件，如底板、侧围、外板等，再将大型零部件焊接成白车身，主要耗能设备为焊机、夹具及机械化输送设备，主要能源消耗为电、压缩空气、冷却循环水等，气体保护焊的二氧化碳使用量、二氧化碳回收装置使用情况等对碳排放有直接影响。**涂装车间**整体涂装或拆分成区域涂装，先喷底漆，进行电涌、筛洗、烘干，再喷面漆以及烘干、注蜡和底部防腐，主要耗能设备为前处理电泳线、喷漆室、烘干室、机械化输送设备，主要能源消耗为电、压缩空气、冷却循环水、冷冻水、天然气等，烘干室精准控制技术、工艺温度曲线等对能耗和废气排放有直接影响。**总装车间**拼装发动机、动力总成、娱乐系统、方向盘、座椅等，加注汽油、玻璃水等，进行测试后整车下线，零部件数量多，形状不规则，相对



依赖人工拼装，主要耗能设备为机械化输送设备、辅助专机设备以及检测线等，主要能源消耗为电、压缩空气等，总装线的生产工艺水平对能耗有直接影响。

## 2.动力电池生产制造环节

汽车行业生产部件材料、轮胎、铅蓄电池、动力电池等零部件耗能较多。随着汽车电动化进程加快，动力蓄电池制造过程的碳排放占比逐渐增加，欧洲运输与环境联合会（T&E）数据显示，电池生产的碳排放范围在 61~106 kg CO<sub>2</sub>/kWh，最高可达电动汽车全生命周期碳排放总量的 60%以上。

动力电池制造过程包括制卷、制芯、化成、组装 4 大工艺，基于 GAC 汽车碳排放数据库，通过生命周期评价方法对动力蓄电池生产制造阶段的碳排放进行测算，制芯过程能耗占比最高，约为整个制造过程的 45%；制卷和化成分别占比 28%和 25%；组装阶段能耗最低，仅占比约 2%。因为电极烘干和生产车间需要进行严格的温度和湿度控制，暖通空调为主的公共辅助设备在动力电池制造过程中电能消耗占比最高。电力清洁化程度对动力电池制造环节节能减碳至关重要。

表 7 动力蓄电池制造过程主要耗能设备

生产过程	主要生产设备	工艺过程	公共辅助设备
制卷	搅拌机	匀浆	冷水机组、气泵、空调、普通电力（照明设备、消防设备、弱电设备及其他辅助设备）
	电机涂布机	涂布	
	烘干箱	烘干	
	辊切机	辊切	
制芯	极片分切设备	模切	冷水机组、气泵、空调、普通电力（照明设备、消防设备、弱电设备及其他辅助设备）
	全自动卷绕机	卷绕	
	装备设备	装配	
	干燥箱	干燥	



	注液机	一次注液
化成	化成设备	化成
	注液机	二次注液
	焊接设备	焊接
	涂胶封装设备	密封
	测试设备	氦检
	真空干燥箱	常温静置
	分容柜	分容
组装	焊接设备	模块组装
	测试设备	系统测试
	二维码打印机	打包

来源：GAC 汽车碳排放数据库

### 3.运行使用环节

汽车运行使用伴随燃料消耗，燃料消耗过程会产生大量碳排放。汽车终端用能结构、能耗水平直接影响汽车行业碳排。我国交通运输行业公开数据显示，2021 年，中国汽车行业全年碳排放 130 亿吨，其中 80%碳排放源自传统燃油车使用的化石燃料。公安部数据显示，截至 2021 年底，我国新能源汽车保有量达 784 万辆，占汽车总量比例尚不足 3%，传统燃油车仍占市场主导地位。持续推动传统燃油车节能减排技术应用，支持加快发展应用新能源汽车，成为汽车行业减排的重中之重。

### 4.回收利用环节

公安部统计数据显示，2021 年我国报废汽车回收拆解量近 250 万辆，同比增长约 20.7%，近五年来复合增长率为 9.4%，保持高增长态势。截至 2021 年底，我国汽车保有量达 3.02 亿辆，汽车报废拆解量不足保有量的 1%，远低于发达国家 7%的平均水平，汽车行业回收再

制造再利用需求旺盛。同时，我国新能源汽车在 2013 年前后得到大规模推广应用，按照动力蓄电池普遍为 5 到 8 年的使用寿命计算，2020 后将迎来新能源汽车报废高峰期和动力电池退役潮。对于容量降至 80% 的废旧动力蓄电池，可通过所需的处理环节后，在储能、分布式光伏发电、家庭用电、低速电动车等诸多领域进行梯次利用。对于残余价值无法满足梯次利用的废旧动力蓄电池，则可通过拆解、破碎、分选、材料修复或冶炼等处理后进行资源化利用。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是建设生产设备数字化管理体系。应用数字化技术、手段和工具，实现数据实时采集、分析和处理，提高生产运营效率和能源资源利用效率。二是创新智能网联汽车低碳化服务。加快自动驾驶系统，自适应巡航、自动紧急制动、车道保持系统等技术创新，探索智能网联汽车低碳化新场景，推动出行工况优化等服务，有效降低油消耗和污染物排放。三是创新服务型制造商业模式。深化行业数据挖掘与应用，探索从生产型制造到服务型制造的转型，提升价值链水平。四是构建数字化供应链管理体系。做好企业内外部碳排放数据汇聚、共享和应用，实施产业链上下游碳足迹追踪及碳排放管理，赋能产业链绿色协同发展。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是加快发展新能源汽车。推动动力电池技术、混合动力技术普及与应用，探索发展氢能和甲醇等燃料电池。二是改造升级生产制造设备，优化生产工艺。如采用一体化压铸可大幅减少焊接、涂胶环节，极大简化

车身整体生产流程，有效降低生产碳排。三是开展汽车材料“轻量化”替代。在保证汽车强度和安全性能的前提下，采用铝合金和碳纤维等轻质高强材料，提高提高汽车的动力性，减少燃料消耗。

## 十、工程机械行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

工程机械是指土石方施工工程、路面建设与养护、流动式起重装卸作业和各种建筑工程所需的综合性机械化施工工程所必需的各类机械装备。工程机械产业链主要包括将钢材、发动机、液压系统等原材料和关键零部件加工组装，制造成挖掘机、起重机、搅拌机等产品，应用于基础设施建设、房地产、采矿等行业。本报告重点涵盖研发设计、生产制造、产品使用、营销及后服务等环节。

我国已成为工程机械制造大国。我国工程机械行业从无到有、从小到大，目前已基本能够实现全系列产品的自主生产。英国 KHL 集团数据显示，2021 年全球工程机械 50 强销售收入规模排名前三的国家分别是中国、日本、美国，市场份额分别为 24.9%、22.4%、21.9%。我国有 10 家企业跻身 50 强榜单。受国内基建投资刺激及对外开放“双循环”政策驱动，以及行业数字化、智能化、绿色化转型趋势影响，我国工程机械行业仍处于高质量发展机遇期，产业规模将持续增长，产业结构有望进一步优化。根据《工程机械行业“十四五”发展规划》预测，到“十四五”末期我国工程机械行业市场规模将达到 9000 亿元人民币，年均增速可达 3%-5%左右。

工程机械使用过程具有高能耗和高排放特点。工程机械行业生产

制造环节材料利用率不断提高、万元增加值综合能耗得到有效控制。

《工程机械行业“十四五”发展规划》数据显示，2019年工程机械行业单位工业增加值能耗为0.12吨标准煤/万元，远低于同期我国万元GDP能耗0.51吨标准煤/万元的水平。工程机械使用过程的能耗和污染排放问题较为突出。中国工程机械工业协会数据显示，2020年，我国工程机械保有量超1000万台，仅不到1%使用非化石能源。《中国移动源环境管理年报（2021）》数据显示，2020年，我国工程机械排放的碳氢化合物（HC）占非道路移动源排放总量的28.2%，排放的氮氧化物（NO<sub>x</sub>）占非道路移动源排放总量的31.3%，排放的颗粒物（PM）占非道路移动源排放总量的32.5%。在移动源污染中，工程机械排气污染已成为主要组成部分。

## （二）行业节能降碳重点环节

工程机械行业碳排放主要集中在产品使用环节，研发设计、生产制造和售后服务等环节直接碳排放很少。据测算，工程机械产品使用环节碳排放总量占比超过90%。

### 1. 研发设计环节

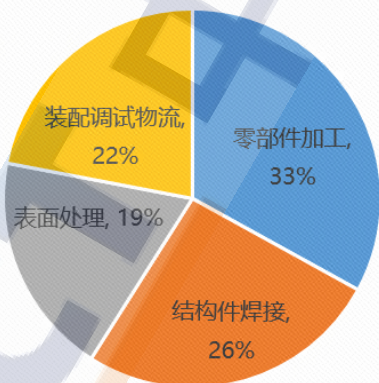
产品研发设计环节的碳排放包括：**一是**生产试制与验证阶段产生的碳排放，主要受资源调配能力、敏捷生产能力等因素影响。**二是**可靠性与稳定性试验阶段产生的碳排放。**三是**量产准备阶段产生的碳排放，主要受工艺图文档完备率、BOM工艺清单完整率、三维工艺仿真可达率与零部件NC代码完整率等因素影响。**四是**质检与产品阶段产生的碳排放。在产品研发设计环节，研发节能产品或新能源产品、



考量产品全生命周期的碳排放情况，对后续环节的节能减排尤为关键。

## 2. 生产制造环节

从关键工序来看，工程机械生产制造的碳排放包括：**一是**下料切割、成型、机加工等零部件加工过程中，生产设备用电、用水产生的碳排放，以及切割过程中燃烧产生的氮氧化合物等温室气体排放，据测算，这部分碳排放在整个生产制造环节碳排放中占比约 33%。**二是**结构件焊接过程中生产设备用电产生的碳排放，以及焊接保护气体逸散排放，据测算，这部分碳排放占比约 26%。**三是**零部件酸洗、磷化、发黑、电泳、涂装等表面处理过程中，涉及喷涂、烘干等生产设备，以及废气废水处理等环保设备的用电排放，据测算，这部分碳排放占比约 19%。**四是**产品装配、调试、检测、仓储物流过程中产品、辅助



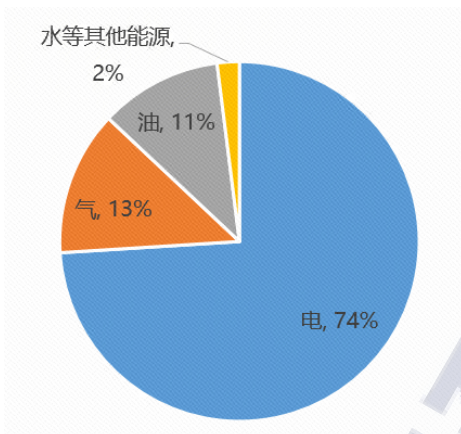
设备用电、用油的间接排放，据测算，这部分碳排放占比约 22%。

来源：根据某工程机械龙头企业灯塔工厂碳排放监测测算

图 14 工程机械生产制造环节碳排放比例

从用能结构来看，工程机械生产制造的碳排放主要以能源消耗间接排放为主，具体包括：电（占比 74%）、气（占比 13%）、油（占比 11%）、水等其他能源（占比 2%）。





来源：根据某工程机械龙头企业灯塔工厂碳排放监测测算

图 15 工程机械生产制造环节能源消耗构成

### 3.产品使用环节

产品使用环节是工程机械碳排放的重要来源。从机械类型来看，装载机和挖掘机碳氢化合物排放量占比超 80%。《中国移动源环境管理年报（2021）》数据显示，2020 年全国工程机械排放量中，装载机、挖掘机、叉车、压路机、推土机、摊铺机、平地机排放碳氢化合物占比分别为 47.0%、34.8%、9.0%、4.4%、3.0%、1.2%和 0.6%。从排放标准来看，国二排放标准及以下工程机械排放量占比近 70%，《中国移动源环境管理年报（2021）》数据显示，2020 年国二、国三、国一、国一前标准的工程机械排放的碳氢化合物占比分别为 45.0%、32.6%、13.4%和 9.0%。

### 4.后服务环节

后服务处于工程机械行业产业链的末端，虽然不直接产生碳排放，但也是行业节能降碳的发力重点：**一是**维修和配件服务水平影响设备故障率和使用效率，进而影响碳排放。**二是**二手设备交易和租赁降低

对新工程机械的需求，间接减少设备的生产及使用带来的碳排放。三是设备再制造实现高端循环再生产，节省生产制造环节的碳排放量。中国循环经济协会数据显示，工程机械再制造产品平均有 55% 的部件可以被再利用，生产制造过程中可以节省 80% 以上的能源消耗。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是建设智能工厂。对生产工厂进行改造升级，构建碳监测数字化管理体系，建立健全智能工厂标准、体系。二是搭建跨行业跨领域工业互联网平台。建设园区级能源数据中心，对水、电、气、热等能耗数据进行采集监控，开展数字化能源管理，提升园区、企业能源综合利用率。三是产业链协同。应用物联网、智能合约、区块链等新兴技术，构建虚拟生态系统，强化供应链管理，提高产业链协同的效率、安全性和可扩展性。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是建设行业绿色设计指标系统。在产品的设计阶段全面考虑产品全生命周期的碳排放情况，从结构设计、材料选择、性能设计等维度全面推行绿色低碳设计。二是生产环节全流程低碳管控。建立全流程的低碳生产管控制度，对生产环节的人机料法环等不同方面进行低碳管控，建设绿色低碳生产灯塔示范工厂。三是探索服务型制造新业态。由提供产品向提供产品加服务的模式转型，向高附加值、低能耗、低污染的方向升级。四是构建后市场绿色管理体系。应用推广设备再制造技术及生产工艺，发展二手设备交易和租赁市场，实现资源和设备的高效、合理利用。

## 十一、半导体行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

半导体可分为集成电路（IC）、分立器件、光学光电子和传感器四部分，广泛应用于 5G 通信、计算机、消费电子、网络通信、汽车电子、物联网等产业，是绝大多数电子设备的核心组成部分。半导体行业的产业链可以分为上中下游三个环节，上游包括半导体材料和设备，中游包括半导体设计、制造和封测，下游为半导体产品终端应用。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 16 半导体产业产业结构图

半导体市场保持高速增长，我国产业自给率低。WSTS 数据显示，2021 年全球半导体市场快速增长，共销售了 1.15 万亿片芯片，市场规模达到 5560 亿美元，创历史新高，同比大幅增长 26.2%。我国半导体行业快速发展，带动半导体设备行业大发展。据 SEMI 数据，中国大陆半导体设备市场规模从 2011 年的 36.5 亿美元上升至 2021 年的 296.2 亿美元，年均增速 23.3%。与此同时，虽然加速承接半导体产业第三次产业转移，但目前我国半导体产业自给率较低，依然严重

依赖进口。

**半导体行业碳排放量日益增加。**半导体芯片的制造从原材料到成品约需要三个月，电能和水的使用间接导致大量二氧化碳被排放。根据彭博社报道数据，英特尔 2019 年的用水量是福特汽车的三倍以上，同时工业废物是后者的两倍以上；2017 年到 2020 年，台积电的温室气体排放量已经超过汽车巨头通用汽车的排放量。半导体面板行业产能正在不断扩张，碳排放量逐年上涨，预计后续其碳排放量仍保持较高速增长。

## （二）行业节能降碳重点环节

半导体制造设备属于高精密制造设备，需要洁净空间、恒温、高温、高压、真空、强电磁场、吹扫、冷却等复杂工况，核心设备几乎全年 365 天、全天 24 小时运转，使用过程中导致巨大能耗。

### 1. 生产装备方面

半导体面板行业的能源消耗及碳排放生产装备（一般称其为公共辅助设备运行管理环节）是其主要碳排放源头，其过程中产生的碳排放约占整个工厂碳排放的 45% 左右。其中大型设备系统主要包括动力站冰水系统、空压机系统、纯水处理、废水处理、洁净系统等。公辅设备包括空压机、冰机、泵、风机等，在运行过程中消耗的电能产生的间接碳排放量占该环节碳排放量 97% 以上。

### 2. 机台运行方面

机台运行过程产生的碳排放量大概占整厂碳排放的 35% 左右。以半导体显示材料行业为例，其工艺生产环节涉及的机台如 CVD、PVD、



PUP、UPK、PCN 等设备，是工艺加工环节中电能消耗的主要来源。本过程的主要制程包括清洗、涂布、曝光、蚀刻、电镀等，后续制程包括检查、切割、贴片、模组、成盒、等等。通过在玻璃基板上制作 TFT 阵列和 CF 基板，将 CF 作为上板和 TFT 下板自建灌注液晶并贴合，最后再贴上偏光片，连接驱动 IC 和控制电路板，与背光模组进行组装，最终形成整块液晶面板。在具体工艺过程中造成能耗和碳排放增加的主要情况有，工艺流程不合理、过程浪费严重，耗能设备配置不合理，用能方式单一，设备自动化程度低、产能低效等。

### 3.生产控温方面

随着芯片尺寸不断缩小以及产能不断提升，温控及真空辅助设备在芯片生产中的作用越来越重要。传统的控温方式是通过采用压缩机制冷的制冷机将设定温度的冷却液送入工艺腔体以达到控温效果，制冷机和真空泵等辅助设备通常摆放在高洁净无尘室的楼下，占用相当于生产洁净室相当面积或更大的空间。应用基于玻尔西原理的半导体直冷控温新技术（通过集成半导体热电芯片对冷却液直接控温），取消了压缩机，增加工厂有效生产空间，能够大幅节能减排。

### 4.材料方面

半导体材料技术的进步对于节能减排的意义重大。对产品设计和生产工艺进行升级改进，可有效降低半导体器件自身功耗。直接或间接提高系统其他部件的能效，在能量的传递和使用的全过程中，能够实现调节、优化和控制，达到进一步节能的效果。



### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是构建统一的能源及碳管理系统。通过数字化平台将能源与生产数据贯通，利用大数据算法智能分析能源使用效率、设备运行效率、能耗浪费情况等，实现精益管理。二是搭建多能综合运营管理平台。设计综合能源多能负荷预测模型，依此制定定制化的综合能源优化运营策略，针对优化策略开展多能运行分析，为能源调度提供决策依据。三是建设重点用能设备管控系统。结合设备机理模型、多变量预测模型，通过人工智能算法自动寻优，对重点用能设备运行进行优化，实时优化控制设备运行状态，大幅降低单位能耗。

此外，还可以通过以下途径推动行业绿色低碳发展，一是改善用能结构。多措鼓励沿海地区的半导体企业充分利用海上风能、潮汐能、生物质能、地热能、储能削峰填谷等不同的能源方案。二是革新行业原材料。推广应用效率高、能耗小的碳化硅、氮化镓、氧化锌、金刚石等第三代半导体材料。三是创新应用节能新技术。通过加大余热、余压回收利用，应用变频技术，进行高效率设备替换及系统优化控制等提高能源利用率。四是强化供应链协同管理。完善绿色采购机制，推动上下游全价值链合作伙伴共同行动，通过强化节能、低碳管理、循环经济，形成供应端、物流端、数据端、消费端的低碳闭环。

## 十二、环保行业需求洞察

### （一）行业能耗和碳排放情况

在国民经济中，环保行业是指以防治环境污染、改善生态环境、

保护自然资源为总体目标而进行的技术研发迭代、商业产品流通、资源信息利用、工程服务承包等活动的总称。狭义上讲，环保行业是为控制环境污染、降低污染物排放、处理废弃物等领域提供技术、设备和服务。广义上讲，环保行业还包括生产过程中的清洁技术和产品。本报告重点涵盖水污染防治、大气污染防治、固体废物处理处置与资源化、环境监测及评估等方向。

**我国高度重视环保行业良性发展。**推动生态环境向好发展一直是实现中华民族永续发展的内在要求，是增进民生福祉的优先领域，是建设美丽中国的重要基础。十八大以来，我国全面加强生态文明建设和生态环境保护的战略部署，加快污染防治重点举措落地实施，推动环保行业攻坚克难，污染防治攻坚战阶段性目标任务圆满完成，生态环境明显改善，为全面建成小康社会增添绿色底色和质量成色。

**我国环保行业市场空间加速释放。**经过多年发展，我国环保行业已经建立较为完善的领域体系，包括大气污染防治、水污染防治、固废处理、生态治理、环境监测等，产业完整覆盖装备制造、设计施工、运行维护、规划咨询等流程，高效助力生态环境保护和绿色高质量发展。中国环境保护产业协会调查统计数据显示，“十三五”期间，我国环保行业营业收入持续增长，年均复合增长率约为 14.1%，其中，2020 年我国环保行业营业收入 1.95 万亿元，较上年增长 7.3%，占国内生产总值 1.9%，成为国民经济重要的绿色亮点和新增长点。

**我国环保行业价值属性日益凸显。**“十四五”以来，我国已进入生态文明建设关键时期，节能降碳成为重点战略方向。环保行业高效助

推减污降碳协同增效，促进经济社会全面绿色化转型发展，实现生态环境由量变到质变的改善，承担起优化环境容量配置、完善生态空间布局的重要功能，迎来新一轮发展机遇。生态环境部环境规划院数据显示，为实现“十四五”生态环境治理目标，我国约有 6.8 万亿元至 8 万亿元的生态环境投资需求。环保行业在提升服务能力、延展服务内容、拓宽服务渠道等方面大有可为，将全面支撑碳中和碳达峰目标达成。

## （二）行业节能降碳重点环节

环保行业碳排主要集中在水污染防治、大气污染防治固体废物处理处置与资源化等环节，同时，环保行业在助力其他行业节能降碳的过程中也会产生一定的碳排放。污染治理及环境监测过程中的碳排放主要集中在专用设备运行的燃料和电力消耗、交通设备运行的燃料消耗、专用制剂消耗的间接排放，以及微生物污水处理的直接排放、焚烧固体废弃物的直接排放、日常办公的能源和材料消耗等方面。

### 1.水污染防治环节

水污染防治包括对江、河、湖泊、水库及地下水、地表水的流域水污染综合治理活动，以及对排放污水的搜集和治理活动。其中，对排放污水的搜集和治理过程通常分为一级处理、二级处理和三级处理三个阶段。污水一级处理即物理处理，是对污水的预处理环节。污水一级处理通过沉淀、过滤或曝气处理，去除污水中的悬浮物和油膜、油珠等部分悬浮态的污染物，用以调整水 PH 值，降低污水腐化程度。污水二级处理是对污水中溶解性有机物和胶体的净化处理环节。污水

三级处理是进一步去除污水中的其他污染物和污染成分的处理环节。

中国环境保护产业协会数据显示，我国行业碳排放量约占社会总碳排的 1%，整体占比不大。污水治理过程涉及二氧化碳、甲烷和氧化亚氮等温室气体排放。其中，二氧化碳排放来源于污水处理设施能耗及水污染物降解等生源性碳排放。甲烷排放来源于化粪池、污泥厌氧消化池等污水处理中的厌氧环节。氧化亚氮排放来源于污水处理过程中的硝化反硝化阶段。在一级处理阶段，格栅、沉砂池和沉淀池的设备运行需要消耗大量的能源，沉砂池内有机物的发酵会造成少量的碳排放。PH 值调节环节，各种专用制剂的消耗会产生一定的间接排放。在二级处理阶段，活性污泥环节和生物转盘环节的设备运行需要消耗大量的能源。在三级处理阶段，混凝沉淀环节的搅拌设备运行需要消耗大量的能源，是产生碳排放的主要环节，杀菌环节中专用制剂的消耗会产生一定的间接排放。

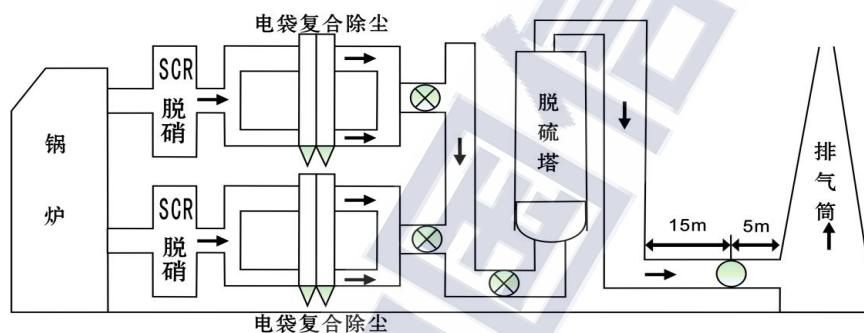
## 2.大气污染防治环节

大气污染防治是通过减少污染物的排放、治理主要排放污染物、发展植物净化和利用环境的自净能力等防治措施，应用具备技术可行性、经济合理性、区域适应性和实施可能性的最优解决方案，以达到空气环境质量控制的总目标。大气污染治理排放的污染物是碳排放的主要构成，对燃烧过程和工业生产过程采取除尘法、气体吸收法、碱吸收法、物理化学法等控制措施，使有害气体无害化或回收利用废气中的有用物质，使大气污染排放浓度和排放总量不超过区域环境容量。上述过程中，设备能源消耗、专用制剂和物料消耗、物流运输等环节



均会产生碳排放。

以火力发电厂烟气脱硫脱硝过程为例，主要环节的碳排放包括：建设脱硫脱硝专用建筑（厂房、脱硫塔）等的水泥、建材消耗产生的碳排放；尿素、催化剂等专用制剂和除尘袋等的消耗产生的碳排放；各类专业制剂和耗材、粉尘、废渣等的运输产生的碳排放；尿素水解、碳酸钙粉末和浆液的磨制、电极板吸尘、管道运输空压机、管道注液动力泵等电力消耗产生的碳排放等。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 17 火力发电厂烟气脱硫脱硝工艺过程图

### 3. 固体废物处理处置与资源化环节

固体废物治理，指除城乡居民生活垃圾以外的固体废物治理及其他非危险废物的治理。固体废弃物的处理通过压实、破碎、分选、固化、焚烧、生物处理和回收利用等技术，把固体废物转化为适于运输、贮存、利用或处置，最终达到无害化、减量化、资源化。

垃圾处理收集、运输、处理等环节，均存在碳排放问题。生活垃圾在未进入收集系统时就已经产生了不少温室气体，厨余垃圾经堆积易发酵腐烂释放出大量的二氧化碳，垃圾桶垃圾也会因为长期淤积而发酵释放二氧化碳。在垃圾收集及运输过程中由于油气消耗将产生



碳排放，也有车辆尾气排放产生的大量二氧化碳和二氧化氮等温室气体。

各种不同的处理技术碳排放特性也不同。压实、破碎、分选和固化处理技术，产生碳排放的主要方式是专业机械运行以及固体废弃物转运时使用交通工具的燃料消耗和电力消耗。焚烧和热解处理技术，产生碳排放的主要方式是固体废弃物转运时使用交通工具的燃料消耗和焚烧过程的直接碳排放。生物处理和回收利用技术，产生碳排放的主要方式是专业机械运行的燃料消耗和电力消耗。

#### 4.环境监测及评估服务环节

环境监测及评估服务是指对生产与生活等各类污染源排放的污染物或污染因子指标等环境要素进行的测试、监测和评估活动，可分为实验室样本检测和现场实时监测两种模式。



来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组整理

图 18 实验室样本检测与实时监测流程图

实验室样本检测的主要过程包括评审和签订监测合同、编制监测

项目方案和计划、室内准备工作、开展现场工作、样品运输、样品交接和登记、样品检测分析，以及编制、批准和发放检测报告等步骤。现场实时监测的主要过程包括售前支持、项目投标、开工准备、项目实施、试运行、项目竣工验收、项目运营、项目结项等步骤。

这两种过程的碳排放特性大同小异。相同点在于都存在大量的材料打印、人员交通、室内办公和使用专用制剂，这些过程中人员交通以及使用专用制剂是碳排放的主要环节。不同点在于实验室样本检测过程需要运输样品，现场实时监测需要运输设备，并且设备的运行也要持续消耗能源，产生碳排放。相比之下，由于现场实时监测运输设备环节不可替代（运输样品可以由差旅人员携带，不单独产生排放），且设备需要持续运行，总体会产生更多的碳排放。

### （三）行业双碳关键路径

数字化实施路径有，一是应用数字技术降低能源消耗。通过对专业处理设备实施数字化改造，建立处理端动力需求与供能端能源供给系统的自动化信息传输通道，实时动态调整供能，提高能源有效利用率。依托 5G、车联网、智能感知与自动驾驶技术，降低物料运输过程的碳排放。集成低碳、建筑环控以及数字智能等方面新技术，打造智慧数字低碳园区降低能耗及碳排放。二是采用数字化技术提升污染处理精细度。应用人工智能等数字技术实现污染处理过程自动化运作，实时反馈各环节处理运行情况及数据，依托数据的分析和挖掘结果加强生产调控，实现精细化管理。采样设备按照预定程序自动执行采样测量动作，对回传数据进行校验优化，精确动态控制投放计量，降低专

用制剂使用量，减少碳排放量。三是助力打造现代化生态环境和温室气体排放监测体系。应用新一代信息技术建设行业公共服务平台，建立完善现代感知技术和大数据技术生态环境监测网络体系，优化监测站网部署布局，补齐细颗粒物和臭氧协同控制、水生态环境、温室气体排放等监测短板，构建环境质量监测、生态质量监测、污染源监测全覆盖的生态环境监测格局。

此外，还可以应用可再生能源减少行业碳排放。把可再生能源应用于环保防治领域可大幅减排，如应用新能源环卫车、新能源环境治理和监测设备等。环保行业还可通过碳排放数据实时监测、废物处理等助力其他行业实现降碳减排目标，如可融合多源数据，应用碳配额模型计算企业碳排放剩余空间，指导企业合理实施碳交易。

### 十三、重点工业行业需求共性特征

#### （一）工业碳排放的基本形式

工业生产的本质是对自然资源的开采、采集和对各种原材料的加工制造。工业行业产业链上游主要供应原材料和其他相关辅助材料、零部件等，中游环节包括生产制造和运营管理的全过程，下游环节为延伸加工，或在建筑、交通、家电等各领域的应用。工业碳达峰碳中和目标愿景贯穿于产品设计、原料采购、生产、运输、储存、使用、回收处理的各方面和全过程。

工业行业的碳排放形式包括直接碳排放、间接碳排放、隐形碳排放等。通过分析钢铁、铝、汽车等多工业行业的生产过程，可发现这些行业的碳排放有三类，一类是直接碳排放，包括生产过程中化石燃

料燃烧或者消耗导致的碳排放、含碳原材料和生产熔剂等辅助用料消耗导致的碳排放等。一类是间接碳排放，主要来自于生产过程中各生产装置和设备等的电能消耗、生产环境温湿度控制需要的能源消耗、输配电线路上的电量损耗、电力使用中的浪费情形等，我国以煤为主的资源禀赋决定了煤电在较长时间内仍将承担重要作用。还有一类是隐含碳排放，即生产过程中有少部分碳固化在企业生产的产品中。

## （二）重点环节及关键影响因素

钢铁、铝、汽车等工业行业节能减排重点涉及生产装置和设备、生产工艺、循环生产等方面。

### 1. 生产装置和设备方面

各工业行业生产装置和设备的能量消耗是总体耗能中最关键的组成部分。生产装置和设备包括动力设备、功能设备、公共辅助设备、测试验证装置等，不同行业的装置和设备差异较大，如钢铁业有焦炉、高炉、转炉、热风炉、烧结机等，石化业有加热炉、机泵、压缩机等，汽车业有焊机、夹具、烘干炉、压铸机等。企业生产过程中的总耗能很大部分来自生产装置和设备的能耗，如工程机械生产制造过程的碳排放中超七成来自电能消耗。

生产装置和设备的能耗间接产生大量碳排放。所有带电动力设备、功能设备、公共辅助设备的正常运行均需要持续消耗电能或热能。企业净购入电力和净购入热力间接产生碳排放，该部分排放实际发生在电力、热力生产企业。外购电力碳排放受电力供给结构决定，清洁能源供给可直接降低工业行业外购电力碳排量。同时，各类设备的功率



水平、运转效率直接影响能耗和碳排放总量，在生产过程中若有装置和设备低效运转，还会产生大量无效碳排放。

生产装置和设备运行中使用的燃料等导致大量直接碳排放。生产过程中固定装置和设备消耗煤炭、石油、天然气等化石燃料原料，使用燃料的运输工具及搬运设备运转等均导致直接碳排放，如石化加热炉在燃烧过程中释放大量的二氧化碳、水蒸汽、二氧化硫、氧、氮等气体。化石燃料的燃烧利用效率，运输工具等的能耗水平、路线设计水平、运输效率等是影响碳排放总量的重要因素。

## 2.生产工艺方面

生产工艺的设计水平直接影响能耗和碳排放水平。生产工艺包括工艺流程、过程参数、装置操作弹性、操作条件等。重大低碳技术、工艺的创新突破和改造应用可显著提高生产工艺的先进性，从而有利于大幅节能减排，如国内高炉炼铁工艺占比较高，相应主原料焦炭应用占比较高，生产过程产生大量的一氧化碳和二氧化碳，而通过采用电炉炼钢短流程工艺替代传统的高炉炼铁长流程工艺可有效减少能源消耗和碳排放。

生产工艺的实际运行水平也会影响能耗和碳排放水平。如果各系统装置之间的联合操作和协同不够优化，较大范围内的电能热能综合匹配不足，会影响对能量的整体性高效利用。在实际操作过程中，由于工作人员操作不当等异常情况发生，可能导致生产工艺流程无法正常运行、相关回收利用率降低，也会产生无效工业能耗和碳排放。



### 3.循环生产方面

对二手设备、废料的高质量回收再利用是促进全面节能减排的重要途径。能否实质性提高循环生产水平，主要考虑以下方面的节能减排需求，一是广泛开展二手设备的交易和租赁、提高对设备故障的维修服务水平来降低对新设备的需求量，从而减少生产及使用新设备带来的碳排放。二是提高高端循环再生产能力，节省生产制造环节的碳排放量。如我国再生铝生产技术较为落后，很多优质的变形铝合金废料被降级使用，造成不少浪费。三是实现对二手设备和废料的适当降级利用，发挥其最大价值从而减少碳排放。如对于电容量降至一定门槛的废旧动力蓄电池，可通过处理后在储能、低速电动车等领域进行梯次利用，而非直接进行拆解、破碎冶炼。

## 十四、工业行业双碳推进建议

### （一）加快构建碳达峰碳中和标准体系

我国重点工业行业仍面临碳达峰碳中和标准体系待完善、实施效果待提升等问题，标准的基础保障和引领作用需要进一步加强。建议开展重点工业行业绿色低碳标准体系研究，明确标准制修订的重点方向及任务。一是加快完善碳排放核查核算标准。制定重点工业行业、企业、产品碳排放的基础通用、核算核查等标准，建立科学规范的核算体系，加强碳排放的量化管理，实现全生命周期碳排放的可监测、可报告、可核查。二是加快节能标准更新升级。抓紧修订钢铁、石化、铝等重点行业能耗限额，以及汽车、电子产品设备等能效强制性国家标准，扩大能耗限额标准覆盖范围，提升重点产品能耗限额要求。强

化绿色消费标准引领，完善低碳产品认证、绿色产品认证等认可准入体系，引导行业企业加快实施节能降耗举措。**三是构建标准实施和监管体系。**结合行业双碳需求特征，制定标准集成应用指南，以“试点”等方式加快推进标准化工作。建立政产学研用一体化模式，协调好国家标准、行业标准、地方标准、团体标准与产业政策、法规的关系，加强标准宣贯、实施、监督和服务。**四是加强国际标准交流合作。**推进中外标准互认，提高我国标准与国际标准的一致性程度，强化贸易便利化标准支撑。积极参与碳排放、可再生能源、生态碳汇、碳捕集利用与封存等领域国际标准制定，加强与重点国家、区域、组织的标准化合作，提升标准化对外开放水平。

## **（二）深入推进重点环节节能降碳举措**

从行业需求共性特征出发，抓住影响能耗碳排的关键因素，实现工业领域节能降碳的重点突破。**一是优化能源消费结构。**建议新能源富集地区企业、工业园区等，充分利用太阳能、风能等清洁能源，建设新型储能设施和智能绿色微电网，推动终端能源消费电气化，推进煤炭、石油、天然气等化石能源高效清洁利用。**二是推广应用高效节能技术装备。**研发推广具备能源高效利用、污染减量、废弃物资源化利用和无害化处理等功能的绿色工艺技术和装备，适时推动低效生产装置和设备的退出。**三是提高循环生产水平。**加大再制造技术研发力度，降低再制造成本，对汽车产品及其零部件、工程机械及其零部件、铝合金废料等深入开展再制造，推广应用资源再生产品和再制造产品。**四是实施绿色制造工程。**推行绿色设计，构建绿色制造体系，加强先

进节能技术的集成优化，从局部单体节能向全流程系统节能转变，建设绿色工厂、绿色工业园区。

### **（三）大力推动数字化绿色化协同发展**

新一代信息技术是工业领域实现绿色低碳发展的重要手段，要充分发挥数字化赋能作用，大力发展绿色数字融合新技术，培育绿色数字产业新生态。一是建立数字化碳管理体系。应用5G、云计算、物联网、大数据等数字技术，构建面向能效管理和碳管理的数字孪生系统，实现碳排放数据的实时精准采集监控、核查分析、模拟预测和精细化管理。二是推广应用数字化节能降碳解决方案。加快重点用能设备、产线等数字化改造和上云用云，推广以工业互联网为载体、以碳管理为对象的平台化设计、智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理等融合创新应用。三是打造数字化综合服务平台。面向工业企业和产业链上下游提供碳排放数据采集、跟踪核算、评估评价、分析预警等服务，对碳资产数据、碳配额交易数据等实时上链存证，实现多层次穿透式核查监管、在线跟踪溯源，为碳资产交易及相关金融衍生产品提供有效的数据服务支撑。

### **（四）有序推进大中小企业绿色协同发展**

工业领域碳达峰碳中和目标的实现，需要根据大中小企业特点分类施策，调动不同类型的积极性、主动性，形成大中小企业绿色协同发展的态势。

对于大型企业，一是做好示范表率。注重源头减量，加大氢能等清洁能源替代和可再生能源应用。强化过程控制，推广高效节能电机

与变频技术。末端精细治理，推动固体废物减量和废料资源回收利用。

**二是打造绿色供应链。**围绕原料采购、生产制造、应用服役到回收利用等全周期过程，以绿色供应链牵引带动上下游中小企业加快绿色转型。开展供应商年度碳足迹核查工作，促进供应链整体绿色低碳水平提升。

**三是验证前瞻性技术。**支持龙头企业聚焦前沿性和颠覆性技术研究创新，联合产学研各主体组建创新联合体、新型共性技术平台等。支持龙头企业将绿色新技术引进与既有生产线升级改造相结合，有效验证双碳新技术的落地性、经济性和效益性。

对于中小企业，**一是提早谋划、提前准备。**实施用能设备和关键工序的节能降耗改造，积极参与区域工业低碳行动和绿色制造工程，渐进融入产业园区、产业集群绿色转型。列入碳排放配额管理的中小企业，合理量力采购碳抵消项目。

**二是加快上云用数赋智。**践行“工业互联网+绿色制造”模式，推动企业级碳管理数据上云，打通在线能源审计、设备能效对标、系统节能诊断等关键性业务场景。

**三是打造绿色低碳领域优质企业。**发挥中小企业创新灵活性强以及单点深入优势，支持以“专精特新”为代表的创新型中小企业群体，瞄准开发新型绿色技术、设计新颖绿色产品，打造双碳关键细分领域的优质企业。

## **（五）完善产业政策、资源和服务保障**

建议政府层面持续完善碳中和碳达峰相关政策体系，进一步发挥政策引导作用，加大支持力度，提高资源保障和公共服务水平。

**一是调整优化产业结构。**完善相关产业政策，淘汰高能耗落后产能，提高新建、扩建“两高”项目节能环保准入标准。大力发展节能环保、清洁



生产、清洁能源产业，支持战略性新兴产业发展。**二是加大财税金融支持。**完善碳排放权交易机制和碳税征收模式，对企业绿色研发投入增量给予更大抵减税费优惠和返还奖励。扩大政府绿色采购规模，拓宽新能源装备、超高能效设备产品等节能产品市场渠道。调动社会资本和产业投资的积极性，支持符合条件的企业发行绿色债券，充盈企业低碳发展资本。**三是建设绿色低碳基础设施。**推动大数据中心、新型互联网交换中心、通信基站等数字基础设施节能提效，鼓励行业、区域建设能源管理平台、碳管理平台，以及碳核算、碳交易平台。**四是加强双碳专业人才培养。**科学预测双碳领域人才规模需求，制定双碳岗位能力要求并发布人才职业能力标准，推广订单式技能人才培养模式。**五是扩大优质服务供给。**引导服务机构扩大公共服务、市场化服务和社会化公益服务覆盖范围，创新碳基金、碳资产质押贷款、碳保险等碳金融服务，规范绿证交易、碳交易、用能权交易等环境资源服务市场。



## 编制说明

**总牵头：**中国信息通信研究院

**煤炭行业：**中煤科工集团信息技术有限公司、中国矿业大学(北京)、联通数字科技有限公司、北京京东数智工业科技有限公司

**电力行业：**许继集团有限公司、中国航天科工集团有限公司、浪潮云信息技术股份公司、中国移动(上海)产业研究院、重庆工业大数据创新中心、阿里云计算有限公司、济南大陆机电股份有限公司、华为技术有限公司

**钢铁行业：**上海宝信软件股份有限公司、济南大陆机电股份有限公司、阿里云计算有限公司

**水泥行业：**中国绿色建材产业发展联盟、华新水泥股份有限公司、阿里云计算有限公司

**石化化工行业：**浙江蓝卓工业互联网信息技术有限公司、中国联合网络通信有限公司四川省分公司、联通数字科技有限公司、华为技术有限公司、中国石油和化学工业联合会

**铝行业：**广域铭岛数字科技有限公司、北京京东电解智科技有限公司、河北工业大学、中国铝业协会

**纺织行业：**联通数字科技有限公司、广州工业智能研究院、苏州汇川技术有限公司

**汽车行业：**中汽数据有限公司、中汽研汽车工业工程(天津)有限公司、河北工业大学、天津开发区精诺瀚海数据科技有限公司、深圳市信润富联数字科技有限公司、东风通信技术有限公司、阿里云

计算有限公司、深圳市汇川技术股份有限公司、上海万向区块链股份公司、奇越科技（北京）有限公司

**工程机械行业：**树根格致科技（湖南）有限公司、徐工汉云技术股份有限公司、三一集团有限公司

**半导体行业：**格创东智科技有限公司

**环保行业：**罗克佳华科技集团股份有限公司、北京万维物联科技发展有限公司、软通动力创新研究院



中国信息通信研究院 产业与规划研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62304687-825

传真：010-62304402-888

网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

