

# 中国气候转型： 2023展望

2023年11月

# 中国气候转型: 2023展望

2023年11月27日

## 作者

Lauri Myllyvirta, Qi Qin, Chengcheng Qiu, Xinyi Shen

本报告由能源与清洁空气研究中心出版，并得到了海因里希·伯尔基金会位于德国柏林的总部的支持。

## 特约撰稿人

Xunpeng Shi, Muyi Yang, Shurui Wang

## 编辑

Kathryn Miller, Hannah Ekberg

**中文翻译** 尤晓莺

**封面设计** 吴文迪

## 项目协调员

Ella Soesanto, Xinyi Shen

图片来源: [Li Yang/Unsplash](#)

## 致谢

CREA衷心感谢Paul Kohlenberg博士和Jörg Haas提供的支持、反馈和见解。本报告所表达观点均为作者的意见，与上述人士无关。

## 关于CREA

能源与清洁空气研究中心（以下简称“CREA”）是一个致力于揭示空气污染的趋势、原因、其对健康的影响以及解决方案的独立研究机构。CREA利用科学数据、研究和证据来支持世界各地的政府、机构和组织为实现清洁能源和清洁空气而做出的努力。我们相信，有效的研究和沟通是实现成功的政策、投资决策和倡议工作的关键。CREA于2019年在芬兰赫尔辛基成立，在几个欧洲和亚洲国家都有工作人员。

## 声明

本报告由能源与清洁空气研究中心（以下简称“CREA”）根据其总部注册地所在国芬兰的法律法规依法发布。CREA致力于用科学研究的方式，推广清洁能源，及研究减少空气污染的解决方案。

CREA在政治上独立具有政治独立性。本报告中使用的指代名称和其地图上呈现的材料不代表本机构对任何国家、领土、城市或地区的法律地位或其当局的法律地位的意见表述，也不代表本机构对任何国家、领土、城市或地区的边界或边界的划定的意见表述。

本出版物包含的内容和表达的观点是于调研期间基于独立的科学研究和分析所产出的成果和意见，仅为作者的个人观点和意见，不一定代表官方政策或官方的观点，也不一定代表CREA、其成员和/或其出资方的观点和意见。

CREA不对报告中所含涉信息的及时性、准确性和完整性作担保。本报告仅用于环保公益和信息分享目的使用，不作为公众及任何第三方的投资或决策的参考。CREA对本出版物内容中的任何错误或遗漏不承担任何责任。

本报告有中文、英文两个版本，如有内容差异，以英文报告为准。

# 目录

<b>执行摘要</b>	<b>1</b>
<b>1 引言</b>	<b>5</b>
<b>2 了解中国的温室气体排放</b>	<b>9</b>
2.1 排放量的飞速增长	9
2.2 国际背景下的中国排放	13
<b>3 中国和世界实现碳中和的路径</b>	<b>17</b>
3.1 概览	17
3.2 全球路径	19
3.2.1 央行与监管机构绿色金融网络 (NGFS)	20
3.2.2 气候行动追踪组织 (CAT)	21
3.2.3 国际能源署 (IEA)	22
3.3 中国的路径	22
3.3.1 清华气候变化与可持续发展研究院 (ICCS)	26
3.3.2 人民大学环境学院 (SENR-RMU)	26
3.3.3 生态环境部环境规划院大气环境研究所 (CAEP-IAE) 和电力规划设计总院 (EPPEI)	27
3.3.4 华北电力大学 (NCEPU) 和北京大学 (PKU)	28
3.3.5 能源基金会中国 (EFC) 和马里兰大学全球可持续发展中心 (CGS-UMD)	28
<b>4 衡量和对标中国的进展</b>	<b>30</b>
4.1 二氧化碳排放总量	30
4.1.1 对标基准的趋势	32
4.1.2 现行政策	32
4.1.3 数据披露	39
4.2 非二氧化碳温室气体	39
4.2.1 现行政策	40
4.2.2 数据披露	42
4.3 能源供应和需求总量	43
4.3.1 对标基准的趋势	43
4.3.2 现行政策：绿色和低碳能源转型的行动	49
4.3.3 数据披露	53
4.4 发电量和发电装机容量	53

4.4.1 对标基准的趋势	55
4.4.2 聚焦中国的煤电飙升	59
4.4.3 现行政策	61
4.4.4 数据披露	72
4.5 工业部门	72
4.5.1 对标基准的趋势	74
4.5.2 现行政策：工业部门的碳达峰行动	79
4.5.3 聚焦：钢铁业	85
4.5.4 数据披露	89
4.6 建筑部门	90
4.6.1 对标基准的趋势	91
4.6.2 现行政策：民用领域的碳达峰行动	93
4.6.3 数据披露	95
4.7 交通运输部门	95
4.7.1 对标基准的趋势	97
4.7.2 现行政策：促进绿色和低碳交通运输的行动	100
4.7.3 数据披露	103
4.8 省级行动	104
4.8.1 现行政策：中国的气候转型需要各省的共同行动	104
4.8.2 近期的指标调整	109
<b>5 专家调查和采访</b>	<b>111</b>
5.1 二氧化碳排放总量	113
5.2 一次能源消费和煤炭消费	114
5.3 电力部门	117
5.4 工业部门	118
5.5 交通运输部门	121
5.6 新形势的影响	122
<b>6 结论</b>	<b>124</b>
<b>附录：历史数据来源</b>	<b>127</b>
<b>缩略语列表</b>	<b>129</b>

## 配图目录

图 1   中国公布的2014年温室气体排放量，这也是中国官方至今最后一次发布此数据	9
图 2   中国能源和水泥行业的二氧化碳排放量（2000年-2023年9月）	11
图 3   中国不同行业由化石燃料造成的二氧化碳排放量（1995年-2021年）	12
图 4   中国不同行业由化石燃料造成的二氧化碳排放量；其中，由发电造成的排放量被计入相应消费端行业的排放量	13
图 5   中国人均二氧化碳排放量	14
图 6   中国、欧盟27国和全球的二氧化碳人均排放量比较	15
图 7   中国与不同经济体的单位GDP二氧化碳排放量比较	15
图 8   快速增长经济体的二氧化碳排放量轨迹	16
图 9   中国的排放量、排放浓度和升温路径	21
图 10   不同路径对2050年中国一次能源消费总量的预测	25
图 11   不同路径对2050年中国发电装机容量的预测	25
图 12   中国二氧化碳排放的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	32
图 13   中国的指示性排放路径	33
图 14   中国能源消耗总量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	43
图 15   中国煤炭消费的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	44
图 16   中国石油消费量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	45
图 17   中国天然气消费量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	45
图 18   中国非化石能源生产量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	46
图 19   电气化比率的年度增幅（实际趋势与转型路径的对比）	47
图 20   2017年-2021年，按部门和燃料划分的能源消费量增长，以及按子部门划分的工业增长的分解	48
图 21   电力部门二氧化碳排放量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	55
图 22   发电行业二氧化碳强度的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	56
图 23   年新增非化石发电量（实际趋势与转型路径的对比，每年新增的风能、太阳能、核能和水电装机容量已用每种技术的平均容量系数转换为年发电量）	57
图 24   年新增火力发电装机量（实际趋势与转型路径的对比）	58
图 25   中国在建煤电项目的装机量统计，统计以每半年为单位	61
图 26   中央和省级“十四五”规划中筹划的清洁能源基地（地图由Tom Prater为Carbon Brief制作）	65
图 27   中国新型电力系统建设的发展路径，取自《新型电力系统发展蓝皮书》	66

图 28   工业部门能源消耗总量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	74
图 29   工业部门煤炭消费量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	75
图 30   工业部门电气化比率的年度增长（实际趋势与转型路径的对比）	76
图 31   工业部门电力消费的年度增长（实际趋势与转型路径的对比）	76
图 32   钢铁行业煤炭消费量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	77
图 33   钢铁行业电力消费的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	77
图 34   钢铁行业电气化比率的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	78
图 35   化工行业电气化比率的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	78
图 36   中国钢产量中不同工艺的占比与2025年电炉炼钢的目标产量	87
图 37   2017年至2023年上半年，以产能置换方式发布的新增炼钢与炼铁产能，统计以每半年为单位	89
图 38   以预计投产年份进行统计的新增炼钢与炼铁产能	89
图 39   建筑部门煤炭消耗量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	92
图 40   建筑部门天然气消耗量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	92
图 41   建筑部门电气化比率的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	93
图 42   交通运输部门石油消耗量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	97
图 43   交通运输部门电气化比率的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	98
图 44   交通运输部门电力消费的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）	98
图 45   汽车生产；12个月的累计值	100
图 46   各省级行政区到2025年非化石能源消费占比指标的比较	105
图 47   各省级行政区到2030年非化石能源消费占比指标的比较	105
图 48   各省级行政区到2025年非化石能源消费占比预计增长指标的比较（以2020年数据为基准）	106
图 49   2023年1月至8月，不同能源分类下新增发电容量幅度最大的省份列表	108
图 50   各省到2025年能源消费下降指标的比较（以2020年数据为基准）	109
图 51   各省到2025年二氧化碳排放下降指标的比较（以2020年数据为基准）	109
图 53   专家专业领域（单位：人）	112
图 54   所在行业（单位：人）	112
图 55   从业单位性质（单位：人）	112
图 56   中国二氧化碳排放量的达峰年	113
图 57   二氧化碳峰值	114
图 58   中国一次能源消费总量的达峰年	115
图 59   中国煤炭消费是否达峰	116

<b>图 60</b>   不同煤炭消费达峰年的选择人数	<b>117</b>
<b>图 61</b>   中国电力部门二氧化碳排放达峰	<b>118</b>
<b>图 62</b>   中国钢铁行业的二氧化碳排放量达峰年	<b>119</b>
<b>图 63</b>   中国水泥行业的二氧化碳排放量达峰年	<b>121</b>
<b>图 64</b>   中国交通运输部门二氧化碳排放的达峰年	<b>122</b>



## 表格目录

表 1   本报告所含全球情景的概述	19
表 2   本报告所包含的中国研究方案的概述	23
表 3   清华气候院的1.5°C、1.5°C “目标导向” 和2°C路径下的二氧化碳排放量 (He et al., 2022)	31
表 4   与非二氧化碳温室气体排放有关的部分政策	42
表 5   与能源消费和供应总量有关的部分政策	51
表 6   非化石类发电技术和装有CCS技术的发电装机的年新增容量 (He et al., 2021)	54
表 7   与电力部门有关的部分政策	71
表 8   与工业部门有关的部分政策	79
表 9   与建筑部门有关的部分政策	95
表 10   与交通运输部门有关的部分政策	100
表 11   2005年至2025年间在运的铁路与城市轨道交通总长度 (1000公里)	103
表 12   关于中国二氧化碳排放达峰年份的调查结果	113
表 13   关于中国一次能源消费总量达峰年份的调查结果	114
表 14   关于中国煤炭消费总量达峰年份的调查结果	116
表 15   关于中国电力部门二氧化碳排放达峰年份的调查结果	117
表 16   关于中国钢铁行业二氧化碳排放达峰年份的调查结果	119
表 17   关于中国水泥行业二氧化碳排放达峰年份的调查结果	120
表 18   关于中国交通运输部门二氧化碳排放达峰年份的调查结果	121
表 19   关于中国疫情后的经济形势影响能源转型进程的调查结果	123
表 20   关于中国”双碳” 战略和目标的看法或者建议的调查结果	123
表 21   历史数据来源	127

# 执行摘要

中国能否实现并超越其当前的气候目标，这可能是全球应对气候变化中最重要的因素。目前，清洁能源在中国发展迅猛，但与此同时，煤电产能持续增加，能源消耗快速增长，这都埋下了一些不确定的因素。为了实现碳达峰，并在达峰之后迅速减排，中国将需要在提高能源效率方面加大努力，转变经济增长模式，甚至在清洁能源领域进一步加大投资力度。

中国是世界上最大的温室气体排放国，也是过去二十年全球碳排放增长的主要来源，在全球气候转型中发挥着至关重要的作用。为了使全球碳排放能够尽快达到峰值，中国不仅需要实现其当前的排放承诺，而且需要超越该承诺制定的目标。

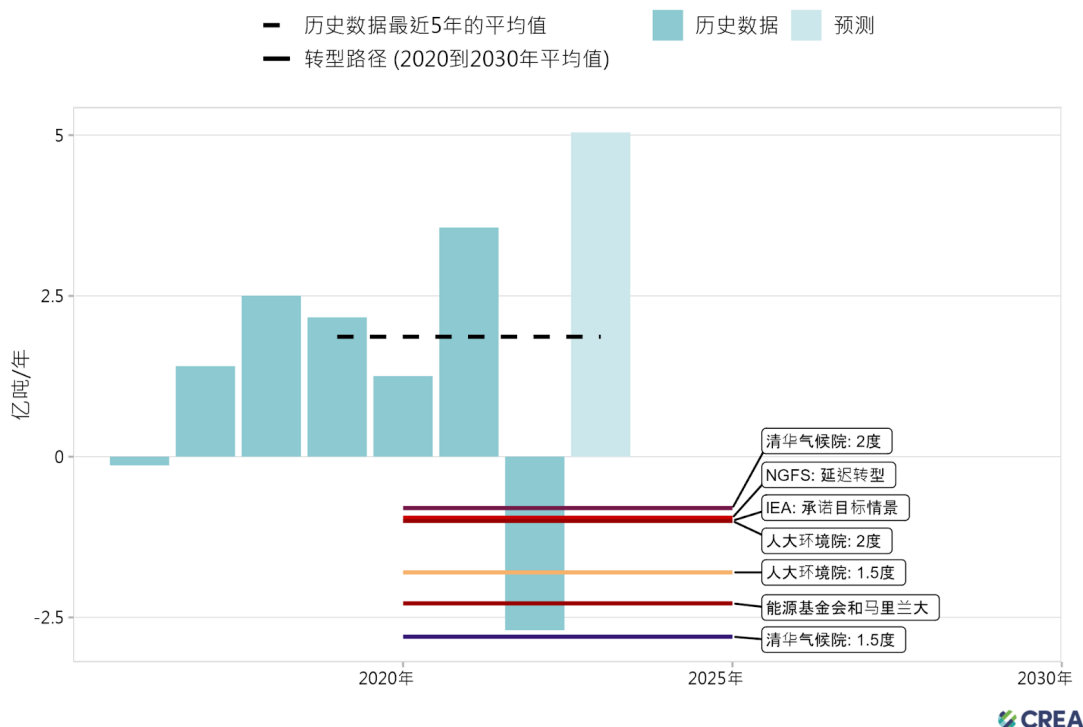
在每年一期的气候转型展望报告中，我们分析了中国气候转型在不同部门的变量和进展，并将其与中国现有的数据进行比较。我们的报告以中外机构提出的一系列气候转型情景为基础，对比中国的气候转型路径。

在2023年11月发布的第二版年度展望报告中，我们重新评估了中国在实现国家气候承诺和符合《巴黎协定》目标的排放路径方面的进展。以下是我们的主要发现：

## 碳排放反弹

中国二氧化碳排放量在2023年强劲反弹。但其2023年的排放增长并不反映结构性的趋势，而是由两个特殊因素引起的：一方面，历史性的低降雨量导致水电发电量大幅下降，这进一步推高了煤电发电量。另一方面，在新冠疫情之后，重新开放带来了经济的复苏，尤其是石油消费出现反弹。此外，用于清洁能源和清洁交通技术制造的能源和材料需求，大大弥补了房地产行业需求减少所带来的影响。

## 二氧化碳排放的年度变化 (排除天气影响后)



### 清洁能源迅猛发展

2023年最重要的发展是中国清洁能源发电的装机已经达到了实现控制全球升温1.5度情景中所预测的规模，我们在去年的展望报告中也预测了中国能实现这一卓越成就。如果中国能够保持其2023年清洁电力的增长水平，或超越这一水平，那么它在接下来的几年内实现碳达峰也并非遥不可及。

此外，电动汽车生产和销售量的增长也与1.5度情景保持一致。工业和建筑领域能源使用的电气化也在正确的轨道上发展，电气化能够促进减排。

### 增长模式初步变化

中国近年来加强了打击房地产行业的金融风险 and 投机行为，导致钢铁和水泥产量停止增长。在过去二十年中，房地产发展带来的钢铁和水泥产量的增加是碳排放增长的主要驱动力。目前这一领域的发展趋势与气候转型情景中的要求保持一致。

### 清洁技术制造业蓬勃发展

中国的清洁技术制造业正在迅速扩张。这不仅满足了中国国内需求的增长，预计还将为满足全球未来需求的指数级增长做出贡献。

这意味着在清洁技术制造业上的投资也迎来了前所未有的蓬勃发展，使其成为经济的主要驱动力之一。中国清洁技术制造业在2023年吸纳的投资预计占有所有投资的10%，也是投资净增长的根本原因。

## 专家更加乐观

为了解气候与能源领域从业者的观点和期望，本报告对来自该领域不同专业的89名专家进行了问卷调查。与去年的调查相比，今年参加调查的专家人数更多，态度也更为乐观。有21%的专家认为中国的碳排放将在2025年之前达峰，高于2022年调查的15%。预计中国碳达峰时排放水平比2020年上升超过15%的专家比例从69%下降到56%。

## 能源消费增长和煤电投资偏离预期

**然而，总的来说，与各气候转型路径模型的要求相比，中国实际的减排进程仍需加速。目前，中国的总耗能增长速度远远快于各转型路径中要求的速度。工业、建筑和交通部门的能耗都在持续增长。疫情期间的经济政策促进了能源密集型行业的发展，不利于降低能耗强度。**

要解决这个问题，中国将需要在提高能源效率方面加大努力，转变经济增长模式，甚至在清洁能源领域进一步加大投资力度。

**煤电投资加速。**自2022年年初以来，中国当局已经核准了152GW的煤电，并有92GW的煤电已开工建设。即使我们假设现有的煤电将加速退役，中国到2030年的煤电装机容量仍将在现有的水平上增加23%。尽管煤电装机容量增加，但碳排放量仍然可能会下降。不过大量新建煤电将会在经济上和政治上增加碳达峰的难度。

对以煤炭为基础的工业投资仍在继续，特别是钢铁行业。随着需求下降，钢铁和建材行业的排放预计已达峰值。要顺利实现碳中和，就要限制新的碳密集型产能，并激励低碳技术的发展。

**中国在《巴黎协定》背景下曾承诺将在2021年至2025年期间严格控制新建煤电项目，到2025年，全国单位国内生产总值能源消耗比2020年下降3.5%，但截至目前，这两方面的发展都偏离了承诺的轨迹。**此外，中国在降低碳排放强度方面也未达预期，但未来两年清洁能源电力的高速发展将很有可能使中国实现其目标。

## 亟待完善相关政策

在政策制定方面，2022年“1+N”双碳政策框架已经构建完成，2023年的重点是落实相关政策，包括碳排放的监测、报告和核查体系（MRV），发展支持减排的市场化工具，以及电力市场改革。2023年，政府采取了相关措施促进绿色电力交易，并利用碳排放交易体系和全国温室气体自愿减排交易系统（CCER）来促进减排。

促进太阳能和风能部署的政策都发挥了有效的作用，在工业领域太阳能、电池、电动汽车和其它清洁技术行业也都受到政策的激励，取得了积极的发展。

在排放监测、报告和核实方面，政府加强了对工业部门履行其义务的要求，部分原因是欧盟开始推行碳关税，这促进了中国进一步完善其碳排放数据。

然而，以下领域政策的进展并不明朗，有些甚至没有进展：针对控制碳排放总量和扩大碳市场的明确时间表尚未出台。在电力市场改革方面，尽管监管工作在继续，但没有制定阶段性的重点目标，目前只有长期目标，即到2030年基本建成全国统一电力市场。

尽管中国最近公布了其国家层面的《甲烷排放控制行动方案》，并宣布“逐步建立甲烷监测核算报告和核实系统”，但该行动计划并没有设定减排甲烷的量化目标。其它的非二氧化碳温室气体排放方面仍然没有政策上的进展。中国没有在非二氧化碳温室气体排放方面进一步加强MRV体系建设，也没有公布详细的能源使用和碳排放报告。

# 1 引言

2023年，清洁能源与清洁交通运输技术成为中国的一个主要经济驱动因素。中国在光伏、锂电池和电动汽车制造业与三者的供应链上的资本支出拉升了整体投资增长。同时，中国在清洁发电与高速铁路上的投资也相当可观，其中，对后者的投资数目在所有投资类别里名列前茅。

尽管房地产业持续低迷，但清洁能源和清洁技术的扩张为中国的经济总需求和工业活动提供了有力支撑，并为其在2022年底、新冠防疫措施取消后的经济复苏添砖加瓦。虽然清洁能源和清洁技术的扩张在一定程度上推高了今年中国的能源消费总量和二氧化碳排放量，但清洁能源所能带来的红利会在未来几年大幅显现，它不仅有利于中国自身的减排进程，也能惠及从中国进口清洁能源设备（如光伏板、锂电池与电动汽车等）的国家。

中国清洁能源技术的出口持续飙升。虽然这一趋势有利于全球的能源转型，但也引发了一些“过度依赖中国”的担忧。

在防疫措施取消后，中国在石油与电力上的消费在今年出现反弹。同时，降雨量的不足与水力发电的疲软意味着清洁能源的扩张并没有使整体排放量立即下降。2021年，中国的温室气体排放总量达到有记录以来的最高水平，之后在2022年下滑，但该排放量在2023年的前八个月回升到了2021年同时期内的记录最高值。尽管如此，有足够的理由表明，此轮的排放量上升是暂时现象。这不仅因为中国在清洁能源领域的表现令人刮目相看，也因为水电在2023年末与2024年必定会恢复出力，从而帮助降低温室气体的排放量。

2023年也见证了极端气候事件的发生。受干燥冬日的影响，包括北京和其他主要城市在内的中国北方地区在2023年年初遭遇沙尘暴。8月，暴雨影响了水稻的种植过程，凸显了气候变化给中国的粮食安全带来的挑战。

7月，罕见的热浪席卷中国多地，全国的历史高温记录被打破。如此强度的热浪本应每250年才发生一次，但由于全球变暖，该级别热浪如今的发生频率预计为每五年一次<sup>1</sup>。

根据世界上最大的再保险集团（Swiss Re）——瑞士再保险的评估，中国是受气候变化的经济和物理影响最大的国家之一，其排名远远高于欧盟和北美等国家和地区<sup>2</sup>。同时，中国作为世

---

<sup>1</sup> 世界气候归因组织（2023年7月），  
<https://www.worldweatherattribution.org/extreme-heat-in-north-america-europe-and-china-in-july-2023-made-much-more-likely-by-climate-change/>，科学博客

<sup>2</sup> 瑞士再保险研究所（2021），《气候变化经济学》，  
<https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html#chapter-Physical-risks>，科学出版物

世界上最大的温室气体排放国，其能源和气候政策与其面临的、由气候变化造成的严重影响也息息相关。

过去的20年间，中国的温室气体排放量增加了四倍多。这使中国成为这一时期全球排放量增长的主要驱动力。中国在2000至2008年间的碳排放量增长主要被受外向型经济驱动的工业和投资热潮推动。从2009年起，其排放量的增长则由房地产业、基础设施业和工业的扩张驱动。中国的排放量与其国内生产总值（以下简称“GDP”）之比较高，这不仅源于中国重煤的能源结构，也由其严重依赖建筑和能源密集型产业的经济结构所致。如今，中国在清洁能源上快速扩张，同时正脱离有赖重工业驱动的增长模式，两者为逆转中国高排放背后的成因提供了可能。

### 中国在气候方面采取行动的动机

由于中国在国内面临的环保方面的挑战，以及气候变化对其粮食安全、水资源、区域安全的大环境和其他涉及国家安全的关键方面的影响，该国在气候行动中的自我利益非常明显。气候行动也与中国长期的经济和工业目标相符，这些目标包括成为21世纪核心技术上的专业和市场领导者的雄心。

与此同时，中国已经在利用气候行动和气候外交来实现其全球议程。中国希望被看作一个稳定的合作伙伴与解决全球环境问题的重要贡献者。气候政策和气候外交使其能够追求众多外交政策上的目标，例如，塑造国际规则、将自身描绘成一个负责任的利益相关者和重要公共产品的提供者、建立一个多元化世界以及提升其在其他发展中国家和新兴市场中的影响力和存在感。

气候变化对中国的影响包括被削弱的粮食安全、加剧的洪水和其他极端天气事件，如台风。中国的部分沿海地区（比如位于长三角的大型城市和天津）地势低洼，人口异常密集。这意味着，对中国而言，海平面上升的代价将是巨大的。年平均气温的上升或极端高温时间的延长也有助于疟疾和登革热等虫媒传染病的传播和传染。

根据中国气象局的数据，暴雨和极端热浪在中国的发生率已经上升，登陆其海岸的台风的强度也在增加<sup>3</sup>。

农业与其他行业因干旱、洪水和热浪的增加而受到影响。气候变暖已经增加了农作物歉收的可能性。发生在主要农业地区的热浪可能会变得非常强，强到农民可能无法在白天下地工作<sup>4</sup>。

---

<sup>3</sup> 中国气象局（2021），《中国气候变化蓝皮书（2021）》，  
[http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202108/t20210805\\_582404.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202108/t20210805_582404.html)

<sup>4</sup> Kang, S., Eltahir, E.A.B. North China Plain threatened by deadly heatwaves due to climate change and irrigation. Nat Commun 9, 2894(2018), <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05252-y>

保证粮食安全是中国的首要任务之一。因此，气候变化对农业的影响是中国决策层关注气候变化的一个特别重要的原因。

根据公众调查，中国人是最关注气候变化的国人之一。欧洲投资银行（European Investment Bank）发布的第五期气候调查报告显示，91%的中国受访者表示，气候变化对他们的日常生活有影响，该比例高于在欧盟（80%）或美国（67%）的调查结果<sup>5</sup>。

然而，在中国也有反对气候行动和减少化石燃料使用的强大利益集团，包括高度依赖煤炭和煤炭相关产业的省份和国企。

国有煤电和钢铁企业持续对基于煤炭的产能进行投资。煤电和钢铁是中国二氧化碳排放量最大的两个行业。目前还没有迹象表明，两者在煤基产能上的投资会有所缩减。为使中国能在预期的碳达峰轨道上前进，并避免出现不必要的电力和工业产能过剩，煤电和钢铁企业的新投资必须完全转向清洁产能。

尽管如此，值得注意的是，中国通过宣布在2030年之前达到二氧化碳排放峰值和在2060年之前实现碳中和的“双碳”目标、以及支持这些目标的一系列政策，表明了其应对气候变化的决心<sup>6</sup>。

## 中国的政策和承诺

2023年7月，中国主席习近平重申了中国完成其2030年与2060年气候目标的决心。习近平主席指出，中国承诺的“双碳”目标是“确定不移的”。他同时强调，要加快推动中国发展方式的绿色低碳转型，并加快构建新型电力系统<sup>7</sup>。

在2020年宣布了“双碳”目标之后，中国政府便开始着手构建旨在实现碳达峰和碳中和的“1+N”政策体系。

“1”指的是应对气候变化的长期方针，这在2021年10月24日发布的《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》中得到了充分阐述<sup>8</sup>。中国提出了非化石能源消费比重到2025年逐步上升到20%左右、到2030年达到25%左右、到2060年达到80%以上的目标。

---

<sup>5</sup> 欧洲投资银行（2022），《2022-2023年气候调查报告》，<https://www.eib.org/en/surveys/climate-survey/5th-climate-survey/index.htm>，研究报告

<sup>6</sup> 联合国新闻（2020），‘Enhance solidarity’ to fight COVID-19, Chinese President urges, also pledges carbon neutrality by 2060, <https://news.un.org/en/story/2020/09/1073052>，新闻报道

<sup>7</sup> 新华社（2023年7月），《习近平在全国生态环境保护大会上强调：全面推进美丽中国建设 加快推进人与自然和谐共生的现代化》，[https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202307/content\\_6892793.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202307/content_6892793.htm)，新闻报道

<sup>8</sup> 中共中央、国务院（2021），《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》，[http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm)，政策



“N”是指2030年前实现碳达峰的解决方案。2021年10月26日，《2030年前碳达峰行动方案》率先出台<sup>9</sup>。

2021年10月28日，在COP26于格拉斯哥举行的前夕，中国正式将“双碳”目标添加到其国家自主贡献（以下简称“NDC”）目标中<sup>10</sup>。

此后，“N”系列气候相关政策文件相继出台，作为能源、工业、建筑、交通运输等重点领域和煤炭、电力、钢铁、水泥等重点部门的具体政策实施方案。这些文件还包括在科技、碳汇、财税、金融激励等方面的配套措施。

2022年9月22日，中国国家发展和改革委员会（以下简称“发改委”）在“双碳”目标宣布两周年之际表示，中国碳达峰碳中和“1+N”政策体系已经建立，其中包括分行业、分省市的规划<sup>11</sup>。发改委指出，中国的气候行动已经扎实推进，同时承诺：

- 促进可再生能源发展。中国的可再生能源发电装机总量已突破11亿千瓦，中国已成为世界可再生能源发电装机的领导者。
- 推动产业结构调整，并对高耗能、高污染的项目加以限制。与2012年相比，中国的能耗强度（即单位GDP能耗）在2021年下降了26.4%，其碳强度（即单位GDP二氧化碳排放）在同年下降了34.4%。
- 促进建筑部门和交通运输部门的转型。2021年，中国新建的绿色建筑面积达到20亿平方米。中国新能源汽车的保有量占世界总量的一半。

这些努力是否足以让中国实现其碳排放目标？在本份报告中，我们对国际组织和中国国家研究人员发表的文献进行了审阅，确定了一系列反应中国的指标和基准。我们整理了与这些指标相关的历史数据和对未来发展的不同预测，以评估中国的进展。我们还在专家中开展了一次调查，评定他们对中国排放前景的信心。本份报告的第二章介绍中国温室气体排放的来源、历史和驱动因素。第三章介绍符合《巴黎协定》限制全球变暖目标的不同转型路径，我们把这些路径作为评估中国进展的基准。第四章对中国气候转型不同方面的进展与从转型路径中制定的指标和基准进行比较。第五章介绍专家调查的结果。该调查收集了能源和气候领域中资深权威人士的观点和愿景，以此了解他们对当前政策和趋势的看法，以及他们对中国这十年间排放的期望。我们的调查结果和结论会在第六章中体现。

---

<sup>9</sup> 国务院（2021），《2030年前碳达峰行动方案》，[http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content\\_5644984.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm)，政策

<sup>10</sup> 联合国NDC登记库——中国（2021），中国首个NDC（更新提交），<https://unfccc.int/NDCREG>，官方文件

<sup>11</sup> 人民网，2022年9月22日，《国家发改委：两年来我国“双碳”工作实现良好开局》，<http://finance.people.com.cn/n1/2022/0922/c1004-32531849.html>，新闻报道

## 2 了解中国的温室气体排放

### 2.1 排放量的飞速增长

中国是当今世界上最大的温室气体排放国，也是仅次于美国的第二大历史累计排放国。2021年，中国的温室气体排放量占全球的27%<sup>12</sup>，而其人口和GDP同占世界的18%左右。1990年，中国的排放量在全球总量中的占比不到10%，其在此后上升到现今的水平。2010年至2022年间，73%的全球二氧化碳排放增长量来自中国；截至2022年底，中国也是新冠病毒全球大流行开始后、全球唯一一个排放量上升的主要排放国，这要归咎于其迅速与高碳的经济复苏<sup>13</sup>。该国相对GDP的高排放量不仅由其重煤的能源结构导致，也源于其严重依赖建筑业和“烟囱工业”、且能源密集的经济结构。

因此，中国排放的最主要源头为能源和工业流程，特别是钢铁、水泥和其他建筑材料的生产。

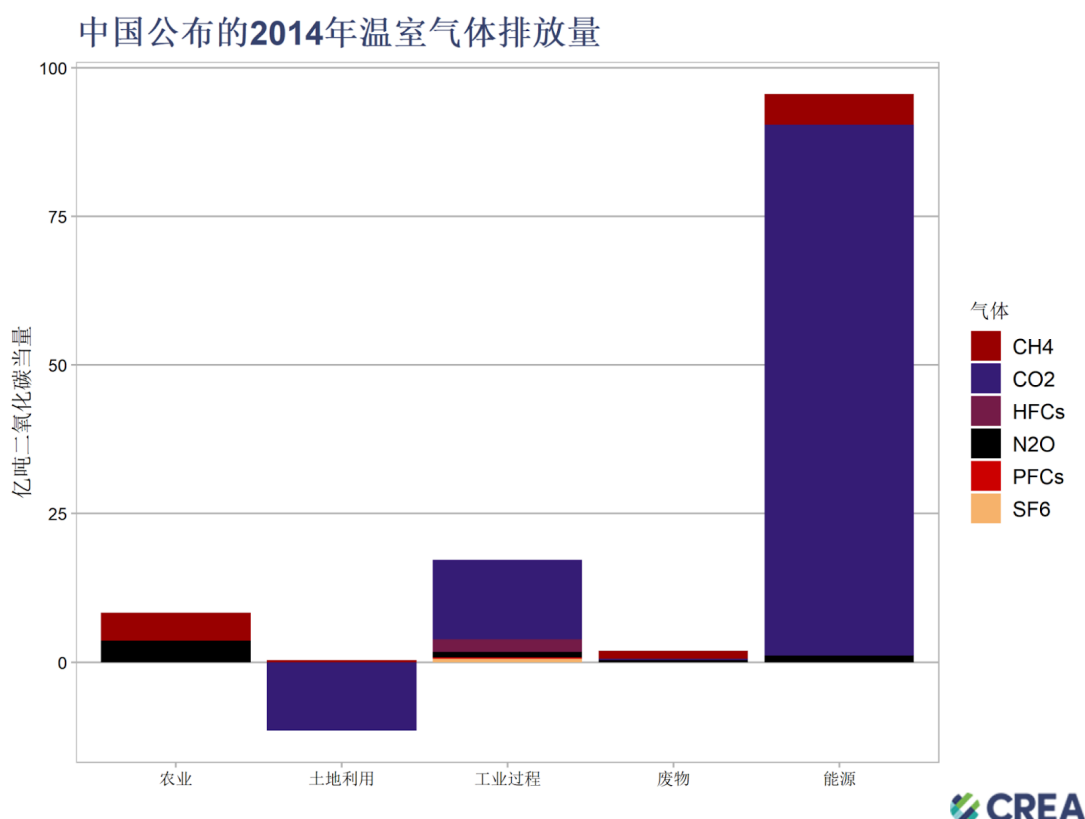


图 1 | 中国公布的2014年温室气体排放量，这也是中国官方至今最后一次发布此数据

<sup>12</sup> Alfredo Rivera, Shweta Movalia, Hannah Pitt和Kate Larsen, 荣鼎集团 (Rhodium Group, 2022年12月), <https://rhg.com/research/global-greenhouse-gas-emissions-2021/>, 研究笔记

<sup>13</sup> Energy Institute. 2023 Statistical Review of World Energy.(2023). <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Research report.

自2009年12月的哥本哈根气候峰会以来，中国就一直在二氧化碳排放和清洁能源方面设有目标。中国为实现这些目标所采取的行动使其在部署可再生能源和核电方面成为全球领头羊，但这还不足以使其化石能源消费的二氧化碳排放量达到峰值。

在2014年，在中国主席习近平与时任美国总统奥巴马共同发表的《中美气候变化联合声明》中，中国首次承诺计划在“2030年左右”实现二氧化碳排放达峰。2020年，习近平主席承诺，中国将努力争取在2060年前实现碳中和，并且二氧化碳排放力争于“2030年前”达到峰值<sup>14</sup>。

21世纪的第一个十年，中国加入世贸组织以后，全国上下掀起了出口和投资的热潮，随之而来的工业和经济的快速增长也促使了的排放量攀升。这股热潮的转折点是全球金融危机的爆发。2008年，中国领导层推出了前所未有的、大规模的基础设施刺激计划，此举推动了2009年至2012年排放量的更快增长。这项计划中的大部分政府支出扶持的是经济结构中能源最密集的部分：建筑业和重工业，特别是钢铁、水泥和其他建筑材料行业。

当经济刺激计划的效果在2013年开始消退时，煤炭、钢铁和水泥的消费量开始下降。习近平总书记发起的“反腐战争”加剧了这种下滑趋势，因为它遏制了地方政府的项目审批和建设的热情。

面对工业经济的放缓，中国领导层的最初反应是将这种改变定位成“经济新常态”的一部分。在“新常态”下，家庭消费、服务和高附加值产业将成为增长的主要动力。也就在这个时候，中国主席习近平和美国总统奥巴马发表了两国的“气候协议”，其中不仅包括中国的二氧化碳达峰承诺，还有两国为《巴黎协定》铺平道路的合作姿态；与此同时，空气污染危机占据了中国国内的头条新闻，它创造了一个独特的、至少在更发达的沿海地区限制煤炭消费的机会窗口。

然而，随着对关键商品和重工业产品的需求和其价格的下降，国有企业在2015年底出现重大财务困境。于是，新一波的经济刺激措施在2015年底启动。在接下来的几年里，在刺激政策的推动下，中国的增长持续。在新冠病毒全球大流行之后，政府为了抵消疫情所带来的经济影响推出了利于供应侧的刺激措施，中国以刺激为驱动的经济增长模式加剧。

由于政府推出的经济复苏政策旨在刺激建筑业和工业（包括出口行业）的产出，这使中国的排放量在2020年底和2021年初激增。根据全球碳计划（Global Carbon Project）的估算，在中国2020年的新增排放量中，有三分之二可归因于贸易隐含排放的上升<sup>15</sup>。这是由于世界各国纷

---

<sup>14</sup> UN Affairs. (2021). China headed towards carbon neutrality by 2060; President Xi Jinping vows to halt new coal plants abroad <https://news.un.org/en/story/2021/09/1100642>. 新闻公告

<sup>15</sup> Friedlingstein, P. et al. (2022): Global Carbon Budget 2022. *Earth System Science Data*, 14, 4811–4900, 2022,

纷推出与疫情相关的经济刺激政策，因此，全球对中国出口商品的需求上升；与此同时，虽然中国自身的政策促进了生产，但却未拉动国内需求的上升。

2021年中，政府为遏制房地产投机与低价建设项目推出了一系列经济政策，其防疫措施愈发严格，清洁能源也开始扩张，因此，中国工业产出的增长趋势开始逆转。2022年底与2023年，中国的排放量止跌回升，其背后原因是由热浪和干旱导致的水力发电量的大幅下降，这致使政府用煤炭作为短期的发电替代方案。与此同时，在“清零政策”被撤销之后，中国的石油消费量也出现了反弹。

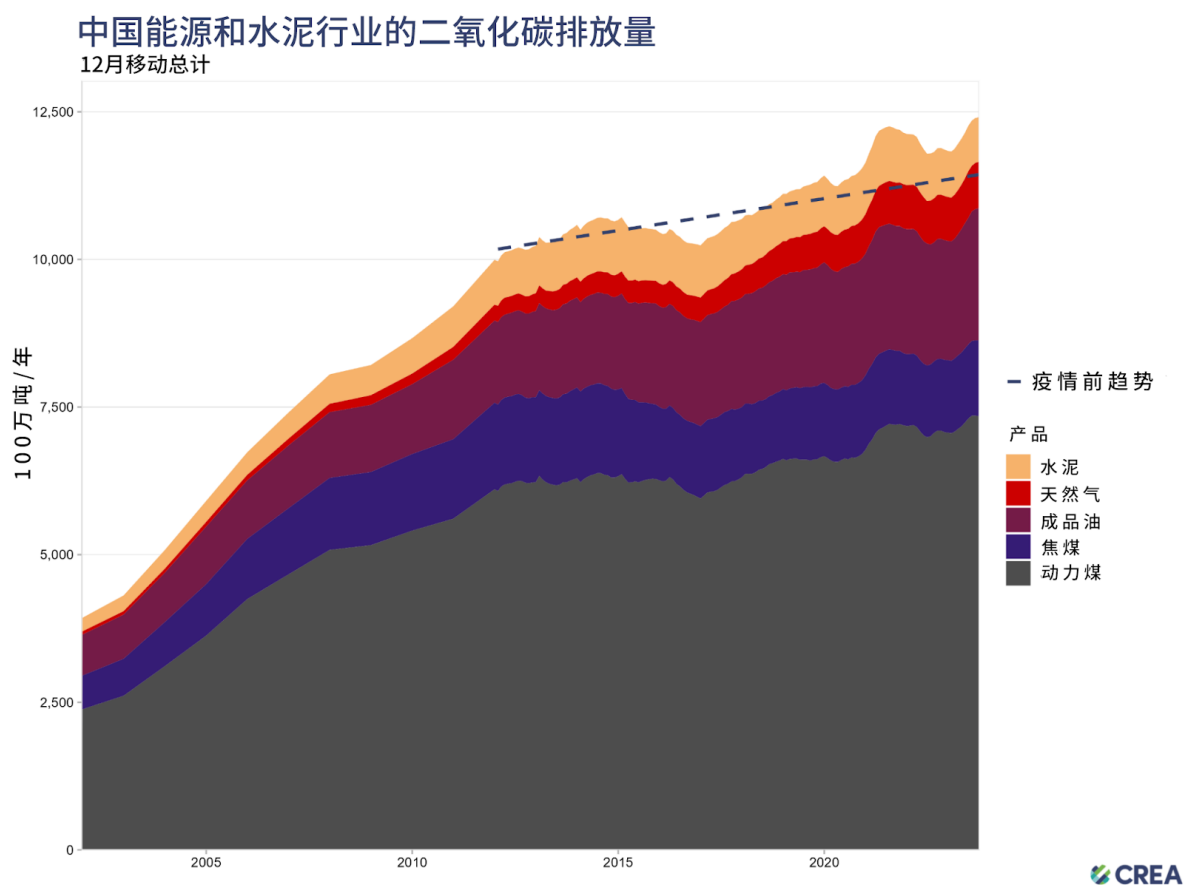


图 2 | 中国能源和水泥行业的二氧化碳排放量（2000年-2023年9月）

<https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.

分行业碳排放量 (1995–2021年)

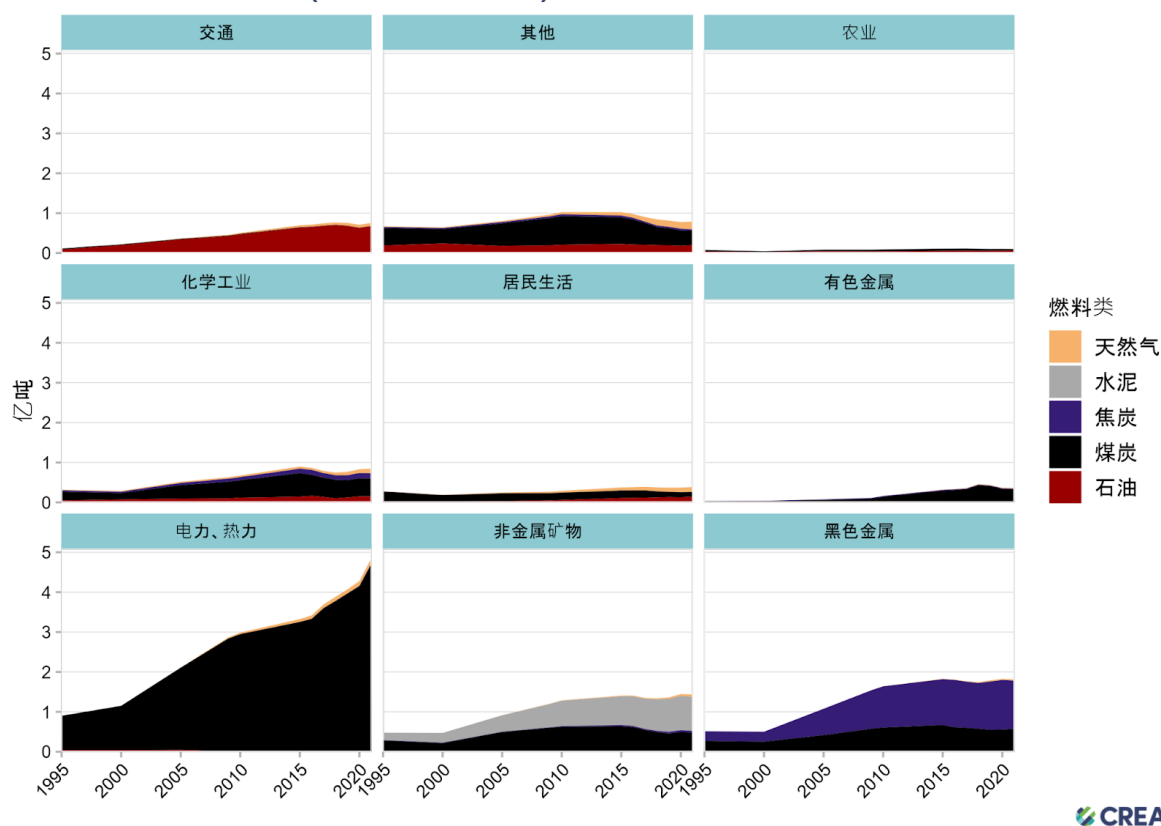


图3 | 中国不同行业由化石燃料造成的二氧化碳排放量 (1995年-2021年)

中国的二氧化碳排放主要来自发电和重工业部门，其中，钢铁、非金属矿物（水泥和玻璃）和化学品这几个行业是最大的工业排放源。值得注意的是，交通运输部门的总排放量和家庭消费部门的总排放量皆低于前述几个行业的单独排放量（图3）。如果将发电部门的排放量分配给消费电力的行业（图4），那么有色金属行业（如铝、铜和镍）则成为主要排放者，原因是该行业的电力需求量很高。

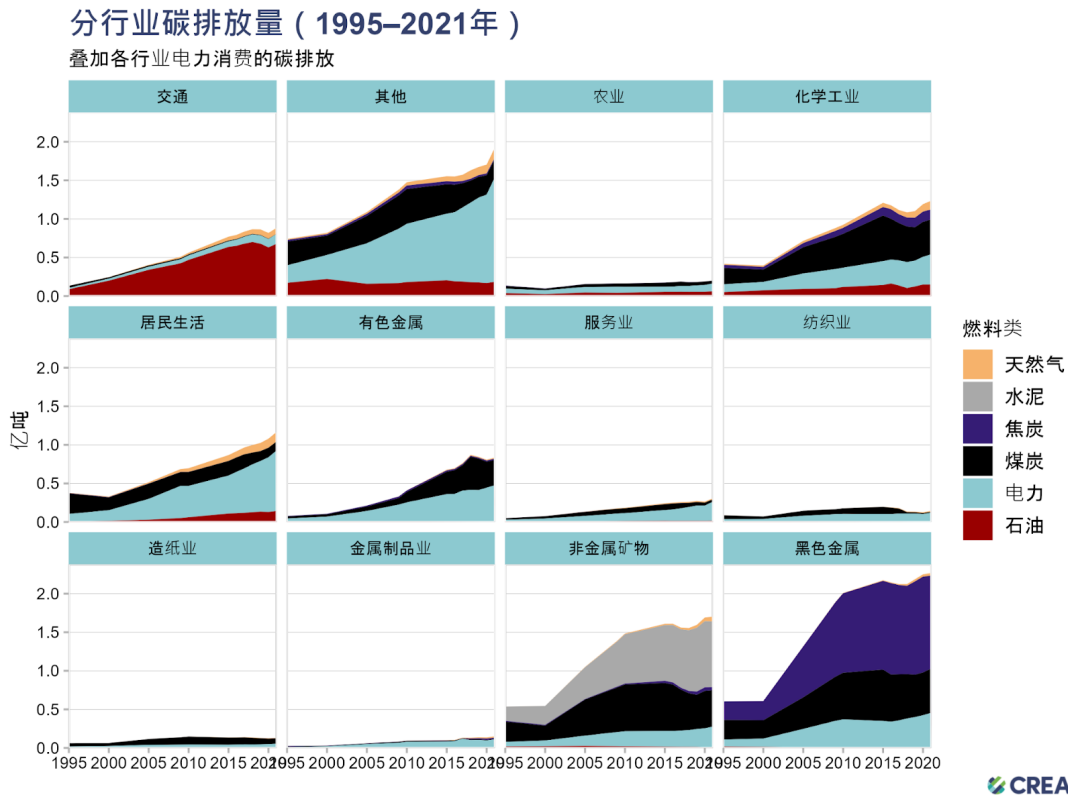


图 4 | 中国不同行业由化石燃料造成的二氧化碳排放量；其中，由发电造成的排放量被计入相应消费端行业的排放量

基于卫星数据做出的估值表明，2010-2017年，中国的甲烷排放量以每年约1.5%的速度增加，且所有排放部门（煤炭、石油和天然气、水稻和畜牧业以及垃圾填埋场和废水）的排放量均在增长<sup>16</sup>。然而，基于一些工业生产（如煤炭生产）的数据生成的排放清单表明，2012至2018年，当中国的煤炭生产增长缓慢或呈现负增长时，其甲烷排放的增长也可能随之放缓或停止。中国甲烷的排放水平和趋势存在着很大的不确定性<sup>17</sup>。

## 2.2 国际背景下的中国排放

中国境内因使用化石燃料而产生的人均排放量在2005年左右超过了世界平均水平，在2013年超过了欧盟的水平。

<sup>16</sup> Zhang, Y. et al. (2022). Observed changes in China’s methane emissions linked to policy drivers <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2202742119>. 研究文章

<sup>17</sup> Liu, G. et al. (2021) Recent slowdown of anthropogenic methane emissions in China driven by stabilized coal production <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.estlett.1c00463>. 研究文章

如果根据商品的消费地、而不是生产地来分配排放量，那么中国的排放量则会低10%左右。换言之，虽然中国大规模的出口行业确实是造成其高排放量的因素之一，但是它的权重比一般人认为的要低。

在2020年，中国基于消费而产生的人均排放量与欧盟的数据相同。

中国基于消费产生的人均排放量与其GDP水平相比较，其原因是中国的能源密集型经济。大多数能源最密集的商品，比如钢铁、水泥和有色金属，均为国内生产、国内销售。此外，中国也是排放密集型商品的主要进口国。暗含在中国贸易中的排放量在2007年全球金融危机前后达到顶峰，此后一直在下降。也就是说，自2008年以来，净出口对中国的排放增长没有任何贡献。

中国气候行动的重点之一是降低其经济的二氧化碳强度，即单位GDP的二氧化碳排放，中国在这方面取得了快速的进步。然而，与其他非经济合作与发展组织（non-OECD）国家的平均水平相比，中国需要降低的起步指数非常高，与发达经济相比差别就更为明显。与其他在过去几十年中实现快速经济增长的新兴经济体相比，中国走的是一条二氧化碳强度远超他人的经济增长轨迹，这是由于其能源结构中的高煤炭比例和能源密集型经济。从2013年以来，中国二氧化碳排放的增长放缓，这使中国与其他新兴国家的二氧化碳强度水平在一定程度上趋同，但与大多数人均GDP水平相近的其他新兴国家相比，中国的人均排放量仍然是它们的两倍以上。

### 中国人均二氧化碳排放

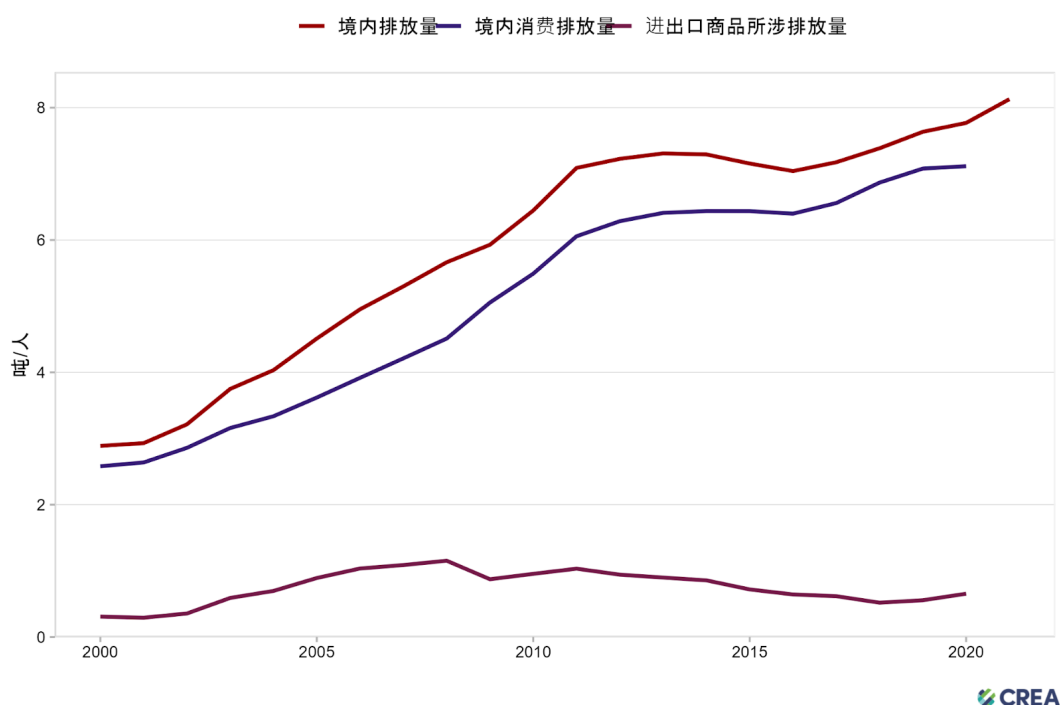


图 5 | 中国人均二氧化碳排放量

## 二氧化碳人均排放比较

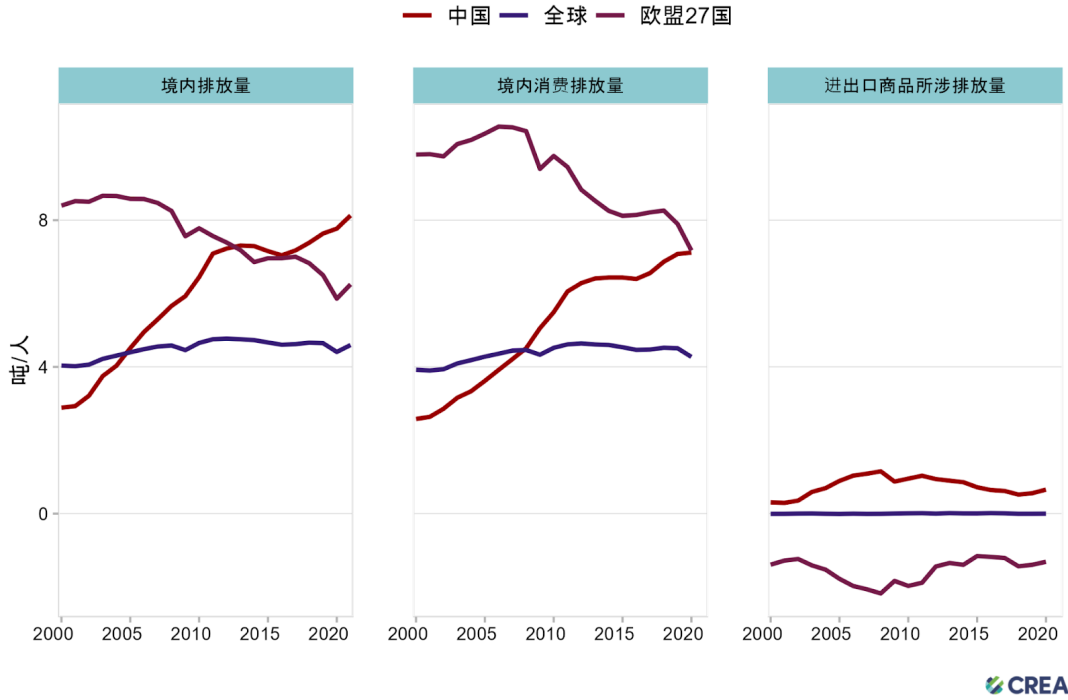


图6 | 中国、欧盟27国和全球的二氧化碳人均排放量比较

## 单位GDP二氧化碳排放比较

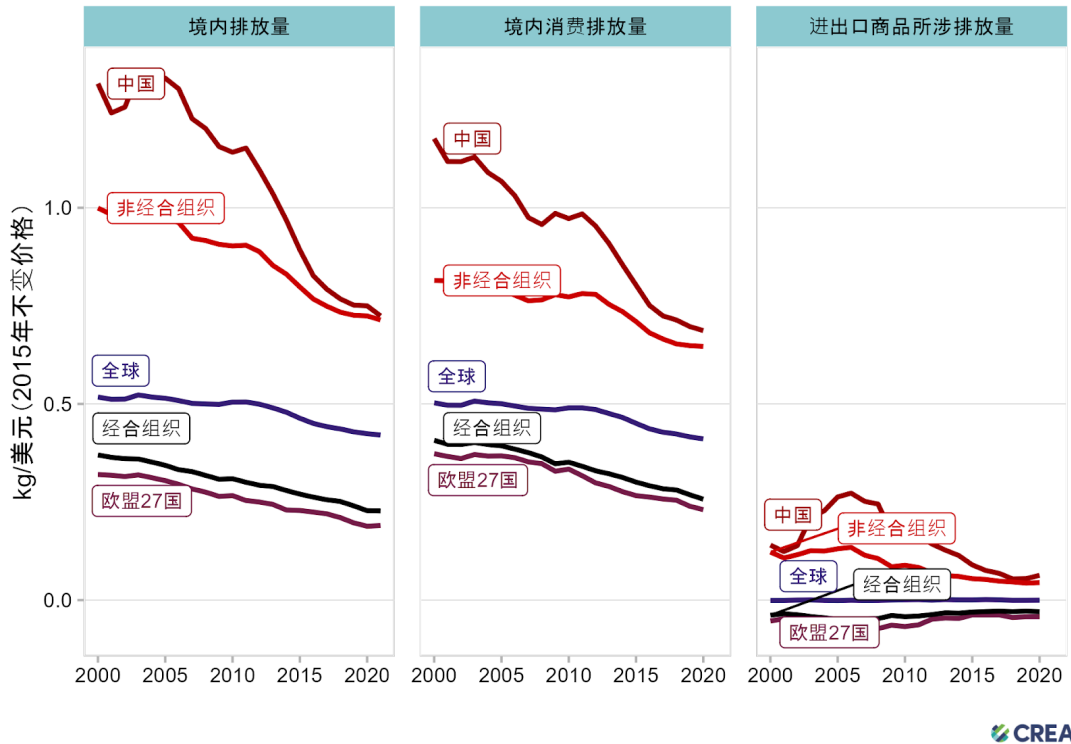


图7 | 中国与不同经济体的单位GDP二氧化碳排放量比较



### 快速增长经济体的二氧化碳排放轨迹

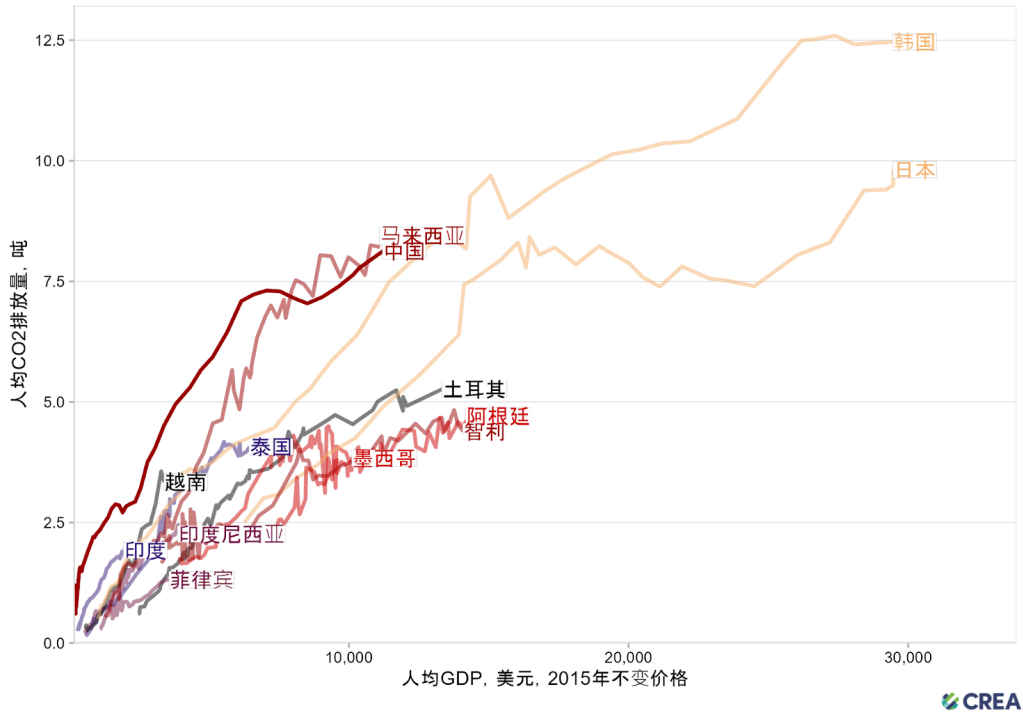


图 8 | 快速增长经济体的二氧化碳排放量轨迹

## 3 中国和世界实现碳中和的路径

### 3.1 概览

要实现《巴黎协定》中把全球气温升幅控制在2°C以下的目标，全球的能源系统、工业、农业和土地利用等各方面都需经历大幅改造。通过使用各种模型，我们可以预测出有哪些方式对实现这些改造最有效并最具成本效益。这些模型整合了众多信息，比如对商品和服务的需求、生产技术及其成本，以及可用资源。

最重要的是，这些模型还提供相互连贯的、且在物理和经济上均为合理的路径，这些路径既能满足全球经济对能源、货物、服务和商品的需求，同时也尊重《巴黎协定》的目标。

为了全面掌握中国和全球可用的路径和解决方案，我们汇总了一系列由以下研究机构编制的、符合《巴黎协定》的气候转型情景：央行与监管机构绿色金融网络（以下简称“NFGS”）、气候行动追踪组织（以下简称“CAT”）、国际能源署（以下简称“IEA”）、清华气候变化与可持续发展研究院、中国人民大学环境学院、生态环境部环境规划院大气环境研究所和电力规划设计总院（联合）、华北电力大学和北京大学（联合），以及能源基金会中国和马里兰大学全球可持续发展中心（联合）。

这些气候转型情景可以作为框架，以支持政策制定者对不同政策手段进行评估、并分析其对技术选择及能源和排放趋势的影响。

同时，我们确定了一套指标，其中包括清洁能源的装机容量和交通运输的石油消耗量。这些指标不仅有纵向的历史对比价值，而且可以帮助我们衡量中国当前的进展，且此衡量方法的细化程度和前瞻性远远超过对年排放量进行分析这一简单方法。我们将情景数据转换为每个指标的基准值，以帮助我们评估该特定指标在现实中的表现是否与气候转型情景相一致。

虽然不同的建议和方案在细节上有所差别，但它们也有显著的共同点：即在所有方案中，中国能源系统脱碳的基本渠道是用电力取代工业、交通和家庭使用的大部分化石燃料，并且用清洁能源来生产电力。这为大举扩张清洁电力的生产量提出了要求。这种清洁发电的扩张大部分通过风能和太阳能实现。在所有的方案预测中，燃气发电量均只有小幅增长。加强森林碳固存和其他土地碳汇在各种方案中也具有重要地位。

在设计不同排放情景时，对经济增长率的假定或预测是一个关键的基础假设。本报告包含的所有路径都假设：中国从2020到2030年间的年平均经济增长率为5.0-5.5%。这使得它们在这方面具有直接的可比性。这一假设速度略低于中国在2015至2019年间报告的、6-7%的年均增长

率，但应比2020至2023年的平均增长率要快（目前世界银行<sup>18</sup>对中国2023年经济增长率的预测为5.6%，据此可测算出2020至2023年的平均增长率为4.8%）。IEA、NGFS和CAT均已根据最新的历史年份数据，更新了各自的气候转型路径。然而最近，各大机构又因中国疫情放开后的疲软经济表现，纷纷下调了对其的增长预测。例如，国际货币基金组织预测，中国的在2023年的经济增长率将为5%，2024年为4.2%，2027与2028年为4%以下，这再次拉低了对GDP增速的平均预期<sup>19</sup>。

然而，不同的方案在某些预测上差别很大，例如对能源需求总量的增长的预测，以及对核电、碳捕集与封存（carbon capture and storage，以下简称“CCS”）、生物质能、化石气和燃煤发电对碳中和目标所起的作用的预估。相比其他方案，清华气候变化与可持续发展研究院（以下简称“清华气候院”）的方案对核电占比的预测更高，而华北电力大学和北京大学（以下分别简称“华电”和“北大”）联合发表的方案预测了更高比例的火力发电。在其他方面，包括CAT以及由生态环境部环境规划院大气环境研究所和电力规划设计总院（以下分别简称“大气环境研究所”和“电规总院”）联合编制的路径，均未将CCS看作是一个技术成熟且具有成本效益的、用以减少二氧化碳排放的解决方案；相比之下，清华气候院、华电和人大环境院等院校机构则都认为，将CCS应用于化石排放是电力部门去碳化的途径之一，而将CCS应用于生物能源则是实现“负排放”和抵消其他部门排放的一种方式。IEA的国际情景和政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change，以下简称“IPCC”）的背景调研均倾向认为，大部分能源效率的经济潜力可以被利用，从而致使总体能源需求的下降。鉴于中国在2021年与2022年加快了批准新煤电项目的脚步，IEA提升了其预测中的煤电发电占比，并预测到2050中国将不能全面停止使用煤电，后者与其在2021年的预测不同。清华气候院的方案考虑了经济和能效潜力的结构变化，因此，对能源需求总量的预测处于低端。能源基金会中国和马里兰大学全球可持续发展中心基于六个不同的模型所制作的情景涉及的领域广泛，基本涵盖其他项目的情景范围。其中，AIM-China和MESSAGEix-China两个模型认为中国的主要发电来源是核能，同时兼顾太阳能与风能，后两者与其他模型类似。

在人大环境学院（以下简称“人大环境院”）的方案中，天然气在未来十年将在电力之外的部门发挥重要作用；同时，天然气的消费量将继续以与过去几年相同的速度增长，直至2030年。相比之下，IPCC和IEA则预测，天然气消费量的增长在本个十年将急剧放缓。然而，

---

<sup>18</sup> 世界银行（2023年6月），Priority Reforms Key for Sustaining Growth and Achieving China’s long-term goals - World Bank Report. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/14/priority-reforms-key-for-sustaining-growth-and-achieving-china-s-long-term-goals-world-bank-report>，研究报告

<sup>19</sup> 国际货币基金组织（2023年10月），中华人民共和国：国家数据，<https://www.imf.org/en/Countries/CHN>. 数据库

在每个情景系列中，如果某个情景以更低的全球温升值为目标，那么它预测出的天然气的使用增长速度会更慢，且其削减的速度也需更快。

除了清华气候院之外，中国其他院校机构公布的大多数方案都没有涵盖二氧化碳以外的温室气体，或最多只是对其他温室气体进行粗略的分析。至于中国的碳中和目标是只针对二氧化碳还是所有温室气体，目前官方说法并未一致。由于关于排放量以及减排方案的可行性和成本的数据稀少，对减排潜力的预估差异很大。然而，非常明确的一点是，如果碳中和的目标针对的是所有温室气体，那么其对二氧化碳减排要求也将更高。这是因为其他温室气体的排放不可能减少到零，而且也没有可预见的解决方案来实现其他温室气体的负排放。同时，其他温室气体在大气中的浓度远远低于二氧化碳的浓度（关于非二氧化碳温室气体的内容，详见4.2章节）。

## 3.2 全球路径

为制定以实现净零碳排放为目标的不同路径，世界各地的机构和大学进行了大量的研究和建模工作。本报告选择了NGFS、气候追踪组织和IEA的研究成果。NGFS的“延迟行动”情景预测，中国在2030年后将进行快速减碳，这与中国的“两个阶段”的发展理念相似（详见3.3.1章节）。气候追踪组织和IEA的数据均为它们对中国做出的预测。

表 1 | 本报告所含全球情景的概述

机构名称	情景	来源
国际能源署	可持续发展 (SDS)	《2022年世界能源展望》 <a href="https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022">https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022</a>
央行与监管机构绿色金融网络	延迟转型	<a href="https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/">https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/</a>
央行与监管机构绿色金融网络	2°C之下	<a href="https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/">https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/</a>
央行与监管机构绿色金融网络	净零2050	<a href="https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/">https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/data-resources/</a>
气候行动追踪组织	1.5度	<a href="https://climateactiontracker.org/countries/china/">https://climateactiontracker.org/countries/china/</a> ; <a href="https://climateactiontracker.org/publications/paris-aligned-benchmarks-power-sector/">https://climateactiontracker.org/publications/paris-aligned-benchmarks-power-sector/</a>
气候行动追踪组织	2度	<a href="https://climateactiontracker.org/countries/china/">https://climateactiontracker.org/countries/china/</a>

### 3.2.1 央行与监管机构绿色金融网络（NGFS）

NGFS是一个致力于推动金融领域在环境及气候风险管理方面发展的团体。该机构与一个全球学术联盟一道开发了一套全球转型路径，旨在分析经济和金融系统所面临的气候风险。该学术联盟的成员包括德国波茨坦气候影响研究所（Potsdam Institute for Climate Impact Research）、国际应用系统分析研究所（International Institute for Applied Systems Analysis）、马里兰大学、气候分析组织（Climate Analytics）、苏黎世联邦理工学院（ETH Zürich）和英国国家经济和社会研究所（National Institute of Economic and Social Research）。这些路径以经济部门和地理区域进行划分，通过三个成熟的综合评估模型（IAMs）生成。这三个模型为GCAM、MESSAGEix-GLOBIOM和REMIND-MAGPIE。这些情景均被纳入IPCC的第六次评估报告（AR6）。

NGFS根据IPCC的社会经济路径和国际货币基金组织的最新经济预测，为六种不同的转型情景提供国家一级的数据。由于这些情景在目标高低上有所不同，所以它们显示出了不同程度的全球变暖以及转型有序度。在几个“延迟行动”情景里，全球从21世纪的第二个十年才开始减排，且减排初期速度较慢，因此在该路径下，全球需要在2030年后更快地减排。“延迟转型”这一情景与2°C的温度目标兼容，但不符合1.5°C的目标。由于这一路径与中国的碳中和计划最相似，我们将其作为中国转型的基准参照。该情景假设，全球排放量在2030年之前不会下降；在2030年之后，它则要求全球排放量迅速减少，以此保证全球有50%以上的机会将气温升幅保持在2°C以下。在该方案下，在本十年的末尾，全球的气温升幅预计将为1.6°C左右（90%的置信区间：1.2°C至2.4°C）。除了在2060年前实现碳中和外，中国还没有对达峰后几十年的减排率做出明确承诺，但若要实现《巴黎协定》的目标，全球需要在2030年后进行快速且尽早的减排。

2022年9月，NGFS发布最新版的一套情景。该套情景反映了调整后的GDP预测、新发布的政策承诺与目标，以及拥有许多新技术和经济参数的更新版模型预测<sup>20</sup>。

---

<sup>20</sup> NGFS气候情景数据库（2022年9月），Technical Documentation V3.1.  
[https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical\\_documentation\\_ngfs\\_scenarios\\_phase\\_3.pdf](https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical_documentation_ngfs_scenarios_phase_3.pdf)，数据库

## 温室气体排放、浓度和升温路径

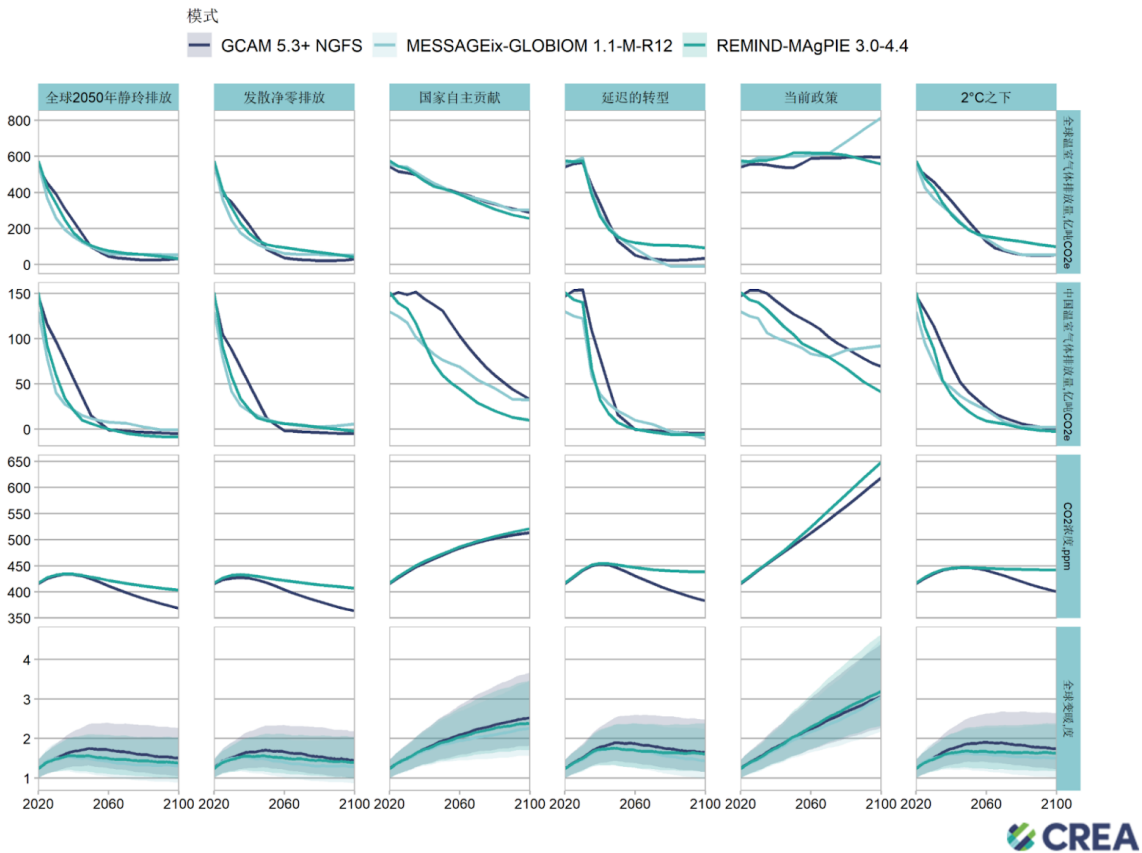


图9 | 中国的排放量、排放浓度和升温路径

### 3.2.2 气候行动追踪组织（CAT）

2020年，CAT发布了名为《与巴黎协定兼容的部门基准》<sup>21</sup>的报告。该报告使用了IPCC在2018年发布的特别报告——《全球升温1.5°C》<sup>22</sup>的1.5°C情景，并以国际能源署发表的2015年数据为基准。报告通过分析电力、交通、工业和建筑四个主要部门的全球水平，确立了这些领域在2030年和2050年的一系列基准。六个国家（巴西、中国、印度、印度尼西亚、南非和美国）与欧盟被选为进一步分析的对象。

<sup>21</sup> Climate Action Tracker. (2020). Paris Agreement Compatible Sectoral Benchmarks. [https://climateactiontracker.org/documents/753/CAT\\_2020-07-10\\_ParisAgreementBenchmarks\\_FullReport.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/753/CAT_2020-07-10_ParisAgreementBenchmarks_FullReport.pdf) 分析报告

<sup>22</sup> IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C <https://www.ipcc.ch/sr15>. 特别科学报告

2023年9月，CAT又发布了名为《清洁电力指日可待：符合巴黎协定的电力部门基准》<sup>23</sup>的报告，为全球范围与16个特选国家的电力部门提供了基准，且这些基准符合1.5°C升温限制目标。中国与其他15个国家因为它们在全球的发电占比、电力部门排放的规模、地缘重要性，以及地理和经济的多样性被选中，成为分析对象。在该报告中，CAT通过对IPCC评估过的最新全球路径进行国别分解分析，并深入审阅了各国有关电力系统的建模研究，从而发布了煤炭、天然气和可再生能源在这些国家的未来占比基准。

### 3.2.3 国际能源署（IEA）

IEA的评估无疑以能源为重点，但其也包括工业、交通运输和建筑这三个部门。电力部门是当今与能源相关的二氧化碳排放的最大来源。能源系统的去碳化也是实现将全球变暖限制在1.5°C目标的关键。同时，通过电气化实现其他部门的去碳化需要依赖来自无碳发电源的电力。IEA已经出版了一系列报告，以研究各国和各地区为实现能源系统的净零排放所需的技术和政策。

IEA的旗舰报告——《世界能源展望》（World Energy Outlook）以2050年前全球实现净零排放为分析目标，解释了全球在2030年前需要采取的行动<sup>24</sup>。我们使用了《世界能源展望》中的“承诺目标”情景（Announced Pledges Scenario, APS）作为中国的基准，因为报告中的另一情景——“碳中和”不包括对中国的分类预测。承诺目标情景假设，各大政府宣布的所有愿景与目标均按时足额实现，因此，其符合中国的长期碳中和目标。

相比《2021年世界能源展望》，2022年版报告中的承诺目标情景预测了更大的减排幅度，这反映的是过去一年中各国的更新NDC目标与净零排放承诺。

## 3.3 中国的路径

将全球气温升高幅度控制在1.5°C这一目标转化成为各个国家的排放目标和路径是一个复杂、具有挑战性、且往往会引发争议的过程。不同的国家和研究人员强调以各国目前的人均排放量、经济发展水平和人均收入、历史责任以及行动能力作为决定不同国家应承担多少的关键因素。鉴于中国的排放量占到全球排放量的近四分之一，以及中国在全球排放量增长中的主导地位，如果要想实现全球目标，中国碳达峰和碳中和的必要性和重要性不言而喻。

---

<sup>23</sup> Climate Action Tracker. (2023). Clean electricity within a generation: Paris-aligned benchmarks for the power sector. [https://climateactiontracker.org/documents/1159/CAT\\_2023-09-19\\_Briefing\\_ParisBenchmarks\\_PowerSector.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/1159/CAT_2023-09-19_Briefing_ParisBenchmarks_PowerSector.pdf). 研究报告

<sup>24</sup> IEA. (2021). World Energy Outlook. <https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>. 研究报告

在2020年9月中国宣布其碳中和的目标之后，许多中国的研究机构都发布了帮助中国实现该目标的建议和路径。我们汇编了一些具有代表性的路径，作为本报告的基础，表2整理了所有这些路径，包括它们的全名和出处。我们关注的第一组路径由清华大学的何建坤教授、张希良教授以及他们的团队在中国的碳中和目标宣布不久之后发表。他们的先期研究很可能为中国决策层最初制定碳中和目标与选择碳中和的目标年份提供了信息；而中国现任的气候特使解振华是该清华研究项目的总指导，他在说服领导层采用该目标上应该起到了一定的作用。因此，清华发表的这些路径可以被看作是中国宣布碳中和目标时，最接近官方层面计划的研究。在中国，没有其他研究能像清华气候院的研究那样全面，且该院的研究往往倾向于关注单一部门。该院最近的研究反映的是碳中和目标宣布以来、中国在能源趋势和政策环境方面的变化。

表 2 | 本报告所包含的中国研究方案的概述

机构名称	情景	来源
清华大学气候变化与可持续发展研究院	1.5度	《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》 <a href="https://www.efchina.org/Reports-en/report-lce-g-20210711-en">https://www.efchina.org/Reports-en/report-lce-g-20210711-en</a>
清华大学气候变化与可持续发展研究院	2度	《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》 <a href="https://www.efchina.org/Reports-en/report-lce-g-20210711-en">https://www.efchina.org/Reports-en/report-lce-g-20210711-en</a>
人民大学环境学院	1.5度	《1.5°C温升目标下中国碳排放路径研究》，王克等著（2021） <a href="http://www.climatechange.cn/CN/10.12006/j.isn.1673-1719.2020.228">http://www.climatechange.cn/CN/10.12006/j.isn.1673-1719.2020.228</a>
人民大学环境学院	2度	《1.5°C温升目标下中国碳排放路径研究》，王克等著（2021） <a href="http://www.climatechange.cn/CN/10.12006/j.isn.1673-1719.2020.228">http://www.climatechange.cn/CN/10.12006/j.isn.1673-1719.2020.228</a>
华北电力大学和北京大学	多源协同的加速电气化 (图表中简称“加速”)	《电力部门碳排放达峰路径与政策》 <a href="https://mp.weixin.qq.com/s/AUXybE5neN-jxCah7APZoA">https://mp.weixin.qq.com/s/AUXybE5neN-jxCah7APZoA</a>
华北电力大学和北京大学	新能源领跑的常规电气化 (图表中简称“新能源”)	《电力部门碳排放达峰路径与政策》 <a href="https://mp.weixin.qq.com/s/AUXybE5neN-jxCah7APZoA">https://mp.weixin.qq.com/s/AUXybE5neN-jxCah7APZoA</a>



机构名称	情景	来源
生态环境部环境规划院大气环境研究所和电力规划设计总院	基准情景：高电力需求，能源结构趋势与“十三五”期间相同	《中国电力行业二氧化碳排放达峰路径研究》 <a href="http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24">http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24</a>
生态环境部环境规划院大气环境研究所和电力规划设计总院	低碳情景：高电力需求，最大限度地利用可再生能源，降低煤炭消费	《中国电力行业二氧化碳排放达峰路径研究》 <a href="http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24">http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24</a>
生态环境部环境规划院大气环境研究所和电力规划设计总院	强化方案：低电力需求，最大限度地利用可再生能源，降低煤炭消费	《中国电力行业二氧化碳排放达峰路径研究》 <a href="http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24">http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24</a>
能源基金会中国和马里兰大学全球可持续发展中心	基于中国的国家自主贡献	《中国碳中和综合报告2022之电气化专题报告》 <a href="https://www.efchina.org/Reports-zh/report-sn-p-20221104-zh?set_language=zh">https://www.efchina.org/Reports-zh/report-sn-p-20221104-zh?set_language=zh</a>

## 各转型路径2050年一次能源消费总量

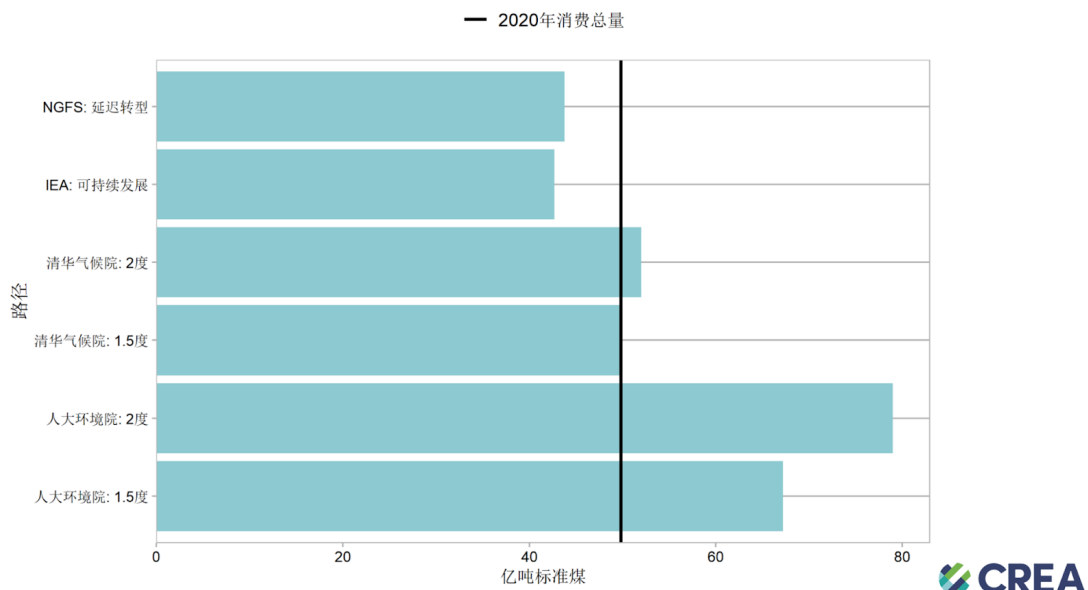


图 10 | 不同路径对2050年中国一次能源消费总量的预测

## 各转型路径2050年发电装机容量

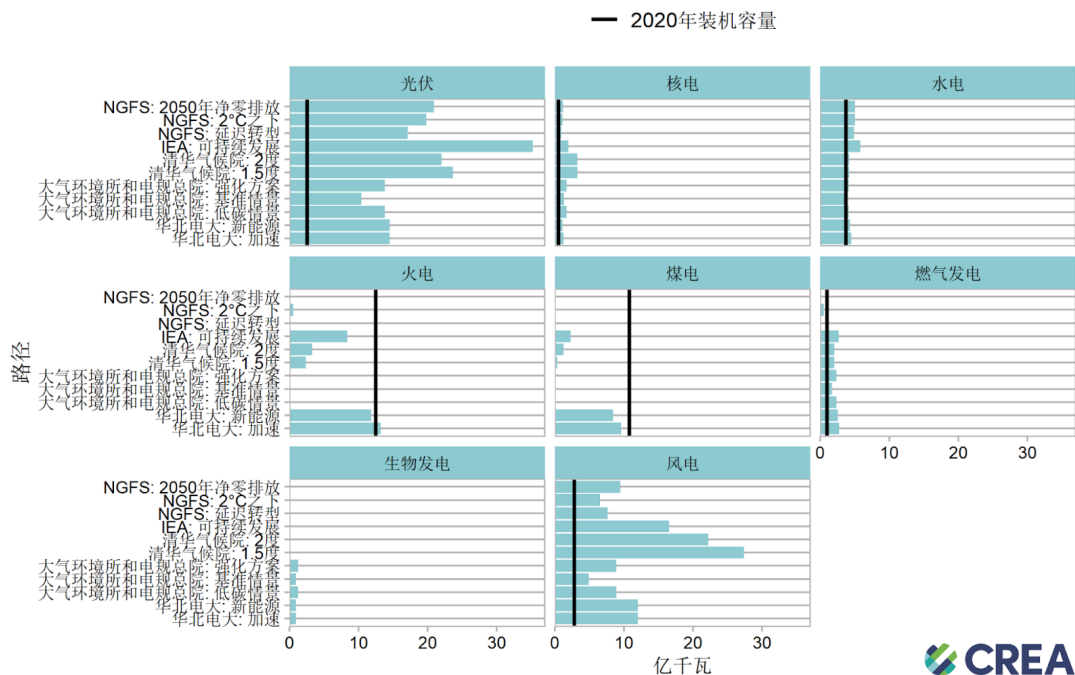


图 11 | 不同路径对2050年中国发电装机容量的预测

### 3.3.1 清华气候变化与可持续发展研究院 (ICCS)

从2019年初开始，清华气候院与中国国内十余家研究机构合作，启动了名为“中国长期低碳发展战略与转型路径”的研究项目<sup>25</sup>，其有18个子项目。该研究项目的成果在2021年以综合报告的形式出版。

清华气候院的研究将中国的长期低碳转型之路分为两个阶段。在第一阶段，即2020年到2035年，转型的重点是在符合国家社会和经济发展目标的前提下，对《巴黎协定》规定的NDC进行实施与强化。在第二阶段，即2035年到2050年，转型将实现对能源和经济领域的深度脱碳，并在建设一个强大的社会主义现代化国家的同时，到2050年使国家的减排途径与2°C和1.5°C的全球温升控制目标保持一致。

该报告分析了长期去碳化目标所驱动的减排路径、技术支持、成本和价格。该研究基于四个情景，即政策情景、强化政策情景、2°C情景和1.5°C情景。我们在本报告中选择了该研究的1.5°C和2°C情景的数据，它们均符合《巴黎协定》和全球净零目标的要求。

该研究中提出的2°C情景以将全球变暖控制在2°C以内作为目标，同时还将人均二氧化碳排放量的目标设为到2050年不超过1.5吨（相比之下，此数值在2020年为8.4吨）。该研究的1.5°C情景则基于将全球气温上升幅度限制在1.5°C、同时到2050年实现二氧化碳净零排放和其他温室气体排放大幅减少这一目标。1.5°C和2°C情景均为“理想”情景，它们要求中国的能源系统和经济发展模式进行快速的改变，以与近期的减排速率一致。考虑到中国立即完成碳达峰将面临的实际的经济与政治挑战，清华气候院进一步设计了在1.5°C和2°C<sup>26</sup>情景下、在“目标导向”（即推迟达峰）下的变体路径。它们假设中国的二氧化碳在本个十年的末期才达到峰值，从而为本个十年中国的经济发展让道、也使其经济模式可以逐步地进行转变（这两步合称为“两个阶段发展”）。在这些变体路径下，中国从现在到2030年将强化实现自己目前的NDC承诺，从2030年开始加速碳减排和能源系统转型，并在2050年实现净零碳排放。

### 3.3.2 人民大学环境学院 (SENR-RMU)

根据1.5°C目标的深度减排要求和技术特点，人大环境院的王克等学者对现有的能源系统模型PECE-LIU2020进行了修改，对其增加了氢能以及生物能源与碳捕获和储存（bioenergy with carbon capture and storage，以下简称“BECCS”）的能源模块。研究团队再利用升级后的

---

<sup>25</sup> 清华气候院（2021），《中国长期低碳发展战略与转型路径》，<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-2524-4>，学术报告

<sup>26</sup> He, J. et al (2022). Towards carbon neutrality: A study on China's long-term low-carbon transition pathways and strategies. *Environmental Science and Ecotechnology*. Vol 9. 100134. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498421000582>，科学文章

模型，对中国在1.5°C和2°C目标情况下的长期二氧化碳减排要求、各部门贡献和关键减排措施进行研究<sup>27</sup>。

人大环境院的1.5°C和2°C情景的概念均与IPCC一致，但路径的设定基于中国的国情。与清华气候院的两阶段转型类似，在人大环境院的2°C情景下，中国将在现有的NDC的目标基础上采取强化减排措施，力争尽快实现碳达峰，之后通过加强政策加速减排进程，到2050年实现2°C目标。同样在此2°C情景下，已经成熟和处于示范阶段的低碳技术（例如电动汽车、风能和太阳能）将得到快速发展。碳捕获、利用和储存（carbon capture, utilisation and storage，以下简称“CCUS”）技术的示范将被加速，以为2030年后的部署做准备。

在人大环境院的1.5°C情景下，为实现更严格的碳减排目标，中国不仅将需要尽早碳达峰，同时还要加快碳减排，使到2050年的累积碳排放量满足1.5°C温控目标下的中国排放轨迹区间。在这一情景下，中国需要加快技术改造和创新、快速发展氢能和BECCS技术、提高能源系统效率，并使钢铁、化工、公路货运和电力部门实现深度脱碳。

该1.5°C和2°C情景都要求中国加强碳减排，并在2025年前碳达峰。参照2005年的水平，在该研究的2°C和1.5°C情景下，到2030年，中国分别需要分别减少73%和75%的碳排放量。

### 3.3.3 生态环境部环境规划院大气环境研究所（CAEP-IAE）和电力规划设计总院（EPPEI）

大气环境研究所和电规总院共同建立了一个预测模型和一组影响参数与因素，以研究不同情景下中国电力部门实现碳达峰的途径。该研究的影响参数包括经济和社会发展、电力需求、电源结构和发电的标准煤耗率。该研究阐述了以下三种情况<sup>28</sup>：

在基准情景下，电力结构将与第十三个五年（即2016至2020年，以下简称“十三五”）规划期间相同，以满足高速增长电力需求；发电标准煤耗冻结在现有水平。

在低碳情景下，为了保持发电量的高速增长，中国必须最大限度地提高非化石燃料能源的发电量，但该非化石发电量的提高需要考虑到不同发电源的潜力、建设周期、能源价格和其他因素的限制；发电标准煤耗将以与“十三五”期间相同的速度下降，即每年减少2克/千瓦时；火力发电厂为适应非化石能源需要更加灵活的运行，而这往往又会降低发电的热效率。考虑到这一点，研究团队假定发电的煤炭消耗量每年将下降1克/千瓦时，并从2020年的289克/千瓦时分别在2025年、2030年和2035年降至286、280和275克/千瓦时。

<sup>27</sup> Wang, K. et al.(2022). Research on China's carbon emissions pathway under the 1.5°C target. <http://www.climatechange.cn/CN/10.12006/j.issn.1673-1719.2020.228>. 研究文章

<sup>28</sup> Wang, L. et al. (2022). Pathway of carbon emission peak in China's electric power industry. <http://www.hjkxyj.org.cn/en/article/doi/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.24>. 研究文章

在强化情景下，燃煤电厂热效率的提高速度与低碳情景相同，非化石燃料的发电量被最大化；此外，将有措施降低电力需求的增长速度。

### 3.3.4 华北电力大学（NCEPU）和北京大学（PKU）

由华电和北大联合开发的转型路径基于以下理解：中国将在2030年实现碳达峰，而且电力部门是完成这一任务的关键。袁家海教授和他的团队在结合各种宏观经济指标的趋势后预计，中国在2021年至2035年期间的全国电力需求将由电力、工业、建筑和交通部门的电气化驱动<sup>29</sup>。

为了满足不同电气化进程下的电力需求，该研究设计了三条路径来讨论低碳电力系统转型可能面临的情况以及电力部门碳达峰的路径。研究预测了不同方案下的碳达峰时间。我们在此报告中选择了该研究的“多源协同的加速电气化”和“新能源领跑的常规电气化”两条路径，并在下文分别将其简称为“加速”和“新能源”路径。华电和北大建议，“加速”路径是进行碳达峰的最有效方法。

在加速电气化的情况下，到2030年，非化石燃料能源发电量占比超过50%，且风、光装机量达到12亿千瓦的目标。煤炭发电量将在2025年达到峰值，峰值为5.2万亿千瓦时（相比之下2020年的煤炭发电量为4.9万亿千瓦时）。煤电的作用从发电主力向辅助非化石能源的调峰功能转变。在这种情况下，电力行业的碳排放将在2025年左右达峰。

### 3.3.5 能源基金会中国（EFC）和马里兰大学全球可持续发展中心（CGS-UMD）

《中国碳中和综合报告2022之电气化专题报告》<sup>30</sup>由能源基金会中国领衔，美国马里兰大学全球可持续发展中心进行协调，并集结了来自九个研究机构的21位专家的贡献。该多方协作项目深入研究了电力部门为助力碳中和目标的实现、所需进行的脱碳进程。研究团队对若干个国家或全球层面的模型进行了综合分析，并确立了电气化与相关的电力系统转型在中国实现“双碳”目标进程中的角色。涉及的模型包括China DREAM、China TIMES、GCAM-China、MESSAGEix-China、AIM-China、PECE\_LIU\_2021和PECE V2.0。该报告设置了两种情景：“基于原始NDC的碳中和”和“基于更新NDC的碳中和”。我们以上述七个模型结果的中位值作为基准。

---

<sup>29</sup> 袁家海等（2021），《电力部门碳排放达峰路径与政策》，<https://mp.weixin.qq.com/s/AUXybE5neN-jxCah7APZoA>，研究文章

<sup>30</sup> 能源基金会中国（2022年11月），《中国碳中和综合报告2022之电气化专题报告》，[https://www.efchina.org/Reports-zh/report-snp-20221104-zh?set\\_language=zh](https://www.efchina.org/Reports-zh/report-snp-20221104-zh?set_language=zh)，研究报告

我们的报告关注了“基于更新NDC的碳中和”的情景。在此情景下，中国到2060年将实现温室气体的净零排放，中国的碳达峰也会在2030年前实现，两者皆符合中国在2021年10月所更新的NDC。与此不同的是，“基于原始NDC的碳中和”情景默认中国的二氧化碳排放量不会在2030年达峰。

## 4 衡量和对标中国的进展

要使整个中国的经济实现碳中和是一项艰巨的任务，涉及从清洁能源的生产到电气化、从控制能源消费的增长到转变生产过程与运输方式等方方面面的工作。本报告所收集的转型路径能帮助我们把这个巨大的动作分解为细化目标，分别指向的是每个关键排放部门所需要进行的具体转变。

本节将中国的排放、能源结构、发电装机容量、电气化率和其他重要指标的发展与不同转型路径所得出的基准进行比较。我们的方法是将每个指标的年度变化与不同路径下、2020年至2030年所需的变化率进行对照评估，从而测评这些指标是否已经符合基准，或正在取得进展并有望达到基准。该评估的设计方式使得我们能每年对同样的指标进行复评并报告相应的进展。

### 4.1 二氧化碳排放总量

#### 2023年亮点

- 中央政府通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》。
- 构建碳排放MRV体系（即monitoring, reporting and verification，监测、报告和核查）与碳排放统计体系是实施碳排放双控的基础。
- 《生态系统碳汇能力巩固提升实施方案》的发布旨在评估中国生态系统的碳储量基数，识别碳汇增加的潜力，以及构建与国际接轨的碳汇计量体系。
- 中国的碳交易预计将扩展至电力部门以外的行业；同时，国家核证自愿减排量预计将在2023年年底前重新启动。
- 对于低碳与零碳技术的有力支持。

为了与1.5°C的目标相一致，即使假设中国在2030年后采取非常强有力的减排措施，中国的二氧化碳排放量也应在2025年达到峰值。考虑到立即碳达峰在中国有实际的经济和政治的挑战，清华气候院进一步设计了1.5°C和2°C<sup>31</sup>的“目标导向”（即推迟达峰）情景。它们假设中国的二氧化碳在本个十年的末期才达到峰值，从而为本个十年中国的经济发展让道、也让

<sup>31</sup> He, J. et al (2022). Towards carbon neutrality: A study on China's long-term low-carbon transition pathways and strategies. Environmental Science and Ecotechnology. Vol 9. 100134, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498421000582>. 科学文章

其经济模式可以逐步地进行转变（这两步合称为“两个阶段发展”）。在这些路径设计下，中国从现在到2030年将强化实现自己目前的NDC承诺，从2030年开始加速碳减排和能源系统转型，并在2050年实现净零碳排放。

相比其1.5°C和2°C情景，清华气候院的“推迟达峰”情景在本个十年内的目标更为保守。例如，在1.5°C“目标导向”情景下，中国的二氧化碳排放量到2025年达峰，且其排放量从2020年的102亿吨上升到峰值时期的104亿吨，并在2030年前保持在同一水平，到2050年急剧下降至17亿吨。在1.5°C“目标导向”情景下，中国2050年至2060年间的二氧化碳排放量将与1.5°C情景下的水平趋同，但前者的累计排放量更高（详见表3）。相比之下，在“理想的”1.5°C和2°C情景下，中国的二氧化碳排放量应在2020年以102亿吨达峰，到2030年分别下降到74亿吨和94亿吨，并在2050年分别降至15吨和29吨。在CCUS和农林碳汇的帮助下，该组路径将使得中国到2050年实现二氧化碳的净零排放。

**表 3 | 清华气候院的1.5°C、1.5°C“目标导向”和2°C路径下的二氧化碳排放量 (He et al., 2022)**

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
二氧化碳排放量 (单位: 10亿吨二氧化碳)	1.5°C	10.2	9.3	7.4	6	4.2	2.7	1.5
	1.5°C目标导向	10.2	10.4	10.4	7.7	5	3	1.7
	2°C	10.2	10.1	9.4	8.1	6.4	4.3	2.9
单位GDP二氧化碳排放量的年度下降 (单位: %)	1.5°C	4.3	7.1	8.9	8.5	10.3	11.3	14.3
	1.5°C目标导向	4.3	4.1	4.1	8.2	9.3	10	10.4
	2°C	4.3	5.5	6.1	7.2	8.4	10.7	10.1
与2005年相比的下降幅度 (单位: %)	1.5°C	50.6	65.8	78.5	86.2	92	95.6	98
	1.5°C目标导向	50.6	60.3	68.4	81.3	90	95	97.6
	2°C	50.6	62.8	72.8	81.2	87.9	93.1	96



## 4.1.1 对标基准的趋势

二氧化碳排放的年度变化 (排除天气影响后)

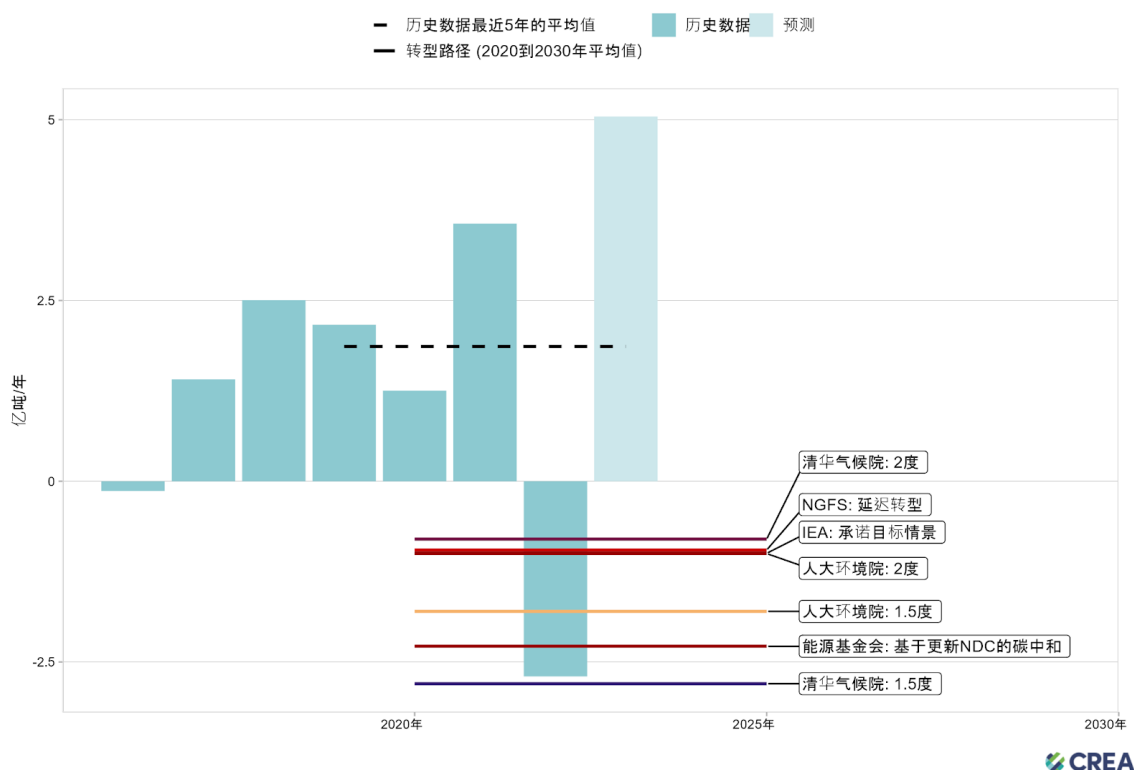


图 12 | 中国二氧化碳排放的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

中国的二氧化碳排放量从2016年至2021年每年都在增长，虽然其增速要远低于2013年之前的水平。然而，该上升趋势在2021年夏天发生逆转，致使中国2022年的二氧化碳排放量出现了下降（虽然具体下降程度仍属于未知）。由于干旱造成的水电出力不足与疫情放开后的排放量反弹，中国2023年的排放量再次上扬。所有的转型路径都要求中国的排放量在2020年至2030年期间下降。这意味着排放量必须在2030年之前几年就实现达峰，且在达到峰值后就开始下降。同时，所有转型路径都要求，从2030年开始，中国排放量的下降速度要立刻大大快于2020年至2030年间的下降速度，从而达到路径预期的温升目标。

我们预计，中国在2022年至2023年间的排放量增长率几乎为零。该预测标志着中国正朝着与《巴黎协定》相符的控排目标前进。

## 4.1.2 现行政策

目前，二氧化碳排放量的增长受限于多重因素，包括2025年和2030年的二氧化碳强度和非化石能源目标、2025年的能源强度目标和二氧化碳排放力争于“2030年前”达峰的承诺。然而，这

些指标也为二氧化碳排放在2020年至2030年的大幅增加留出了余地。假设这个十年中国的年平均GDP增长率为5%，那么它的二氧化碳排放在这十年间将可以最多增长15%。到本十年末期，排放量可能增加得更多，随后下降，以达到预期峰值目标和2030年的目标。由于中国对碳达峰之后的减排速度没有任何量化目标，这使得其从达峰到在2060年前的某个时间点实现碳中和期间的排放轨迹变得十分不可预测。这使得我们很难估计中国未来几十年的累计排放量与该国是否正在实现碳中和目标的轨道上。

### 中国的指示性排放路径, 2022–2060年

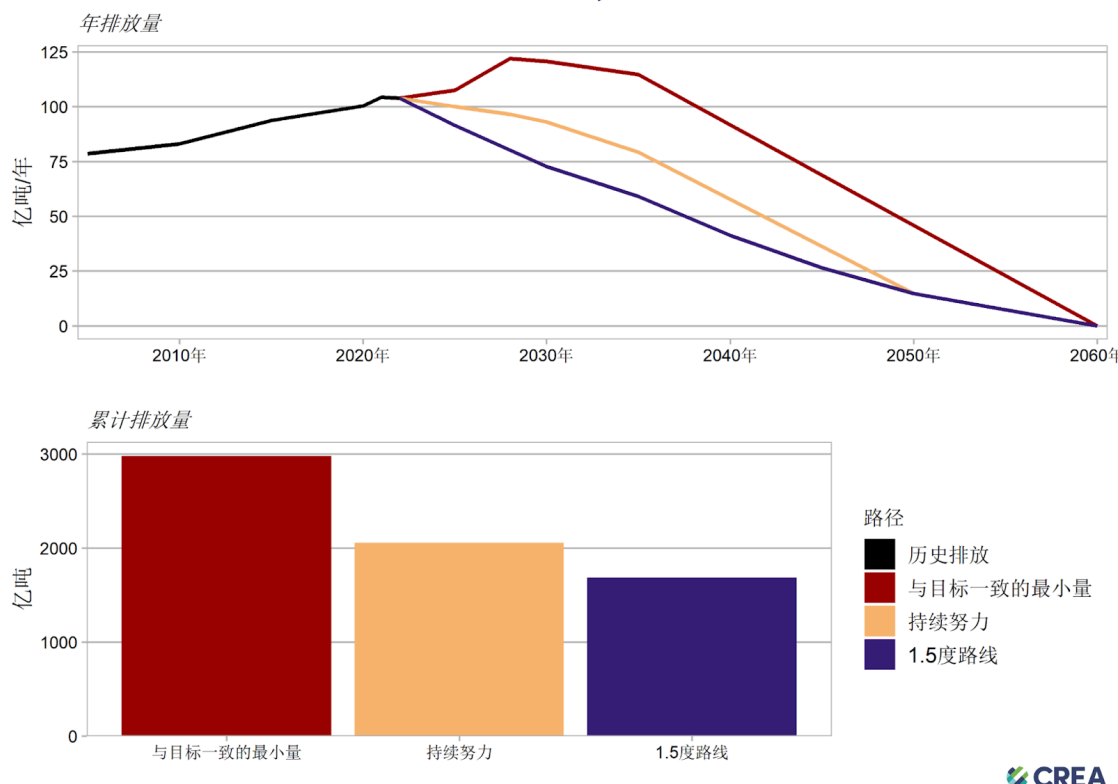


图 13 | 中国的指示性排放路径

数据来源：2020年及以前的二氧化碳排放量数据来自《bp世界能源统计年鉴》；能源与清洁空气研究中心的分析

中国目前的气候承诺可导致非常不同的二氧化碳排放结果。上图中，“目标所要求的最低限度（minimum required by targets）”路径表示的是中国在同时满足其2025年和2030年二氧化碳强度目标以及在2030年前碳达峰的承诺前提下、排放量将达到可能最高值的路径。在该路径下，中国的排放量在2030年后缓慢地、逐渐地下降，但需要在21世纪的第四和第五个十年进行非常快速下降。虽然该路径不违反中国的现行承诺，却可导致了大量的累积排放，且不易于为实现未来20年长期目标树立信心。“长期努力”（consistent effort）路径显示了为实现碳中和的目标、排放量在2025年前达峰并经过平台期，在此之后开始下降。该路径避免了达

峰后几十年间所需的急速减排过程。实现上图中的“1.5度”（1.5-degree）路径将极具挑战性，但这是中国和其他国家在《巴黎协定》基础上应该努力的方向。

如果人类希望保持有50%的机会将全球气温升幅保持在1.5°C以下，那截至2023年1月，地球剩余的碳预算为2500亿吨；而如果想有66%的机会将全球气温升幅保持在2°C以下，那地球在同一截至月所剩余的碳预算则为9400亿吨<sup>32</sup>。这意味着，在“目标所要求的最低限度”这一路径设计下，仅中国的碳排放就将用完1.5°C目标所允许的所有碳预算与2°C目标下的29%碳预算。在1.5°C路径下，中国对1.5°C目标与2°C目标的预测碳预算占用比分别为全球的64%和17%。其中，17%的比例属于公允，因为其和中国的全球人口比匹配。1.5°C路径下显示的中国的数据包括二氧化碳浓度的超标和负排放，这也解释了为什么中国在全球排放预算里的占比如此之高。

## 控制碳排放

2023年7月，中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》<sup>33</sup>，但全文至今尚未公布。“能耗双控”指的是对能源消费总量和强度双控。在这方面，中国已经取得了一些成绩：2021年，中国的单位GDP能耗比2012年累计降低26.4%（虽然2020年其能源强度未达标）。“碳排放双控”指的是对碳排放总量和强度双控。尽管能耗双控和碳排放双控均能对化石能源的使用进行制约，但值得注意的是，对能源消费总量的控制范围超出化石能源——它对核能与可再生能源的发展也会产生影响（2022年底起，新增的可再生能源消费不纳入能源消费总量控制）。另外，石化等行业对能源有刚性的需求，因此，过于严苛的能耗双控指标可能会阻碍或制约经济的发展。相比之下，碳排放双控考虑的是碳排放的总量和强度，这为可再生能源的利用提供了充分的弹性。如果中国希望采取碳排放双控的模式，它就必须提高统计碳排放的能力，并为各省市与重点部门制定碳排放目标。碳排放双控能帮助高耗能企业有效地控制排放，为它们的发展与转型制造空间。此举不仅符合从化石能源向可再生能源转型的目标，还能为经济发展与环境的可持续性提供支持。

---

<sup>32</sup> Lamboll, R.D., Nicholls, Z.R.J., Smith, C.J. et al. Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. *Nat. Clim. Chang.* (2023). <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>

<sup>33</sup> 人民网——人民日报（2023年），《建设更高水平开放型经济新体制 推动能耗双控逐步转向碳排放双控》，<http://cpc.people.com.cn/n1/2023/0712/c64094-40033549.html>

## 碳汇

除了控制排放，中国也在寻求增强其生态系统的碳汇能力。2023年，中国政府发布了《生态系统碳汇能力巩固提升实施方案》<sup>34</sup>。该方案试图在第十四个五年（即2021至2025年，以下简称“十四五”）期间摸清中国生态系统碳储量基数和增汇潜力，并初步建立与国际接轨的生态系统碳汇计量体系。

该方案提出了几项重点举措，包括增强森林与草原的碳汇能力，推进海洋和淡水生态系统的保护和修复，提升农村和城市地区的碳汇能力，以及加强退化土地修复治理。

从2012年起，植树造林项目使中国的森林覆盖率不断上升，并在2022年达到24%，森林蓄积量达到195亿立方米<sup>35</sup>。

根据中国政府的计划，到2030年，全国的森林覆盖率将达到25%左右<sup>36</sup>。为实现这一统领目标，《全国国土绿化规划纲要（2022—2030年）》要求，在“十四五”期间，全国规划完成造林种草等国土绿化5亿亩（3330万公顷），治理沙化土地面积1亿亩（670万公顷），城市建成区绿化覆盖率提高到43%，村庄绿化覆盖率提高到32%。该纲要还要求，到2030年生态系统碳汇增量明显提升<sup>37</sup>。同时，中国政府还颁布了《林业碳汇项目审定和核证指南》等配套工具<sup>38</sup>。

虽然中国的“十四五”规划要求“提升生态系统碳汇能力”，但是中国政府目前还没有发布进一步的详细政策。2023年，《海洋碳汇核算方法》<sup>39</sup>正式实施。为海洋碳汇的量化问题方面提供了解决方案。虽然目前中国还没有国家层面的碳汇政策发布，但沿海省市已经制定了地方性政策。例如，浙江省发布了《浙江省海洋碳汇能力提升指导意见》<sup>40</sup>，旨在为海洋碳汇的发展创造一个模式。该意见的主要目标包括：到2025年，基本建立海洋碳汇的基础研究和监测体系，修复滨海湿地2000公顷，新增红树林200公顷以上以及修复海岸线74公里。另外，根据

---

<sup>34</sup> 中国自然资源部（2023年），《生态系统碳汇能力巩固提升实施方案》，<https://www.forestry.gov.cn/c/www/zyxx/367743.html>

<sup>35</sup> 国务院（2021），《我国城乡人居环境持续改善 村庄绿化覆盖率达32.01%》，<https://www.forestry.gov.cn/main/586/20230313/091901658592486.html>，新闻

<sup>36</sup> 中共中央、国务院（2021），《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》，[http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm)，政策

<sup>37</sup> 全国绿化委员会（2022），《全国国土绿化规划纲要（2022—2030年）》，[http://www.gov.cn/xinwen/2022-09/13/content\\_5709591.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-09/13/content_5709591.htm)，政策

<sup>38</sup> 国家林业和草原局（2021），《林业碳汇项目审定和核证指南》，<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=D4BEFFF4EA85B241E05397BE0A0AF581>，国家标准

<sup>39</sup> 中国网，“专家解读《海洋碳汇核算方法》行业标准实施”，<https://eco.cctv.com/2023/01/17/ARTIwjUCbudMxobMJFH0yeKd230117.shtml>

<sup>40</sup> 浙江省发展和改革委员会等，《浙江省海洋碳汇能力提升指导意见》，[https://zrzyt.zj.gov.cn/art/2023/3/22/art\\_1289955\\_59015480.html](https://zrzyt.zj.gov.cn/art/2023/3/22/art_1289955_59015480.html)

《海南省海洋生态系统碳汇试点工作方案（2022—2024年）》<sup>41</sup>，该省将在2024年前基本摸清全省的海洋生态系统碳汇底数，并开发碳汇试点项目五个。山东省则将滨海湿地蓝碳本底的调查工作、生态系统的修复和若干个其他调研项目纳入了该省的《“十四五”应对气候变化规划》<sup>42</sup>中。

## 碳交易

从2011年起，中国在北京、天津和上海等八地分别启动了碳排放权交易试点工作。2021年7月，全国碳排放权交易系统正式上线，目前涵盖发电行业。该交易系统的原则与欧盟使用的“总量控制和交易”（cap and trade）的原则不同。具体而言，中国的系统没有对发电行业的二氧化碳排放总量进行限制，而是力图通过提高热效率来降低燃煤和燃气发电厂的排放强度。在设计上，中国的系统并不鼓励用清洁能源取代化石燃料，甚至不鼓励用天然气取代煤炭。因此，如果中国希望该系统能在其电力部门的去碳化过程中发挥重要作用，那么它的设计必须进行重大修改。然而，只要中国的决策层下定决心去做，这样的修改可以很快完成。为保证电力供应的稳定性，《2021、2022年度全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》<sup>43</sup>对部分发电单位的履约率缺口进行了豁免。今年，对配额缺口率在10%及以上的重点排放单位，确因经营困难无法完成履约的，可从2023年度预分配配额中预支部分配额完成履约。该政策是否会延续，目前尚不清楚。

按照计划，全国碳交易的范围将扩大至发电以外的其他行业，并可能包括碳汇。中国生态环境部已经发布的一份通知，列出了可能被纳入碳排放交易的企业范畴<sup>44</sup>，即温室气体排放量每年达2.6万吨二氧化碳当量及以上的石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、民航行业的重点企业。另一份名为《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》的中央文件也强调，需健全碳排放权交易机制和探索碳汇权益交易试点<sup>45</sup>。

另一方面，国家核证自愿减排量（China Certified Emission Reduction，以下简称“CCER”）在被暂停了六年之后，也即将在2023年底前重新启动。2023年10月，生态环境部公布了

---

<sup>41</sup> 海南省自然资源和规划厅（2022），《海南省海洋生态系统碳汇试点工作方案（2022—2024年）》，[http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/30/content\\_5703578.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/30/content_5703578.htm)，政策

<sup>42</sup> 山东省应对气候变化领导小组办公室（2022），《山东省“十四五”应对气候变化规划》，<http://www.scio.gov.cn/xwfbh/gssxwfbh/xwfbh/shandong/Document/1722588/1722588.htm>，政策

<sup>43</sup> 中国生态环境部（2023年），《2021、2022年度全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》，<https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202303/W020230315687660073734.pdf>

<sup>44</sup> 生态环境部（2022），《关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》[https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220315\\_971468.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220315_971468.html)，政策

<sup>45</sup> 中共中央办公厅、国务院办公厅（2021）《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》，[http://www.gov.cn/zhengce/2021-04/26/content\\_5602763.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-04/26/content_5602763.htm)，政策

《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》<sup>46</sup>。该办法对项目方法学、项目的定义、其减排成效、审定、核查机构与交易机构等温室气体自愿减排市场的各方面管理进行了优化。这些措施为CCER的有序运营提供了基础保障。CCER是指对可再生能源、森林碳汇和甲烷利用等项目所实现的温室气体减排进行量化与核查。控排企业可以利用这些减排量抵消其碳排放。

## 碳排放的监测、报告、核查和核算体系

虽然碳排放权交易市场的启动在短期内对中国的排放量影响有限，但它对碳排放检测、报告和核查体系的建立提出了要求，因为此体系是一个有效的碳交易系统与气候政策的基石。近期发布的有关碳排放检测、报告和核查的文件包括《关于做好2023—2025年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知》<sup>47</sup>、《企业温室气体排放核算与报告指南发电设施》和《企业温室气体排放核算与报告指南发电设施》<sup>48</sup>，多项有关数据报送的政策也已生效（发改委分三批发布了不同行业的统计与报送方法）<sup>49,50,51</sup>。同时，《碳排放权交易管理办法（试行）》<sup>52</sup>对交易阶段进行监管。

2022年4月，国家发展改革委员会（以下简称“发改委”）联合国家统计局与生态环境部印发了一项实施方案<sup>53</sup>，旨在建立统一规范的国家与地方层面的碳排放统计核算体系。国家统计局负责建立统计方法。该方案要求对年度碳排放总量进行核算，并完善行业企业碳排放核算与国家温室气体清单编制等机制。该方案的主要目标之一是，到2023年，初步建成统一规范的碳排放统计核算体系。2022年11月，市场监管总局联合其他八个部委印发了《建立健全碳达峰

---

<sup>46</sup> 生态环境部等（2023年），《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202310/t20231020\\_1043694.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202310/t20231020_1043694.html)，政策

<sup>47</sup> 生态环境部（2023年），《关于做好2023—2025年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知》，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202310/t20231018\\_1043427.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202310/t20231018_1043427.html)，政策

<sup>48</sup> 生态环境部（2022年），关于印发《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》的通知，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202212/t20221221\\_1008430.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202212/t20221221_1008430.html)

<sup>49</sup> 国家发改委（2013），《国家发展改革委办公厅关于印发首批10个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）的通知》，  
[http://www.gov.cn/zwggk/2013-11/04/content\\_2520743.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2013-11/04/content_2520743.htm)，政策

<sup>50</sup> 国家发改委（2014），《国家发展改革委办公厅关于印发第二批4个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）的通知》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201502/t20150209\\_963759.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201502/t20150209_963759.html?code=&state=123)，政策

<sup>51</sup> 国家发改委（2015），《国家发展改革委办公厅关于印发第三批10个行业企业温室气体核算方法与报告指南（试行）的通知》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151111\\_963496.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151111_963496.html?code=&state=123)，政策

<sup>52</sup> 生态环境部（2020年），《碳排放权交易管理办法（试行）》，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202101/t20210105\\_816131.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202101/t20210105_816131.html)，政策

<sup>53</sup> 国家发改委等（2022），《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》，  
<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202208/P020220819537055381532.pdf>，政策

碳中和标准计量体系实施方案》<sup>54</sup>。该方案的目标为到2025年，在所有重点行业基本建立碳达峰碳中和标准计量体系。2023年9月，生态环境部与国家统计局签署一项关于碳排放统计核算工作合作的框架协议<sup>55</sup>。该合作协议旨在建设国家温室气体排放因子数据库，并强化中国碳排放统计核算对内的基础支撑能力和对外的履约透明度。

## 低碳与零碳技术

科技部联合其他部委印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》<sup>56</sup>。随后，包括上海、江苏和河北在内的各省市发布了各自为协助“双碳”目标的达成准备提供的科技支持。工业与科技政策对中国“双碳”进程的重要性越来越大，其中一个重要的体现便是对包括风电、光伏（详见4.5.2章节）与电动车（详见4.7.2章节）在内的清洁能源技术制造业的大量投资。在《关于进一步完善市场导向的绿色技术创新体系实施方案（2023—2025年）》<sup>57</sup>中，发改委和科技部也明确表示将加大对清洁技术的财税、金融支持。

中国目前对碳中和相关技术的支持主要集中在清洁高效的煤炭利用、可再生能源技术、低碳利用与CCUS等领域。“煤炭清洁利用”的减排效应有限，该技术的运用范围目前主要包括在未实现减排的燃煤发电厂使用超超临界蒸汽循环，甚至用碳排放更高的技术来代替现有技术，特别是在煤基燃料与煤化工产品的生产方面。尽管如此，中国的官方经常强调，“煤炭清洁利用”技术是减排成效与控制新建煤炭项目的替代方式。

CCUS等与零碳相关的技术目前正在工业化示范阶段，且其成本较高。《中国碳捕集利用与封存年度报告（2023）》指出，当前中国规划和运行的CCUS示范项目总数接近100个。其中，超过半数的项目已建成投产，具备二氧化碳捕集能力超过400万吨/年。该报告同时暗示，示范项目为近期的CCUS技术的规模化的商业化打下基础。

---

<sup>54</sup> 市场监管总局等（2022），《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》，<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/01/5723071/files/456978e8376e43fa80a0ce26ea6622c7.pdf>，政策

<sup>55</sup> 生态环境部（2023年），《生态环境部与国家统计局签署关于碳排放统计核算工作合作框架协议》[https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202309/t20230926\\_1041974.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202309/t20230926_1041974.shtml)

<sup>56</sup> 中国科技部等（2022），《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》，<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/18/5705865/files/94318119b8464e2583a3d4284df9c855.pdf>，政策

<sup>57</sup> 国家发改委等（2022），《关于进一步完善市场导向的绿色技术创新体系实施方案（2023—2025年）》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202212/t20221228\\_1344205.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202212/t20221228_1344205.html)，政策

### 4.1.3 数据披露

目前，中国政府每年都会报告国家在二氧化碳强度上的改善程度。通过该数据与中国政府报告的当年的GDP增长，我们可以计算出其二氧化碳排放量的年度变化。然而，这是一种非常初级和不透明的报告方式，因为它不包括碳汇或非能源领域的二氧化碳排放。

中国政府通过向《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）提交的国家信息通报披露实际的温室气体排放数据，其最近的数据年份为2014年。2023年7月，中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》（详见4.3.2章节），但全文至今尚未公布。实施碳排放双控前提是足够的基础能力，尤其是统计碳排放的能力。

## 4.2 非二氧化碳温室气体

### 2023年亮点

- 已经发布的《甲烷排放控制行动方案》展现了中国管理与控制甲烷的战略。

除了迅速减少二氧化碳的排放，符合1.5°C目标的转型路径对非二氧化碳温室气体（以下简称“非二温室气体”）的控制力度提出更高的要求。在1.5°C的路径中，非二温室气体的减排总量在2030年需达到其2014年排放水平的30%（即20亿吨二氧化碳当量），该百分比在2050年则需达到34%。

在清华气候院提出的1.5°C路径中，中国非二温室气体的排放在2025年之前达峰并降至2020年水平以下。根据该路径，2025年，中国的非二温室气体排放量为23.8亿吨二氧化碳当量，2050年下降到12亿吨二氧化碳当量。清华气候院的2°C路径预测，中国非二温室气体的排放将在2025年达峰，峰值为25.1亿吨二氧化碳当量，这意味着，从2020年到2025年，中国的非二温室气体排放平均每年增加1.5%。该路径同时预测，中国的非二温室气体排放在2050年下降到17.6亿吨二氧化碳当量，年下降率为1.4%。

甲烷是中国继二氧化碳之后、以二氧化碳当量为单位计算，排放最多的温室气体。在清华气候院的2°C路径中，中国的甲烷排放在2025年前达峰，峰值为12.2亿吨二氧化碳当量，并且排放在2030年降至11.8亿吨二氧化碳当量。在清华的1.5°C情景下，中国的甲烷排放在2015年左右达峰，峰值与其2°C路径相同，然后排放以更快的速度下降到2030年的7.9亿吨二氧化碳当量。



清华气候院的1.5°C路径预测，中国的一氧化二氮（N<sub>2</sub>O）排放量将在2020年左右达到峰值5.8亿吨二氧化碳当量，到2030年下降至4.2亿吨二氧化碳当量。在该路径下，中国的含氟气体（F-gas）排放量将在2030年达到峰值7.3亿吨二氧化碳当量，到2050年降至4.4亿吨二氧化碳当量。该院的2°C路径则认为，中国的一氧化二氮排放量将在2020年左右达到峰值6.5亿吨二氧化碳当量，在2030年下降到5.7亿吨二氧化碳当量；而其含氟气体排放量与1.5°C路径同年达到相同的峰值，但到2050年将下降至5.1亿吨二氧化碳当量。

## 4.2.1 现行政策

中国很早就认识到控制非二温室气体的必要性。早在2016年印发的《“十三五”期间控制温室气体排放工作方案》就提及了这方面的工作，但具体信息甚少。“十四五”规划则进一步提出“加大甲烷、氢氟碳化物、全氟化碳等其他温室气体控制力度”。《中国落实国家自主贡献目标进展报告（2022）》<sup>58</sup>指出，中国准备设计并执行一个旨在控制非二温室气体排放的行动方案，同时加强非二温室气体排放的检测和报送技术。然而，该行动方案还未发布，其他政策也没有给出任何量化目标，中国对非二温室气体排放的报告目前也处于空白，因此我们无法评估2014年（即中国官方最后一次公布排放清单的年份）之后中国非二温室气体的排放趋势。

目前我们也不清楚中国的“碳中和”目标是针对所有温室气体还是仅包括二氧化碳，目前官方说法并未一致。中国气候变化事务特使解振华曾反复对媒体指出<sup>59</sup>，中国的碳达峰具体指的是二氧化碳排放的达峰，2060年的碳中和是所有温室气体的中和。中国的NDC目标也并未包括甲烷等温室气体。然而，碳中和的目标超越了二氧化碳的范畴，其涵盖的是整个经济领域的温室气体排放，包括甲烷、氢氟碳化物和其他非二氧化碳气体。然而到目前为止，中国还未来任何官方文件里正式提及这些细节。

中国的甲烷排放占全球甲烷排放总量的14%以上，是全球最大的甲烷排放国。2014年，甲烷占中国温室气体排放总量的10.4%<sup>60</sup>，而由煤矿开采排放的煤层气（coalbed methane，又称煤矿瓦斯）占中国能源部门甲烷排放量的90%以上。国家能源局在2020年发布的一份通知中规定，在甲烷体积浓度大于等于8%的矿井中抽采的煤炭瓦斯，在确保安全的前提下，“应”进行综合利用。该通知同时“鼓励”对甲烷体积浓度在2%（含）至8%的矿井抽采瓦斯<sup>61</sup>。其

---

<sup>58</sup> 生态环境部（2022），《中国落实国家自主贡献目标进展报告（2022）》，<https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/qhbhlf/202211/W020221111763716523691.pdf>，政府文件

<sup>59</sup> 解振华，[http://www.ncsc.org.cn/xwdt/gnxw/202107/t20210727\\_851433.shtml](http://www.ncsc.org.cn/xwdt/gnxw/202107/t20210727_851433.shtml)，发言

<sup>60</sup> 生态环境部（2018），《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》，<https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtz/201907/P020190701765971866571.pdf>，报告

<sup>61</sup> 国家能源局（2020），《关于进一步加强煤炭资源开发环境影响评价管理的通知》，[http://www.nea.gov.cn/2020-12/03/c\\_139560035.htm](http://www.nea.gov.cn/2020-12/03/c_139560035.htm)，政策

余的甲烷排放规定受到由前环境保护部与前国家质量监督检验检疫总局联合发布的《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准》的约束<sup>62</sup>。另一项现行政策是2002年发布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》<sup>63</sup>。

在2021年的COP26上，中美在《格拉斯哥联合宣言》<sup>64</sup>中同意强化甲烷测量和减排，减少来自化石能源和废弃物行业的甲烷排放，以及通过激励措施和项目减少农业甲烷排放。

为实现这些承诺，生态环境部在2022年11月印发了气候投融资的参考标准<sup>65</sup>，对旨在减少甲烷排放的项目予以支持。2023年10月发布的管理办法<sup>66</sup>包含了甲烷减排的行动。

近期，生态环境部又在2023年11月联合其他10个部门印发了《甲烷排放控制行动方案》<sup>67</sup>，为“十四五”与之后的“十五五”期间的甲烷管理制定了战略。该行动方案旨在推动相关政策、技术和标准体系的制定，以提高甲烷的回收和利用效率，尤其是在农业与垃圾处理领域。该方案指出，应加强甲烷排放监测、核算、报告和核查体系的建设，并要求陆上油气开采逐步实现零常规火炬。然而，该方案并未在甲烷排放数据报送等重要步骤上设置量化的减排指标或具体的时间线，仅提出在“十四五”与“十五五”期间“提升”甲烷排放统计核算、监测监管等基础能力。

---

<sup>62</sup> 环境保护部等两部门（2008），《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）》，  
[https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrwpfbz/200804/t20080414\\_121137.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrwpfbz/200804/t20080414_121137.shtml)，  
国家标准

<sup>63</sup> 国家环境保护总局等两部门（2002），《城镇污水处理厂污染物排放标准》，  
[https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/200307/t20030701\\_66529.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/200307/t20030701_66529.shtml)，国家标准

<sup>64</sup> 生态环境部（2021），《中美关于在21世纪20年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk/hjyw/202111/t20211111\\_959900.shtml](https://www.mee.gov.cn/xxgk/hjyw/202111/t20211111_959900.shtml)，政府文件

<sup>65</sup> 生态环境部（2022），《气候投融资试点地方气候投融资项目入库参考标准》，  
<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202211/W020221117316973946868.pdf>，标准

<sup>66</sup> 生态环境部等（2023），《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》，  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202310/t20231020\\_1043694.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202310/t20231020_1043694.html)，管理办法

<sup>67</sup> 生态环境部等（2023），《甲烷排放控制行动方案》，  
<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/W020231107750707766959.pdf>

表 4 | 与非二氧化碳温室气体排放有关的部分政策

政策名	发布日期	2025年目标	2030年及之后目标
<a href="#">《甲烷排放控制行动方案》</a> （生态环境部等）	2023年 11月7日	甲烷排放控制政策、技术和标准体系逐步建立，甲烷排放统计核算、监测监管等基础能力有效提升，甲烷资源化利用和排放控制工作取得积极进展。种植业、养殖业单位农产品甲烷排放强度稳中有降，全国城市生活垃圾资源化利用率和城市污泥无害化处置率持续提升。	甲烷排放控制政策、技术和标准体系进一步完善，甲烷排放统计核算、监测监管等基础能力明显提升，甲烷排放控制能力和管理水平有效提高。煤矿瓦斯利用水平进一步提高，种植业、养殖业单位农产品甲烷排放强度进一步降低。此后，石油天然气开采行业力争逐步实现陆上油气开采零常规火炬。

#### 4.2.2 数据披露

非二温室气体排放的披露仅以向《联合国气候变化框架公约》提交国家信息通报的方式进行，而最新的数据年份为2014年。这对于跟踪排放趋势和政策效果，以及提高中国为这些气体制定排放目标的能力而言都是一个重大缺陷。

## 4.3 能源供应和需求总量

### 2023年亮点

- 新增的可再生能源消费不纳入能源消费总量控制，但仍纳入能源消费强度的考核。

在大多数转型路径中，实现碳达峰主要依靠能源效率措施和经济结构的变化来减缓能源需求增长，且总的能源需求增长率需控制在0至2%之间。只有人大环境院的方案对能源需求增长率的预测超过2%。例如，根据清华气候院的1.5°C路径，到2025年中国的一次能源消费总量将进入53亿吨标准煤（又称“煤当量”）的平台期，比2021年的52亿吨标准煤略有上升，该数字然后逐渐下降到2050年的五亿吨标准煤。清华的1.5°C路径同时指出，中国非化石能源在一次能源结构中的比例从2021年的16.6%分别上升至到2030年的38.7%和2050年的86.1%，煤炭的比例则从2021年的56%下降至到2030年的35.4%和2050年的5.4%。

### 4.3.1 对标基准的趋势

#### 能源消耗总量的年度变化

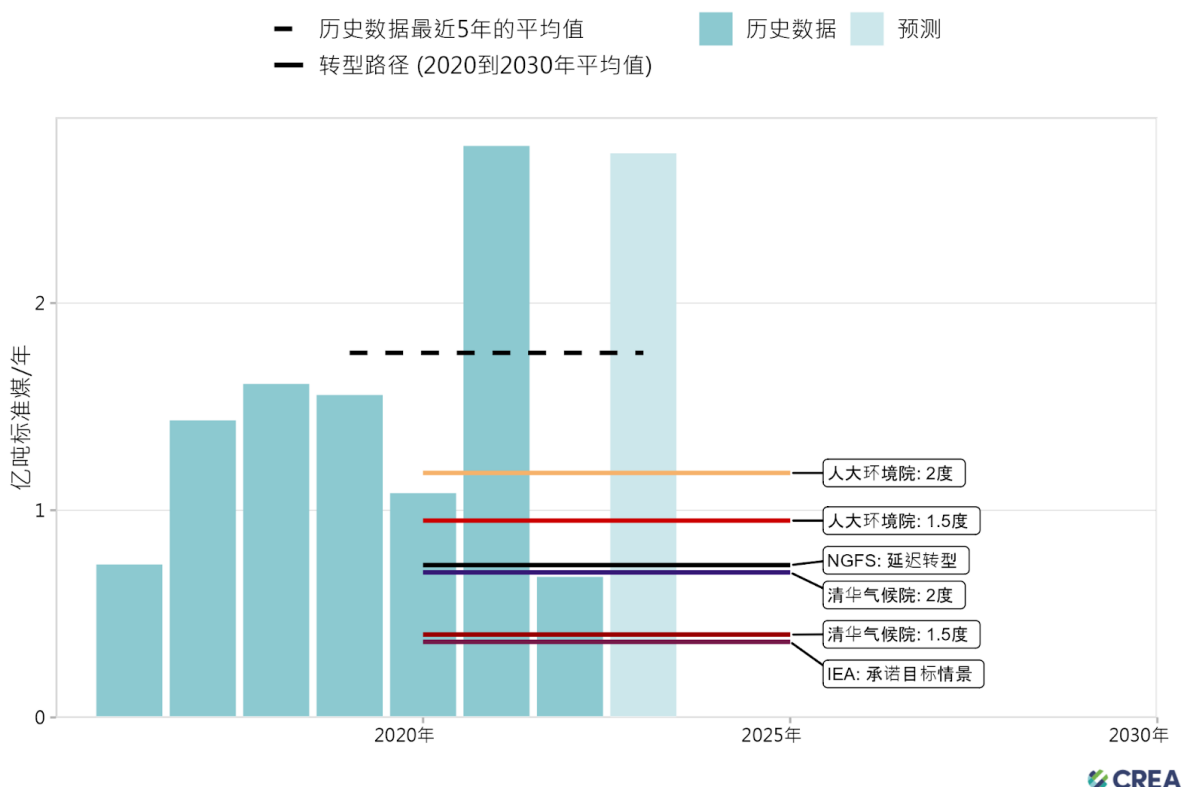


图 14 | 中国能源消耗总量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

在过去的五年里，中国的能源需求总量以平均每年3.3%的速度增长，其中，2021年的增长速度超过5%。这个增长速度远高于转型路径中的预测值。它也解释了一个现象，那就是为什么即使中国的清洁能源投资处于世界领先水平，其与能源有关的二氧化碳排放量仍不断增加。中国能源需求总量的增长速度在2022年放缓到大约1%，但在2023年加速，预计全年增长速度为4%。经济结构的变化、对建筑业和重工业等增长高驱动行业依赖度的减少以及整体经济增长速度的放缓有望使中国能源需求总量的增长速度在本个十年减慢。同时，更快地提高能源效率也可能成为一个驱动因素。然而，如果中国能源需求增长保持现今水平，那为了实现碳排放达峰并下降，其清洁能源增长的速度就需要比转型方案中预测得更快。

### 煤炭消费量的年度变化 (排除天气影响后)

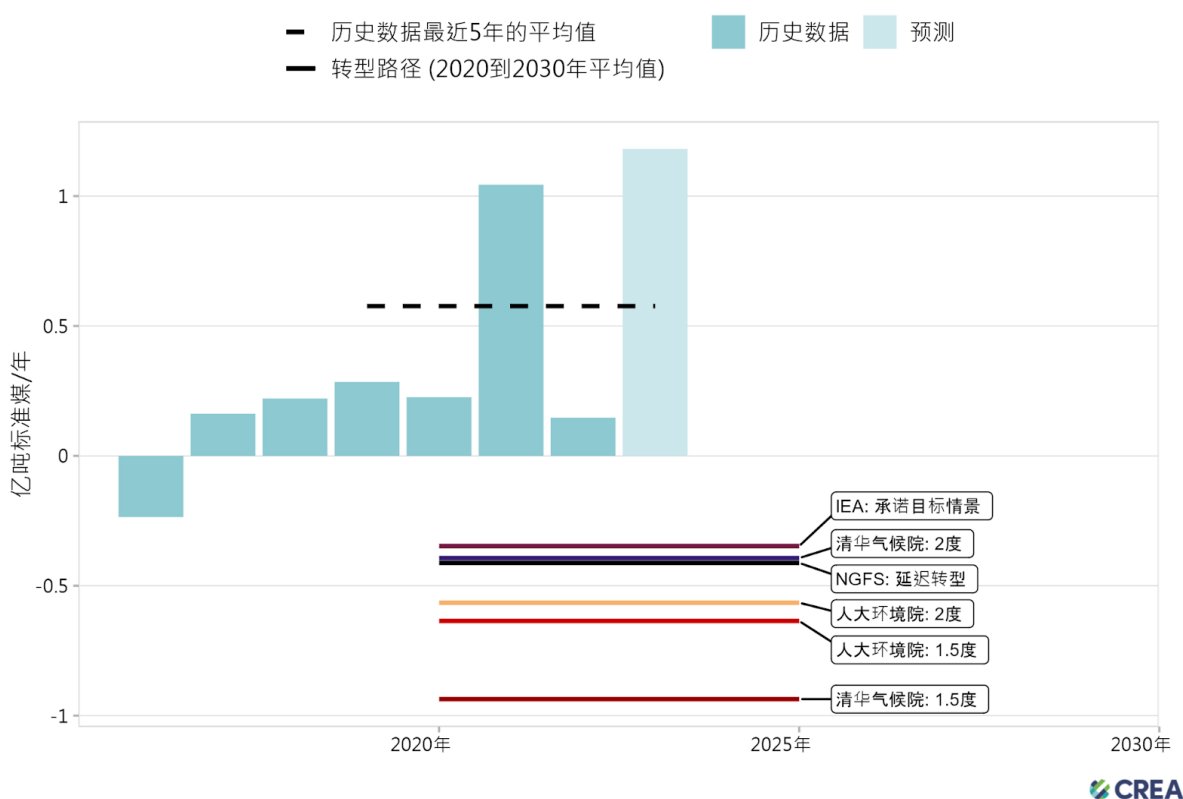


图 15 | 中国煤炭消费的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

## 石油消费量的年度变化

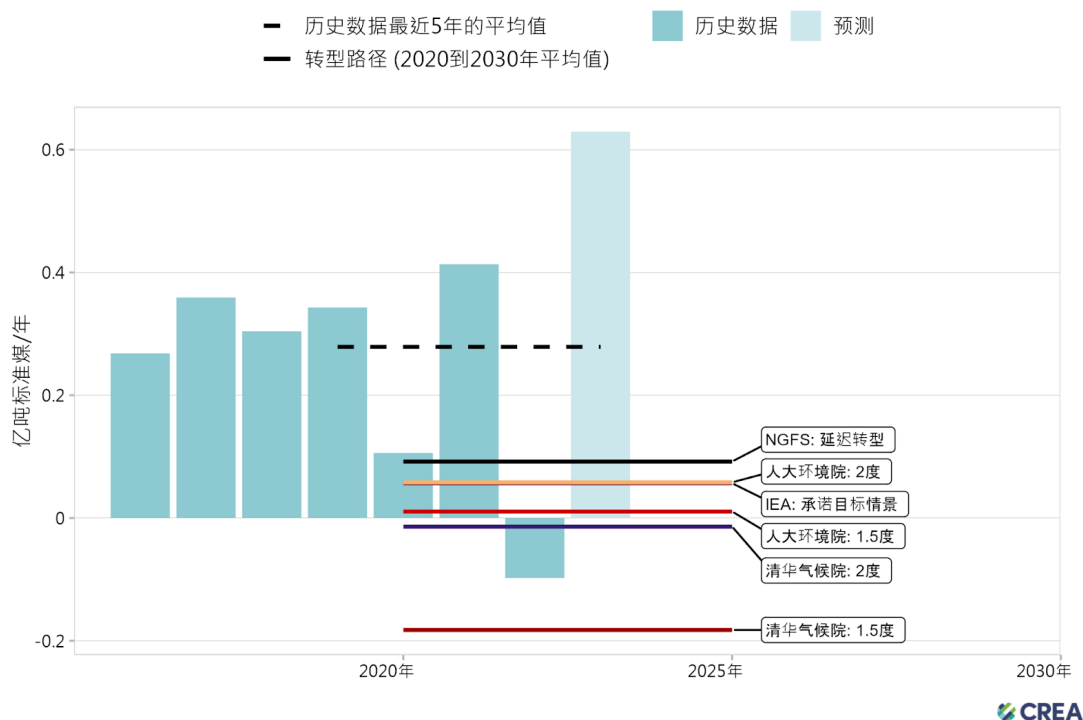


图 16 | 中国石油消费量的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

## 天然气消费量的年度变化

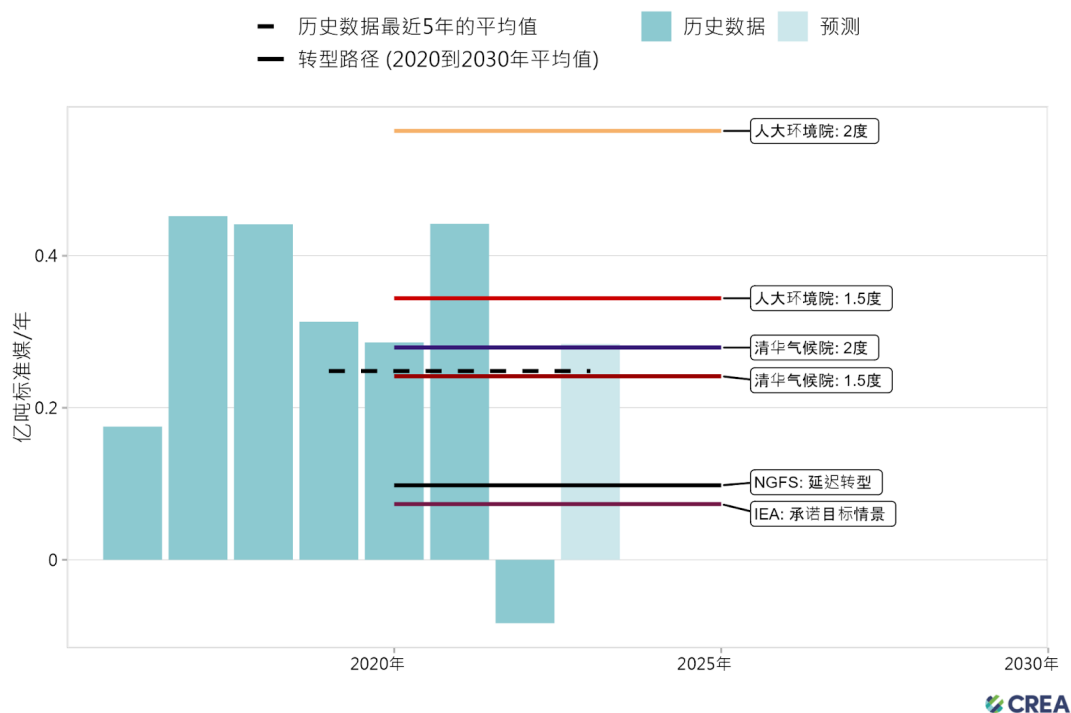


图 17 | 中国天然气消费量的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

所有转型路径都要求中国在本世纪第二个十年减少煤炭消费。在过去的七年里，中国的煤炭消费量只在2016年出现了下降，且消费量在其余年份均有明显的增长。以可持续的方式让煤炭的使用量达峰并下降仍然是中国最大的挑战。

在所有情景中，中国的石油消费增长都会在本世纪第二个十年放缓，但只有部分情景要求该十年间出现石油消费量的绝对减少。然而，从2016年到2021年，中国每年的实际石油消费增长速度都要比转型路径中的快，包括2020年，即疫情爆发的第一年。中国的石油消费量仅在2022年因疫情的防控措施而下降，但在2023又发生反弹。

所有转型路径都预测中国的天然气消费量会增长至2030年，但在增长率的预测上却不尽相同，从人大环境院方案里的6-8%到IEA和IPCC路径的下的2-3%，差别甚大。过去五年，中国天然气需求的总体增长完全在转型路径的范围之内。由于天然气价格的走高与偏向使用天然气的政策被逆转，中国天然气需求的增长速度在2022年至2023年变慢。

### 非化石能源产量的年度变化 (排除天气影响后)

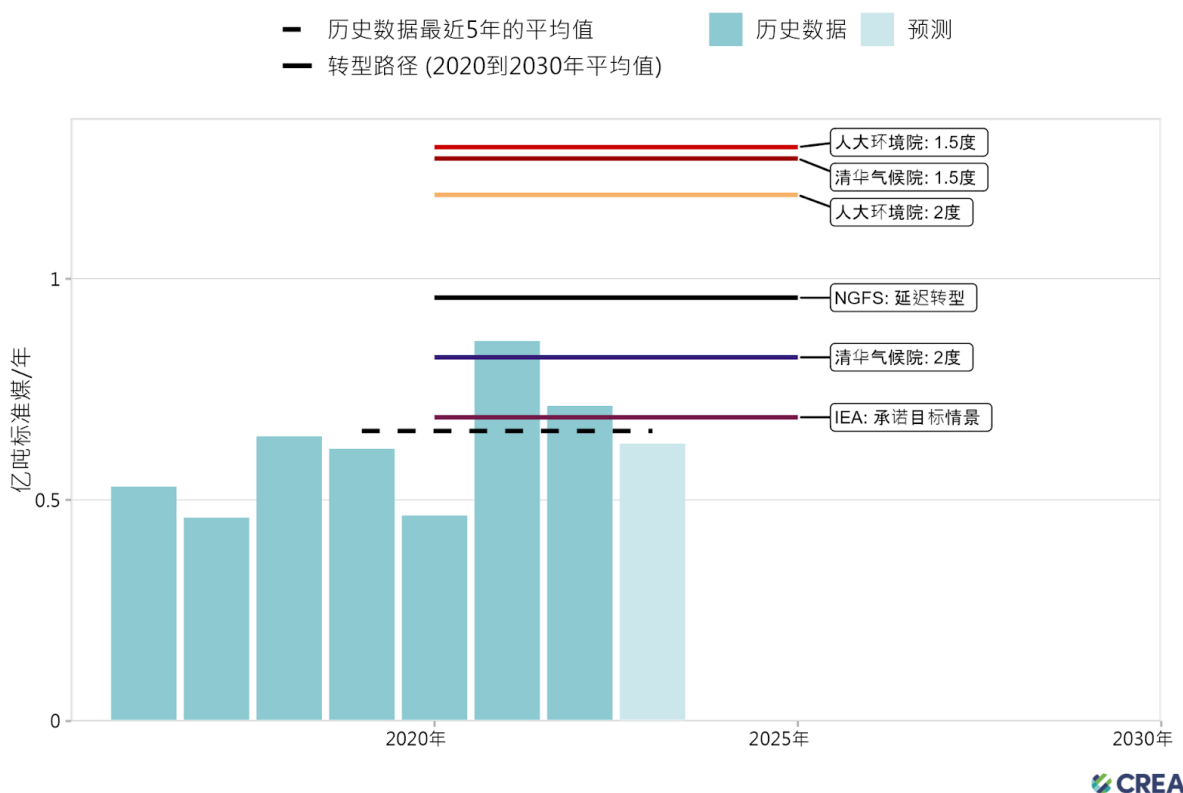


图 18 | 中国非化石能源生产量的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

从2016至2021年，中国非化石能源发电量的平均增长率都在转型路径的低端预测值之下。从2021至2022年，由于风电和太阳能发电的强势增长和水电在部分时间段里的良好运行状况，中国非化石能源发电量的平均增长率首次达到了这些路径的低端预测值。

然而，从2016年至2021年，非化石能源仅满足了中国能源需求增长量的35%，这是由于中国能源需求总量的增长速度远远超过了转型路径的预测。二氧化碳排放的达峰和下降要求非化石能源满足能源需求增长这一比例上升到100%以上，也就是说清洁能源增长率需要提高三倍；或者能源需求增长率需要下降到原来的三分之一；或者是能达到相同效果的两者之间的任何组合。

中国目前所计划的、到2025年的清洁能源扩张步伐足以满足每年4%的电力需求增长和每年2%的能源需求总量的增长。如果实际电力需求和能源需求总量的增长率低于这些水平，那么电力部门和整个经济的排放量将会达峰。

### 电气化年增长率

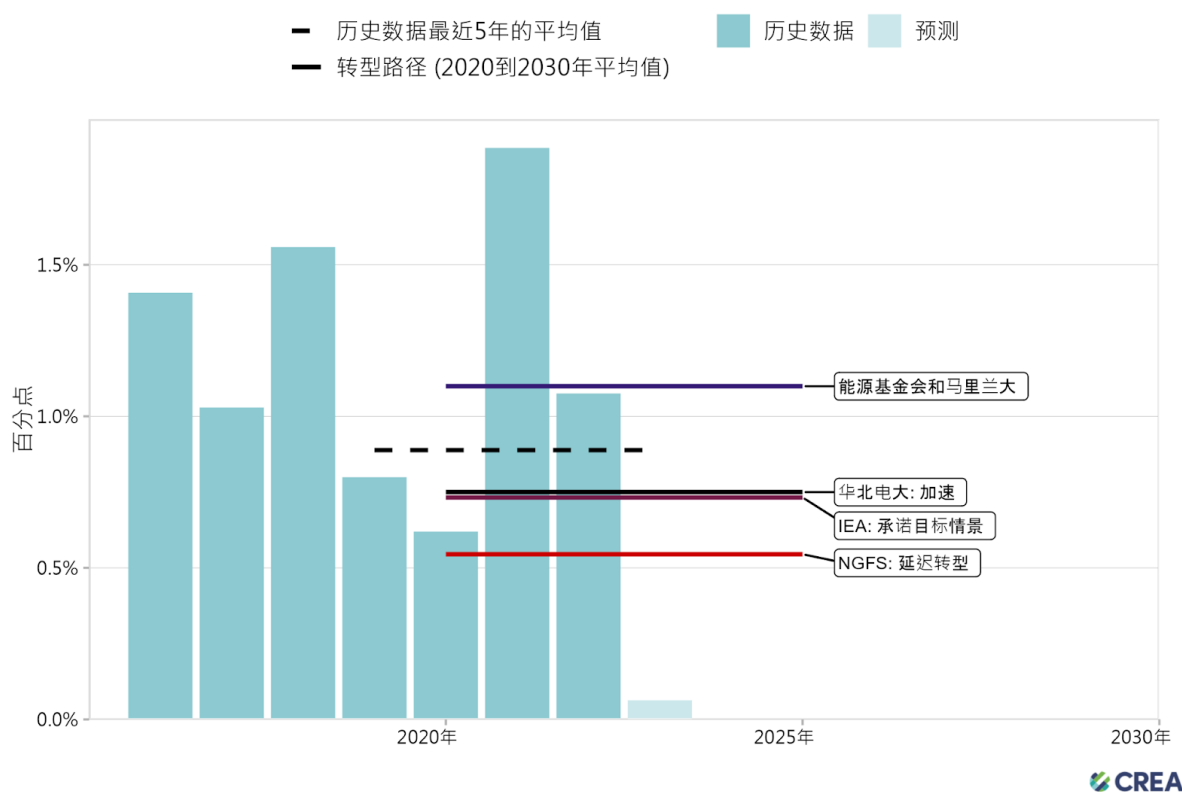


图 19 | 电气化比率的年度增幅（实际趋势与转型路径的对比）

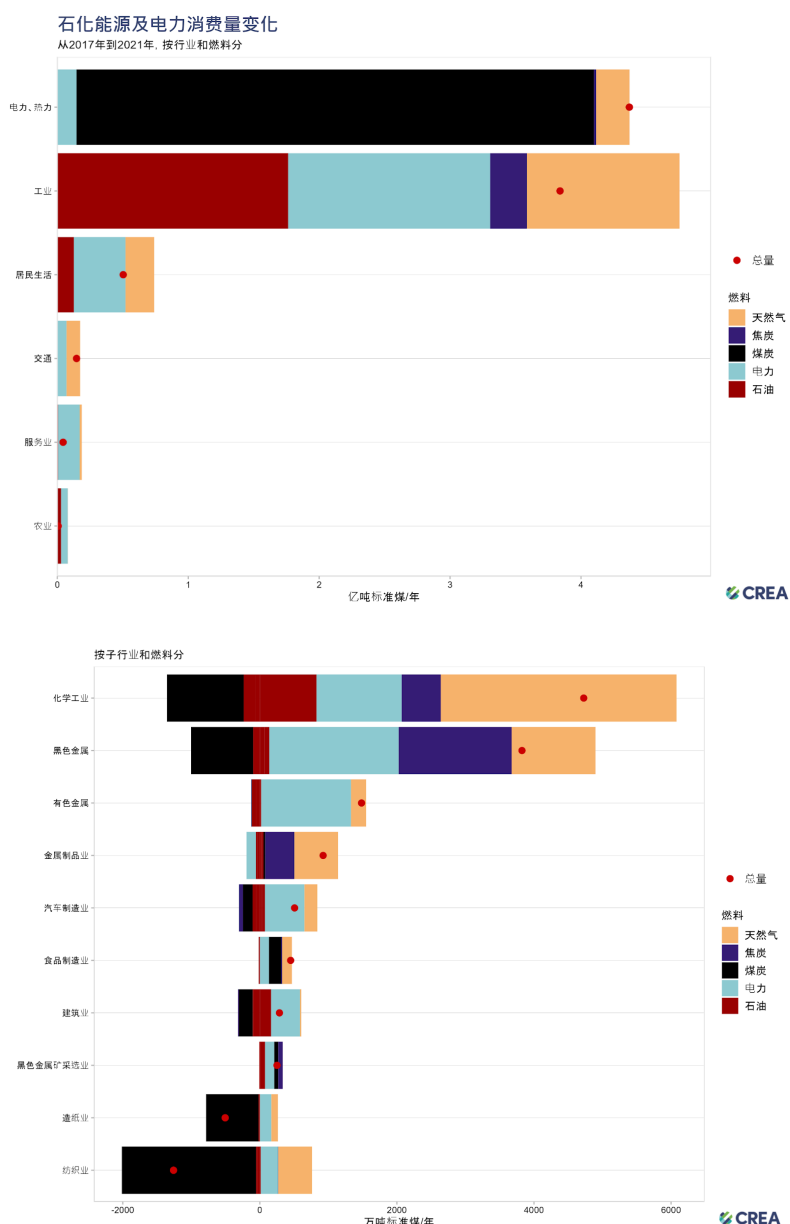
在转型方案中，中国电力部门在最终能源消费中的比例从2020年的25%上升到2030年的30%。中国实际的电气化进展比方案的预测快得多——每年快1%以上。虽然超预期的电气化发展为中国的减排创造了条件，但是这个条件也有前提，即电气化使用的必须是用清洁能源发出的电。目前，中国对电力需求的增加不但没有减少排放，更是驱动了其电力部门排放的增加。其背后的原因是，该国清洁能源发电的增长还不足以满足其电力需求的增长，即使其风能和太阳能发电装机的增长迅速。



## 分析：为何中国能源需求增长快于预期

在2021年之前，中国的二氧化碳排放量经历了持续增长，其主要原因是中国整体能源需求量的增长比转型路径中预测的要快，而分析中国能源需求增长“超标”的原因十分重要。

在2015至2019年期间，中国报告的年GDP增长速度略高于转型路径对2020至2030年期间中国年GDP增长的假设速度。然而，2020至2022年，中国的年平均GDP增长率低于转型路径中的预测增长率，但其能源消耗和排放增长速度率仍然高于转型路径中的预期，这意味着GDP增长率不是驱动能源消耗和排放增长的原因，或者至少不是唯一的原因。



其中，电能已经用燃煤发电的平均热率转换为一次能源。数据来源：《世界能源平衡2022》（World Energy Balances 2022）

能源需求增长“超标”可以归因于工业和建筑业对能源需求的快速增长。这些部门在电力消费量上的增长也导致了发电用煤的增加（见图20）。在工业部门，能源需求的最大增长点为钢铁业和化工及石化行业。工业部门的能源需求增长快于预测的原因是能源密集度最高的工业部门的产出快速增长。

虽然电气化的快速发展的确导致了电力部门煤炭使用量的增加，但这不能解释整体煤炭使用量的超预期的快速增长，这是因为电气化只是将煤炭消费从其他部门转移到了电力部门，但并没有增加煤炭消费总量。

### 4.3.2 现行政策：绿色和低碳能源转型的行动

中国政府为实现碳达峰碳中和所发布的顶层文件中的纲领性意见<sup>68</sup>将能源利用效率的提升和对非化石能源的消费同时列在“主要目标”之下。该意见的总体目标在“十四五”规划中已先期设定，分别如下：

- 到2025年，
  - 单位GDP能耗比2020年下降13.5%；
  - 单位GDP二氧化碳排放比2020年下降18%；
  - 非化石能源消费比重达到20%左右
- 到2030年，
  - 单位GDP二氧化碳排放比2005年下降65%以上；
  - 非化石能源消费比重达到25%左右

中国各领域和各行业为表示对这些“顶层目标”的支持，在其各自的细化政策中对它们反复提及。

《“十四五”现代能源体系规划》<sup>69</sup>是指导能源系统发展的总体政策。除了采用已有的顶层目标外，该规划还对能源系统提出了额外的目标（表4只罗列了该规划涉及能源效率和能源转型的目标）。

---

<sup>68</sup> 中共中央、国务院（2021）《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》，[https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm)，政策

<sup>69</sup> 国家发改委等（2022），《“十四五”现代能源体系规划》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220322\\_1320016.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220322_1320016.html?code=&state=123)，政策

《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见》<sup>70</sup>对煤炭领域提出了预期：到“十四五”末，全国煤炭消费量控制在42亿吨左右，年均消费增长1%左右。在全国为高耗能行业的重点领域进行节能降碳和改造升级推出的实施指南<sup>71</sup>的基础上（本报告下方的工业部分中将其进行详述），2022年版的煤炭清洁高效利用指标<sup>72</sup>在2022年4月制定。该套指标为煤炭开采、煤炭加热炉和煤气化行业划定了“标杆水平”和“基准水平”。

2022年8月，国家能源局<sup>73</sup>发布了关于改进燃煤电厂能效和灵活性、名为“三个一批”的标准的制修订。“三个一批”是指：在2023年底前，整合修订涉及常规燃煤发电机组<sup>74</sup>和热电联产<sup>75</sup>（CHP）机组能效和灵活性相关考核的约束性标准，并将循环流化床燃煤发电机组（CFB）相关内容纳入强制性国家标准中；在2023年底前，制定或修订计算和考核标准；对其他配套标准进行制修订。2021年10月发布的《全国煤电机组改造升级实施方案》对排放标准进行了更新，将指导燃煤机组的改造和升级<sup>76</sup>。该实施方案规定，到2025年，全国煤电平均供电煤耗降至300克标准煤/千瓦时以下（相当于在低热值基础上的41%热效率）。根据方案，“十四五”期间，节煤降耗的改造规模不低于3.5亿千瓦，对存量煤电机组的灵活性改造完成量为2亿千瓦。中国煤电机组的平均煤耗已经由2020年的305.5克标准煤/千瓦时下降到了2022年的301.5克标准煤/千瓦时。这可能意味着，上述指标已提前实现。

《2023年能源工作指导意见》<sup>77</sup>强调，煤炭洗选率需要稳步提升。煤炭的洗选与加工过程对于提高与稳定煤炭质量至关重要，而高质量的煤炭也可以提升煤炭的高效利用。中国的原煤入洗率由2020年的74.1%下降至2022年底的69.7%。这一下降可能由两方面原因：一，为保证足

---

<sup>70</sup> 中国煤炭工业协会（2021），《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见》，  
<http://www.coalchina.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=9&id=129818>，行业文件

<sup>71</sup> 国家发改委等（2022），《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022年版)》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202202/t20220211\\_1315447.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202202/t20220211_1315447.html?code=&state=123)，政策

<sup>72</sup> 国家发改委等（2022），《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022年版）》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202205/t20220510\\_1324482.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202205/t20220510_1324482.html?code=&state=123)，政策

<sup>73</sup> 国家能源局等（2022），《关于进一步提升煤电能效和灵活性标准的通知》，  
[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/30/content\\_5707362.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/30/content_5707362.htm)，政策

<sup>74</sup> 国家标准化管理委员会（2017），《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》，  
<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D817D5D3A7E05397BE0A0AB82A>，国家标准

<sup>75</sup> 国家标准化管理委员会（2017），《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》，  
<https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D817D5D3A7E05397BE0A0AB82A>，国家标准

<sup>76</sup> 国家发改委等（2021），《全国煤电机组改造升级实施方案》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202111/t20211103\\_1302856\\_ext.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202111/t20211103_1302856_ext.html)，政策

<sup>77</sup> 国家能源局（2023），《2023年能源工作指导意见》，  
[http://zfxgk.nea.gov.cn/2023-04/06/c\\_1310710616.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/2023-04/06/c_1310710616.htm)，政府文件

够的电力供应，煤电厂在政府的要求下直接燃烧了部分原煤；二，位于中国中东部以及西南部的煤矿逐渐被关停，此举造成了洗选煤炭的缺口<sup>78</sup>。

非化石燃料能源的发展是决定能源转型进展的另一个因素。《“十四五”可再生能源发展规划》为可再生能源发展的未来愿景描绘了一幅满载希望的蓝图<sup>79</sup>。关于可再生能源的更多细节将在本报告下方的电力部分进行讨论。2022年11月，国家发改委等部门联合印发了《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》<sup>80</sup>。该通知明确，各地区新增可再生能源电力消费量从各地区能源消费总量中扣除，但仍需纳入能耗强度考核。现阶段，不纳入能源消费总量的可再生能源，主要包括风电、太阳能发电、水电、生物质发电、地热能发电等可再生能源。随着技术进步和发展，其他可准确计量的可再生能源类型将逐步“动态”纳入。关于可再生能源的更多细节将在本报告下方的电力部分进行讨论。

表 5 | 与能源消费和供应总量有关的部分政策

政策名	发布日期	2025年目标	2030年及之后目标
<a href="#">《“十四五”现代能源体系规划》</a> （国家发改委等）	2022年3月22日	“十四五”时期，单位GDP二氧化碳排放五年累计下降18%；到2025年，非化石能源消费比重提高到20%左右，非化石能源发电量比重达到39%左右，电气化水平持续提升，电能占终端用能比重达到30%左右；节能降耗成效显著，单位GDP能耗五年累计下降13.5%；到2025年，灵活调节电源占比达到24%左右，电力需求侧响应能力达到最大用电负荷的3%~5%。	非化石能源消费比重在2030年达到25%。
<a href="#">《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》</a> （国家发改委等）	2022年2月10日	“十四五”时期，基本建立推进能源绿色低碳发展的制度框架。	到2030年，基本建立完整的能源绿色低碳发展基本制度和政策体系。
<a href="#">《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022年版）》</a> （国家发改委等）	2022年5月10日	-	-

<sup>78</sup> 中泰证券（2023年5月），“2023年煤炭行业中期策略”，<https://www.vzkoo.com/read/2023051298edc37d7524d4f2e04e7661.html>，行业研报

<sup>79</sup> 国家发改委等（2021），《“十四五”可再生能源发展规划》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601\\_1326720.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&state=123)，政策

<sup>80</sup> 国家发改委等（2022），《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》，[https://www.ndrc.gov.cn/xgk/jd/jd/202211/t20221116\\_1341436.html](https://www.ndrc.gov.cn/xgk/jd/jd/202211/t20221116_1341436.html)，政策

政策名	发布日期	2025年目标	2030年及之后目标
<a href="#">《全国煤电机组改造升级实施方案》</a> （国家发改委等）	2021年11月3日	到2025年，全国火电平均供电煤耗降至300克标准煤/千瓦时以下；节煤降耗的改造规模不低于3.5亿千瓦。	-
<a href="#">《关于进一步提升煤电能效和灵活性标准的通知》</a> （国家能源局等）	2022年8月30日	-	-
<a href="#">《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见》</a> （中国煤炭工业协会）	2021年6月3日	到“十四五”末，国内煤炭产量控制在41亿吨左右，全国煤炭消费量控制在42亿吨左右，年均消费增长1%左右。	-
<a href="#">《“十四五”可再生能源发展规划》</a> （国家发改委等）	2022年6月1日	到2025年，非化石能源占能源消费总量比重达20%；可再生能源消费总量达到10亿吨标准煤左右；可再生能源在一次能源消费增量中占比超过50%；可再生能源年发电量达到3.3万亿千瓦小时左右；风电和太阳能发电量实现翻倍。	到2030年，非化石能源消费占能源消费总量比重达到25%左右；风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。
<a href="#">《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》</a> （国家发改委）	2022年3月23日	到2025年，可再生能源制氢量达到10-20万吨/年，实现二氧化碳减排100-200万吨/年。	到2030年，形成较为完备的氢能产业技术创新体系、清洁能源制氢及供应体系；到2035年，形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的多元氢能应用生态。
<a href="#">《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》</a> （国家发改委等）	2022年11月16日	-	-
<a href="#">《加快油气勘探开发与新能源融合发展行动方案（2023-2025年）》</a> （国家能源局）	2023年3月23日	通过油气促进新能源高效开发利用，满足油气田提高电气化率新增电力需求，替代勘探开发自用油气，累计清洁替代增加天然气商品供应量约45亿立方米。通过加大增压开采等措施，累计增产天然气约30亿立方米；努力打造“低碳”、“零碳”油气田；积极推进陆上油气勘探开发自消纳风电和光伏发电	

### 4.3.3 数据披露

中国的能源消费总量和主要能源的消费数据（包括煤炭、石油、天然气和非化石能源）会于每年二月底在其年度《国民经济和社会发展统计公报》中公布。《中国能源统计年鉴》中会有更详细的数据，但其出版时间通常会延迟一至两年。国家能源局有时也会公布季度数据，但这一公布方式并不固定，视季度而定。然而，这些偶尔的公布行为表明，中国政府内部掌握着数据。若能将相关数据更加系统地、以月度或季度的频率披露，将大大提高有关中国能源行业二氧化碳排放发展的公开信息的及时性。

## 4.4 发电量和发电装机容量

### 2023年亮点

- 整县屋顶分布式光伏开发与大型清洁能源基地为中国的可再生能源的发展做出了可观的贡献，但这两个项目在实际操作中也遇到了各类挑战。
- 中国明确了新型电力系统“三步走”的发展路径。
- 2023年，有赖于为刺激绿电交易所推出的各类政策，绿电交易与绿证交易都见证了快速的增长。绿证的适用范围也得到了扩展。
- 电力现货交易市场的建设正在进行，煤电容量电价机制也在2023年11月得到了建立。

能源领域是中国最大的二氧化碳排放者，而发电行业则是目前中国与能源有关的最大二氧化碳排放源。中国的电力需求一直在增长。即使其能源总需求放缓，中国的电力需求还将继续增长，这是因为该国所有行业的能源使用都在电气化。在此情况下，电力部门的任务不仅是要用清洁能源取代目前该部门自身基于化石燃料发出的电，而且还要扩大其电力供应，以使其他部门的化石燃料使用被清洁电力取代。因此，中国电力部门的去碳化和清洁发电的扩张是能源转型的关键。

中国拥有世界上最大的发电部门，而该部门拥有庞大的煤电队伍，这对中国电力部门的转型和实现碳零排放是重大挑战。电力部门是所有转型路径中减排的最大贡献者。例如，在清华气候院的1.5°C路径中，借助于BECCS技术，电力部门的二氧化碳排放量从2020年的40.6亿吨急剧下降到2050年的1.5亿吨净负排放。在该院的1.5°C和2°C的情景下，电力部门的排放量均在2023年以42.1亿吨的峰值达峰。

提高非化石燃料能源的比例和逐步淘汰煤炭是实现零碳电力生产的主要因素。在清华气候院的1.5°C情景下，风能和太阳能的装机总量从2021年的6.35亿千瓦增加到2050年的51亿千瓦；中国电力系统的总装机容量从2021年的24亿千瓦增加到2050年的63亿千瓦；91%的电力来自非化石燃料，其中风能和太阳能占63%。

终端电气化和绿色氢气的生产将大大增加电力需求。例如，在清华气候院的1.5°C“目标导向”的情景下，从2020年到2050年，电力需求几乎翻倍，达到14.27万亿千瓦时。

减排技术的部署需要根据技术本身的成本和成熟度以及逐步严格的减排要求分阶段进行。具有成本效益的成熟技术（特别是风能、太阳能和储能技术）在本世纪20年代已迅速扩容，如此扩容将持续到2050年；而对CCS等成本更高或仍不成熟的解决方案的部署则在2030年后开始有实质进展（见表6）。成本和原材料资源是阻碍生物质发电在减排中发挥主要作用的因素，而水电进一步扩张的潜力也非常有限。

在清华气候院的1.5°C情景下，采用CCS的发电装机容量在2030年左右开始扩张；在2050年达到1.49亿千瓦，并捕获6亿吨二氧化碳。BECCS的部署将在2040年左右开始，到2050年容量达到4800万千瓦，并捕获2.8亿吨的二氧化碳。

**表 6 | 非化石类发电技术和装有CCS技术的发电装机的年新增容量 (He et al., 2021)**

技术容量的增长 (单位: 百万千瓦/年)	2020-2030	2030-2050
风电	71	91
太阳能	42	87
水电	3	0
核电	8	10
生物质发电	1	1
配有CCS的生物质发电	0	1.6
配有CCS的化石燃料发电	0	3.4

## 4.4.1 对标基准的趋势

### 发电二氧化碳排放量的年度变化 (排除天气影响后)

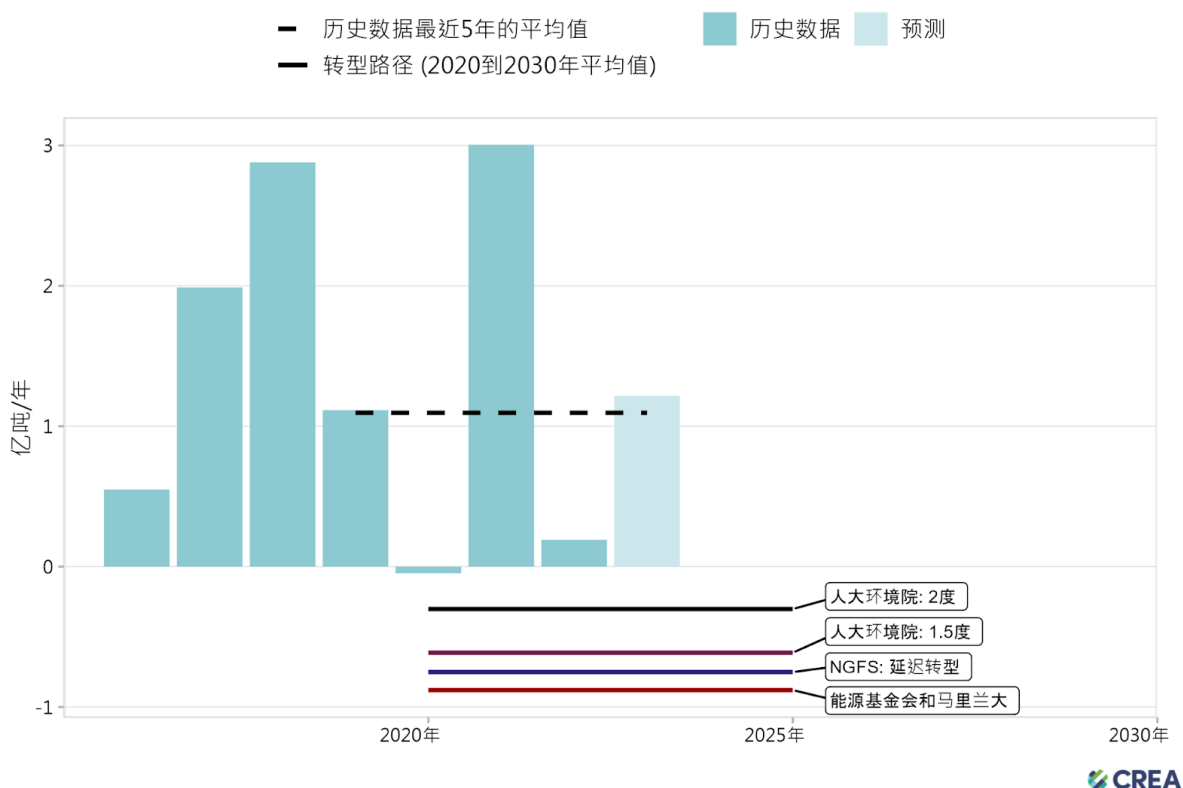


图 21 | 电力部门二氧化碳排放量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

在过去五年中，中国燃煤发电量平均每年增长4.0%，但根据转型路径，该指标从2020年到2030年每年需要下降0.5至3.0%。从实际来看，中国燃煤发电量每年的变化波动较大，特别是在2020年疫情开始后。2023年1月至8月，中国的燃煤发电量大幅上升，同比增长了8%，这主要是由于严重的干旱使水电在2022年8月至2023年7月出力不足。但是，如果撇开气象因素对水力、风能与太阳能发电的影响、纯粹分析燃煤发电量的话，后者的增长量在2022年至2023年间似乎有所放缓。当水力发电恢复到平均水平，同时清洁能源的发电继续增长、并超越2023年太阳能所创下的发电纪录后，煤电的发电量可能会下降。

中国燃煤发电量的持续增长部分原因是能源使用的电气化，特别是在工业部门，其进展速度远远超过转型路径中的预测。电气化将更多的煤炭使用量转移到电力部门，但其本身并没有增加国家整体的煤炭消耗量或碳排放量；并且随着电力供应的清洁化，电气化为去碳化创造了条件。



## 发电二氧化碳强度的年度变化 (排除天气影响后)

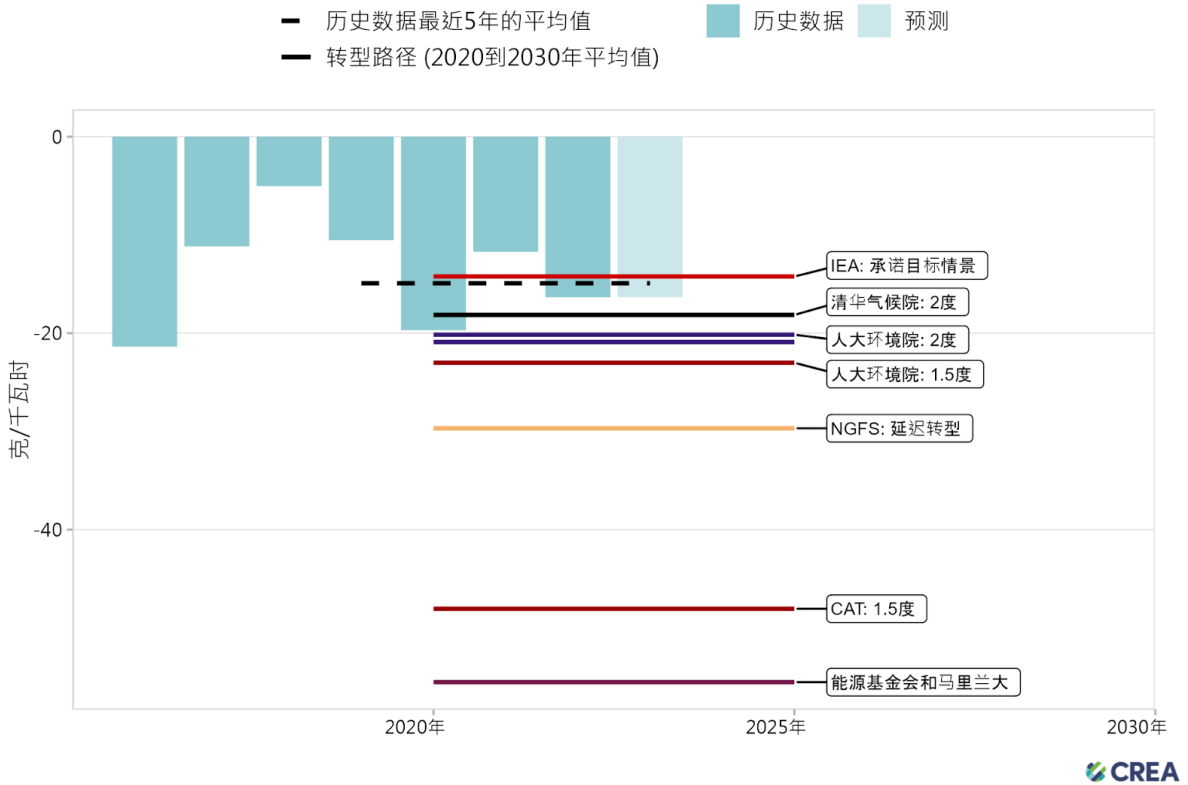


图 22 | 发电行业二氧化碳强度的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

中国发电行业的二氧化碳强度从2018年的570克/千瓦时下降到2023年的520克/千瓦时，平均每年下降13克/千瓦时。2023年，由于水电的出力受到严重影响，发电行业二氧化碳强度的下降率达到了2015年来的最低速度。但在修正天气影响之后，该下降率仍属于稳定。转型路径则要求，到2030年，中国发电行业的二氧化碳强度需下降到300-400克/千瓦时；换言之，路径需要该指标以过去五年平均下降速度的两倍下降。虽然2020年至2023年的发电行业的二氧化碳强度下降速度比2017年至2019年的速度略快，但是如果要和大部分转型路径的预测吻合，该下降速度在现实中需要继续加快。

## 年度新增非化石能源发电装机容量

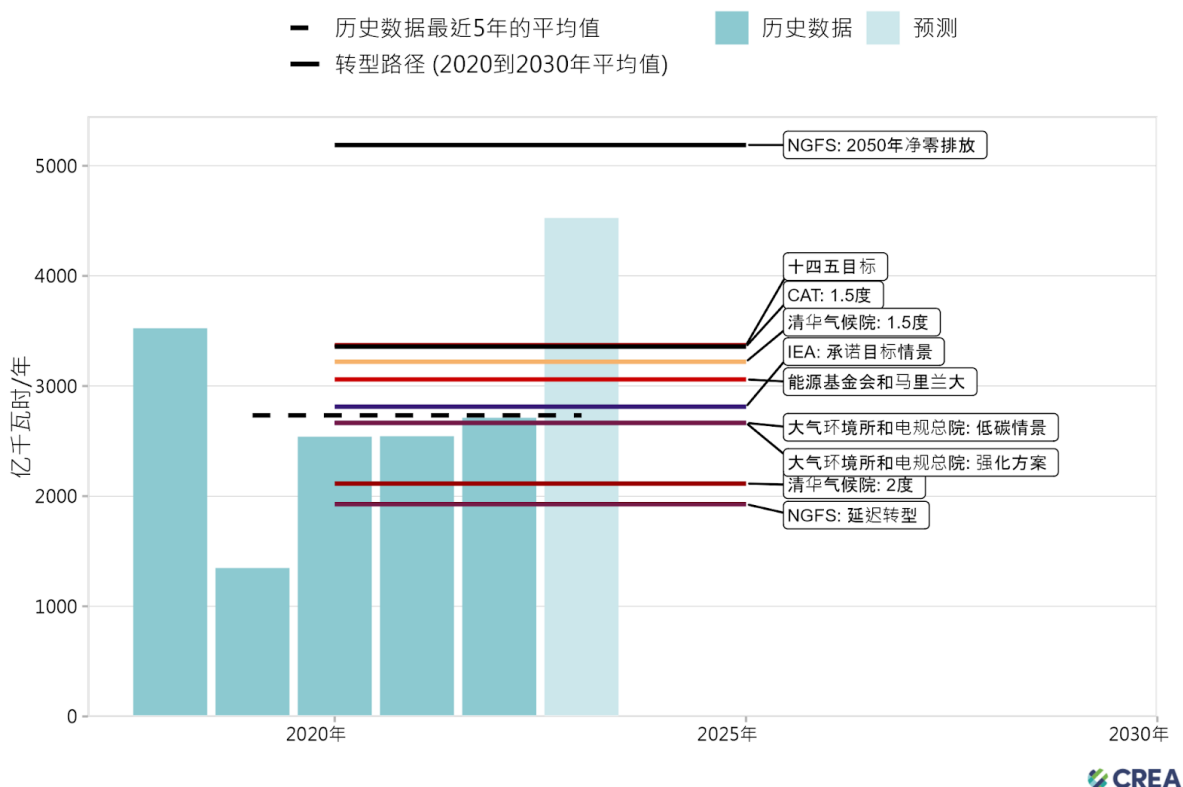


图 23 | 年新增非化石发电量（实际趋势与转型路径的对比，每年新增的风能、太阳能、核能和水电装机容量已用每种技术的平均容量系数转换为年发电量）

2023年，光伏的装机容量预计将超过2亿千瓦。这也意味着，光伏的新增装机容量将打破2022年创造的、8700万千瓦的纪录，创下新高。

为了控制不同发电技术的容量系数的逐年变化，我们使用每种技术的平均容量系数，将新增的风能、太阳能、核能和水电容量转换为新增的年发电量。

通过此番计算，2023年新增的年度非化石发电量将超过4000亿千瓦时，超过平均年度发电总量的增长量。这意味着，如果清洁能源的增长保持现有速度，但电力消费的增长维持或低于历史平均水平，电力部门的排放将在未来几年内达峰。

在过去的五年里，中国非化石发电装机量的增加一直在转型路径的预测范围内，而在2023年，其增加量可能会达到路径预测的范围的高端。此外，我们对中央层面和各省市区政府在2021至2025年期间计划增加的风光装机量进行了测算。结果显示，如果所有目标均得以实现<sup>81</sup>，这五年内中国的风光装机量总共将增加8.7亿千瓦。这也意味着，到2025年，中国的风电与光伏装机

<sup>81</sup>国际能源网（2022），《874.037GW！30省/市“十四五”时期新增风光装机目标（全文件）》，<https://www.in-en.com/article/html/energy-2319588.shtml>，新闻报道

量将达到 14 亿千瓦。这一增量远远快于中国目前在这一方面的纲领性目标，即到 2030 年风、光装机量达到 12 亿千瓦。再加上国家五年计划中的核电目标和水电的预期扩张，中国新增的非化石能源发电装机总量将达到几乎所有转型方案的预期，唯一的例外是在此方面预期最高的 NGFS 的“净零 2050”方案。

从某种意义上说，非化石发电装机量的如此增速应该已经可以使中国的电力部门走上一条与全球温度目标相一致的转型道路。然而事实上，中国发电量的快速增长意味着非化石能源发电在 2017 至 2022 年只满足了 57% 的额外发电量，剩下的额外发电量仍依靠化石燃料。

### 年度新增火电装机容量

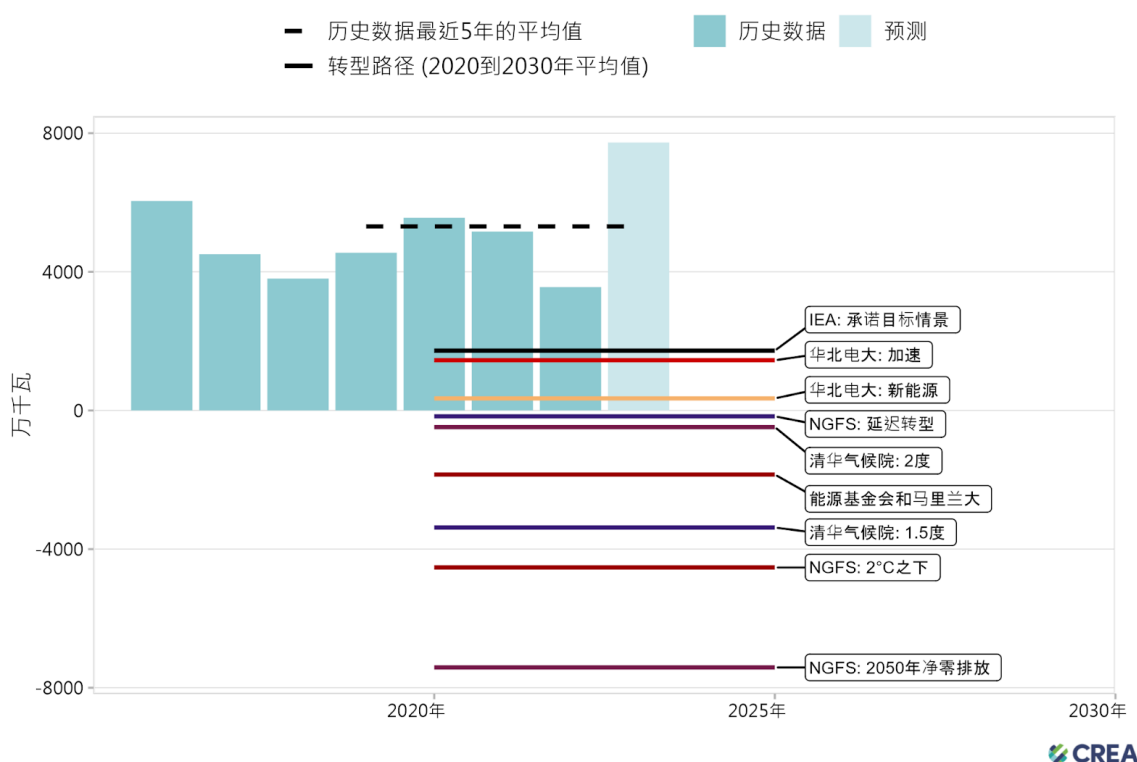


图 24 | 年新增火力发电装机容量（实际趋势与转型路径的对比）

2022 年前，中国的火力发电装机容量（主要涉及煤炭和天然气）以平均每年近 5000 万千瓦的速度净增，几乎相当于每周新增一个大型火力发电厂。这比转型路径中的速度要快得多。根据转型路径，从 2020 年到 2030 年，中国火力发电装机容量要么只有很少量的净增，要么大幅减少。然而在 2023 年，由于项目核准数量的增加与部分 2020 年开建之后暂停的项目的恢复，新增的煤电装机容量激增。

对新建燃煤发电厂的核准速度在 2022 年与 2023 年加快。

2020年，中国成为世界上首个承诺实现碳中和的主要发展中国家。此后，中国政府的主要口号<sup>82</sup>之一是严格控制“两高”行业的发展。在2021年4月，习近平在“领导人气候峰会”<sup>83</sup>上宣布，中国将“严控煤电项目，‘十四五’时期严控煤炭消费增长、‘十五五’时期逐步减少”<sup>84</sup>。

#### 4.4.2 聚焦中国的煤电飙升

究竟是什么导致中国从2021年承诺“严控煤电项目”到2022年见证了煤炭项目的飙升呢？

2021年秋与2022年夏发生的大规模电力短缺可以说是转折点，对电力供应的担忧使政策发生了大逆转。它使能源政策的重点从不鼓励与“严控”新建煤电项目变为追求项目的快速增长。根据2022年10月<sup>85</sup>的一篇报道，国家发改委推高了煤电开工指标。同时，发改委还提出推进煤炭与煤电的“联营”<sup>86</sup>，意指鼓励效益好的煤炭经营者对煤电发电项目进行投资。

虽然电力紧缺是近期煤电项目飙升的导火索，但政府对煤炭的态度转变也引起了公共事业部门和省政府的预期的转变。以下是几个更为深层化与系统化的、驱动煤电上升的因素：

- **僵化的电网运行方式：**煤电并不是中国应对电力短缺的唯一选择，加大电力系统的灵活性其实可以更好地利用现有的发电厂和电力传输设施。此举不仅可以促进省间电力传输，还可以加大需求侧调度和储能的作用，三者可以减少或完全避免对新建煤电厂的需求。然而，中国电力系统的改革进展缓慢，且欠整体性。
- **自我强化的“煤炭热潮”：**中国政府在政策转向上通常具有突发性，仓促废除的“清零”政策就是一个最好的例子。该倾向性催生了官员和企业“趁热打铁”的心态。当大量的煤电项目被核准后，市场参与者便会预计政府对多余的产能进行“严控”的可能，这造成了他们希望在短时间内锁定尽量多的核准。这一现象在2015年至2016年的煤炭核准潮期间便有发生，在之后的2017年，政府不仅严控了新核准项目的数量，还清理了一批已经被批准的项目。

---

<sup>82</sup> 生态环境部（2021年），关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见，[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202105/t20210531\\_835511.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202105/t20210531_835511.html)，政府文件

<sup>83</sup> 中国外交部（2021年4月），《习近平在“领导人气候峰会”上的讲话（全文）》，[http://www.xinhuanet.com/english/2021-04/22/c\\_139899289.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2021-04/22/c_139899289.htm)

<sup>84</sup> 美国白宫（2021年4月），Leaders Summit on Climate Summary of Proceedings，<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/23/leaders-summit-on-climate-summary-of-proceedings/>，政府文件

<sup>85</sup> 界面新闻（2022年10月），“中国煤电核准提速 电力人士：今冬明夏用电缺口仍存”，<https://news.sina.cn/gn/2022-10-13/detail-imqqsmrp2477197.d.html>，新闻报道

<sup>86</sup> 北极星储能网（2023年1月），“2022年国家发改委推进煤炭与煤电、煤电与新能源‘两个联营’”，<https://m.bjx.com.cn/mnews/20230118/1283977.shtml>，新闻报道

- **国企与省政府的“企业家直觉”**：一方面，对于国企而言，通过煤炭政策的放松增加煤电容量是获得市场占比的良机；另一方面，各省市也想抓住机会，扩大自身的发电装机容量。相比依赖外省输电，沿海省份更希望在电力问题上自给自足；但同时，内陆省份希望以沿海省份的输电需求为理由，提高对本地煤电的投资。一直以来，大型能源项目都是拉动地方经济增长的一剂灵药。

在承诺“严控”新建煤电项目后，国家能源局公布了一项政策<sup>87</sup>，对新建煤电项目提出了严格的要求。在这项政策中，原则上不再新建单纯以发电为目的的煤电项目，按需安排一定规模保障电力供应安全的支撑性电源和促进新能源消纳的调节性电源。

然而，上述国家能源局的政策并无有效实施“严控”新建煤电项目的具体措施。CREA对2022年至2023年获批的煤电项目的分析发现，其中的绝大多数并没有达到国家能源局的要求。同时，分析发现：

- 大量新建燃煤电厂的省份并没有把这些项目用于“支撑”相应的大量清洁能源的建设。
- 大多数项目所处的省份对调峰发电容量并没有需求。
- 大多数新项目所处的地区已经有了足够的煤电容量来“支撑”现有和计划中的风、光装机容量。

从2022年1月至2023年6月，中国共核准1.52亿千瓦新煤电容量，并开工建设9200万千瓦的煤电容量，这两个数字分别是全球其他国家同期同一数据总和的十倍和八倍。在2023年7月至9月，中国又核准了至少2500万千瓦煤电容量<sup>88</sup>。

上述情况也凸显了对中国的电网运行进行改革的必要性。增加电网运行——特别是省际输电过程的灵活性是避免目前出现的各种电力短缺的关键。这一举措还可以减少各省市对燃煤发电能力的需求，并促进对多变不稳的可再生能源的消纳。卓尔德环境研究与咨询中心（Draworld Environment Research Center）和CREA联合进行的一项分析显示<sup>89</sup>，更高的电网灵活性可以帮助减少各省市在其低碳转型的过程中将燃煤机组作为备用保障设施的需求。仅在华东地区，此举就可规避3000万千瓦的燃煤发电装机容量。

---

<sup>87</sup> 国家能源局（2021年）“关于政协第十三届全国委员会第四次会议第0481号（经济发展类049号）提案答复的函复文摘要” [http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-08/27/c\\_1310486070.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-08/27/c_1310486070.htm)

<sup>88</sup> 北极星火力发电网整理的相关新闻（未包含所有核准开工项目），<https://huodian.bjx.com.cn/yw/>

<sup>89</sup> CREA（2022），《构建“新型电力系统”与容量充足性——基于需求高峰时刻可得发电资源的实证分析》，<https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2022/06/CN-China-Power-system-adequacy.pdf>，研究报告

## 中国在建煤电项目的装机量统计

每半年项目状况的变化情况

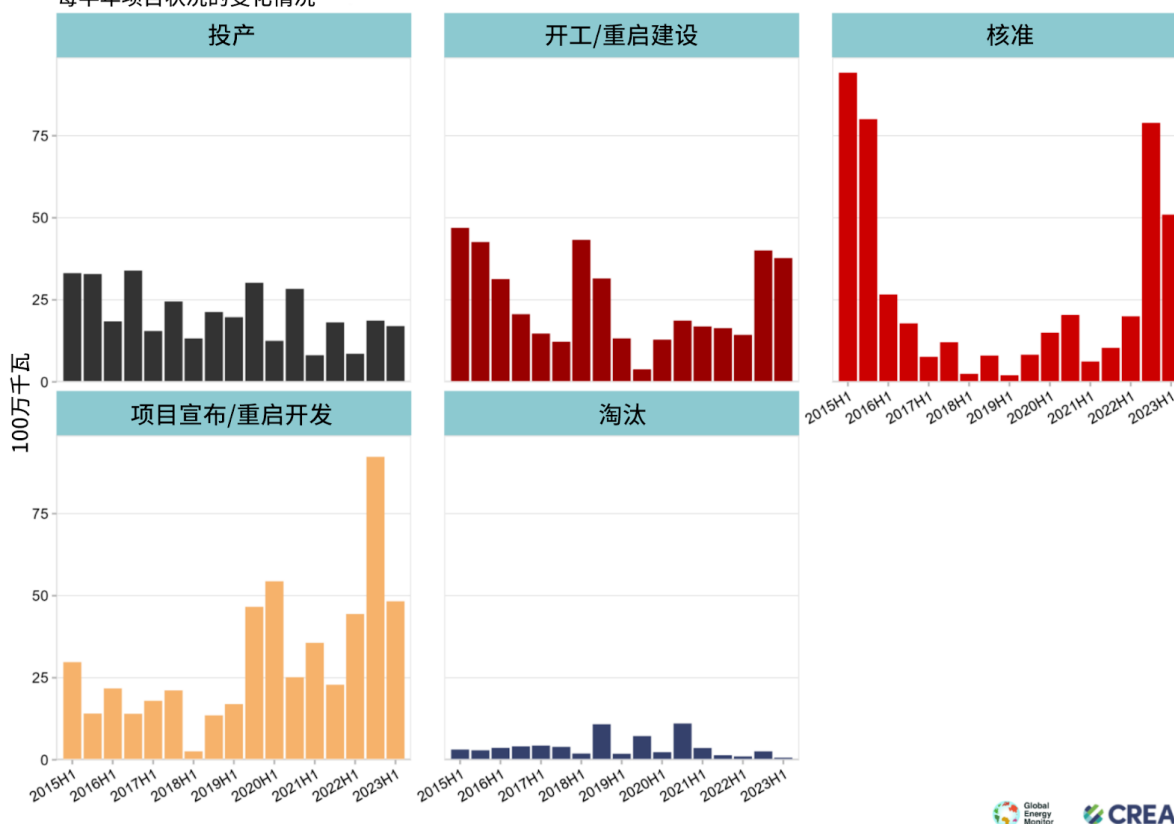


图 25 | 中国在建煤电项目的装机量统计，统计以每半年为单位

数据来源：CREA基于[全球燃煤电厂追踪](#)（Global Coal Plant Tracker）平台的数据的分析

### 4.4.3 现行政策

#### 可再生能源及核电

《“十四五”可再生能源发展规划》<sup>90</sup>是为本个十年中国可再生能源的发展描绘全面构想的统领政策。它设定了多个到2025年的发电和消费目标：

- 可再生能源消费总量达到10亿吨标准煤左右，可再生能源在一次能源消费增量中占比超过50%。
- 可再生能源年发电量达到3.3万亿千瓦时左右，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过50%，并且风电和太阳能发电量实现翻倍。

<sup>90</sup> 国家发改委（2022），《“十四五”可再生能源发展规划》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601\\_1326720.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&state=123)，政策

- 全国可再生能源电力总量消纳责任权重达到33%左右，可再生能源电力非水电消纳责任权重达到18%左右。
- 地热能供暖、生物质供热、生物质燃料、太阳能热利用等非电利用规模达到6000万吨标准煤以上。

同时，《“十四五”现代能源体系规划》为核电和水电的发展设置了指标。该规划提出，到2025年，中国的核电运行装机容量将从2020年的5000万千瓦增加到7000万千瓦左右；在不包含抽水储能的常规水电装机容量上，该规划的目标是，到2025年，将其从2020年的3.4亿千瓦提升到3.8亿千瓦左右。《中国核能发展报告（2023）》<sup>91</sup>预计2030年前，中国的在运核电装机规模有望成为世界第一。同时，该报告预计到2035年，中国核能发电量在总发电量的占比将达到10%。

在更具体的政策方面，《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》为非水电可再生能源的补贴提供了指导<sup>92</sup>。它还启动了补贴退坡机制方面的工作，以支持推行绿色电力证书交易，使其成为支持可再生电力发展的一个工具。

同时，《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》<sup>93</sup>为氢能产业绘制了到2035年的发展蓝图，并该产业制定了到2025年、2030年和2035年的目标。2023年8月，六个国家部委联合发布了《氢能产业标准体系建设指南（2023版）》<sup>94</sup>，旨在加快建立氢能制、储、输、用的全方位标准体系。超过30个省市也在各自的地方“十四五”规划中包含了氢能的发展，北京、河北、四川和内蒙古等地更是发布了详细的实施方案。根据《中国氢能产业发展蓝皮书（2023）》<sup>95</sup>的统计，2022年中国氢气产能约为4100万吨/年，产量为3781万吨/年。该蓝皮书同时预测，在2030年碳达峰愿景下，中国氢气产量预期将超过5000万吨/年。

《“十四五”生物经济发展规划》也将生物质能源是“示范工程”之一，并鼓励对生物质进行补贴<sup>96</sup>。

<sup>91</sup> 中国核能行业协会（2023），《中国核能发展与展望（2023）》，  
<https://www.china-nea.cn/site/content/43211.html>

<sup>92</sup> 财政部（2020），《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》，  
[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/03/content\\_5474144.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/03/content_5474144.htm)，政策

<sup>93</sup> 国家发改委（2022），《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220323\\_1320038.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220323_1320038.html?code=&state=123)，政策

<sup>94</sup> 国家标准委等（2023），《氢能产业标准体系建设指南（2023版）》，  
[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content\\_6897986.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6897986.htm)

<sup>95</sup> 北京金正纵横信息咨询有限公司（2023），《中国氢能产业发展蓝皮书（2023）》，  
<https://3cst.cn/mobile/information/yNUz0BNkITGS11ea8d6300163e0473d8>

<sup>96</sup> 国家发改委（2021），《“十四五”生物经济发展规划》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202205/t20220510\\_1324436.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202205/t20220510_1324436.html?code=&state=123)，政策

## 可再生能源电力消费

2019年，国家发改委和国家能源局联合印发了关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知<sup>97</sup>，对各省级行政区域设定可再生能源电力消纳责任权重，即各省级行政区域对电力消费规定应达到的可再生能源电量的比重。虽然该通知明确规定，售电企业和电力用户应协同承担消纳责任，但在实际中，各省级行政区域目前依靠电网企业来实现该消纳指标。从2020年起，国家发改委和国家能源局开始每年发布各省级行政区域当年需要实现的消纳指标与下一年它们各自的预期指标。

2023年<sup>98</sup>，三个水电大省——四川、青海和云南的总量消纳责任权重指标全国最高，为70%。非水电消纳责任权重方面，风光大省青海、宁夏和吉林的指标为全国最高，分别为27.2%、24.5%和23.5%。

## 整县推进分布式光伏行动

2021年6月，国家能源局启动了整县（市、区）屋顶分布式光伏开发的试点方案<sup>99</sup>。中国的光伏装机容量正以前所未有的速度迅猛发展，分布式光伏在里面起到了重要的推进作用。截至2023年，分布式光伏在所有新增光伏容量里的占比达到一半，显示了上述整县试点方案的成功。该方案的核心是县级政府，它们主导了各自管辖地区的实施情况，并对项目的整个生命周期（包括投资、融资、建设、运营及维护）进行监管。此举使屋顶分布式光伏在中国飞速增长。

在该方案初始阶段，全国共启动了676个试点地区。这些地区须在2023年完成以下指标：党政机关建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于50%，学校、医院、村委会等公共建筑屋顶不低于40%，工商业厂房屋顶不低于30%，农村居民屋顶不低于20%。

该方案大大提升了中国太阳能发展的进程。2021年，分布式光伏的装机容量占全国太阳能装机容量的53%，超过集中式光伏电站的合计规模。2022年，该比例上升为58%。2023年上半年，即使中国太阳能装机总容量的增速达到惊人的150%，分布式光伏仍然保持着50%以上的占比。因此，该方案成为了中国太阳能装机发展的一个不可或缺的重要驱动因素。但是，整县光伏的整体进展并不平均。截至2023年4月，全国范围内，试点地区分布式光伏累计并网容量仅达到规划目标的22%的，且完成度参差不齐：虽然河南与山东等省的完成率超过30%，

---

<sup>97</sup>国家发改委（2019），关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知，[https://www.gov.cn/xinwen/2019-05/16/content\\_5392082.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2019-05/16/content_5392082.htm)

<sup>98</sup> 国家发改委（2023），关于2023年可再生能源电力消纳责任权重及有关事项的通知 [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202308/t20230804\\_1359101.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202308/t20230804_1359101.html)

<sup>99</sup> 国家能源局（2021），国家能源局综合司关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单的通知，[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/15/content\\_5637323.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/15/content_5637323.htm)



但部分落后省份的完成率不到15%。大型国企进入分布式光伏市场致使民营企业的市场空间遭受挤压；然而，大型国企在与地方政府、商业界和居民的互动过程中时常遇到阻力，这又导致项目实施的延迟<sup>100</sup>。

## 大型清洁能源基地

**中国正遵循集中式与分布式新能源齐头并进的发展战略。《“十四五”现代能源体系规划》强调，需加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，并积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。**

2022年2月，国家发改委和国家能源局印发了《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》。该方案提出，到2030年，中国规划和建设的风光基地的总装机容量将约为4.55亿千瓦。虽然第一批9705万千瓦风光大基地项目已开工，但是由于电网消纳有限与政策框架不明，这些项目的进展比预期缓慢。截至2023年7月，仅3000万千瓦的容量进入运行阶段。

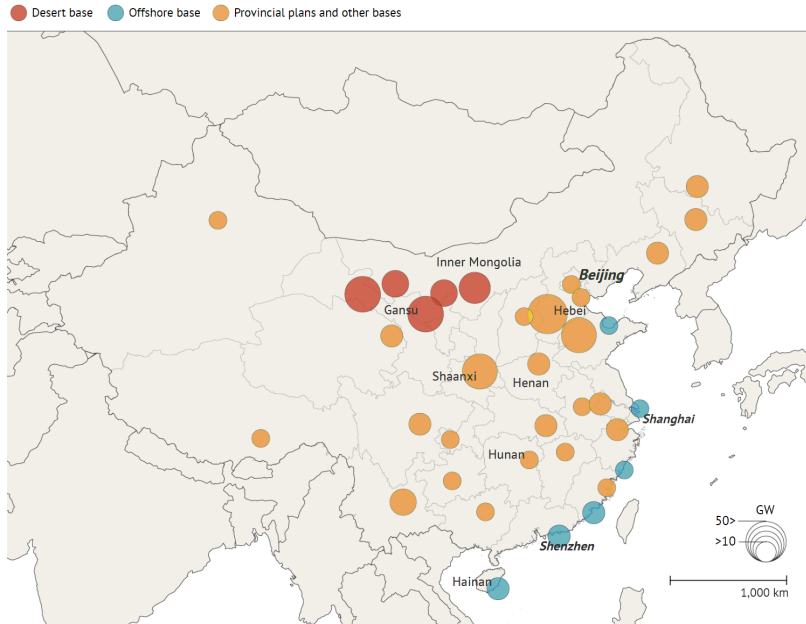
这些大型清洁能源基地面临着需要用煤电为清洁能源配套调峰的挑战。也就是说，大型清洁能源基地一般需要建设备用的火电容量，然而，这些备用电源的低利用率可能会导致其经济亏损，特别当煤价走高时。正因如此，发电集团对于为新能源项目提供配套电力资源缺乏热情。尽管中国建造大型清洁能源基地的初衷是为了减少煤电的占比，但现行的方式并未有效减少对火电的依赖。

另外，在第一批清洁能源基地项目里，本地的电力消费量和跨省的输电量基本持平；同时，第二批项目更侧重于外送电力传输的需求。然而，建立发电源并为其配套火电与储能容量需要资金，再加上超高压传输线路的高昂成本，为将这些基地发出的电力传输到东部地区的经济性打上一个问题，因为这些电力的成本是否能与本地发出的煤电与可再生电力的价格进行竞争还是未知因素。

---

<sup>100</sup> 中国电力网（2022），“国内整县光伏开发推进现状”，  
<http://mm.chinapower.com.cn/zx/hyfx/20220819/163598.html>

### China's clean energy bases' will help double its wind and solar capacity in five years



Clean energy bases and provincial clean energy installation plans with targeted installed wind and solar capacity by 2025 indicated by the size of the circles. The desert bases (red circles) in western Inner Mongolia and Gansu, offshore wind bases across the coast (blue) and provinces' own clean energy expansion (yellow) will all provide electricity to the demand centres in the east. Source: Authors' compilation of targets from policy documents. Map by Tom Prater for Carbon Brief.

图 26 | 中央和省级“十四五”规划中筹划的清洁能源基地<sup>101</sup> (地图由Tom Prater为Carbon Brief制作)

## 储能

国家发改委和国家能源局联合印发的《关于加快推动新型储能发展的指导意见》<sup>102</sup>指出，储能是能源领域碳达峰碳中和的“关键支撑之一”。该指导意见鼓励储能的多轨发展，比如，在国家层面和省级层面分别制定发展规划、推动发电侧和电网侧的储能项目以及支持用户侧的储能发展。2023年2月，国家能源局印发了《“十四五”新型储能发展实施方案》，旨在逐步建立符合中国国情和国际标准的新型储能标准体系。

随着风能与太阳能等相对不稳定的可再生能源的发展，强化储能容量迫在眉睫。已经有近30个中国省份推出了“可再生能源配套储能”的规划，以缓解用电高峰的电力供应压力。这些政策规定，可再生能源基地必须配套储能设施，而后者的容量一般需要占整个项目装机容量的10%至20%，且在保持经济性的同时实现至少四个小时的电力储存能力。然而，这些硬性规定也为可再生能源公司带来了财务压力。同时，用户端的储能技术运用更具效益。

<sup>101</sup> Myllyvirta and Zhang (May 2022). Analysis: What do China's gigantic wind and solar bases mean for its climate goals? Carbon Brief.

<https://www.carbonbrief.org/analysis-what-do-chinas-gigantic-wind-and-solar-bases-mean-for-its-climate-goals/>

<sup>102</sup> 国家发改委等（2021），《关于加快推动新型储能发展的指导意见》，

[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202107/t20210723\\_1291321.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202107/t20210723_1291321.html)，政策

## 新型电力系统

2023年6月，由国家能源局组织编写的《新型电力系统发展蓝皮书》<sup>103</sup>发布。该报告为中国新型电力系统的建设设计了“三步走”的发展路径，即：

- 加速转型期（当前至2030年）：该时期旨在加速向新型电力系统的转型，推动各产业用能形式向低碳化发展，非化石能源消费比重达到25%；新能源开发实现集中式与分布式并举，引导产业由东部向中西部转移。
- 总体形成期（2030年至2045年）：在该时期，新型电力系统总体形成，基础设施与科技不断演变，为新能源场景奠定基础。
- 巩固完善期（2045年至2060年）：该时期是“三步走”的最后时期，聚焦于对新型电力系统的完善与稳定。

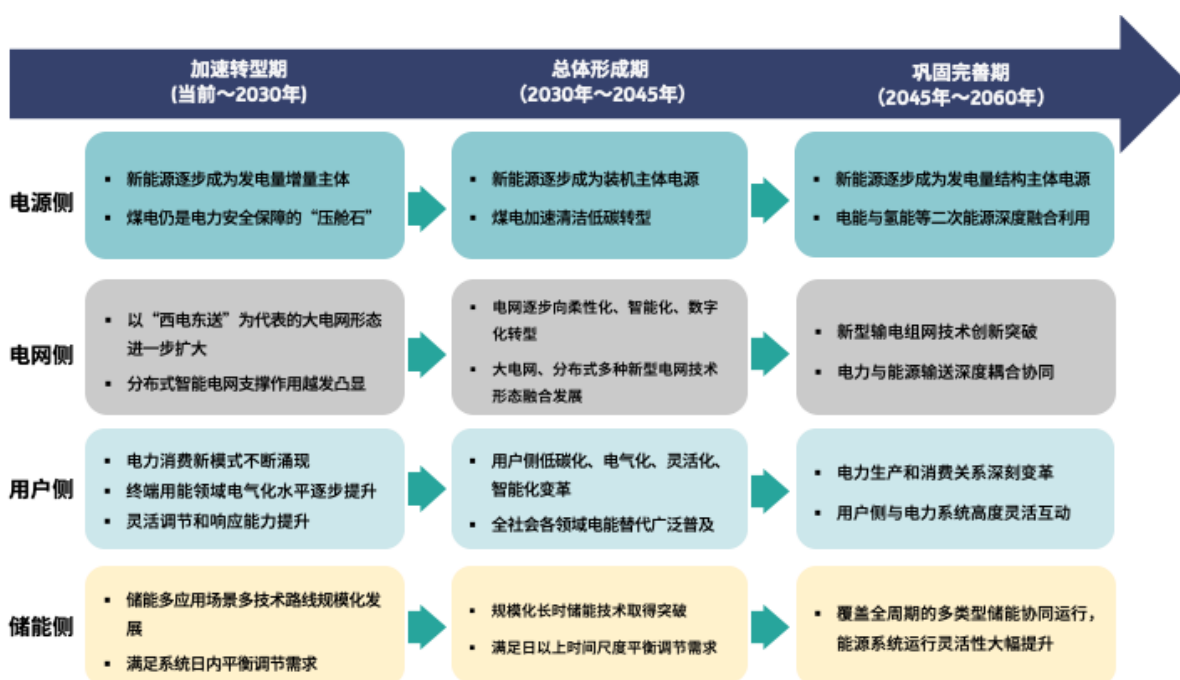


图 27 | 中国新型电力系统建设的发展路径，取自《新型电力系统发展蓝皮书》

该蓝皮书也阐述了煤电的发展定位。它明确指出，在近期与中期未来，煤电装机和发电量仍将“适度增长”，而煤电的增长主要是为了提供应急保障和备用容量，并在高峰时期满足用电需求。

<sup>103</sup> 国家能源局（2023），《新型电力系统发展蓝皮书》，<http://www.nea.gov.cn/download/xxdlxtfzlpqsk.pdf>

## 绿色电力交易与绿证

为了推动清洁电力在中国的使用，绿色电力证书（以下简称“绿证”）体系<sup>104</sup>在2017年应运而生。在该体系下，可再生能源企业可根据自身的发电量获得与出售绿证。然而，由于该体系推行自愿认购，且难以将绿证的环境价值转移给终端用户，绿证的交易一直处于停滞状态。

为解决此问题并鼓励绿色能源的使用，国家发改委与国家能源局在2021年8月启动了绿色电力（以下简称“绿电”）交易试点项目<sup>105</sup>。该项目从以下方面定义了中国绿电交易的构架：

- “绿电”的定义：初期以风电和光伏发电为主，可能会逐步扩大到符合条件的水电。
- 交易框架：以年度或多月的交易为试点，也鼓励长期的电力购买协议。
- 优先原则：绿电应该在交易的每个阶段——包括组织、执行和结算阶段被优先考虑。
- 形式：直接从发电商或电网购买。
- 定价机制：非限制性定价，也鼓励其价格高于上网电价或从电网处购买价格（或同时高于两者），以“反映绿色电力的电能价值和环境价值”。
- 对转型和未来发展的期望：绿电交易应保持优先地位，并鼓励将其与其他碳法规相结合，如可再生能源消费配额和碳交易市场下的中国核证自愿减排量。

绿电的优先地位是绿电交易试点的基本原则。2022年1月，国家发改委与国家能源局在一份指导意见<sup>106</sup>中强调了以市场化方式发现绿色电力的环境价值的重要性，并鼓励用户直接购买绿色电力、推动电网企业优先执行绿色电力的直接交易结果。2022年5月，国务院办公厅转发了国家发改委与国家能源局制定的《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》<sup>107</sup>，该方案强调，需推动绿色电力在交易组织、电网调度、价格形成机制等方面体现优先地位。之后，国家发改委与国家能源局又就2023年电力中长期合同的签订和履约工作发布了通知<sup>108</sup>，该通知指出，需落实绿色电力在上述环节的优先定位。

---

<sup>104</sup> 国家发改委等（2017），《关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201702/t20170203\\_962895.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201702/t20170203_962895.html)

<sup>105</sup> 新华社（2021），“我国绿色电力交易试点正式启动”，[http://www.gov.cn/xinwen/2021-09/07/content\\_5636072.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-09/07/content_5636072.htm)，新闻报道

<sup>106</sup> 国家发改委等（2022），《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128\\_1313653.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128_1313653.html)

<sup>107</sup> 国务院办公厅（2022），国务院办公厅转发国家发展改革委国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，[https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/30/content\\_5693013.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/30/content_5693013.htm)

<sup>108</sup> 国家发改委等（2022），《关于做好2023年电力中长期合同签订履约工作的通知》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202212/t20221222\\_1343757.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202212/t20221222_1343757.html)

同时，为了拉动绿电交易的需求与空大市场，政府层面也发布了多项文件。2022年1月发布的《促进绿色消费实施方案》<sup>109</sup>鼓励行业龙头企业、大型国有企业、跨国公司等消费绿色电力。该方案提出，为加强高耗能企业使用绿色电力的刚性约束，各地可根据实际情况制定高耗能企业电力消费中绿色电力最低占比。它还指出，需建立绿色电力交易与可再生能源消纳责任权重挂钩机制，这使市场化用户通过购买绿色电力或绿证完成可再生能源消纳责任权重。2023年2月，国家发改委、财政部和国家能源局下发通知<sup>110</sup>，推动享受中央政府补贴的绿电补贴项目全面参与绿色电力交易。2023年9月，多部门联合印发《电力需求侧管理办法（2023年版）》<sup>111</sup>以鼓励绿电的使用，特别是新型基础设施的绿电消费水平和绿电的就近消纳，并旨在提升重点区域和企业的绿电消费比重。

绿证是绿色能源消费的非直接证明，而绿色电力交易则对其提供了直接证明。绿证交易在初始阶段的交易量非常低，但其在2022年初开始趋于活跃。2023年8月，一份由多部门联合下发的通知明确<sup>112</sup>，绿证是我国可再生能源电量环境属性的唯一证明。同时，该通知将绿证的覆盖范围扩展到所有在册与或审批的可再生能源项目，实现绿证核发全覆盖；并指出，可交易绿证除用作可再生能源电力消费凭证外，还可通过参与绿证绿电交易等方式在发电企业和用户间有偿转让。值得指出的是，在现行政策下可交易绿证仅可交易一次，即购买方无法再对其进行出售。这一点大大制约了绿证的可转移性。

绿色电力交易与CCER均可帮助碳排放企业进行排放履约。在现行市场规则下，CCER登记在册的新能源项目可以同时通过出售绿证与CCER来获得额外收入。

## 电力现货市场

中国的电力市场发展与国际上许多市场不同，因为它优先中长期交易，其次才发展现货市场。该设计旨在提供价格稳定性，同时规避风险。目前，中长期市场是中国电力交易的主力军。

---

<sup>109</sup> 国家发改委等（2022），《促进绿色消费实施方案》，

[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202201/t20220121\\_1312525.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202201/t20220121_1312525.html)

<sup>110</sup> 碳道（2023），《发改委、财政部、能源局重磅文件 ---绿电交易溢价等额冲抵国家补贴或归国家所有》，  
[https://www.ideacarbon.org/news\\_free/59010/?pc=pc](https://www.ideacarbon.org/news_free/59010/?pc=pc) 新闻

<sup>111</sup> 国家发改委等（2023），《电力需求侧管理办法（2023年版）》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202309/t20230927\\_1360902.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202309/t20230927_1360902.html)

<sup>112</sup> 国家发改委等（2023），《关于做好可再生能源绿色电力证书全覆盖工作促进可再生能源电力消费的通知》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202308/t20230803\\_1359093.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202308/t20230803_1359093.html)

2015年发布的《关于推进电力市场建设的实施意见》<sup>113</sup>提出，逐步建立以中长期交易为主、现货交易为补充的市场化电力电量平衡机制。此举的目的是以中长期交易规避风险，以现货市场发现价格，同时提供品种齐全的交易和服务。

2017年与2021年，部分省份与城市被选为现货交易试点市场。2022年，政府发布了到2025年加快建设全国统一电力市场体系的指导意见<sup>114</sup>，提出对电力中长期、现货、辅助服务市场一体化设计和联合运营。

电力现货市场分为省、省间与全国三个交易层面。各省的现货市场已开始常规运营，而省间市场仍在发展中。中国现阶段目标是到2030年建立一个统一的全国电力现货交易市场。2023年9月发布的《电力现货市场基本规则（试行）》为省和省间电力现货市场的交易设定了规则，为全国市场的最终建立铺平了可能道路。

上述的试行基本规则强调了，应逐步推动省间、省（区、市）/区域市场融合。同时，该规则希望通过增加省间市场的参与者数量，培育发电企业、电力用户和售电公司的参与。2023年，省间现货交易在电力调峰上扮演了一定的角色。

该基本规则还特别关注可再生能源参与主体，根据它们的需求设计市场机制，并旨在鼓励分布式发电、负荷聚合商、储能和虚拟电厂等主体参与电力交易。

2023年10月，国家发改委和国家能源局发布关于进一步加快电力现货市场建设工作的通知<sup>115</sup>。该通知要求多数省份在2023年底前做好试点现货交易的准备，并对市场的发展设定了具体的时间节点。例如，通知规定，浙江省在2024年6月前启动现货市场连续结算试运行，而福建省须在2023年底前开展长周期结算试运行。通知还明确了现货市场正式运行的条件，大多数试点省份的现货市场在连续运行一年以上后可转入正式运行。

在区域市场方面，南方区域电力现货市场在2023年底前启动结算试运行，京津冀电力市场力争2024年6月前启动模拟试运行。

通知强调，放开各类发电企业、用户、售电公司等参与交易，这与《加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》提出的2030年新能源全面参与市场交易的目标一致。通知同时鼓励分布式新能源上网电量参与市场。

---

<sup>113</sup> 国家能源局（2015），《关于推进电力市场建设的实施意见》，  
<https://www.gov.cn/xinwen/2015-11/30/5018221/files/87556b7e1f4f4aaab86ac7c99f5acf3f.pdf>

<sup>114</sup> 国家发改委等（2022），《加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128\\_1313653.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128_1313653.html)

<sup>115</sup> 国家发改委办公厅等（2023），《关于进一步加快电力现货市场建设工作的通知》，  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202311/t20231101\\_1361704.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202311/t20231101_1361704.html)

## 容量电价机制

为了帮助电网大规模消纳新能源，煤电机组的角色原则上应从主要电源向调峰与备用的角色转变<sup>116</sup>。然而，中国的煤电机组在实现自负盈亏上面临挑战。尽管中央不断强调保证电力供应的重要性，但是一些煤电企业对发电仍然充满犹豫，这主要由于，它们通过售电获得的盈利时常不能支撑其原料与运营的成本。发电容量成本回收机制的缺失也让人不免担心煤电是否能真正挑起调峰的任务，并导致煤电资产的利用不足。2022年1月下发的《加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》<sup>117</sup>意识到了煤电企业面临的上述挑战，它引导各地区根据实际情况，建立市场化的发电容量成本回收机制，探索容量补偿机制、容量市场、稀缺电价等多种方式。

根据该指导意见，中国于近期扩大了其容量电价机制。2023年11月，国家发改委和国家能源局印发了《关于建立煤电容量电价机制的通知》<sup>118</sup>。各省的煤电容量电价机制已向公众发布，且将从2024年1月1日开始实施。虽然该机制会进一步激励电力企业完成新燃煤电厂的建设，并且推迟对现有的煤电容量的淘汰；但是它也能帮助煤电逐步向辅助调峰的角色转型，使煤电机组的低利用率在经济与政治上都更容易被接受。同时，该机制将维持中国庞大煤电机组的成本从电力国企转嫁到了各省份的工商电力用户上，这可以鼓励地方官员避免煤电产能过剩。在公布煤电容量电价机制之前，中国已经对抽水蓄能电站<sup>119</sup>与部分地区的部分燃气电厂实施了容量电价机制。

## 增量配电

2023年9月，国家发改委发布了关于向社会公开征求《增量配电业务配电区域划分实施办法（征求意见稿）》意见的公告<sup>120</sup>。增量配电业务是2015年中国电力体制改革的产物，是为电网吸引私营投资的重要渠道，以此平衡传统电网企业的影响力、避免行业垄断、优化电网价格与增强服务质量。该征求意见稿提出了若干变化，主要包括明确划分配电区域的原则，明确以消纳可再生能源为主的增量配电网的经营主体地位，以及进一步规定拥有配电网运营权的企业的权利与责任。

---

<sup>116</sup> 国家能源局（2021），《关于政协第十三届全国委员会第四次会议第0481号（经济发展类049号）提案答复的函复文摘要》，[http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-08/27/c\\_1310486070.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-08/27/c_1310486070.htm)

<sup>117</sup> 国家发改委等（2022），《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128\\_1313653.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202201/t20220128_1313653.html)

<sup>118</sup> 国家发改委等（2023），《关于建立煤电容量电价机制的通知》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202311/t20231110\\_1361899.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202311/t20231110_1361899.html)

<sup>119</sup> 国家发改委等（2023），《关于抽水蓄能电站容量电价及有关事项的通知》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202305/t20230515\\_1355745.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202305/t20230515_1355745.html)

<sup>120</sup> 国家发改委（2023），《增量配电业务配电区域划分实施办法（征求意见稿）》，<https://www.ndrc.gov.cn/hdjl/yjq/202309/P020230925404913402231.pdf>

表 7 | 与电力部门有关的部分政策

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《“十四五”现代能源体系规划》</a> （国家发改委等）	2022年3月	<ul style="list-style-type: none"> <li>“十四五”期间，单位GDP二氧化碳排放五年累计下降 18%；</li> <li>到 2025 年，非化石能源消费比重提高到20%左右，非化石能源发电量比重达到 39%左右，电气化水平持续提升，电能占终端用能比重达到 30%左右；</li> <li>单位GDP能耗五年累计下降 13.5%；</li> <li>到 2025年，灵活调节电源占比达到24%左右，电力需求侧响应能力达到最大用电负荷的 3%~5%；</li> <li>到 2025 年，核电运行装机容量达到7000万千瓦左右，常规水电装机容量达到 3.8 亿千瓦左右；</li> <li>非化石能源消费比重在2030年达到25%</li> </ul>
<a href="#">《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》</a> （国家发改委等）	2022年2月10日	<ul style="list-style-type: none"> <li>“十四五”时期，基本建立推进能源绿色低碳发展的制度框架；</li> <li>到2030年，基本建立完整的能源绿色低碳发展基本制度和政策体系。</li> </ul>
<a href="#">《全国煤电机组改造升级实施方案》</a> （国家发改委等）	2021年11月	<ul style="list-style-type: none"> <li>到 2025 年，全国火电平均供电煤耗降至300 克标准煤/千瓦时以下；“十四五”期间，提高2亿千瓦煤电机组的灵活性。</li> </ul>
<a href="#">《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见》</a> （中国煤炭工业协会）	2021年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>到“十四五”末，国内煤炭产量控制在41亿 8 吨左右，全国煤炭消费量控制在42 亿吨左右，年均消费增长1%左右。</li> </ul>
<a href="#">《“十四五”可再生能源发展规划》</a> （国家发改委等）	2022年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，非化石能源占能源消费总量比重达20%；可再生能源消费总量达到10亿吨标准煤左右；可再生能源在一次能源消费增量中占比超过50%；可再生能源年发电量达到3.3万亿千瓦时左右；风电和太阳能发电量实现翻倍；</li> <li>到2030年，非化石能源消费占能源消费总量比重达到25%左右；风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。</li> </ul>
<a href="#">《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》</a> （财政部等）	2020年2月	<ul style="list-style-type: none"> <li>完善现行补贴方式；完善市场配置资源和补贴退坡机制；优化补贴兑付流程。</li> </ul>
<a href="#">《绿色电力交易试点工作方案》</a> （国家发改委等）	2021年9月	<ul style="list-style-type: none"> <li>国家电网公司、南方电网启动绿色电力交易试点；</li> <li>绿色电力交易的市场参与主体（包括电网企业、风电和光伏发电企业、电力用户和售电公司）须先获得地方政府的批准。</li> </ul>
<a href="#">《加快推动新型储能发展的指导意见》</a> （国家发改委等）	2021年7月	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变，装机规模达 3000万千瓦以上；</li> <li>到2030年，实现新型储能全面市场化发展。</li> </ul>



政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《新型电力系统发展蓝皮书》</a> （国家能源局）	2023年6月	<ul style="list-style-type: none"> <li>加速转型期（当前至2030年）：该时期旨在加速向新型电力系统的转型，推动各产业用能形式向低碳化发展，非化石能源消费比重达到25%；新能源开发实现集中式与分布式并举，引导产业由东部向中西部转移；</li> <li>总体形成期（2030年至2045年）：在该时期，新型电力系统总体形成，基础设施与科技不断演变，为新能源场景奠定基础；</li> <li>巩固完善期（2045年至2060年）：该时期是“三步走”的最后时期，聚焦于对新型电力系统的完善与稳定。</li> </ul>
《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》（国家发改委等）	2022年2月	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2030年，规划建设风光基地总装机约4.55亿千瓦。</li> </ul>

#### 4.4.4 数据披露

中国电力企业联合会（以下简称“中电联”）每月会公布按技术种类和省份划分的发电量和发电装机量数据，以及按行业和省份划分的电力需求数据。燃煤电厂的发热量（单位为每千瓦时的克重标准煤）也会按月公布。这些数据为详细并及时地了解中国电力部门的排放趋势提供了可能。就目前而言，主要缺少的可用数据是按燃料分类的火力发电量，这些数据中国每年仅公布一次，而且数据时效性有一到两年的延迟。

## 4.5 工业部门

### 2023年亮点

- **排放：**工业部门的能源消费量高速增长，反映出一贯以来的高耗能的经济增长模式。尽管如此，工业部门的电气化进程更快；而由于空气污染的治理要求以天然气与电力来代替煤炭的使用，工业部门的直接煤炭消费量也已快速下降。
- **部门发展：**自从2020年碳中和目标设立以来，清洁技术制造业发展迅猛。由于史无前例的投资热潮，在2022年至2023年，该行业的发展进一步提速。另一方面，煤基的炼钢产能在2023年继续高速发展，与碳达峰目标和向利用废钢转型的愿景相左。
- **政策制定：**2022年，生态环境部要求七个高耗能工业行业开始报送与核查它们的排放。在此基础上，生态环境部又在2023年10月发布了关于做好2023—2025年

部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知。该通知被广泛认为是实现到2025年、对全国碳排放权交易市场扩容的重要一步，可能的扩容对象是水泥、钢铁和电解铝等其他高排放行业。

工业部门是中国最大的能源消费者，其最终能源消费量占全国能源消费总量的60%。例如，在清华气候院的1.5°C情景下，中国工业部门的终端能源需求将在2020年21.8亿吨标准煤的基础上略微上升，到2025年前以约为22亿吨标准煤的峰值达峰，然后逐渐下降到2050年的14.1亿吨标准煤。

工业部门在二氧化碳排放中也起着主导作用，这主要是由于该部门大量的能源需求和重煤的能源组合。高排放的另一原因是工业加工、特别是加工水泥过程中的排放。随着工业部门对能源需求的下降、电气化程度的提高和电力结构的变化，其二氧化碳排放将在2020年至2025年之间达峰，早于其能源需求的达峰时间。

在清华气候院的2°C和1.5°C情景下，中国工业部门的二氧化碳排放总量到2050年将分别降至约16.7亿吨和7.1亿吨。其中，2°C情景下的12亿吨排放和1.5°C情景下的4.6亿吨排放分别来自能源活动，2°C情景下的4.7亿吨排放和1.5°C情景下的2.5亿吨排放来自工业加工。同时，在清华的1.5°C路径下，2050年中国的工业二氧化碳排放总量将在2020年50.9亿吨二氧化碳的基础上减少86.1%，其中，87.8%的减排量来自能源活动，81%的减排量来自工业加工。

到2050年，中国工业部门的能源结构将实现脱碳。清华气候院预计，到2050年，中国非化石能源和电力在能源结构中的占比将超过85%。在清华的1.5°C情景下，到2050年，电力在工业部门最终能源使用总量中的比重将达到69.4%；相比之下，该比重在2020年为25.7%。

## 清洁能源制造业：2023年的经济亮点

除了自身的减排，工业部门需要为全社会的低碳转型提供设备——从风机到火车引擎，从电池到热泵。自从2020年碳中和目标设立以来，清洁技术制造业发展迅猛。由于史无前例的投资热潮，在2022年至2023年，该行业的发展进一步提速。

我们估计，2023年中国所有固定资产投资中的10%将流向了清洁发电、储能、电动汽车、铁路运输和电力传输。对这些领域的投资预计同比增长40%，占据中国固定资产投资同比增长的全部；换言之，如果没有这些领域的投资，中国2023年固定资产投资的增长预计将为零。

制造光伏板、电动汽车与锂电池所产生的排放预计将占中国2023年排放总量的3%，而三者的排放总量预计将同比增长60%。虽然说清洁技术的制造排放可被视为是低碳转型的初期成本，

但是，一旦这些光伏板、电动汽车和锂电池在中国与世界其他国家投入使用，这三个行业的排放将被几何倍抵消。

### 4.5.1 对标基准的趋势

工业总能耗的年度增长

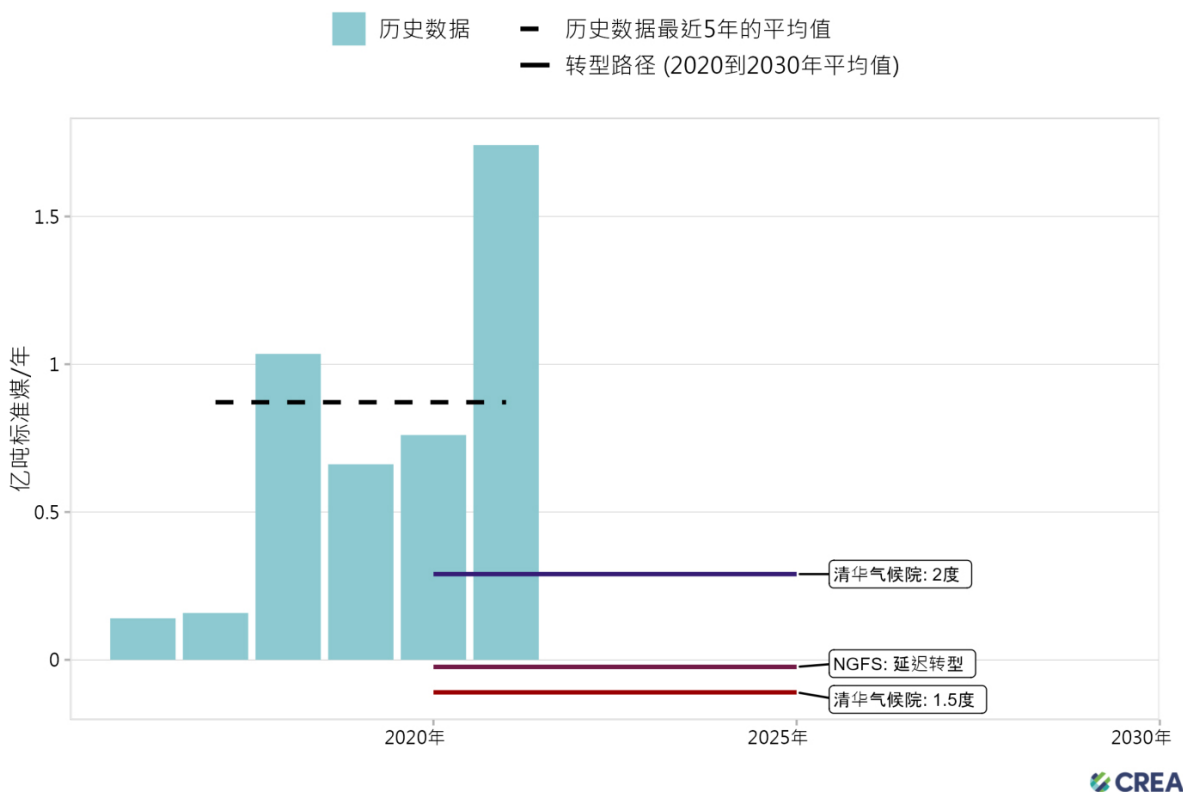
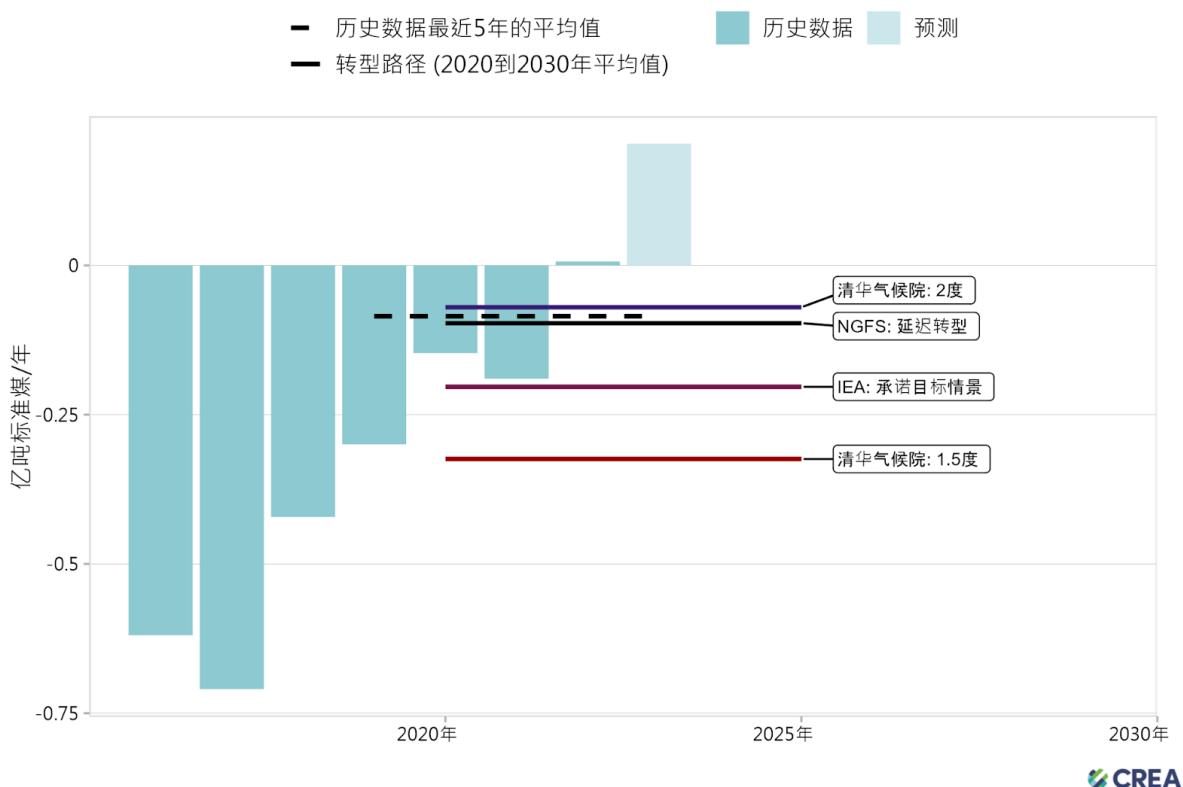


图 28 | 工业部门能源消耗总量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

## 工业煤炭消费量的年度变化



在转型路径下，中国工业部门的能源消费增长速度在2017至2021年期间比目前快，并且在此期间，其增长速度在2018年之后加快。这反映的是美国前总统特朗普推出对华关税政策与新冠全球大流行出现之后、中国依赖的能源密集型经济增长模式。

排放趋势与转型路径一致的是水泥与建筑材料行业。在NGFS的“延迟”转型路径下，该行业从2020年到2030年的排放量每年下降4%。水泥生产是该行业的主要排放源。NGFS的“延迟”转型路径显示，水泥生产的排放量从2017年到2022年每年下降3%，这源于基础设施建设的下降，而基建的下降反映的则是经济转型的进展。

尽管中国工业部门的能源消费经历了高速增长，但是该部门的直接煤炭消费量也已高速下降，甚至比转型路径中的下降速度更快。这主要归功于中国在空气污染治理上的政策。这些政策要求或鼓励用天然气和电力来取代煤炭的直接使用，因此前两种能源的使用都在迅速增加。

相对应的，中国工业部门的电气化进展也比转型路径中预测的要快。

工业部门的煤炭消费量在经历了2015年至2021年的下降之后，在2022至2023年上涨。这反映了一个整体趋势：2015年至2017年间，受工业放缓和空气治理行动影响，工业部门的煤炭消费量快速下降，但其降速之后放缓，直至最近煤炭消费量开始上涨。

## 工业部门电气化比例的年度变化

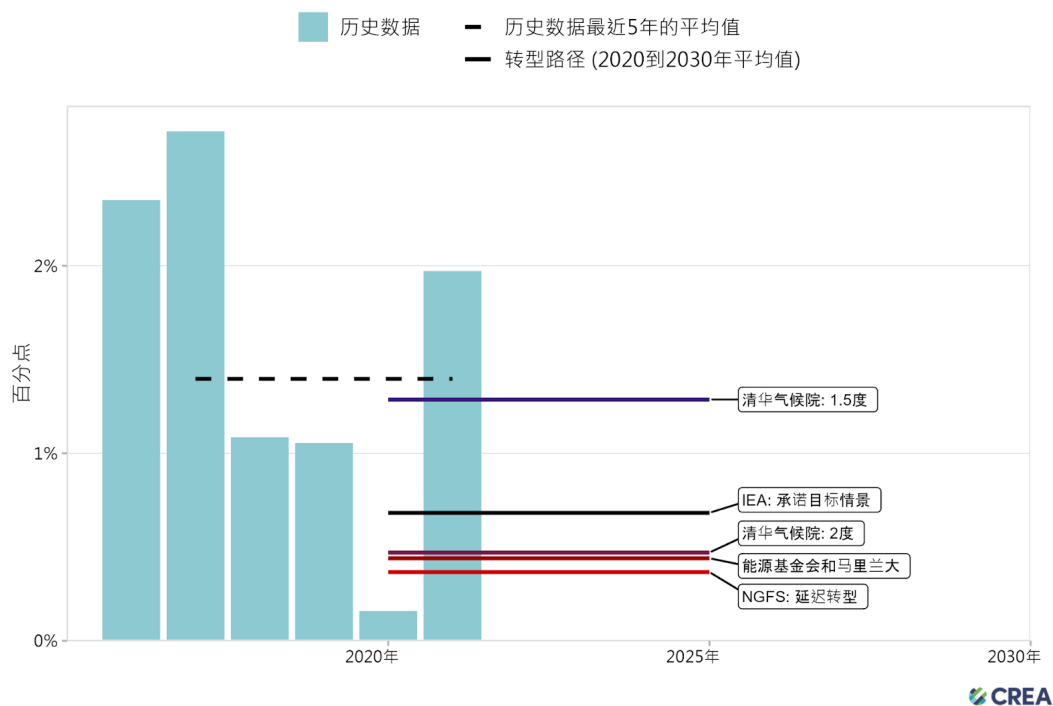


图 30 | 工业部门电气化比率的年度增长 (实际趋势与转型路径的对比)

## 工业用电的年度增长

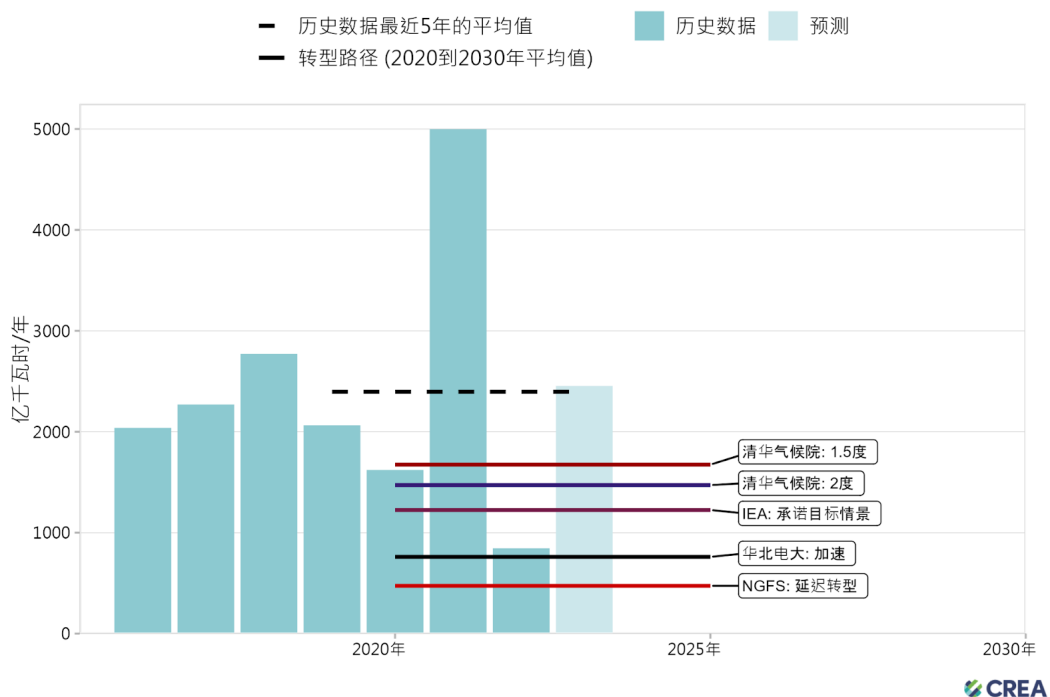


图 31 | 工业部门电力消费的年度增长 (实际趋势与转型路径的对比)

## 钢铁煤炭消费量的年度变化

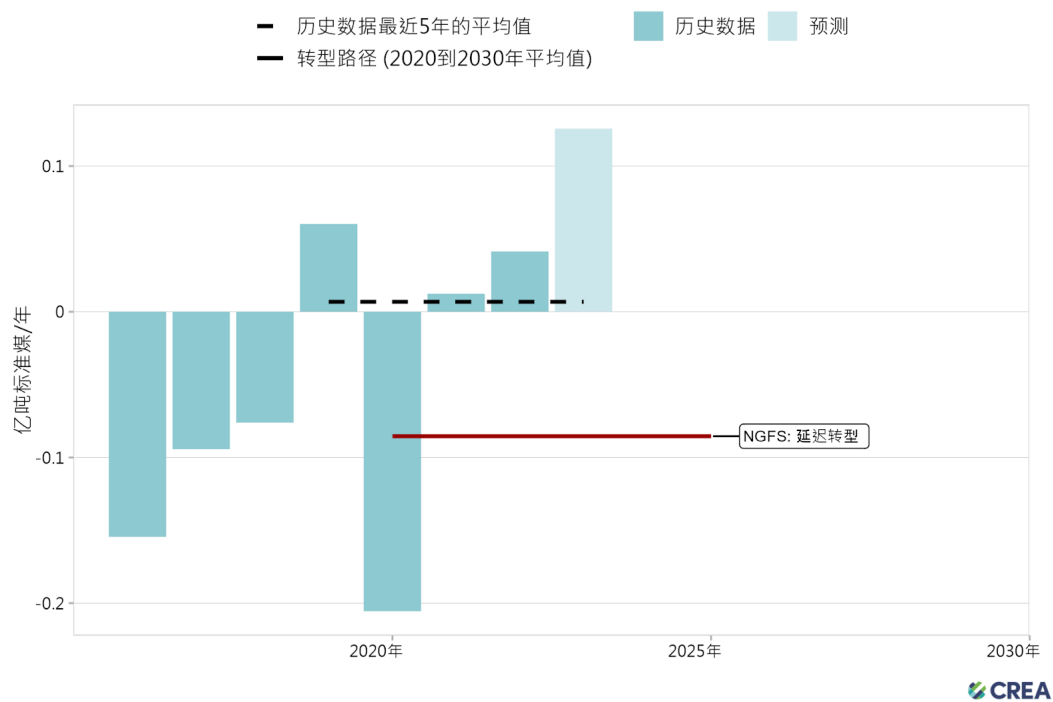


图 32 | 钢铁行业煤炭消费量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

## 钢铁用电的年度增长

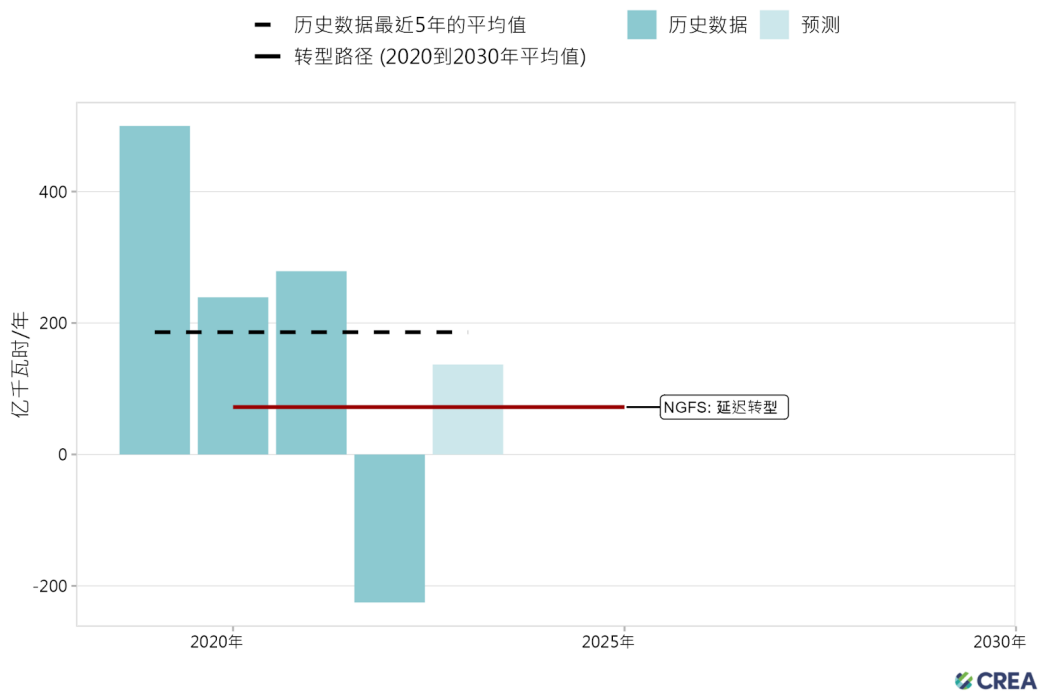


图 33 | 钢铁行业电力消费的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

### 钢铁行业电气化比例的年度变化

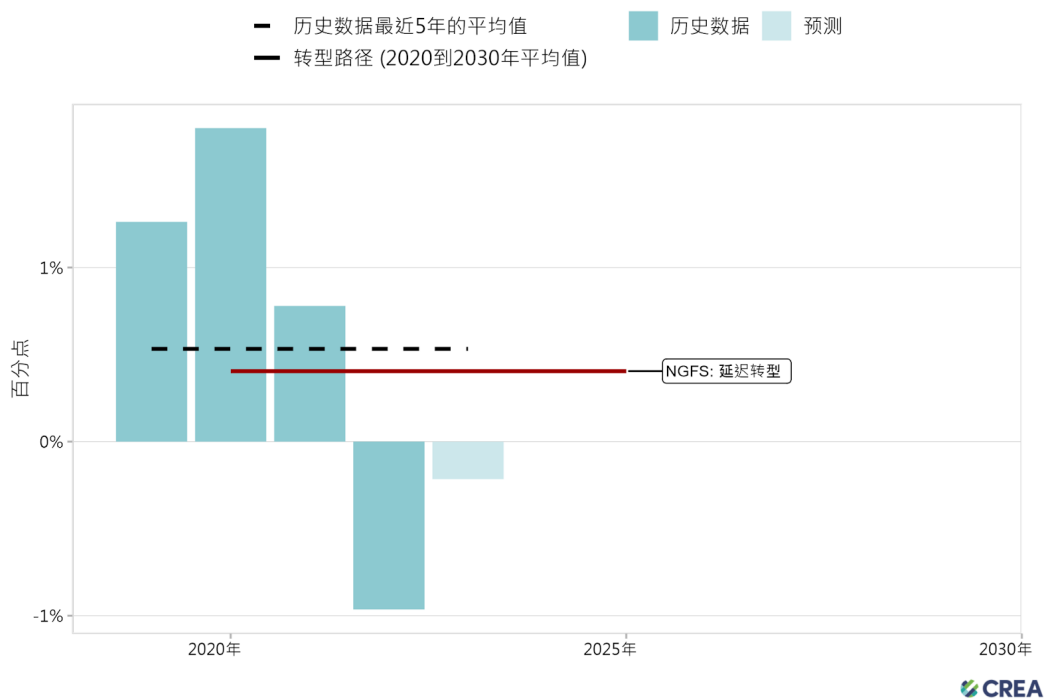


图 34 | 钢铁行业电气化比率的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

### 化工行业电气化比例的年度变化

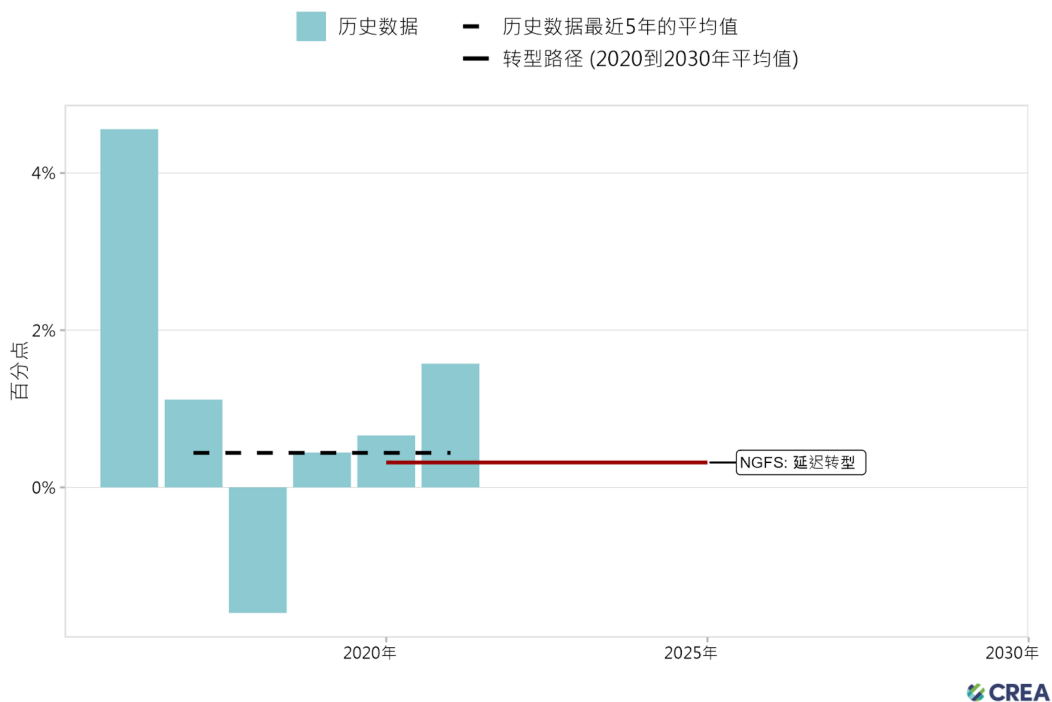


图 35 | 化工行业电气化比率的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

## 4.5.2 现行政策：工业部门的碳达峰行动

中国对其工业部门的碳达峰规划可以分为两个阶段，分别对应政府的两个五年规划：“十四五”规划（2021-2025）与“十五五”规划（2026-2030）。

2021年12月，中国工业和信息化部发布了《“十四五”工业绿色发展规划》。该规划详细列举了工业部门到2025年需要实现的目标与采取的行动，以期为2030年工业领域碳达峰奠定基础。

在此基础上，工业和信息化部又在2022年7月发布了《工业领域碳达峰实施方案》。该方案是不同工业行业在本个十年推进碳达峰的统领指导文件，它涵盖了针对所有工业行业的六大项“重点任务”，以及针对每个行业制造流程与产品供给的两大项“重大行动”。同时，工业和信息化部还组织制定了具体的重点行业碳达峰行动方案，为每项任务与行动制定了具体的规划，并负责新发布的政策与已有政策的衔接工作。

由于工业部门在排放清单中占主导地位，所以它受到大量的政策、行动计划和排放标准的严格监管。以下，我们罗列了部分相关政策：

表 8 | 与工业部门有关的部分政策

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《工业领域碳达峰实施方案》</a> （工业和信息化部等）	2022年8月1日	<ul style="list-style-type: none"><li>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；</li><li>确保工业领域二氧化碳排放在2030年前达峰。</li></ul>
<a href="#">《工业能效提升行动计划》</a> （工业和信息化部等）	2022年6月29日	<ul style="list-style-type: none"><li>到2025年，规模以上工业单位增加值能耗比2020年下降13.5%。</li></ul>
<a href="#">《“十四五”工业绿色发展规划》</a> （工业和信息化部）	2021年12月3日	<ul style="list-style-type: none"><li>到2025年，单位工业增加值二氧化碳排放降低18%；重点行业主要污染物排放强度降低10%；规模以上工业单位增加值能耗降低13.5%；大宗工业固废综合利用率达到57%；单位工业增加值用水量降低16%。</li></ul>
<a href="#">《“十四五”节能减排综合工作方案》</a> （国务院）	2021年12月28日	<ul style="list-style-type: none"><li>到2025年，全国单位GDP能源消耗比2020年下降13.5%，能源消费总量得到合理控制，化学需氧量、氨氮、氮氧化物、挥发性有机物排放总量比2020年分别下降8%、8%、10%以上、10%以上；</li><li>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%。</li></ul>



政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《“十四五”循环经济发展规划》</a> （国家发改委）	2021年7月7日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，单位GDP能源消耗比2020年降低13.5%；</li> <li>废钢利用量达到3.2亿吨，再生有色金属产量达到2000万吨，其中再生铜、再生铝和再生铅产量分别达到400万吨、1150万吨、290万吨。</li> </ul>
<a href="#">《“十四五”原材料工业发展规划》</a> （工业和信息化部等）	2021年12月29日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，钢铁行业吨钢综合能耗降低2%，水泥产品单位熟料能耗水平降低3.7%，电解铝碳排放下降5%。</li> </ul>
<a href="#">《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》</a> （国家发改委）	2022年3月23日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，可再生能源制氢量达到10-20万吨/年；实现二氧化碳减排100-200万吨/年；</li> <li>到2030年，形成较为完备的氢能产业技术创新体系、清洁能源制氢及供应体系；</li> <li>到2035年，形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的多元氢能应用生态。</li> </ul>
<a href="#">《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》</a> （工业和信息化部等）	2022年2月8日	<ul style="list-style-type: none"> <li>力争到2025年，吨钢综合能耗降低2%以上；钢铁工业利用废钢资源量达到3亿吨以上；电炉钢产量占粗钢总产量比例提升至15%以上；</li> <li>确保钢铁产业排放2030年前碳达峰。</li> </ul>
《钢铁行业碳达峰及降碳行动方案》（中国钢铁工业协会）	修订中	<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年前，钢铁行业实现碳排放达峰；</li> <li>到2030年，钢铁行业碳排放量较峰值降低30%；</li> <li>2035年，钢铁行业碳排放量进一步下降；2060年前将实现脱碳。</li> </ul>
<a href="#">《建材行业碳达峰实施方案》</a> （工业和信息化部等）	2022年11月7日	<ul style="list-style-type: none"> <li>“十四五”期间，水泥熟料单位产品综合能耗水平与2020年相比降低3%以上；</li> <li>确保2030年前建材行业实现碳达峰。</li> </ul>
<a href="#">《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》</a> （工业和信息化部等）	2022年4月7日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，大宗产品单位产品能耗和碳排放明显下降，挥发性有机物排放总量比“十三五”降低10%以上。</li> </ul>
<a href="#">《有色金属行业碳达峰行动方案》</a> （工业和信息化部）	2022年11月15日	<ul style="list-style-type: none"> <li>重点品种单位产品能耗、碳排放强度进一步降低，再生金属供应占比达到24%以上；</li> <li>确保2030年前有色金属行业实现碳达峰。</li> </ul>
<a href="#">《焦化行业碳达峰碳中和行动方案》</a> （中国炼焦行业协会）	2022年8月3日	<ul style="list-style-type: none"> <li>焦化行业2025年前实现碳达峰；</li> <li>2035年力争减碳30%。</li> </ul>

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《关于推动轻工业高质量发展的指导意见》</a> (工业和信息化部等)	2022年6月19日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年,资源利用效率大幅提高,单位工业增加值能源消耗、碳排放量、主要污染物排放量持续下降。</li> </ul>
<a href="#">《造纸行业“十四五”及中长期高质量发展纲要》</a> (中国造纸协会)	2021年12月24日	<ul style="list-style-type: none"> <li>力争“十四五”期间行业单位产品实际工艺综合能耗纸浆由350kgce/t降为320kgce/t;</li> <li>2030年前碳达峰。</li> </ul>
<a href="#">《关于产业用纺织品行业高质量发展的指导意见》</a> (工业和信息化部等)	2022年4月21日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年,循环再利用纤维及生物质纤维应用占比达到15%。</li> </ul>
<a href="#">《关于化纤工业高质量发展的指导意见》</a> (工业和信息化部等)	2022年4月21日	<ul style="list-style-type: none"> <li>“十四五”期间,绿色纤维占比提高到25%以上,生物基化学纤维和可降解纤维材料产量年均增长20%以上。</li> </ul>
<a href="#">《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》</a> (国家发改委等)	2022年11月16日	<ul style="list-style-type: none"> <li>不纳入能源消费总量的可再生能源,现阶段主要包括风电、太阳能发电、水电、生物质发电、地热能发电等可再生能源;</li> </ul>
<a href="#">《关于进一步做好原料用能不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》</a> (国家发改委等)	2022年11月1日	<ul style="list-style-type: none"> <li>用于生产非能源用途的烯烃、芳烃、炔烃、醇类、合成氨等产品的煤炭、石油、天然气及其制品等,属于原料用能范畴。</li> </ul>
<a href="#">《关于印发钢铁/焦化、现代煤化工、石化、火电四个行业建设项目环境影响评价文件审批原则的通知》</a> (生态环境部)	2022年12月14日	<ul style="list-style-type: none"> <li>将温室气体排放纳入建设项目的环评影响评价;鼓励采用全废钢电炉、非高炉炼铁、CCUS和绿氢等技术。</li> </ul>
<a href="#">《关于做好2023—2025年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知》</a> (生态环境部)	2023年10月18日	<ul style="list-style-type: none"> <li>各省级生态环境部门组织开展石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、民航等重点行业企业温室气体排放报告与核查有关工作。</li> </ul>

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《关于印发电力装备行业稳增长工作方案（2023-2024年）的通知》</a> （工业和信息化部）	2023年9月4日	<ul style="list-style-type: none"> <li>力争2023-2024年电力装备行业主营业务收入年均增速达9%以上，工业增加值年均增速9%左右。</li> </ul>
<a href="#">《关于促进炼油行业绿色创新高质量发展的指导意见》</a> （国家发改委等）	2023年10月25日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，国内原油一次加工能力控制在10亿吨以内，千万吨级炼油产能占比55%左右。</li> </ul>

## 高耗能、高排放行业：环境影响评价与“双控”

为遏制高耗能、高排放行业的盲目投资，生态环境部在2022年底更新了四个行业（钢铁/焦化、现代煤化工、石化以及火电）的环境影响评价原则。此举不仅对这些行业产生的污染进行了进一步的严格管控，还将温室气体排放纳入新建设项目的环境影响评价，并试图推广全废钢电炉和非高炉炼铁，并开展氢冶金、CCUS和绿氢等低碳技术的运用。

在过去几年里，聚集在重工业领域的大量投资对多数省份“能耗双控”的达标形成了阻力。

《“十四五”现代能源体系规划》提出了单位GDP能耗五年累计下降13.5%的目标，并要求各省级政府细化落实规划。鉴于中国的经济在疫情放开后主要受高能耗的部门驱动，要实现13.5%这一目标绝非易事。国家发改委在2021年8月发布的一份评估中<sup>121</sup>，对“双控”指标完成度落后的省份进行了点名。耐人寻味的是，国家发改委之后未公布任何更新的评估结果，但国家层面的数据显示，从2020年至2023年上半年，中国的单位GDP能耗仅下降3.1%，与为达成指标所需的7%降幅差距甚远。

“能耗双控”不仅限定了各省的能源消耗，也对高能耗的新开发项目给出了指标。尽管各省在不断探索低碳发展的模式，但要彻底放弃一贯的高能耗发展模式相对困难。随着中国的经济在“清零”政策的解除复苏，化工、钢铁、电力和化石能源加工等高耗能、高排放行业的投资和产出均迎来同比增长<sup>122</sup>。

<sup>121</sup> 国家发改委（2021），《2021年上半年各地区能耗双控目标完成情况晴雨表》，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202108/t20210817\\_1293836.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202108/t20210817_1293836.html)，政府文件

<sup>122</sup> 中外对话（2023年9月），“煤电和“两高”工业加剧中国臭氧污染”，<https://chinadialogue.net/en/pollution/carbon-intensive-industries-worsen-chinas-ozone-pollution/>，分析文章

## 工业行业的排放检测、报告和核查

中国的全国碳排放交易体系（以下简称“ETS”）于2021年启动<sup>123</sup>，最初覆盖的是电力行业，该行业的排放量占中国与能源相关的二氧化碳排放量的40%。按照计划，ETS将向其他高耗能的工业行业扩容。ETS的“履约周期”指的是被覆盖企业对其碳排放的检测、报告和核查的过程。

从2022年开始，生态环境部已经要求除了发电行业外的七个高排放工业行业（石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、民航行业）报送和核查排放数据。2023年，该部又发布了关于做好2023—2025年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知。该通知被广泛认为是实现到2025年、对全国碳排放权交易市场扩容的重要一步，可能扩容的对象是水泥、钢铁和电解铝等其他高排放行业。

## 工业排放达峰

钢铁、建筑材料（水泥和玻璃）和有色金属（铝）是中国排放较高的几个行业。信息和工业化部已经为它们制定了各自的2030年前碳达峰行动方案。

新技术（比如氢）和可再生能源在这些行业的脱碳过程中将扮演重要的角色。《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》设置了以下三个阶段性目标：一，到2025年，可再生能源制氢量达到10-20万吨/年，并实现二氧化碳减排100-200万吨/年；二，到2030年，形成较为完备的氢能产业技术创新体系、清洁能源制氢及供应体系；三，到2035年，形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的多元氢能应用生态。

同时，回收可以减少初级材料生产过程中的排放。《“十四五”循环经济发展规划》为重要工业材料的回收设置了五年目标。该规划提出，到2025年，废钢利用量达到3.2亿吨，再生有色金属产量达到2000万吨，其中再生铜、再生铝和再生铅产量分别达到400万吨、1150万吨、290万吨。

钢铁行业是最大的工业碳排放源，其碳达峰实施方案将电炉钢产量在粗钢总产量中的占比从2020年的10%提升至2025年的15%以上。而钢铁行业的上游行业焦炭力争到2025年实现碳达峰，粗钢生产的碳达峰目标年与焦炭相同。

## 清洁技术制造业

**中国的产业和创新政策侧重高技术、高附加值的产业，或称战略性新兴产业。它们包括可再生**

---

<sup>123</sup> 《人民日报》（2023年7月），“全国碳排放权交易市场将启动上线交易 选择发电行业为突破口”，[https://www.gov.cn/zhengce/2021-07/16/content\\_5625373.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-07/16/content_5625373.htm)，新闻报道

## 能源、新能源汽车、节能环保等九个产业。

在过去的十年里，光伏板和风机的生产与消费市场的崛起与扩张帮助太阳能和风能在世界很多地方都成为了最实惠的发电技术。从2010年到2022年，新投产的公用事业规模的太阳能光伏项目的全球加权平均平准化电力成本（levelized cost of electricity）下降了89%，而陆上风电项目的全球加权平均平准化电力成本在同期下降了69%<sup>124</sup>。

2023年，多晶硅、太阳能、锂电池和电动汽车行业在中国迅速扩张。据估计，到2023年底，中国光伏产业链各环节的产能将向1000吉瓦（GW）迈进，较2022年底翻番<sup>125</sup>。另有报道称，今年上半年，储能行业超100亿人民币的投资项目就有42个，其中28个项目已完成签约<sup>126</sup>。

在中国的“双碳”目标下，可再生能源被认为是一个充满希望、前途可期的产业，特别是在中国经济面临挑战、房地产行业疲软的情况下。2023年9月，工业和信息化部发布了《电力装备行业稳增长工作方案（2023—2024年）》。

如果说2060年前实现碳中和的目标为新能源行业的发展提供了一个政治信号，那该行业已经取得的、超越官方指标与预期的成功更多源于宏观经济。

在目前的环境、能耗等约束条件下，清洁技术成为地方政府可以放手投资的为数不多的领域之一。这是因为当下，由于陷入严重的地方债务问题，地方政府的支出面临严格审查；同时，由于房地产行业的紧缩，面临收入压力的地方政府急于吸引投资，以拉动经济。

作为疫情后刺激经济的措施之一，中央政府的政策帮助民营企业更容易从市场上与银行筹集资金<sup>127</sup>。而不同于化石燃料行业和传统的重工业，民营企业正是清洁能源行业的主力军。在此之前，由于中国的金融系统严重偏向国企，信贷渠道一直是民营企业面临的瓶颈问题。数据显示<sup>128</sup>，2023年上半年，仅光伏行业就有60家企业发起了总额近2000亿元再融资，相比去年全年的融资总额翻了一番。

---

<sup>124</sup> 国际可再生能源署（2023），《2022年可再生能源发电成本》  
<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>，报告

<sup>125</sup> 财新（2023年9月），“两倍全球总需求中国光伏过剩产能即将大逃杀？”  
<https://database.caixin.com/2023-09-02/102099625.html>，新闻报道

<sup>126</sup> 《能源杂志》（2023年7月），“储能行业超百亿投资项目半年大盘点”，  
<https://www.inengyuan.com/kuaixun/11232.html>，新闻报道

<sup>127</sup> 新华社（2023），《中共中央 国务院关于促进民营经济发展壮大的意见》，  
[https://www.gov.cn/zhengce/202307/content\\_6893055.htm](https://www.gov.cn/zhengce/202307/content_6893055.htm)，政府文件

<sup>128</sup> 《中国能源报》（2023年10月），“光伏“融资热”拐点来了”，  
[http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2023-10/16/content\\_26022909.htm](http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2023-10/16/content_26022909.htm)，新闻报道

地方政府对投资的渴望使它们给出了颇有分量的不同形式的补贴。有报道<sup>129</sup>指出，各地的普遍做法是通过低价土地、税收和其他补贴手段给予投资者30%的“投资返还率”，有的地方政府甚至会免费为投资方建造厂房。发电项目，比如整县推进分布式光伏项目，经常被经常被一些地方政府将其与产业招商引资强行捆绑。

很显然，此轮的制造业投资热潮导致的是严重的产能过剩，但具体有多少产能过剩还取决于全球能源转型的步伐。

各地的省政府为其可再生能源制造业设置的2025年目标均雄心勃勃。例如，东部沿海省份浙江提出到2025年，其太阳能光伏、风能和储能制造产业的产能分别达到每年1.5亿千瓦，500万千瓦和1亿千瓦时。浙江是中国第二大太阳能光伏制造省份。2022年，该省份的太阳能光伏制造业产能达到4000万千瓦，仅次于江苏。同时，北方煤炭大省山西在当地批准了晶科能源的一个大型光伏制造基地，并为其提供了200-300亿元的政府投资。

### 4.5.3 聚焦：钢铁业

目前，中国每年生产粗钢超过10亿吨，占世界钢铁产量的一半以上。该行业脱碳的主要挑战是其主导的炼钢工艺——燃煤高炉-碱性氧气炉法（BF-BOF）<sup>130</sup>与其庞大的行业规模。钢铁是中国仅次于电力生产的第二大二氧化碳排放源。如果将该行业所消耗的电力所产生的排放量计算在内，它则上升为最大的二氧化碳排放源。钢铁生产的快速增长一直是中国排放增长的主要因素，这使得该行业的碳达峰和碳中和成为实现中国整体排放目标的重要组成部分。

中国钢铁行业面临的另一大挑战是连年的产能过剩。国家发改委2017年制定的指标提出<sup>131</sup>，计划到2020年将钢铁产能由2015年的11.3亿吨/年削减到10亿吨/年以下，削减量约为1.5亿吨/年。然而，中国的粗钢年产量在2020年攀升至10.65亿吨的历史高位<sup>132</sup>。或许是由于指标未达成的原文，中国官方至今未公布2020年全国的钢铁产能；然而，基于报道的钢铁产量和产能利用率可以推算出，2020年中国的钢铁产业应该超过12亿吨，超标2亿吨以上<sup>133</sup>。

---

<sup>129</sup> 财新（2023年9月），“两倍全球总需求中国光伏过剩产能即将大逃杀？”

<https://database.caixin.com/2023-09-02/102099625.html>，新闻报道

<sup>130</sup> 在此工艺中，焦炭被用作还原剂用以去除铁矿石中的氧气，该过程会产生大量碳排放。

<sup>131</sup> 国家发改委（2017年7月），《钢铁工业调整升级规划（2016-2020年）》，[https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201706/t20170621\\_1196816.html](https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201706/t20170621_1196816.html)，政策

<sup>132</sup> 国家统计局（2022），<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>，数据

<sup>133</sup> Lauri Myllyvirta. Carbon Brief. Analysis: Surge in China's steel production helps to fuel record-high CO2 emissions. <https://www.carbonbrief.org/analysis-surge-in-chinas-steel-production-helps-to-fuel-record-high-co2-emissions/>. 文章

由于未能化解钢铁产能过剩的问题，再加上2020年9月“双碳”目标的宣布，中央政府在2021年和2022年加大了削减钢铁行业产量的力度，力图减少该行业的污染物和温室气体排放量<sup>134, 135</sup>。中国的粗钢年产量在2021年和2022年分别下降了2.8%和1.7%<sup>136</sup>。

2023年，中央政府未对外公布对钢铁业的控产指标，但业界广泛认为，政府的指标将会低于2022年的产能水平<sup>137</sup>。今年1月至8月，中国的粗钢产量同比增长2.6%<sup>138</sup>。这意味着，如果政府希望把全年产量控制在2022年的产量以下，2023年的9月-12月全行业需要减产6%<sup>139</sup>。

虽然从短期来看，削减产量可能是帮助钢铁行业实现碳达峰的有效途径，但是要实现长期与深度的行业脱碳就需要通过低碳技术的使用、能源效率的提高和对资源的循环利用。

虽然中国的钢铁产量在过去的三年里一直处于高位，但是该行业的利润在2021年达到顶峰之后断崖式下跌。其利润总额在2022年同比下降91.3%<sup>140</sup>，在2023年1月至8月继续同比下跌57.1%<sup>141</sup>。下跌的利润再次指向了钢铁行业的产能过剩，以及由持续疲软的房地产业与由此造成的高钢价导致的下游需求量的减少<sup>142</sup>。

由于过去的20年，中国钢铁消费规模一直很庞大，因此从被拆除的建筑物和基础设施、以及报废的汽车和机械中获取的废钢量十分可观，而这些废钢可以帮助钢铁行业向循环经济靠拢。废钢的利用为该行业转向电炉炼钢提供了契机，促使其减少对燃煤高炉-碱性氧气炉法的使用与随之产生的排放量。钢铁行业的目标<sup>143</sup>是到2025年将废钢的利用量从2020年的2.33亿

---

<sup>134</sup> 国家发改委等（2021），“国家发展改革委 工业和信息化部 就2021年钢铁去产能“回头看”、粗钢产量压减等工作进行研究部署”，

[https://www.miit.gov.cn/jgsj/ycls/gt/art/2021/art\\_6618ea3ec1634d29a158e6b0c1c74374.html](https://www.miit.gov.cn/jgsj/ycls/gt/art/2021/art_6618ea3ec1634d29a158e6b0c1c74374.html)，政策

<sup>135</sup> 国家发改委（2022），“国家发展改革委 工业和信息化部等部门就2022年粗钢产量压减工作进行研究部署”，[https://www.ndrc.gov.cn/xwtd/xwfb/202204/t20220419\\_1322416.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwtd/xwfb/202204/t20220419_1322416.html)，政策

<sup>136</sup> 国家统计局（2022），<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>，数据

<sup>137</sup> 新华财经（2023年8月），“粗钢平控政策扑朔迷离 钢市供需两端均陷入预期与现实的博弈”，[https://www.cnfin.com/yw-lb/detail/20230821/3917937\\_1.html](https://www.cnfin.com/yw-lb/detail/20230821/3917937_1.html)，新闻报道

<sup>138</sup> 国家统计局（2022），<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=A01>，数据

<sup>139</sup> Lauri Myllyvirta (Sep 2023), Centre for Research on Energy and Clean Air.. <https://energyandcleanair.org/china-energy-and-emissions-trends-september-2023-snapshot/>. Analysis.

<sup>140</sup> 国家统计局（2022），[http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202301/t20230131\\_1892601.html](http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202301/t20230131_1892601.html)，数据

<sup>141</sup> 国家统计局（2023），[http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202309/t20230927\\_1943230.html](http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202309/t20230927_1943230.html)，数据

<sup>142</sup> Bloomberg News (2023). China's Property Woes to Weigh on Steel Prices Through Next Year. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-08-30/china-s-property-woes-to-weigh-on-steel-prices-through-next-year>. News.

<sup>143</sup> 工业和信息化部等（2022），《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》，[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/08/content\\_5672513.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/08/content_5672513.htm)，政策

吨<sup>144</sup>增加到3亿吨以上，并到同年将电炉钢产量占粗钢总产量的比例从目前的10%增加到15%以上。

然而，巨大的废钢利用潜力并未转化成为实际的电炉钢产量的上升。2022年，电炉钢产量在粗钢总产量里的占比为9.7%，均低于之前四年的占比（详见图36）。在中国市场上，利用废钢与电炉生产钢铁的成本要高于使用铁矿石与燃煤高炉-碱性氧气炉的生产过程；同时，市场也缺乏使用低碳钢的动力。电炉工艺之于燃煤高炉-碱性氧气炉工艺的低经济性意味着钢铁行业需要更多的政策支持与更大的低碳钢市场，以此为电炉产能与产量的提高创造可能，同时帮助行业完成2025年的电炉钢产量占比指标。

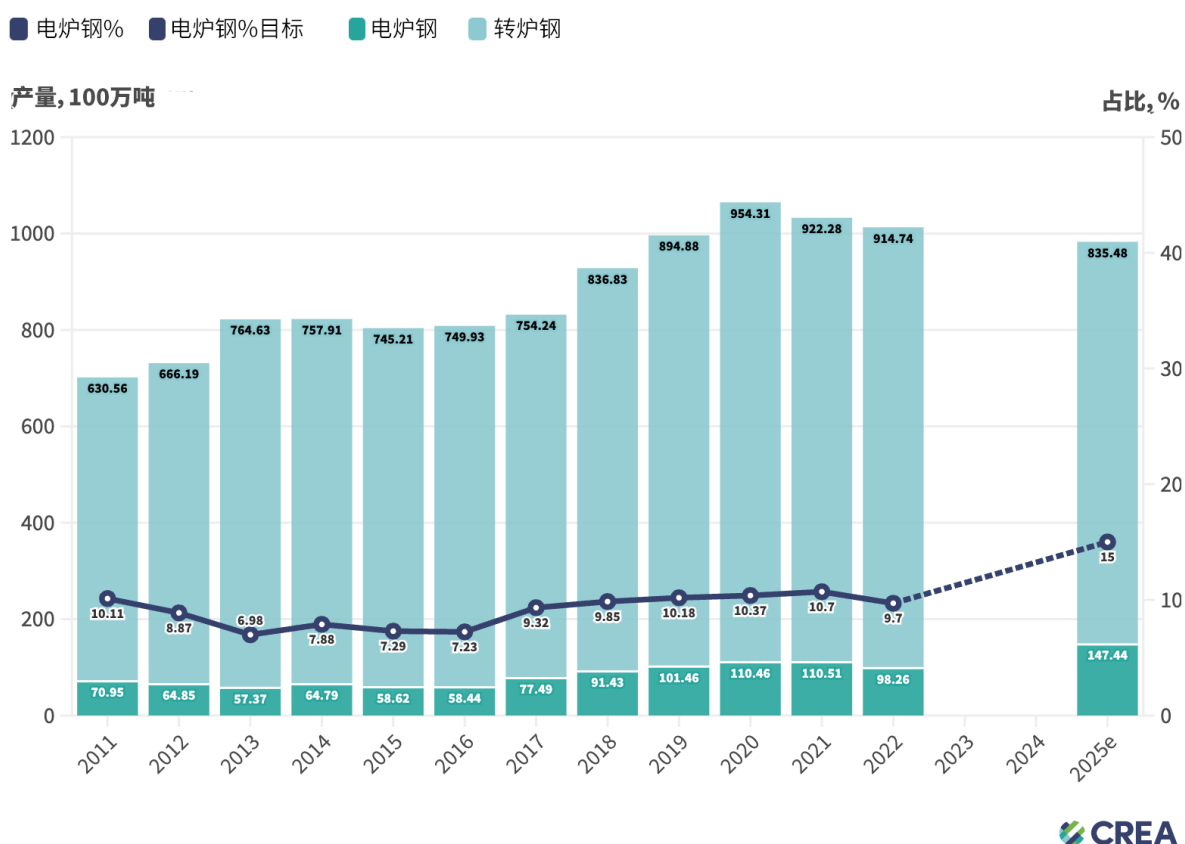


图 36 | 中国钢产量中不同工艺的占比与2025年电炉炼钢的目标产量

来源：CREA，《中国钢铁工业年鉴2022》。注：BOF为转炉，EAF为电炉，“2025e”指“2025年预测数据”。2025年的钢铁产量估计以2022年的产量以每年1%的速度下降来计算。

如果政府在今后几年内持续对钢铁产量进行控制，那么到2030年钢铁行业的二氧化碳排放不仅会达峰，而且会在碳达峰后急剧下降。同时，废钢量的持续增加意味着作为原料的生铁将被

<sup>144</sup> 中国钢铁新闻网（2021），“重磅！废钢铁产业“十四五”发展规划发布”，[http://www.csteelnews.com/xwzx/jrrd/202109/t20210917\\_55000.html](http://www.csteelnews.com/xwzx/jrrd/202109/t20210917_55000.html)，新闻



大量替代，这使到2030年碳达峰的目标更加触手可及。当务之急是要将投资引流到低碳生产设施上，以帮助实现2060年前碳中和的目标。新建钢铁项目需要遵循“产能置换”的原则，即所有新建产能都要以退出一定数量的现有产能为前提。这是一项工业和信息化部在2014年就推出的举措，旨在化解钢铁、铝、水泥与玻璃的产能过剩问题。

## 新增钢铁产能

基于可获取的2017年至2023年上半年的行业数据，CREA总结了新钢铁项目的发展趋势<sup>145</sup>。以下是部分重点发现：

- 中国的钢铁企业正在新的煤基钢铁产能上进行大手笔投资。从2017年至2023年上半年，全国的钢企在各省份获批的新炼铁年产能合计达到3.843亿吨，新炼钢年产能合计达到4.259亿吨。平均而言，每六个月在中国获批的新钢铁年产能合计约为3000万吨，几近德国的钢铁产能总量。
- 从2017年至2023年上半年，高炉和转炉仍是新增钢铁产能的主导工艺。燃煤高炉产能占新增炼铁总产能的99%，碱性氧气炉产能占新增炼钢总产能的70%。换言之，有超过四分之一的中国现有钢铁产能将会通过产能置换为新建产能，这些新建高碳设备的碳锁定风险不容忽视。
- 尽管中国在2020年做出了“双碳”承诺，但从2021年至2023年上半年，各地新批准的燃煤高炉和碱性氧气炉的合计年产能仍分别高达1.198亿吨和7660万吨。如果中国想要在2060年前实现碳中和，那它必须尽早淘汰高排放的炼钢设备；所以，在2020年之后新批准的燃煤高炉和碱性氧气炉有成为搁浅资产的风险，且搁浅资产预测将合计近1000亿美元（约合7000亿人民币）。
- 然而，部分投资也投向了新建低碳钢铁产能。从2021年至2023年上半年，中国各地拟建的电炉炼钢项目的产能大大增加，获批项目产能合计为5250万吨。由于最新的“产能置换”政策支持电炉炼钢，因此，2021年至2023年上半年间新宣布的电炉项目的年产能占所有炼钢项目年产能的30-40%，同期另有少量使用低碳或零碳技术的炼铁项目获批。
- 到2025年，所有在上述期间获批的钢铁项目都将投产。通过这些新产能的置换，约有40%的中国钢铁产能将得到更新。

---

<sup>145</sup> Centre for Research on Energy and Clean Air. China's steel sector invests USD 100 billion in coal-based steel plants, despite low profitability, overcapacity and carbon commitments. (2023). <https://energyandcleanair.org/publication/chinas-steel-sector-invests-usd-100-bn-in-coal-based-steel-plants-despite-low-profitability-overcapacity-and-carbon-commitments/>. Report.

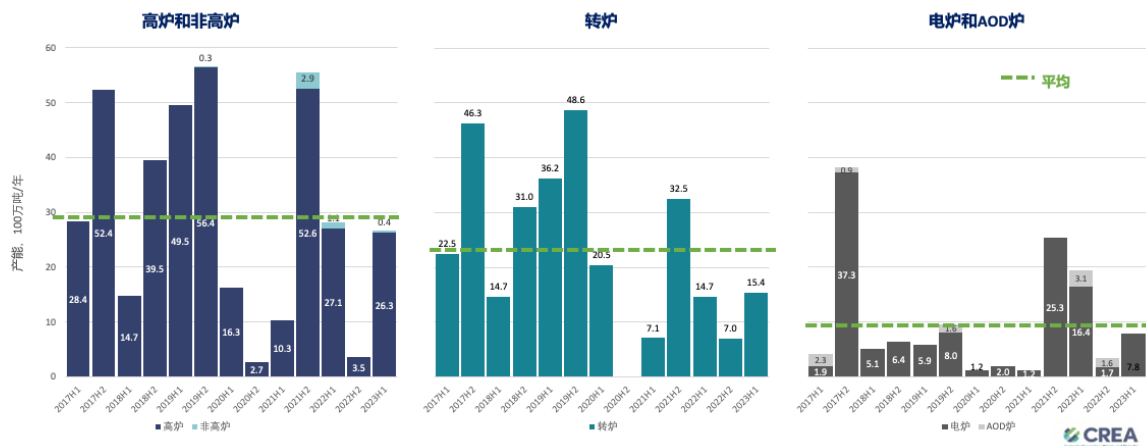


图 37 | 2017年至2023年上半年，以产能置换方式发布的新增炼钢与炼铁产能，统计以每半年为单位

来源：CREA，各省市网站。注：BF为高炉，Non-BF为非高炉（包含使用氢气直接还原工艺、氢等离子体熔融还原工艺和“Hismelt”直接熔融还原技术的工厂），BOF为转炉，EAF为电炉，AOD为氩氧脱碳炉。

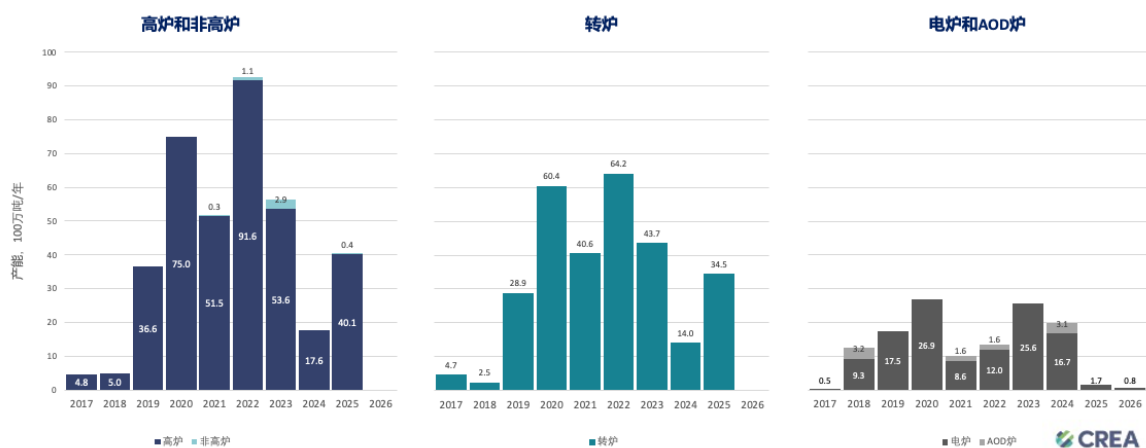


图 38 | 以预计投产年份进行统计的新增炼钢与炼铁产能

来源：CREA，各省市网站。注：数据反映的是2017年至2023年上半年的相关公告数据。BF为高炉，Non-BF为非高炉（包含使用氢气直接还原工艺、氢等离子体熔融还原工艺和“Hismelt”直接熔融还原技术的工厂），BOF为转炉，EAF为电炉，AOD为氩氧脱碳炉。

#### 4.5.4 数据披露

包括最重要的排放行业在内的工业部门的生产数据按月公布，这有助于显示工业部门排放的发展。然而，关于工业部门能源消耗的数据只按年度公布，且数据时效性延迟一至两年。关于工业部门二氧化碳排放的官方信息只公布过两次，最近一次数据更新在2014年。

## 4.6 建筑部门

### 2023年亮点

- **排放：**由于高温天气与空调的进一步普及，2022年至2023年中国建筑部门的电力消费上升明显，致使其能源消耗量的增速提升。由于新增的可再生能源发电量还无法满足电力消费量的新增部分，建筑部门能耗量的上升导致了发电部门对煤炭使用的上升。
- **部门发展：**在建筑部门使用既有经济效益又可提升能效的措施的潜力巨大，但它们也面临不少现实的阻力。由于中国建设新楼房的速度放缓，提升现有建筑的能效可能是一个重点。
- **政策制定：**对北方地区居民的煤炉进行替换仍是空气治理与减排政策的重点之一。对现有建筑的能效提升与可再生能源的推广同样重要。

由于高温天气与空调的进一步普及，建筑部门在2022年至2023年的电力消费与往年相比蹿升，这不仅导致了由发电产生的排放量的增加，也凸显了建筑能效的重要性。

中国建筑部门（包括民用与商用建筑）的二氧化碳排放量在2021年占全国总量的16%。该部门的排放通过能源领域产生，特别是通过使用煤炭、天然气和电力。虽然与大多数其他国家相比，这一比例较小（原因是中国的工业作为能源消费者占主导地位），但是它仍然很重要，且正快速上升。尽管中国在消灭小规模使用煤炭方面取得了快速进展，但是居民使用煤炉取暖仍然是空气污染物的一个主要来源。

能源使用效率在建筑业的减排过程中起着重要作用。在清华气候院的1.5°C情景下，到2050年，建筑部门的能源消耗量从2020年的7.75亿吨标准煤下降到6.2亿吨标准煤。该路径同时预测，在该部门到2050年的最终能源消费总量中，电力的比例从2020年的48%上升到78%<sup>146</sup>，生物质的使用则从2020年的6700万吨标准煤上升到约9000万吨标准煤。该部门高程度的电气化意味着其天然气消费也会下降。

中国建筑部门的直接碳排放量在2015年至2022年间下降了18%，这是因为建筑中的燃料使用已经被区域供热和电力取代。2021年，由于天然气使用量的上升，建筑部门的直接碳排放量同比上升了5%。然而，该部门的煤炭使用在当年仍然下降。

<sup>146</sup> 深圳建筑科学研究院（2021），《建筑电气化及其驱动的城市能源转型路径》，<https://www.efchina.org/Reports-zh/report-lccp-20210207-2-zh>，研究报告

如果同时计入由电力消费与取暖产生的排放量，那建筑部门的排放量就上升明显。2023年，该部门的电力消费量与2018年相比增幅超过50%。由极端热浪导致的空调的大量使用是一个主要驱动因素。

各转型路径的预测显示，该部门的总排放量——包括建筑用电和用热生产的排放量——从2030年开始急剧下降并持续到2045年，在2050年达到8000万吨二氧化碳。

清华气候院的1.5°C路径同时预测，中国建筑量的增长将大幅放缓，到2025年全国建筑总量的净增长将停止。

由于中国尚未禁止氢氟碳化物的使用，其建筑物的空调设备是含氟气体的主要来源。在中国针对非二温室气体的政策中<sup>147</sup>，对含氟气体的控制是任务之一。

#### 4.6.1 对标基准的趋势

中国严格的空气污染治理政策将建筑部门中的小规模用煤现象视作空气污染的主要来源之一。相关政策的实施使此类煤炭的使用快速减少，且降速与转型路径一致。从2015年到2020年，中国建筑的总能耗以每年5%的速度增长，但在转型路径中，建筑的总能耗从2020年到2030年下降。由此可见，中国建筑业对天然气和电力使用的增长速度比转型路径中预测的更快。虽然在建筑中采取既能产生经济效益又能节能的措施的潜力非常大，但实现这一目标也有很大障碍。随着中国在建设新建筑上的步伐有所放缓，现有建筑的节能可以成为一个重要的领域。

---

<sup>147</sup> 生态环境部（2021），《关于严格控制第一批氢氟碳化物化工生产建设项目的通知》，[https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk05/202112/t20211229\\_965542.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk05/202112/t20211229_965542.html)

### 建筑行业用煤量年度变化

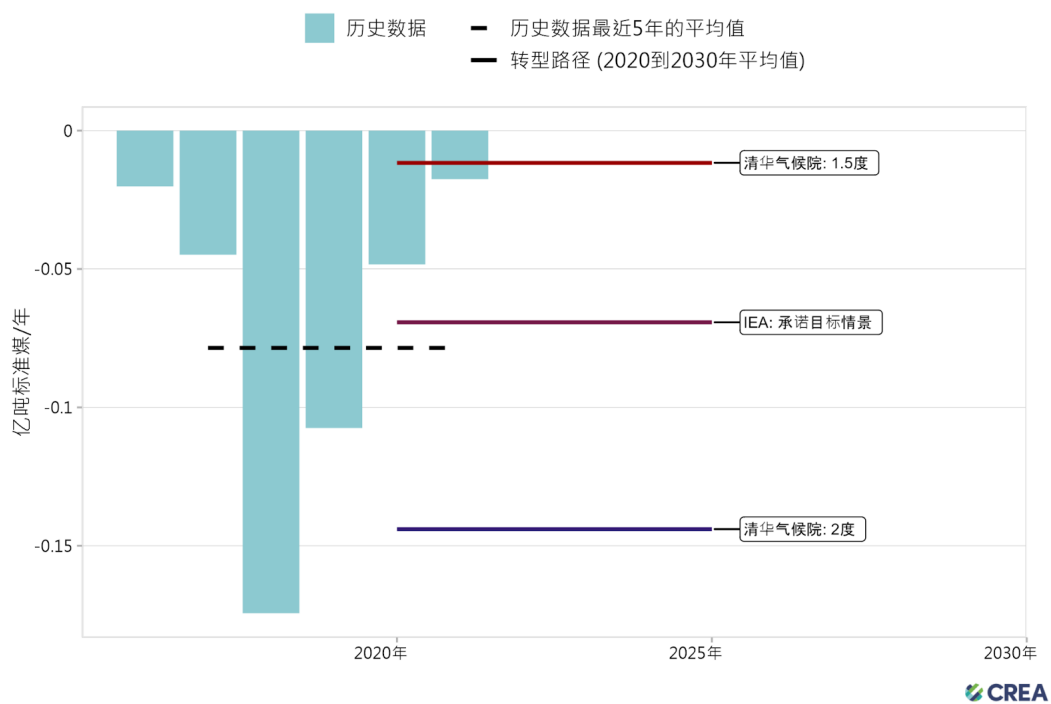


图 39 | 建筑部门煤炭消耗量的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

### 建筑行业天然气用量年度变化

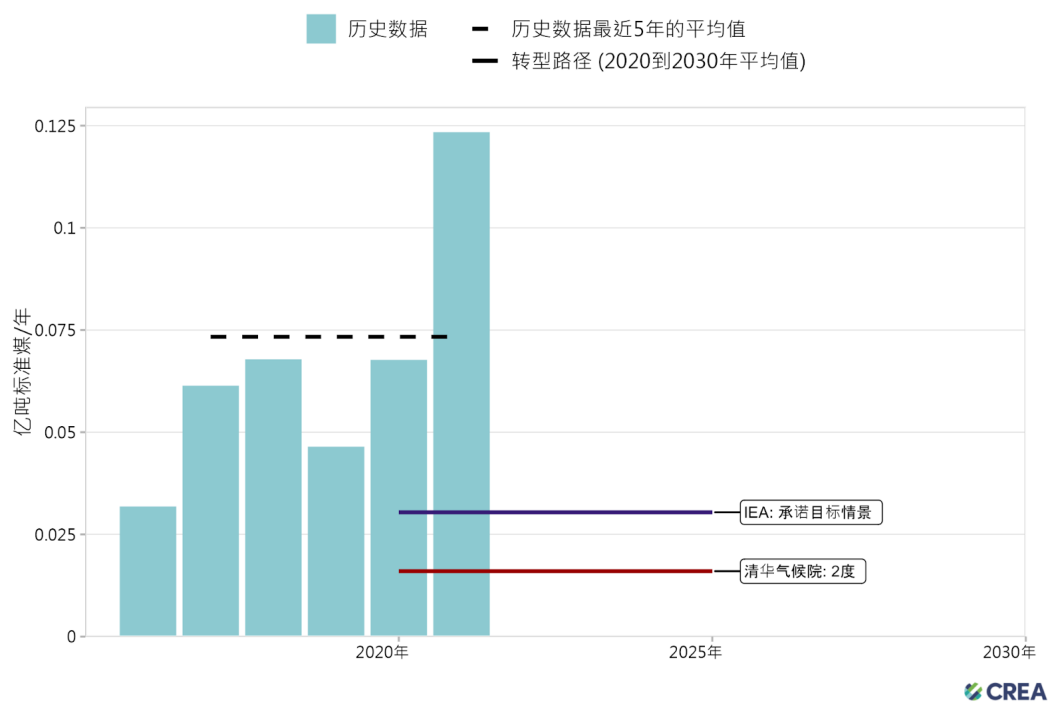


图 40 | 建筑部门天然气消耗量的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

## 建筑部门电气化比例的年度变化

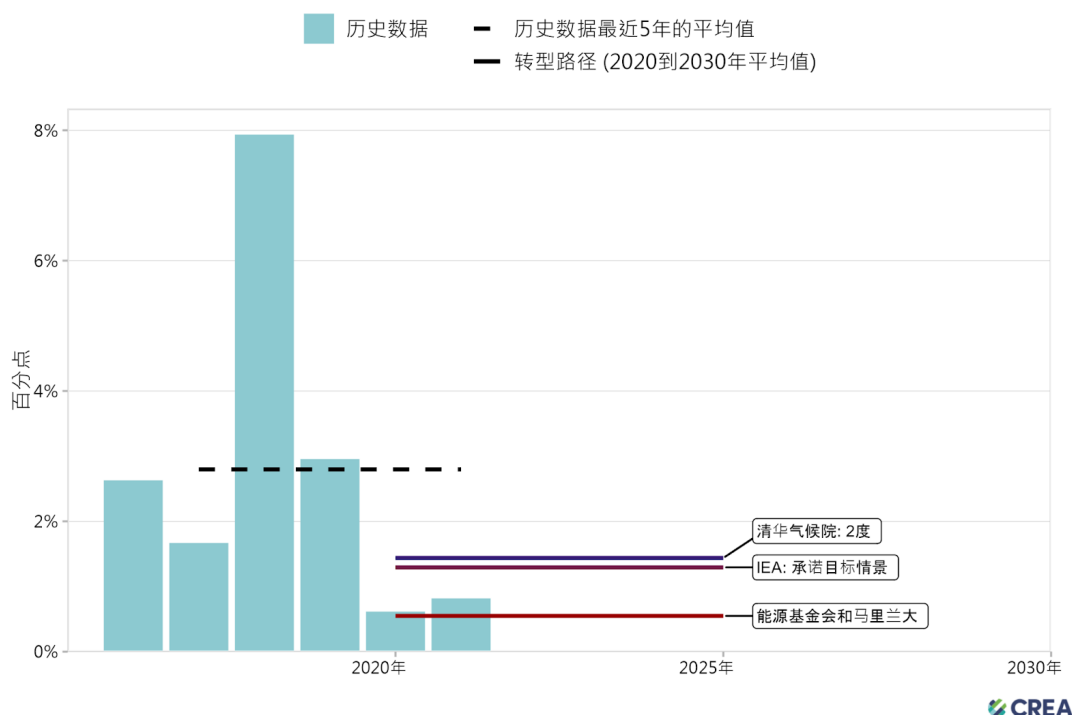


图 41 | 建筑部门电气化比率的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

在国际能源署的“可持续发展”路径下，中国建筑部门的煤炭使用须在2020年至2030年间下降75%，这比该部门在2015年与2020年间取得的实际降速要快出不少。建筑部门实际的天然气和电力消费量增速也要比所有转型路径中快出许多，这代表建筑能效的提升程度要慢于转型路径的预测；同时，该部门的电力消费要比转型路径的预测快，且并未代替煤炭和天然气。

### 4.6.2 现行政策：民用领域的碳达峰行动

在中国的碳达峰行动方案里，建筑业归属“城乡发展”的领域。除了继续落实前期政策外，减少煤炭的大宗使用与在农村地区推行可再生能源是近期政策的两个侧重点。

#### 民用煤炭取暖

对北方地区居民的煤炉进行替换在2017年成为空气治理与碳减排政策的重点之一。由北京大学能源研究院主持的一项研究显示，在2017年至2022年，北方地区累计共有3630万户从煤炭取暖改为以电力或天然气取暖，这使该地区民用散煤消费下降 38%<sup>148</sup>。该研究同时估计，

<sup>148</sup> 北京大学能源研究院（2023年9月），《中国散煤综合治理调研报告（2023）》，<https://www.ccetp.cn/newsinfo/6390799.html>，研究报告

2022-2025 年间，约有另外2100万户将完成此项取暖改造；到 2025 年，民用散煤消费量相比2017年降幅将超过60%。

一般，居民使用散煤取暖，而散煤也是各项政策中减少民用煤炭使用量的重点。然而，由于近期天然气价格的走高与对能源安全的担忧，中国并未彻底淘汰民用煤炭，而是用清洁煤代替散煤。相比用电或天然气来代替煤炭，此举并不能减少二氧化碳的排放，对空气污染物的减少效果也非常有限。

生态环境部在《京津冀及周边地区、汾渭平原2023-2024年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案（征求意见稿）》<sup>149</sup>中提出，2023 年采暖季前完成“散煤治理”78.7万户。对于如此大规模的散煤治理行动而言，中央政府的资金支持至关重要，而市场化的机制则对此行动的长期持续亦不可或缺。然而，由于政府补贴的减少与政策力度的减弱（包括用清洁煤来替代散煤的决定），上述目标的实施程度是未知数。

## 绿色建筑和建筑能效改造

中国目前正在力图提高新建筑的能源消费标准，同时对现有建筑的能源使用效率进行改造。

《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》对绿色建筑提出了若干个到2025年的非约束性目标：一，建筑部门运行一次二次能源消费总量为11.5亿吨标准煤；二，城镇新建居住建筑能效水平提升30%；三，城镇新建公共建筑能效水平提升20%；四，完成既有建筑节能改造面积3.5亿平方米以上，其中，居住建筑面积超过1亿平方米，公共建筑面积超过2.5亿平方米。最后一个指标仅为“十三五”期间节能改造面积的一半，这代表中国对现有建筑的节能改造步伐正在放缓。

## 城乡建筑的可再生能源发展

提高建筑电力消费总量里的可再生电力占比意味着中国的整个能源系统需要转型。与此同时，在住宅上安装可再生能源发电装置也会涉及各个利益相关方。鉴于上述两个原因，减少城市地区建筑排放的一个更实际方法是削减其能源消费量。《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》提出，到2025年城镇建筑可再生能源替代率达到8%，该百分比仅比“十三五”时期的指标高出两个百分点。然而，在实际操作中，整县光伏开发方案的实施大大推进了民用建筑可再生能源替代的进程。

---

<sup>149</sup> 生态环境部（2023年9月），《京津冀及周边地区、汾渭平原2023-2024年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案（征求意见稿）》，[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202309/t20230922\\_1041574.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202309/t20230922_1041574.html)，政策

同时，为加大乡村清洁能源的建设力度，国家能源局、生态环境部、农业农村部、国家乡村振兴局在2023年3月<sup>150</sup>决定联合组织开展“农村能源革命试点县”的建设。该行动对试点县提出了以下目标：到2025年，可再生能源在一次能源消费总量占比超过30%，在一次能源消费增量中占比超过60%。

表 9 | 与建筑部门有关的部分政策

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《城乡建设领域碳达峰实施方案》</a> （住房和城乡建设部等）	2022年7月13日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到 2025 年，城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准；</li> <li>2030 年前，城乡建设领域碳排放达到峰值；2030 年前，严寒、寒冷地区新建居住建筑本体达到 83% 节能要求，夏热冬冷、夏热冬暖、温和地区新建居住建筑本体达到 75% 节能要求，新建公共建筑本体达到 78% 节能要求；到 2030 年，城市生活垃圾资源化利用率达到 65%。</li> </ul>
<a href="#">《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》</a> （住房和城乡建设部）	2022年3月12日	<ul style="list-style-type: none"> <li>设置煤炭消费量指标，即到 2025 年，建筑运行的能源消费总量为 11.5 亿吨标准煤；</li> <li>到 2025 年，城镇新建居住建筑能效水平提升 30%；</li> <li>城镇新建公共建筑能效水平提升 20%。</li> </ul>
<a href="#">《“十四五”推进农业农村现代化规划》</a> （国务院）	2022年2月11日	<ul style="list-style-type: none"> <li>推动农业农村减排固碳。</li> </ul>

### 4.6.3 数据披露

住宅和商业建筑部门的能源消耗数据只按年度公布，且数据时效性延迟一至两年。该部门的二氧化碳排放的官方信息从未公布过，中国提交给联合国的官方温室气体排放清单将住宅排放归入“其他”类别。

## 4.7 交通运输部门

### 2023年亮点

- 排放：**2019年到2022年间，由于疫情封控措施造成的出行限制，中国的石油消费量基本保持平稳。然而，该指标在2023年封控措施解除之后飙升。在路面交通方面，减排的主要驱动因素是车辆的电气化，电力的使用在交通运输部门的能源消费总量

<sup>150</sup> 国家能源局等（2023年3月），《关于组织开展农村能源革命试点县建设的通知》，[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-03/24/content\\_5748120.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-03/24/content_5748120.htm)，政府文件



中的占比从2018年的3.4%上升到2023年的4.7%。

- **部门发展：**电动汽车的生产与销售在中国激增。2023年1月至8月，电动汽车的销量占中国所有汽车销量的30%，而2019年同期，该占比仅为5%。中国公共交通的脱碳与电动化受益于其庞大的城际高铁网络，城市轨道交通和公交系统。
- **政策制定：**虽然国家层面对新能源汽车的购买补贴在2022年底已全面停止，但地方政府出台了各自的替代政策。另外，国家财政部将新能源汽车免征购置税政策延续至2027年底。

如果中国的经济发展和城市化继续快速进行，那么中国对客运和货运的需求便将持续急剧上升，直到2040年左右。要限制该部门二氧化碳排放的增加，需要进一步发展可持续的交通运输模式和其他选项、并增加两者在总运输量中的份额；同时加快电气化和在航空中使用生物燃料和氢气。在清华气候院的1.5°C和2°C路径中，交通运输部门的二氧化碳排放总量将在2030年左右分别以10.4和10.8亿吨的达峰（该排放量在2020年为9.91亿吨），并在2050年分别急剧下降到1.72吨和5.5亿吨。在清华气候院的1.5°C情景中，中国交通运输部门2050年的能源效率将在2015年的基础上增加65%，在“政策情景”中，该增幅只有30%，这凸显了在1.5°C情景中相关政策延续性。

同样在清华气候院的1.5°C情景中，公共交通在所有出行方式中的比例将在2050年达到60%，而在其政策情景中，该比例为45%。铁路网络的总长度在2050年将增长到七万公里，高于“政策情景”中的五万公里。私家车的拥有比例将继续增长，但其增速将较慢，从2020年的17%<sup>151</sup>上升到2050年的27%。使用拼车的通勤者比例在2050年将达到25%。

现代生活需要分散的、时效性强的、小型的、高价值的货物运输。清华气候院的1.5°C情景对运输部门进行了重组。在重组后，铁路运输的份额从2021年的8.9%<sup>152</sup>增加到2050年的24%；船舶运输的份额从2021年的15.6%增加到2050年的22%；而公路运输的份额则从2021年的73.9%下降到2050年的51%。在客运方面，2050年铁路的份额从“政策情景”下的38%增加到1.5°C路径下的43.5%，而公路运输的份额从“政策情景”下的34%下降到1.5°C路径下的26.5%。同样在1.5°C路径下，航空的份额从2021年的33%略微下降到2050年的29%。

<sup>151</sup> 国家统计局（2021），《中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报》，[http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227\\_1814154.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227_1814154.html)，政府公报

<sup>152</sup> 国家统计局（2022），《中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报》，[http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202202/t20220227\\_1827963.html](http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202202/t20220227_1827963.html)，政府公报

对于道路车辆而言，电气化是减排的主要驱动力。在私家车和轻型车方面，电池电动车占主导地位；而燃料电池车则帮助客车和中重型卡车进行电气化。在清华气候院的1.5°C情景中，新能源汽车（包括电动汽车和燃料电池汽车）在2030年和2050年在所有车辆中的比例分别达到20%和85%，而该比例在2020年只有1.5%。在货运方面，新能源汽车的比例从2020年的0.2%上升到2030年的5%、再到2050年的60%。

### 4.7.1 对标基准的趋势

交通运输行业石油消耗的年度变化

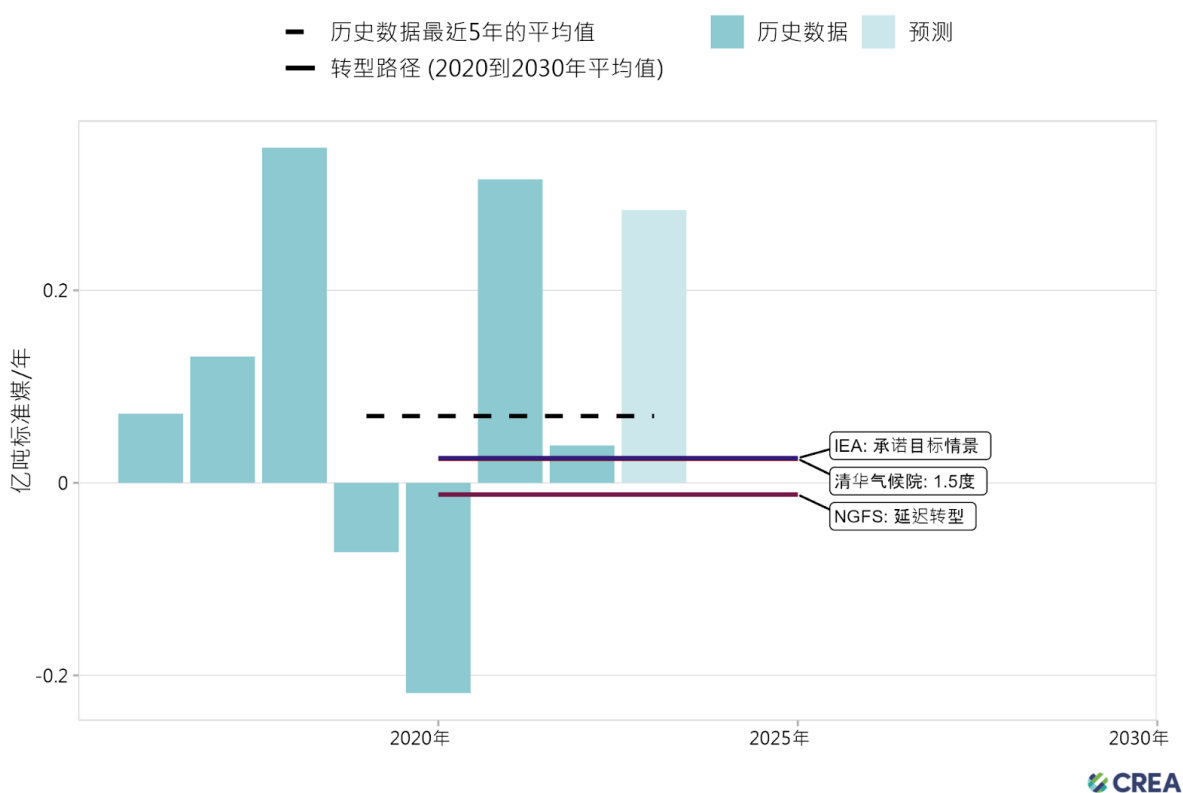


图 42 | 交通运输部门石油消耗量的年度变化（实际趋势与转型路径的对比）

2019年到2022年间，由于疫情封控措施造成的出行限制，中国的石油消费量基本保持平稳。然而，该指标在2023年封控措施解除之后飙升，且其长期趋势目前难以判定。

与1.5°C目标相符的转型路径显示，从2020年到2030年，中国交通运输业的石油需求增长接近于零。

## 交通运输部门电气化比例的年度变化

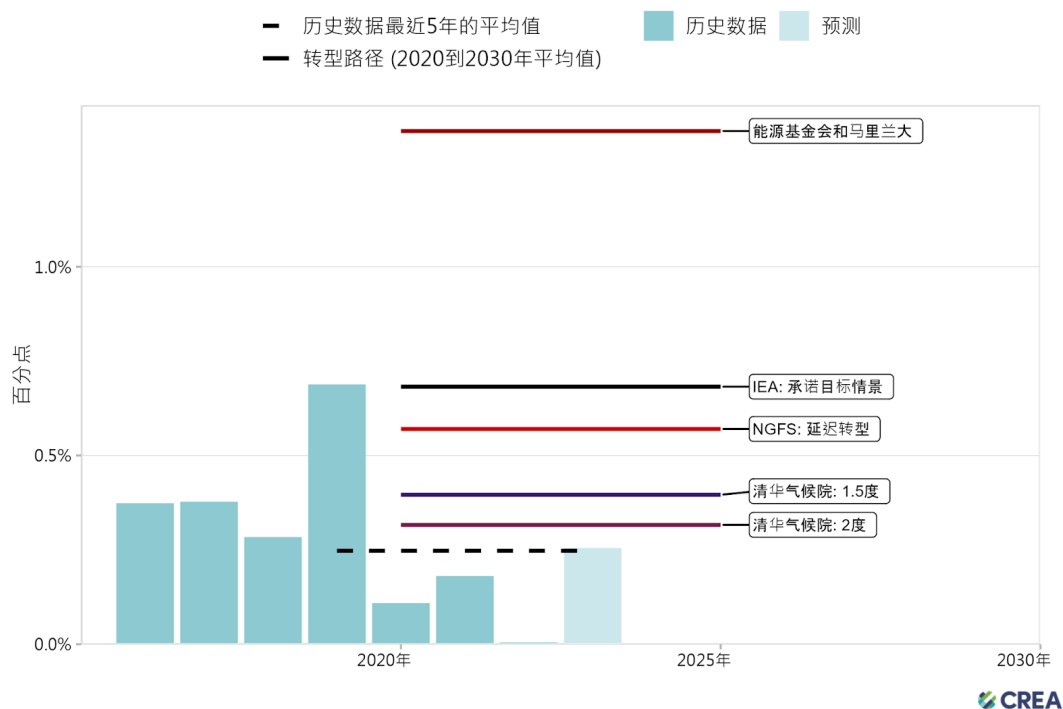


图 43 | 交通运输部门电气化比率的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

## 交通运输行业用电的年度增长

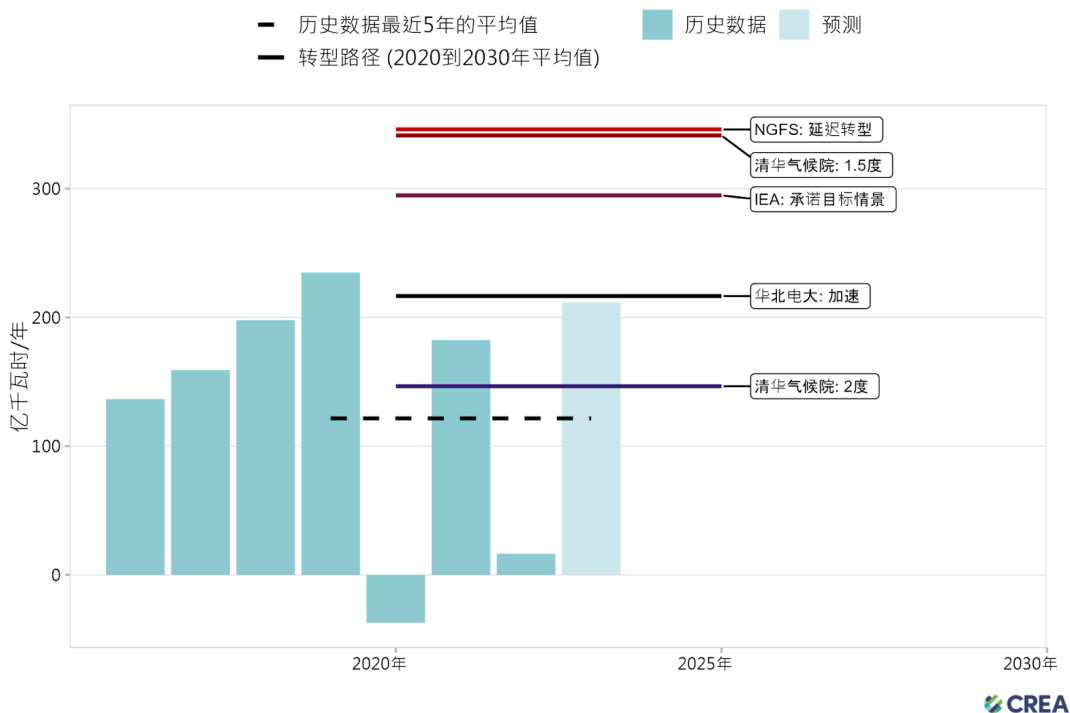


图 44 | 交通运输部门电力消费的年度变化 (实际趋势与转型路径的对比)

电力的使用在交通运输部门的能源消费总量中的占比从2018年的3.4%上升到2023年的4.7%。相比转型路径预测的每年增长0.5个百分点左右，该时期的实际年平均上升速度约为其一半。然而，由于数据很可能没有反映来自公路交通和充电设施的全部电力消费量，实际的电气化率可能更快。

电动汽车的生产与销售在中国激增。2023年1月至8月，电动汽车的销量占中国所有汽车销量的30%，而2019年同期，该占比仅为5%。这意味着，电动汽车的推广可能帮助降低了四个百分点的石油消费增速。油气巨头中国石化最近预测，电动车的推广可以帮助中国的汽油消费在2023年达峰<sup>153</sup>。

汽油占中国所有石油消费量的20%。但鉴于中国的货运耗油在整个交通运输部门的耗油中占较高的比例，未来整个部门的石油消费量很大程度上取决于大宗的货运量。同时，公路运输转铁路与货运车辆的电气化仍处于初期。

根据国际能源署发布的《能源技术展望》（Energy Technology Perspectives）的预测，全球电动汽车在所有新车销售中的份额到2030年将达到65%。考虑到其电动车领域的增长速度，中国实现这一目标的问题不大。清华气候院的1.5°C路径中预测，2030年，新能源汽车在中国所有上路车辆中的占比将达到20%。按照新能源汽车在中国目前的发展态势，此预测比例应该可以顺利实现。

中国公共交通的脱碳与电动化受益于其庞大的城际高铁网络，城市轨道交通和公交系统。各地公交车辆的电动化速度飞快，而此举通常是空气污染治理方案中的一部分。

中国在铁路运输上的投资规模一直十分可观。2023年的前九个月，该方面投资继续壮大，同比上升了22%。

公交模式结构并没有因为大规模的铁路投资而发生明显变化。2023年前8个月，铁路客运量和旅客公里数还未完全恢复到2019年疫情前的水平。航空客运恢复同样缓慢，2019至2023年间没有明显的趋势表明，航空客流正转向铁路。作为衡量公路运输量的间接指标，炼油厂的汽油产量在2023年的前8个月已比2019年同期水平高出15%。

货运方面，2023年的前八个月的铁路“吨公里”运输量相比2019年同期上升了23%，这表示铁路货运量已开始增长。

---

<sup>153</sup> Bloomberg News. (Aug 2023). China's Gasoline Demand to Peak Early on Fast Adoption of EVs. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-08-04/china-s-gasoline-demand-to-peak-early-on-fast-adoption-of-evs?sref=Oz9Q3OZU>. News report.

# 汽车产量

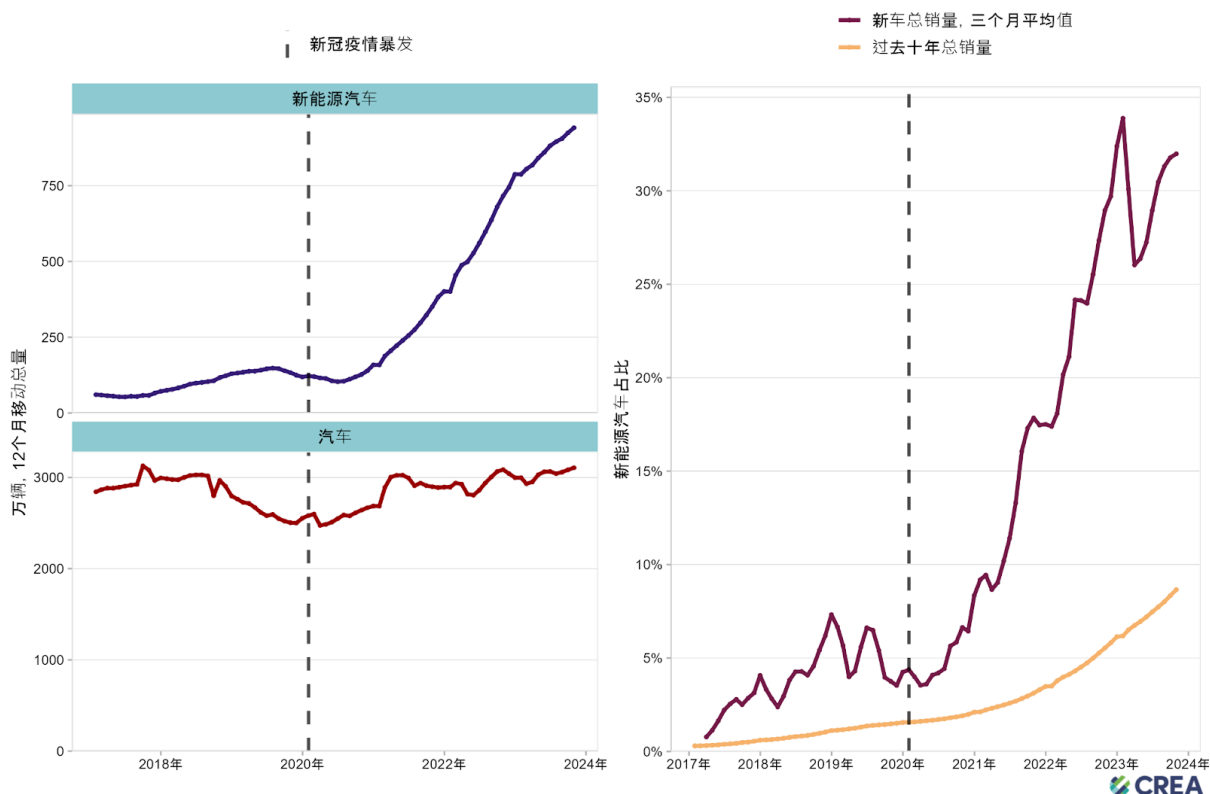


图 45 | 汽车生产；12个月的累计值

## 4.7.2 现行政策：促进绿色和低碳交通运输的行动

中国政府在促进交通运输部门的绿色和低碳化方面主要采取三大块行动，分别是：推广新能源汽车、打造绿色交通体系和建设绿色交通基础设施。以下是部分相关的政策：

表 10 | 与交通运输部门有关的部分政策

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》</a> （国务院办公厅）	2020年11月2日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，中国新能源汽车的市场竞争力明显增强；纯电动乘用车新车平均电耗降至12.0千瓦时/百公里，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的20%左右；</li> <li>力争经过15年的持续努力，中国新能源汽车核心技术达到国际先进水平。</li> </ul>
<a href="#">《绿色交通“十四五”发展规划》</a> （交通运输部）	2022年1月21日	<ul style="list-style-type: none"> <li>“十四五”期间，营运车辆单位运输周转量二氧化碳排放较2020年下降5%；营运船舶单位运输周转量二氧化碳排放较2020年下降3.5%；全国城市公交、出租汽车（含网约车）、城市物流配送领域新能源汽车占比分别上升至72%、35%和20%；国际集装箱枢纽海港新能源清洁能源集卡占比上升至60%。</li> </ul>

政策名	发布日期	指标与亮点
<a href="#">《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》</a> （国务院）	2022年1月18日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2025年，主要采用250公里及以上时速标准的高速铁路网对50万人口以上城市覆盖率达到95%以上；“十四五”期间，交通运输二氧化碳排放强度下降率达5%。</li> </ul>
<a href="#">《关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见》</a> （国务院办公厅）	2023年6月19日	<ul style="list-style-type: none"> <li>到2030年，基本建成高质量充电基础设施体系。</li> </ul>
<a href="#">《关于延续和优化新能源汽车车辆购置税减免政策的公告》</a> （财政部等）	2023年6月19日	<ul style="list-style-type: none"> <li>车辆购置税减免政策延续至2024至2027年。</li> </ul>

## 电动汽车的生产与销售

自从中国国务院在2012年下发了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》之后，中国的电动汽车行业便见证了飞速发展，并已成为全球领头羊。中国是全球最大的电动汽车市场。2022年，中国的电动汽车销量较2021年增长82%，达到620万辆，占全球总量的59%<sup>154</sup>。本土品牌的市场占有率达到81%，其中，排名靠前的品牌包括比亚迪、五菱、奇瑞、长安与广汽埃安<sup>155</sup>。2023年开始实施的一系列最新政策延续了政府对于新能源汽车（特别是电动汽车）的有力支持。

- 虽然国家层面对新能源汽车的购买补贴在2022年底已全面停止，但地方政府已经出台了各自的替代政策。国家层面的购置补贴从2009年开始发放，帮助新能源汽车产业从零开始发展<sup>156</sup>。另外，财政部也已经将新能源汽车的车辆购置税减免政策延续至2024至2027年。新能源汽车的车辆购置税减免政策始于2014年。截至2022年底，该政策累计免税规模超过2000亿元，仅2023年，免税额就预计将超过1150亿元。据估计，2024年至2027年的政策延续意味着减免车辆购置税规模总额将达到5200亿元<sup>157</sup>。

<sup>154</sup> 国际清洁交通委员会（2023年6月），《全球汽车电动化转型年度总览：2022》，<https://theicct.org/publication/global-transition-electric-vehicles-update-jun23/>，报告

<sup>155</sup> EV Market report. (2023). BYD's Growing Market Share in China's EV Market. <https://evmarketsreports.com/byds-growing-market-share-in-chinas-ev-market/>. 新闻

<sup>156</sup> 《人民日报海外版》（2023年2月），《补贴退场，新能源汽车如何“续航”？》，[http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2023-02/21/content\\_25966268.htm](http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2023-02/21/content_25966268.htm)，新闻

<sup>157</sup> 《人民日报》（2023年6月），《新能源汽车产业高质量发展再迎政策支持》，[https://www.gov.cn/zhengce/202306/content\\_6887954.htm](https://www.gov.cn/zhengce/202306/content_6887954.htm)，新闻

- 电动汽车的充电设施规模也迅速扩张。中国的充电桩数量从2015年的不到10万个增长到了2023年5月的640万个。北上广等一线城市中心城区的公共充电桩设施覆盖率超过80%，全国65%的高速公路服务区具备充电条件<sup>158</sup>。2023年6月，《进一步构建高质量充电基础设施体系》提出了到2030年的发展目标，即“基本建成覆盖广泛、规模适度、结构合理、功能完善的高质量充电基础设施体系”。除了在城区推广电动汽车的使用，国家发改委和国家能源局也联合下发了《关于加快推进充电基础设施建设更好支持新能源汽车下乡和乡村振兴的实施意见》。
- 如上海<sup>159</sup>、浙江<sup>160</sup>、江苏<sup>161</sup>、安徽、福建<sup>162</sup>、广东<sup>163</sup>和湖南<sup>164</sup>等省市区均制定了有力的地方规划，以进一步促进新能源汽车制造的发展。覆盖上海、浙江、江苏和安徽的长三角地区也已形成新能源汽车产业集群。2022年，该地区的新能源汽车产量约290万辆，占全国总产量的四成以上<sup>165</sup>。

## 铁路建设

中国的铁路——特别是高铁和城市轨道交通在过去的二十年间发展迅速（详见表11）。截至2020年底，中国的铁路运营里程达到14.6万公里，其中高铁运营里程达到3.8万公里。同年，全国的城市轨道交通运营里程达到6600公里，即之前的每五年其里程规模以两到三倍的速度扩张。

<sup>158</sup> 新华社（2023年7月），《破解“找桩难”，我国加力布局新能源汽车充电基础设施》，[https://www.gov.cn/zhengce/202307/content\\_6891764.htm](https://www.gov.cn/zhengce/202307/content_6891764.htm)，新闻

<sup>159</sup> 上海市人民政府（2021年2月），《上海市加快新能源汽车产业发展实施计划（2021—2025年）》，<https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210225/c76899471d0d4abea77b26d54d7fb972.html>，政策

<sup>160</sup> 《21世纪经济报道》（2021年5月），《浙江新能源汽车产业“十四五”规划发布：到2025年产量力争达60万辆》，[https://m.21jingji.com/article/20210507/herald/c2f2877e82d71ad40d5727601df09f29\\_zaker.html](https://m.21jingji.com/article/20210507/herald/c2f2877e82d71ad40d5727601df09f29_zaker.html)，新闻

<sup>161</sup> 江苏省人民政府办公厅（2021年11月），《江苏省“十四五”新能源汽车产业发展规划》，[http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/11/24/art\\_46144\\_10124132.html](http://www.jiangsu.gov.cn/art/2021/11/24/art_46144_10124132.html)，政策

<sup>162</sup> 福建省人民政府办公厅（2022年4月），《福建省新能源汽车产业发展规划（2022—2025年）》，<https://fdi.swt.fujian.gov.cn/uploadfiles/file/20220426/1650941604952489.pdf>，政策

<sup>163</sup> 广东省工业和信息化厅网站（2020年10月），《广东省发展汽车战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025年）》，[http://www.gd.gov.cn/zwgk/zcjd/snzcsd/content/post\\_3097936.html](http://www.gd.gov.cn/zwgk/zcjd/snzcsd/content/post_3097936.html)，政策

<sup>164</sup> 湖南省工业和信息化厅等（2022年12月），《关于支持新能源汽车产业高质量发展的若干政策措施》，[https://gxt.hunan.gov.cn/gxt/xxgk\\_71033/zcfg/gfxwj/202212/t20221230\\_29171166.html](https://gxt.hunan.gov.cn/gxt/xxgk_71033/zcfg/gfxwj/202212/t20221230_29171166.html)，政策

<sup>165</sup> 《人民日报》（2023年7月），《长三角一体化发展形成新能源汽车产业集群》，[http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-07/25/nw.D110000renmrb\\_20230725\\_1-07.htm](http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-07/25/nw.D110000renmrb_20230725_1-07.htm)，新闻

如果以每公里和单位运输计算，铁路和水路运输的排放量在交通运输部门里最低，而航空和公路运输的排放量大得多。随着铁路网络的快速建设，铁路货运量占全社会货运量的比重由2017年的7.8%提高至2021年的9.2%<sup>166</sup>。

中国的铁路总里程目前仍落后于美国和欧盟27国<sup>167, 168</sup>，后两者各自拥有长度超过20万公里的铁路网络。然而，中国在“十四五”期间正继续按照其强有力的规划建设铁路与城市轨道交通设施。2022年的数据显示，当年中国的铁路固定资产投资为7109亿元，投产新线达到4100公里，其中高速铁路2082公里。同年，中国的铁路营业里程达到15.5万公里，其中高速铁路达到4.2万公里<sup>169</sup>。

表 11 | 2005年至2025年间在运的铁路与城市轨道交通总长度（1000公里）

交通类型	2005	2010	2015	2020	2025指标 (非约束性)
铁路	75	91	121	146	165
高铁			19	38	50
城市轨道交通	0.43	1.4	3.3	6.6	10

数据来源：《交通运输“十二五”发展规划》、《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》、《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》和政府网站

### 4.7.3 数据披露

国家能源局曾经按月公布石油产品的表观消费量数据，但该月度数据从2022年初起已停止公开。炼油厂的总吞吐量和石油产品的进口和出口数据每月均有公布，但这一数据没有按产品的类型进行分类。虽然这些数据集不是专门针对交通运输部门公布的，但是它们还是对该部门的排放发展提供了指示性的参考。

该部门的实际能源消耗量数据按年度公布，但数据时效性会延迟一至两年。关于交通运输部门二氧化碳排放的官方信息只公布过两次，最近一次数据更新在2014年。

<sup>166</sup> 光明网（2022年10月），《交通运输部：“公转铁”“公转水”成效显著 运输结构持续优化》，[https://economy.gmw.cn/2022-10/31/content\\_36126790.htm](https://economy.gmw.cn/2022-10/31/content_36126790.htm)，新闻

<sup>167</sup> 维基百科（2023），《国家铁路里程列表》，[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_rail\\_transport\\_network\\_size](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_rail_transport_network_size)，维基百科

<sup>168</sup> Statista. (2023). Total length of the railway lines in use in the European Union (EU-27) from 1990 to 2020. <https://www.statista.com/statistics/451812/length-of-railway-lines-in-use-in-europe-eu-28/>. Statista.

<sup>169</sup> 人民网（2023年5月），《国家铁路局：2022年全国铁路固定资产投资完成7109亿元》，<http://finance.people.com.cn/n1/2023/0529/c1004-40001474.html>，新闻报道



## 4.8 省级行动

### 4.8.1 现行政策：中国的气候转型需要各省的共同行动

由于中国的省级政府是执行中央政府政策的主要行政主体，因此，要实现全国层面的碳达峰与碳中和的目标需要它们共同与一致的努力。自从国务院印发了《2030年前碳达峰行动方案》<sup>170</sup>，中国各个省、自治区、直辖市均制定与发布了各自的碳达峰行动方案。这些地方层面的方案在不同程度上设置了单位GDP能源消耗下降、单位GDP二氧化碳排放下降和非化石能源消费比重的指标。

根据对公开资料的分析，湖北、新疆与西藏三地未设置到2025年的单位GDP能源消费总量下降与单位GDP二氧化碳排放下降的量化指标。同时，新疆还未设置到2025年的非化石能源消费占比的量化指标。十二个省、市、自治区（湖北、新疆、西藏、河南、山西、宁夏、黑龙江、河北、青海、云南、广东和重庆）未设置到2030年碳排放强度下降的指标，另有六个省、市、自治区（湖北、新疆、河南、江苏、北京和云南）未设置到2030年有关非化石能源消费的指标。

由于中国的经济发展程度和自然资源禀赋呈现东部与西部的错位分布，因此，要达成“双碳”目标，各地所面临的压力并不均匀。经济发达地区通常能源消费量较大，但却少有清洁能源的资源，这导致了欠发达地区需要负起更大的脱碳责任。

国家层面的《2030年前碳达峰行动方案》提出，到2025年非化石能源消费比重达到20%左右。由于中国西部欠发达地区拥有丰富的风、光与水力资源，它们将成为完成这个指标的顶梁柱。青海、西藏、云南和四川的非化石能源消费的指标均比国家层面的指标高出20多个百分点；同时，天津、河北、山东和陕西等北方传统用煤大省的非化石能源消费的指标均低于国家层面的指标，差距最大达到8.3个百分点。海南设定的、到2030年的非化石能源消费的指标为54%，为全国第三高；而京津冀地区与汾渭平原各自到2030年的非化石能源消费的指标低于全国平均。

---

<sup>170</sup> 国务院（2021年10月），《2030年前碳达峰行动方案》，  
[https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content\\_5644984.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm)，政策

各省到2025年的非化石能源消费比重目标

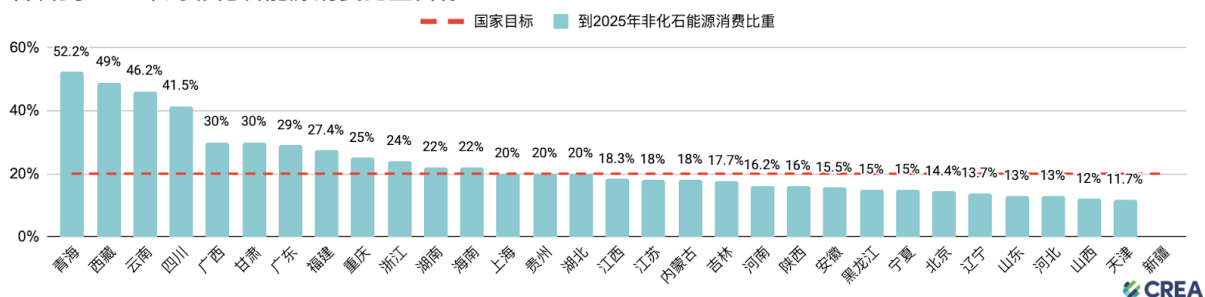


图 46 | 各省级行政区到2025年非化石能源消费占比指标的比较

各省到2030年的非化石能源消费比重目标

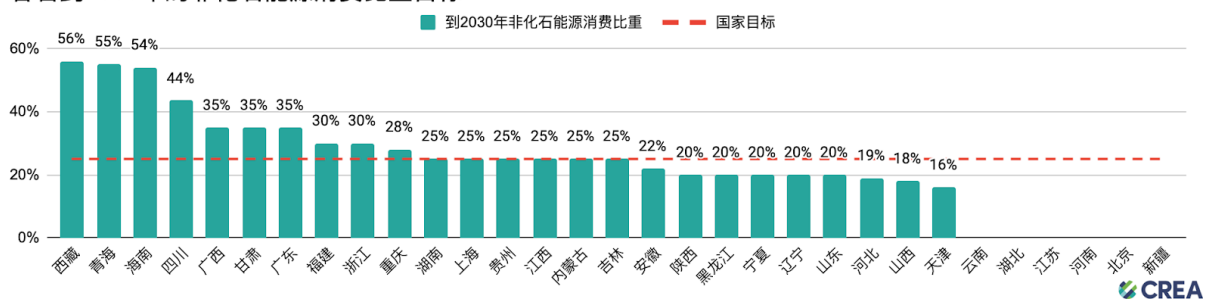


图 47 | 各省级行政区到2030年非化石能源消费占比指标的比较

我们以2020年的数据作为基准对各地非化石能源消费量占比的指标进行分析。该分析发现，各省级行政区在“十四五”期间的指标增幅不均，广东的指标甚至从2020年的30%下降到了2025年的29%。分析发现，该指标增幅最大的省级行政区依次为：西藏（8.5个百分点）、陕西（8.1个百分点）和江苏（七个百分点）；而该指标增幅最小的省级行政区依次为：湖南（0.3个百分点）、上海（2个百分点）和贵州（2.4个百分点）。

作为中国GDP体量最大的省级行政区，广东在清洁能源上承诺发生倒退，这令人吃惊。该省在2022年大举核准煤电项目，此趋势延续至2023年上半年，在此期间广东甚至拟定与核准了更多煤电项目。纵观2023年，广东省的重点发电项目中的新增容量以燃煤发电项目和燃气发电项目为主，其中，前者合计31GW，后者合计27GW。目前，广东拥有的可调度发电容量是其波动电源发电容量的四倍，这意味着该省新增煤电容量的用途难以解释为在建风、光装机容量容量的“辅助调峰”容量。

除去西藏和青海，在非化石能源消费比重上设置较高指标的地区均为2020年该指标的基准线较低的地区。陕西、内蒙古、河北和山东等北方富煤地区与江苏、浙江和安徽等长三角关键省份所设的指标均比全国指标（即相比2020年五个百分点的增长）要高。

相比于2020年的基准水平，预期到2025年非化石能源比重的增长

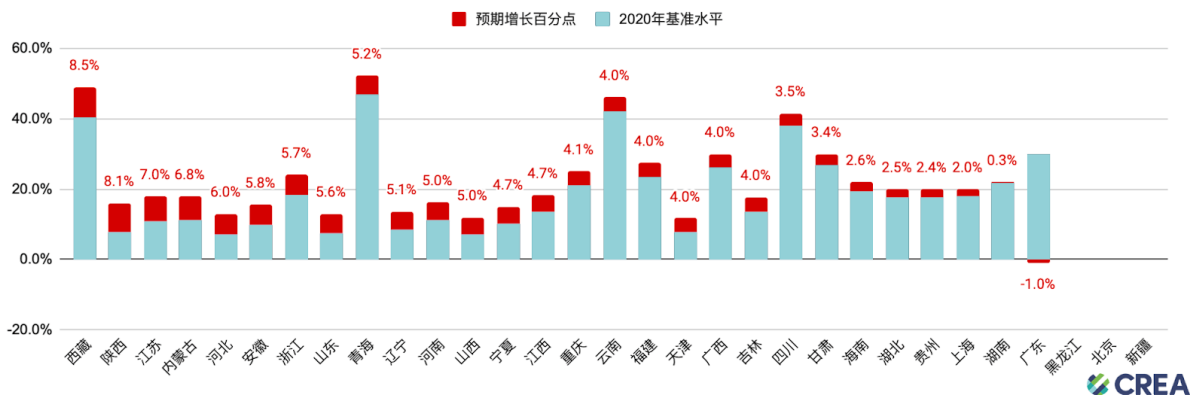


图 48 | 各省级行政区到2025年非化石能源消费占比预计增长指标的比较（以2020年数据为基准）

注：北京和天津的2020年非化石能源消费占比的基准值未有公开报道，因为上图仅显示两地到2025年的指标。

各地对清洁能源投资的热情大大拉升了中国清洁能源装机容量的总量。据媒体报道，光伏项目能吸引到“历史最优”的投资条款，例如，晶科能源拟在山西建设的、总年产能为56GW的光伏生产基地得到了当地省政府的大力支持。该项目的大部分资金（200-300亿）主要靠地方城投基金或城投平台给该企业担保发债融资，且政府投资返还率在30%以上<sup>171</sup>。

从某种程度而言，各地政府对光伏、风能和电动汽车制造项目的投资热情源于三年的“清零”政策对它们造成的财政压力与国家下发的单位GDP能源消耗下降指标给政府投资带来的局限性。通过将生产清洁能源所产生的能源消耗量剔除在能源消费总量的限额之外，中央政府表达了其对清洁能源投资的支持。因此，各地省级政府以清洁能源投资项目作为向中央政府获取资金支持的有效渠道，以此获取新的信贷和投资。

清洁能源投资的目的是为了削减经济发展过程中的能源强度。然而，在部分省级行政区，其分布式光伏项目的发展与可调节电源和储能项目的发展难以匹配，这造成了中国局部地区分布式光伏发电量的过剩。

2023年前八个月，河南、山东和湖北三地为了达到各自2023年年底前的屋顶光伏发电装机的指标，其光伏装机容量领先全国其他地区。仅河南一地就在今年1月至8月新增了8GW的光伏装机容量。在风能方面，内蒙古、新疆和云南的装机容量名列前茅。内蒙古今年以来新增的风能容量超过6GW。

<sup>171</sup> 《财新周刊》（2023年9月），《光伏冲险峰》，<https://weekly.caixin.com/2023-09-01/102099376.html>，新闻报道

2023年5月，山东的电力市场连续出现负电价<sup>172</sup>。这一现象的出现可能是由于该省分布式户用光伏的发展速度远远超出了其输电网可以消纳的容量范围<sup>173</sup>。这为各省理性规划与部署中长期资源项目敲响了警钟。

从2022年夏天开始，中国见证了一股煤电项目核准热潮，其中，陕西、广东和内蒙古的火电装机容量相比其它地区最高。然而，新核准的煤电项目所位于的省份往往已经拥有足够的煤电容量来支撑拟建的风、电项目。与中央政府的政策指引恰恰相反的是，各地政府并未采取有效行动控制新煤电项目的核准<sup>174</sup>。有些地方希望赶在为实现2030年前碳达峰的目标所设的截止期间之前，尽量多地赶建高耗能、高排放项目，有的地方甚至在未经核准的情况下，就已开建拟建的两高项目<sup>175</sup>。2021年上半年，国家发改委对八个能源消费总量控制形势“十分严峻”的省级行政区发出了“一级预警”（表示其未能达标或超标超过10%），并对另五个能源消费总量控制形势“比较严峻”的省级行政区发出了“二级预警”（表示其未能达标或超标10%内）<sup>176</sup>。在此之后，国家发改委未有就各地区能耗双控目标的完成情况发布更新信息，但国家层面的缓慢进度表示很多地区的表现落后于预期。

---

<sup>172</sup> 财新（2023年6月），《山东连续负电价，全球罕见，中国的电力市场发生了什么？》，<https://zhishifenzi.blog.caixin.com/archives/268002#>，博客文章

<sup>173</sup> 能源新媒（2023年10月），《深度思考 | 电力投资过热了么？》，<https://mp.weixin.qq.com/s/LlmbFPb1mG10DX9MU0Lc-g>，博客文章

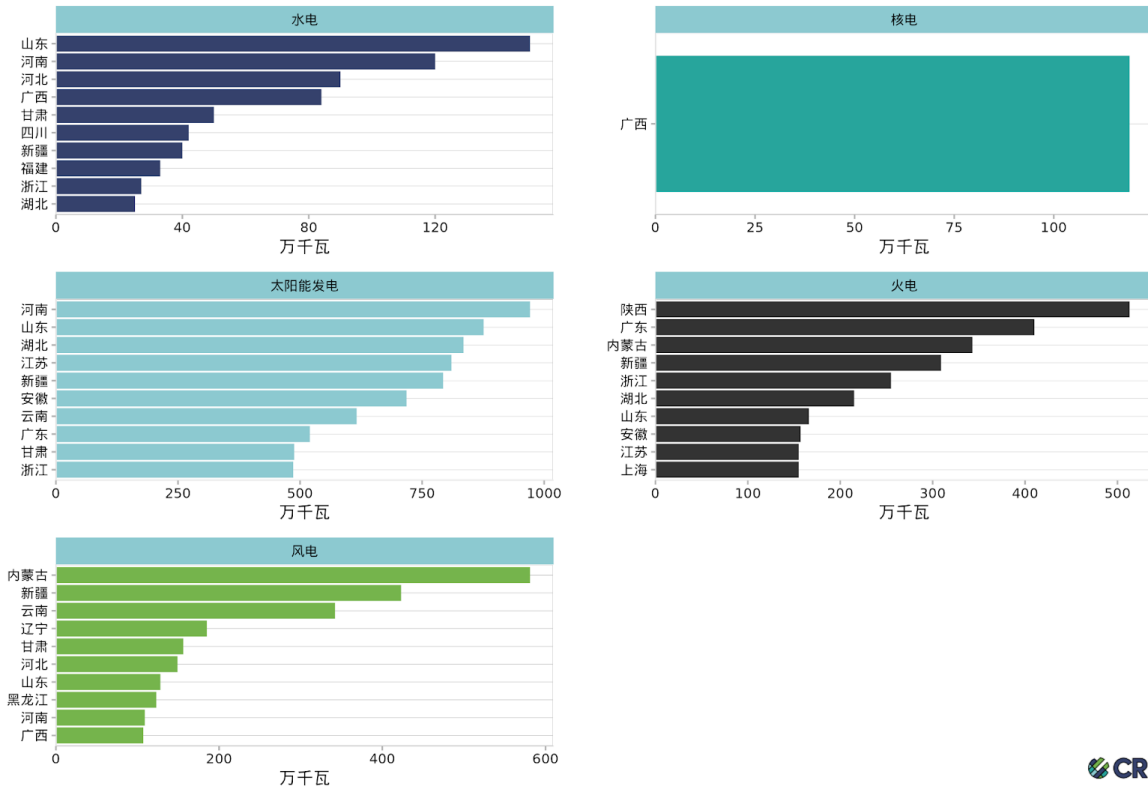
<sup>174</sup> CREA. (Aug 2023). China's new coal power spree continues as more provinces jump on the bandwagon. <https://energyandcleanair.org/publication/chinas-new-coal-power-sprees-continues-as-more-provinces-jump-on-the-bandwagon/>，报告

<sup>175</sup> 《光明日报》（2023年9月），《常纪文：纠正“运动式”减碳，必须先立后破》，<https://www.drc.gov.cn/DocView.aspx?chnid=379&leafid=1338&docid=2903880>，政策解读

<sup>176</sup> 国家发改委（2021年8月），关于印发《2021年上半年各地区能耗双控目标完成情况晴雨表》的通知，[https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202108/t20210817\\_1293836.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202108/t20210817_1293836.html)，政策

## 各省新增装机容量

2023年1-9月



CREA

图 49 | 2023年1月至8月，不同能源分类下新增发电容量幅度最大的省份列表

各省级行政区到2025年和2030年的单位GDP能源消耗和单位GDP二氧化碳排放的下降指标高度统一。此统一性与中共中央政治局在2021年7月提出的“坚持全国一盘棋，纠正‘运动式’减碳”的告诫有关<sup>177</sup>。2021年年初，在习近平将“双碳”目标定为中国的一项主要政策与公众关注点之后，各省纷纷预期设定高目标。这让中央政府担心，各地出于竞争的心理碳达峰行动可能过于激进，导致其他政策目标只得退而求其次<sup>178</sup>。

<sup>177</sup> 《光明日报》（2023年9月），《常纪文：纠正“运动式”减碳，必须先立后破》，<https://www.drc.gov.cn/DocView.aspx?chnid=379&leafid=1338&docid=2903880>，政策解读

<sup>178</sup> 国家发改委（2021年8月），《8月发布会回答之四》，[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202108/t20210817\\_1293876\\_ext.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202108/t20210817_1293876_ext.html)，新闻稿

各省到2025年单位国内生产总值能源消耗下降目标（相较于2020年水平）

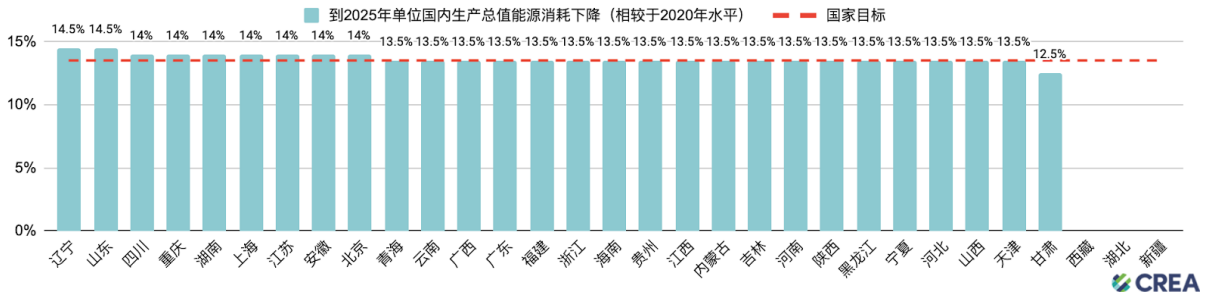


图 50 | 各省到2025年能源消费下降指标的比较（以2020年数据为基准）

各省到2025年单位国内生产总值二氧化碳排放下降目标（相较于2020年水平）

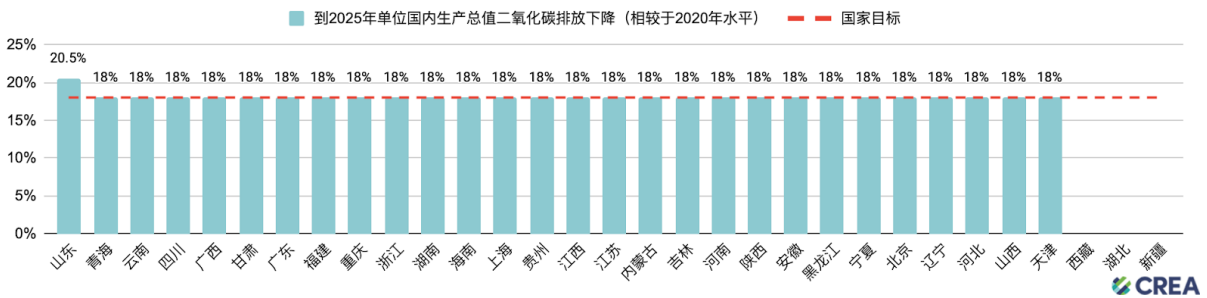


图 51 | 各省到2025年二氧化碳排放下降指标的比较（以2020年数据为基准）

各省到2030年单位国内生产总值二氧化碳排放下降（相较于2005年水平）

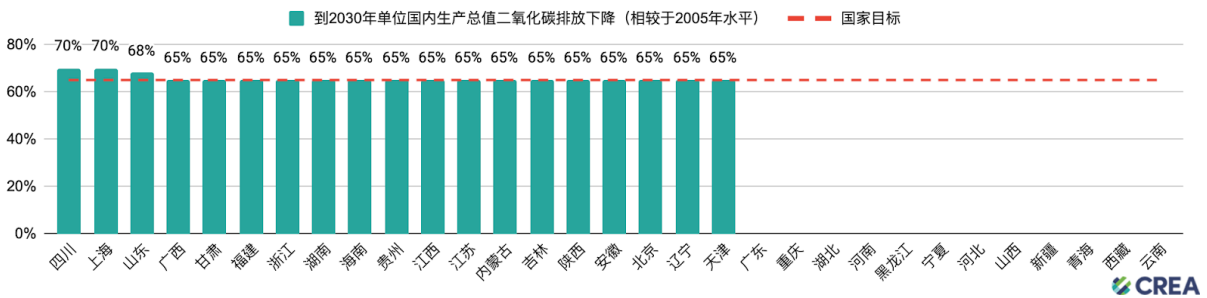


图 52 | 各省到2030年二氧化碳排放下降比率指标的比较（以2005年数据为基准）

## 4.8.2 近期的指标调整

由于在疫情期间与疫情之后，中国各地经济增长走的是高耗能模式，大多数省份在完成中央下达的指标方面表现欠佳。

在各地发布了地方碳达峰方案之后，部分省份为了给化石能源项目提供空间，调整了其已经发布的指标。

在2022年6月成文的广东省碳达峰实施方案中，该省提出，到2025年，非化石能源消费比重力争达到32%以上<sup>179</sup>。然而，该省在2023年5月发布的《广东省推进能源高质量发展实施方案（2023-2025年）》却下调了该比重的指标，将其设为“达到29%左右”<sup>180</sup>。

2022年5月发布的《四川省“十四五”电力发展规划》<sup>181</sup>里，该省设置的到2025年的化石能源发电装机比重指标为15.6%。然而，在其2022年12月发布的《四川省电源电网发展规划（2022-2025年）》中，该省为了增加本地生产煤炭的使用量，火电装机占比这一指标被上调为16.6%。

2023年9月1日至8日，负责中国碳达峰和碳中和进程的国家发改委就“十四五”节能目标完成进展滞后事宜，分别约谈了湖北省、陕西省、甘肃省、青海省的节能主管部门<sup>182</sup>。10月，发改委又就“十四五”能耗强度下降进展滞后事宜，约谈了浙江省、安徽省、广东省、重庆市节能主管部门<sup>183</sup>。这些约谈显示，该八个省份与直辖市节能审查松弛，高耗能、高排放、低水平项目管理乏力。国家发改委同时强调，“十四五”期间能耗强度下降的指标必须完成，然而“十四五”前两年，被约谈地区的能耗增速较快，且能源效率提升缓慢，扣除原料用能和可再生能源消费量后，能耗强度下降仍滞后于“十四五”目标进度要求，个别地区甚至不降反升。这些现象均引发了省级政府未认真控制能源消费的担忧。

---

<sup>179</sup> 广东省人民政府（2023年2月），《广东省人民政府关于印发广东省碳达峰实施方案的通知》，[http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yf/content/post\\_4091117.html](http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yf/content/post_4091117.html)，政策

<sup>180</sup> 广东省能源局（2023年5月），《广东省推进能源高质量发展实施方案（2023-2025年）》，[http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post\\_4186277.html](http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_4186277.html)，政策

<sup>181</sup> 四川省发改委等（2022年5月），关于印发《四川省“十四五”电力发展规划》的通知，<https://fgw.sc.gov.cn/sfgw/c106096/2022/5/26/2d856d99f07c40b1a945c900731a7a85.shtml>，政策

<sup>182</sup> 国家发改委（2023年9月），《国家发展改革委环资司约谈部分地区节能主管部门》，[https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202309/t20230914\\_1360598.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202309/t20230914_1360598.html)，工作发布

<sup>183</sup> 国家发改委（2023年10月），《国家发展改革委环资司约谈浙江、安徽、广东、重庆4省（市）节能主管部门》，[https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202310/t20231019\\_1361344.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202310/t20231019_1361344.html)，工作发布

## 5 专家调查和采访

### 2023年亮点

- 今年有89位专家参与了调查，人数较去年有所增加，专家的态度也更为乐观。调查结果表明，大多数专家认为中国正朝着2030年碳达峰的目标迈进，但限制碳排放增长水平仍是一个巨大的挑战。
- 今年的调查结果显示，在中国的煤炭消费是否已达峰值这个问题上，有34%的专家回答不确定，这与去年相比有很大差异，比例比去年增加了12%。这或许反映出过去一年的煤炭政策变化带来了更多的不确定因素。
- 两次调查结果显示出专家对于中国电力部门碳达峰的意见分歧增大，认为电力部门碳排放已达峰和认为其将在2030年之后达峰的专家比例均有所增加。

为了系统地呈现专业人士对中国排放轨迹的观点和期望，我们邀请来自不同领域的杰出专家参与了一项对于中国碳达峰、碳中和的进展和展望的问卷调查。我们采用了与2022年相同的调查问卷，并将这次的调查数据与去年的数据进行了详细对比，以观察自去年以来的变化和趋势，特别是在特定领域或问题上是否出现了显著的变化。

在问卷中，我们询问了参与专家对中国二氧化碳排放和能源消费总量达峰的预期，以及对电力、工业、建筑和交通运输部门的二氧化碳排放量的预估。这些专家主要来自能源环境经济学领域（见图 53）。他们的行业背景不仅包括高等教育，还涵盖了煤炭、电力、可再生能源、油气等多个领域（见图 54）。这些从事能源相关工作的专业人士来自学术单位、咨询机构以及能源行业（如电力、石油、天然气等）（见图 55）。

本次调查于2023年8月25日至9月15日进行，共收到了89份有效问卷，其中64份来自国内专家，25份来自于国外专家。除此之外，我们还与部分专家进行了在线的访谈。

不同于依赖模型预测或规范性分析的传统定量研究方法，参与本次调查的专家运用了他们丰富的专业知识和实践经验来回答问卷中的问题。调查对象不仅包括高校和科学研究所的学者，还包括来自行业主管部门、协会学会、国内外智库、国有骨干企业、其他能源企业、非政府组织以及新闻媒体等各个领域的杰出代表。他们的观点在一定程度上反映了各个领域的主流看法。同时，他们多元化的背景也确保了我们的调查结果的广泛代表性和可靠性。



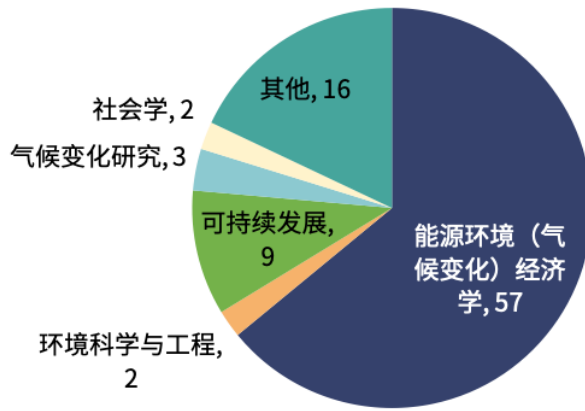


图 53 | 专家专业领域 (单位: 人)

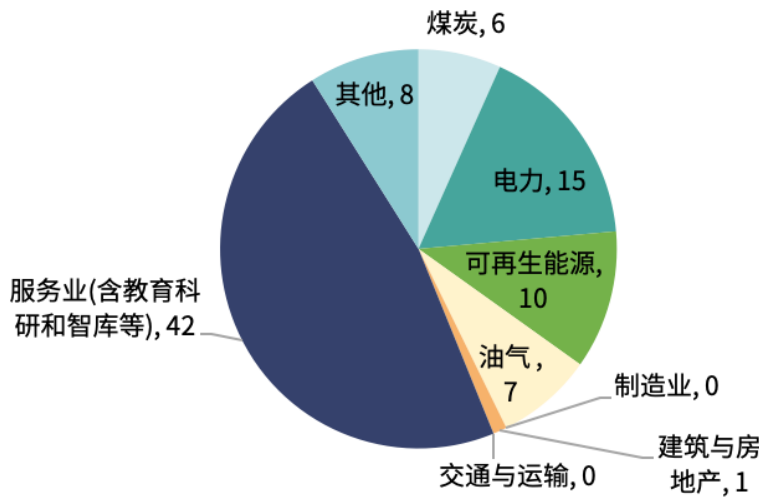


图 54 | 所在行业 (单位: 人)

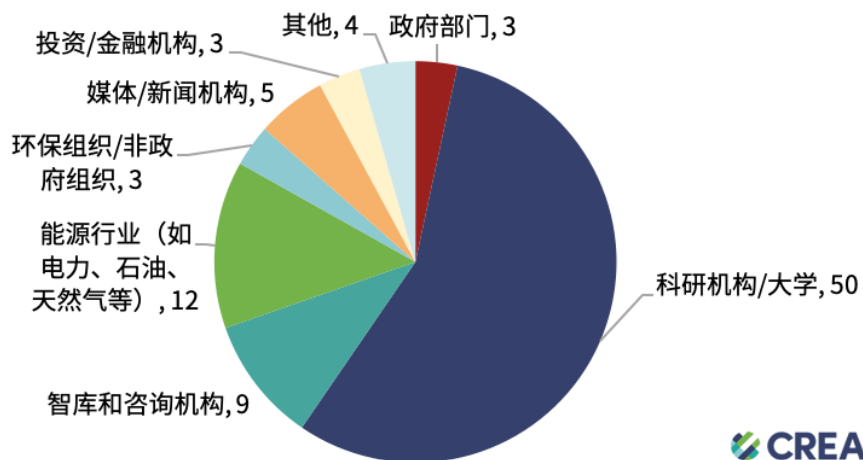


图 55 | 从业单位性质 (单位: 人)

## 5.1 二氧化碳排放总量

2023年接受我们采访的专家中，绝大多数人（超过70%）认为中国可以实现2030年前二氧化碳排放达峰的既定目标。其中，2人认为中国的二氧化碳排放已经达峰，17人预测中国将在2025年前实现碳达峰，45位专家认为中国碳达峰年份预计在2026年到2030年之间（见表12）。

表 12 | 关于中国二氧化碳排放达峰年份的调查结果

你预计中国的二氧化碳排总量放会在何年达峰？			如果在2026-2030年之间达峰，则可能的达峰年	
选项	人数	比例	年份	人数
A. 已经达峰	2	2%	2026	2
B. 2025年前	17	19%	2027	3
C. 2030年后	25	28%	2028	14
D. 2026至2030年间	45	51%	2029	10
			2030	13
			不确定	3

与2022年的调研结果相比，专家们对中国二氧化碳排放的观点和预测表现出积极的变化。相信中国二氧化碳排放量将在2025年之前达到峰值的专家比例从2022年的15%上升至21%。其中，有两位受访专家甚至认为中国的二氧化碳排放可能已经达到峰值，反映出部分专家对中国减排进展的乐观态度。另一方面，预测中国二氧化碳排放将在2030年之后达峰的专家数量有所减少，从2022年的有31%降至2023年的28%。这种变化可能反映了专家对中国实现减排目标的期望提高，并对中国政府在加强减排努力方面有更大的信心。

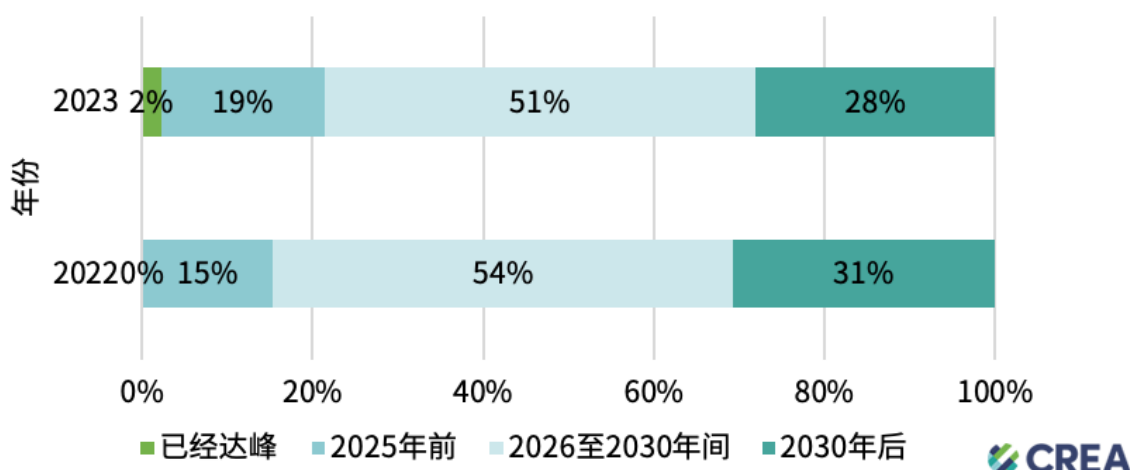


图 56 | 中国二氧化碳排放量的达峰年

在2023年的问卷中，绝大多数专家认为中国实现碳达峰是可行的。其中关键在于二氧化碳排放的峰值水平。对于中国碳达峰的水平问题，有50位专家预测峰值水平将比中国2020年的二氧化碳排放水平出15%以上（见图57）。

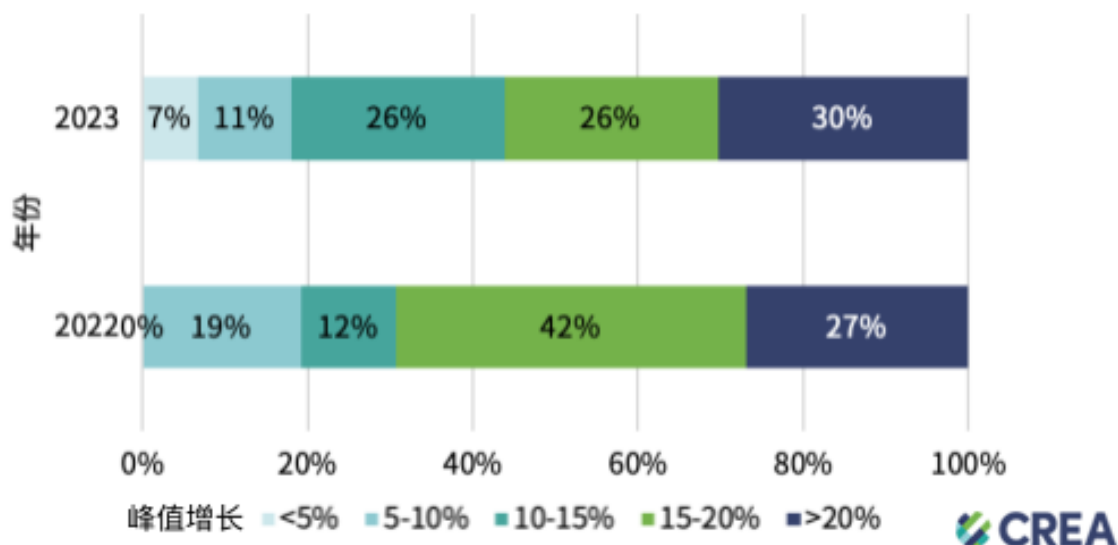


图 57 | 二氧化碳峰值

## 5.2 一次能源消费和煤炭消费

在89位受访专家中，超过半数认为中国的一次能源消费将在2030年前达到峰值，显示出他们对中国控制能源消费增长的信心。此外，13位专家预测一次能源消费将在2035年达到峰值，反映出他们对能源消费增长的谨慎态度。然而，也有22位专家认为中国的一次能源消费在2035年之后仍将继续增长，表明他们对能源消费增长持保守看法，或认为中国经济的持续发展将伴随能源需求的增加。

表 13 | 关于中国一次能源消费总量达峰年份的调查结果

你认为中国的一次能源消费总量会在何时达峰？	
A. 已经达峰	7
B. 到2030年	47
C. 到2035年	13
D. 2035年之后	22

在关于一次能源消费总量达峰时间的问题上，2023年的调查结果呈现出比去年更为积极的趋势。首先，认为中国能源消费总量已经达峰的专家比例从2022年的4%上升到2023年的8%。其次，专家中有53%相信中国将在2030年之前实现一次能源消费峰值，而这一比例在2022年的调查中为50%。总体来看，倾向于认为中国一次能源消费总量将在2030年之前达到峰值的专家占比从54%上升到61%。

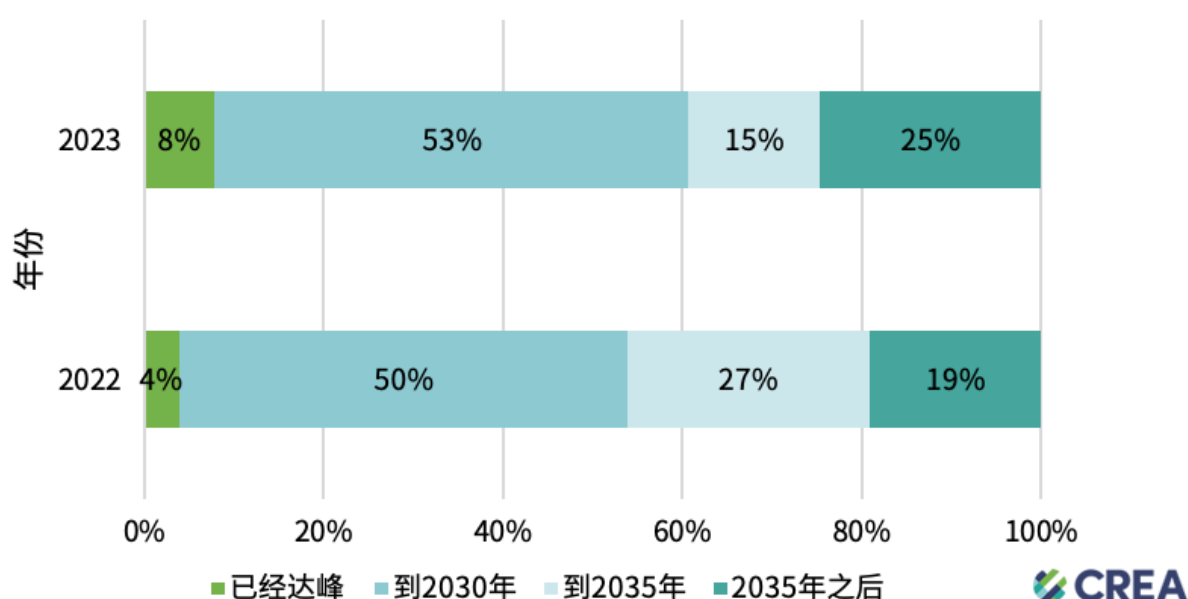


图 58 | 中国一次能源消费总量的达峰年

中国已经宣布，在“十四五”时期将严格控制煤炭消费的增长，而在“十五五”时期逐步减少<sup>184</sup>。这意味着中国的煤炭消费将在2025年达到峰值。在我们采访的89位专家中，有18位专家认为中国的煤炭消费已经见顶。不过，89位专家中的41位认为，中国的煤炭消费尚未达到顶峰。还有30位专家回答“不确定”，他们认为煤炭消费的达峰与中国未来几年的政治和经济形势密切相关。

关于煤炭消费的达峰年份，12位专家预测在2025年，4位专家预测在2026年。此外，还有16位专家认为中国的煤炭消费将在2027年之后达到峰值。其中，6位专家选择了2028年，5位专家选择了2030年，甚至有1位专家选择了2040年。总体来看，三分之一左右受访专家认为中国的煤炭消费可以在2025年达峰。所有受访专家都明确指出，煤炭消费的达峰需要考虑到能源转型与全球、中国国内经济形势之间的相关性。而且能源安全问题的重要性也不容忽视，有时甚至高于对碳排放的控制。

<sup>184</sup> 中国中央人民政府 (2021年10月). 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202110/t20211027\\_1301251.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202110/t20211027_1301251.html). 政策.

表 14 | 关于中国煤炭消费总量达峰年份的调查结果

你认为中国的煤炭消费已经达峰了吗？			达峰年	
选项	人数	比例	年份	人数
A. 是	18	20%	2025	12
B. 不确定	30	34%	2026	4
C. 不	41	46%	2027	2
			2028	6
			2030	5
			2035	1
			2038	1
			2040	1
			不确定	9

在2023年的调查中，认为煤炭消费已经达峰的专家占比增加了5%，达到了20%（见图 59）。同时，尽管认为中国煤炭消费尚未达峰的专家占比从2022年的73%下降到2023年的46%，但回答“不确定”的专家比例大幅上升，从2022年的12%增至到2023年的34%。在那些认为未达峰的专家中，今年的调研显示有更多专家倾向于认为煤炭消费将在2025年达峰（见表 14和图 60）。

值得关注的是，对煤炭达峰年不确定的专家比例显著上升。2022年的调查中只有12%的专家对煤炭达峰年不确定。而在2023年这一比例大幅度增加到34%。这可能反映了近一年来煤炭政策的发展注入了更多不确定性，使专家们更难以预测未来的走向。

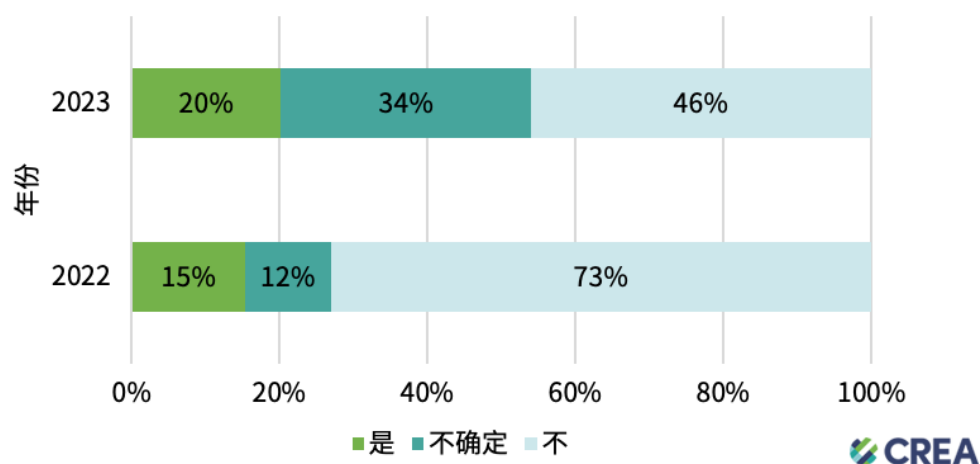


图 59 | 中国煤炭消费是否达峰

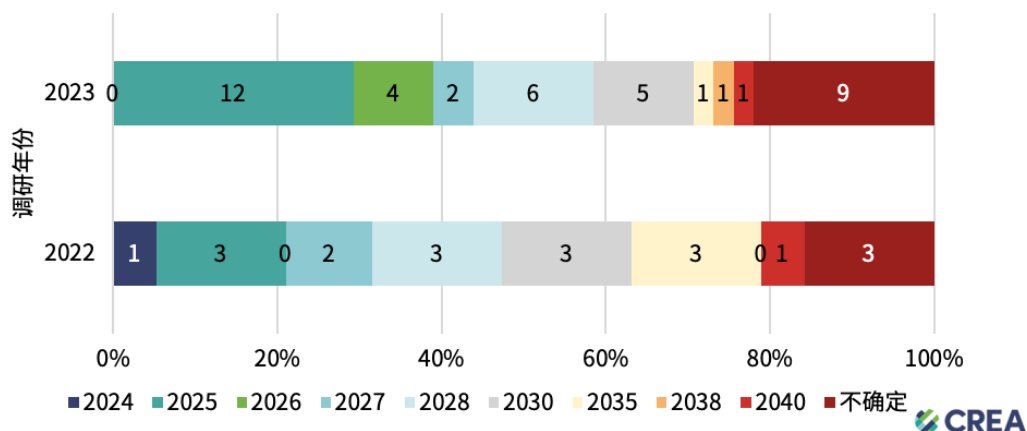


图 60 | 不同煤炭消费达峰年的选择人数

### 5.3 电力部门

电力部门在中国的碳减排任务中扮演着关键角色。电力部门占全国总排放的40%左右。尽管人们普遍认为电力部门是最大的二氧化碳排放者，并在其他部门的脱碳过程中发挥着关键作用，但关于中国电力部门何时达到排放峰值仍存在不同意见。有27位专家预测中国的电力部门将在2030年后达到碳排放峰值。另外，还有22位专家认为电力部门的碳排放峰值将出现在2026年到2030年之间。

进一步的调查那些预测中国电力部门排放在2026年到2030年之间达峰的专家发现，总共有19位专家提供了他们的预测。其中，1位专家预测电力部门排放将在2026年达到峰值，7位专家预测在2027年，5位专家预测在2028年，1位专家预测在2029年，另外5位专家预测在2030年，即中国政府设定的碳达峰年份。还有3位回答者没有给出具体的年份。

表 15 | 关于中国电力部门二氧化碳排放达峰年份的调查结果

你预计中国电力部门的二氧化碳排放会在何年达峰？			如果在2026-2030年之间达峰，则可能的达峰年	
选项	人数	比例 (%)	年份	人数
A. 已经达峰	5	6%	2026	1
B. 2025年前	35	39%	2027	7
C. 2030年后	27	25%	2028	5
D. 2026至2030年间	22	30%	2029	1
			2030	5
			不确定	3

近两年对于中国电力部门二氧化碳排放的调研结果显示，专家意见出现更大分歧。认为在2030年前达峰和2030年之后达峰的专家比例均有所上升。从积极的角度来看，2023年首次有6%的专家认为电力部门碳排放已经达峰，而在2022年没有专家持有这一观点。但从另一方面来看，认为电力部门将在2030年后达峰的观点在2023年调研专家中占比为30%，较2022年的19%有明显增长。这可能反映了一些专家对电力部门未来碳减排持较悲观态度。

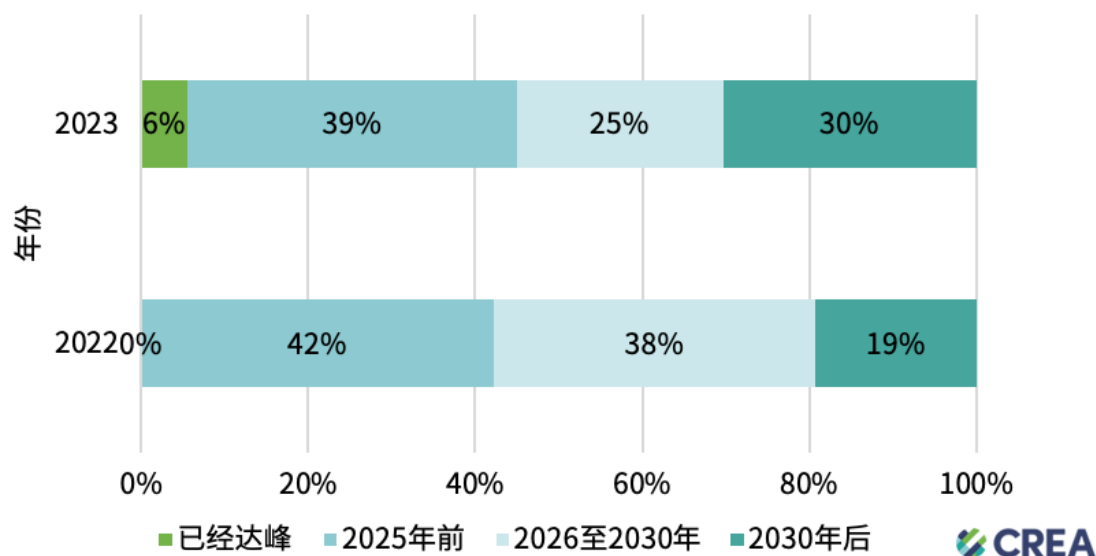


图 61 | 中国电力部门二氧化碳排放达峰

## 5.4 工业部门

钢铁行业是中国第二大碳排放源。如表 5 所示，关于中国钢铁行业的二氧化碳排放达峰时间的观点多种多样。有13位专家认为该行业的碳排放已经达到峰值，而35位专家预测它将在2025年之前达到峰值。这意味着近一半的专家（89位中的48位）表现出较为乐观的看法。另外，21位专家认为钢铁行业的碳排放将在2030年之后才达到峰值，而20位专家则将其峰值时间范围放在2026年到2030年之间。这种观点多样性反映了专家们对中国钢铁行业碳减排前景的不同看法，显示出这一行业在减排方面面临的挑战和不确定性。

关于预测中国钢铁行业碳排放在2026年到2030年之间达峰的专家呈现了一定的分布。具体来说，有2位专家预测碳排放将在2026年达到峰值，而3位专家认为峰值将出现在2028年，5位专家预测在2029年，还有4位专家认为碳排放峰值将在2030年出现。

表 16 关于中国钢铁行业二氧化碳排放达峰年份的调查结果

你预计中国钢铁行业的二氧化碳排放会在何年达峰?			如果在2026-2030年之间达峰, 则可能的达峰年	
选项	人数	比例 (%)	年份	人数
A. 已经达峰	13	15	2026	2
B. 2025年前	35	39	2027	0
C. 2030年后	21	24	2028	3
D. 2026至2030年	20	22	2029	5
			2030	4
			不确定	6

针对中国钢铁行业的二氧化碳排放达峰时间, 与2022年相比, 2023年的调查结果显示了一些专家对该行业的减排成果和未来发展持更加积极的看法。同时也有更多的专家认为达峰时间将提前。在2023年的调查结果中, 15%的专家认为钢铁行业的碳排放已经达到峰值 (A选项)。而在2022年的调查中, 仅有8%的专家持有这一观点。尤其显著的是, 2023年的调查显示39%的专家预测钢铁行业将在2025年之前达到碳排放峰值 (B选项), 大幅度高于2022年的27%。这些增加的份额主要来自原本估计中国钢铁行业在2026-2030年达峰的群体。在2023年的调查结果中, 认为钢铁行业的碳排放峰值将出现在2026年到2030年之间的专家占比为22% (D选项), 大幅度低于2022年的42%。这表明在两年间, 更少的专家持有将达峰时间推迟至2026年到2030年之间的观点。关于在2030年之后才达峰的观点 (C选项), 2023年的占比为24%。而在2022年为23%, 变化不大。这些结果表明一些专家对于钢铁行业的减排成果和实际达峰时间更加乐观。特别是20%的专家将钢铁行业的达峰年限提前了1-5年。

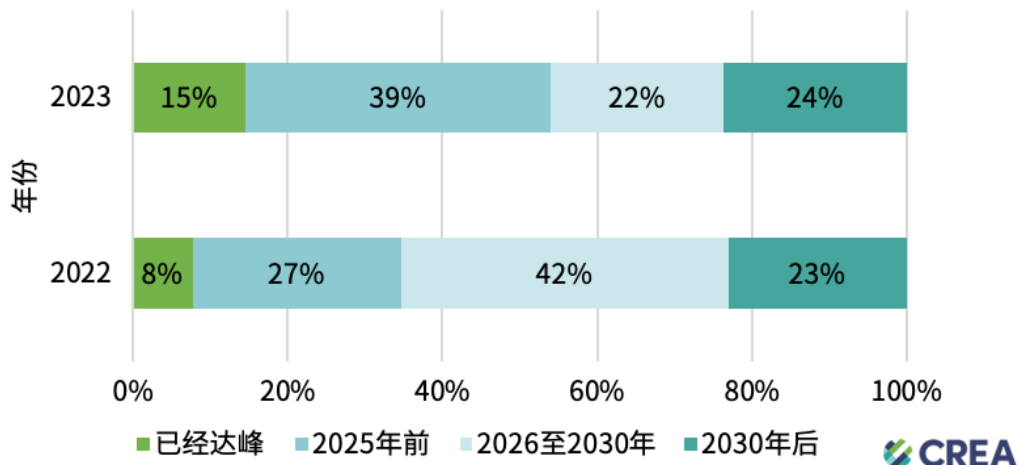


图 62 | 中国钢铁行业的二氧化碳排放量达峰年



水泥行业被列为中国第三大碳排放源。2023年的调查结果显示，将近60%的专家认为中国水泥行业的二氧化碳排放将在2025年之前达峰：约21%的专家认为水泥行业的碳排放已经达到峰值，38%的专家预测峰值将在2025年之前出现。剩下的40%里面，17%的专家预测峰值将在2026年到2030年之间出现，24%的专家认为峰值将在2030年之后才会出现。

对于那些预测达峰年份在2026年到2030年之间的专家的进一步调研发现，在这些专家中没有人预测水泥行业的碳排放将在2026年达到峰值，但有2位专家预测峰值年份为2027年，4位专家认为将在2028年达到峰值，而另外2位专家分别预测2029年和2030年。还有4位没有给出具体年份(表 17)。

表 17 | 关于中国水泥行业二氧化碳排放达峰年份的调查结果

你预计中国水泥行业的二氧化碳排放会在何年达峰？			如果在2026-2030年之间达峰，则可能的达峰年	
选项	人数	比例 (%)	年份	人数
A. 已经达峰	19	21%	2026	0
B. 2025年前	34	38%	2027	2
C. 2030年后	21	24%	2028	4
D. 2026至2030年	15	17%	2029	2
			2030	3
			不确定	4

2022年和2023年关于中国水泥行业的二氧化碳排放达峰时间的调查结果显示，专家对于水泥行业的碳减排和实际达峰时间的乐观态度有所提升(图63)。2023年调查中，大约21%的专家认为水泥行业的碳排放已经达到顶峰，而在2022年这一数字仅为8%。同时，认为水泥行业将在2030年后才会达峰的专家比例从2022年的38%下降至2023年的24%。至于在2025年前达峰（选项B）和2026至2030年达峰（选项C）的预测，专家们的比例和2022年调查结果相比变化不大。

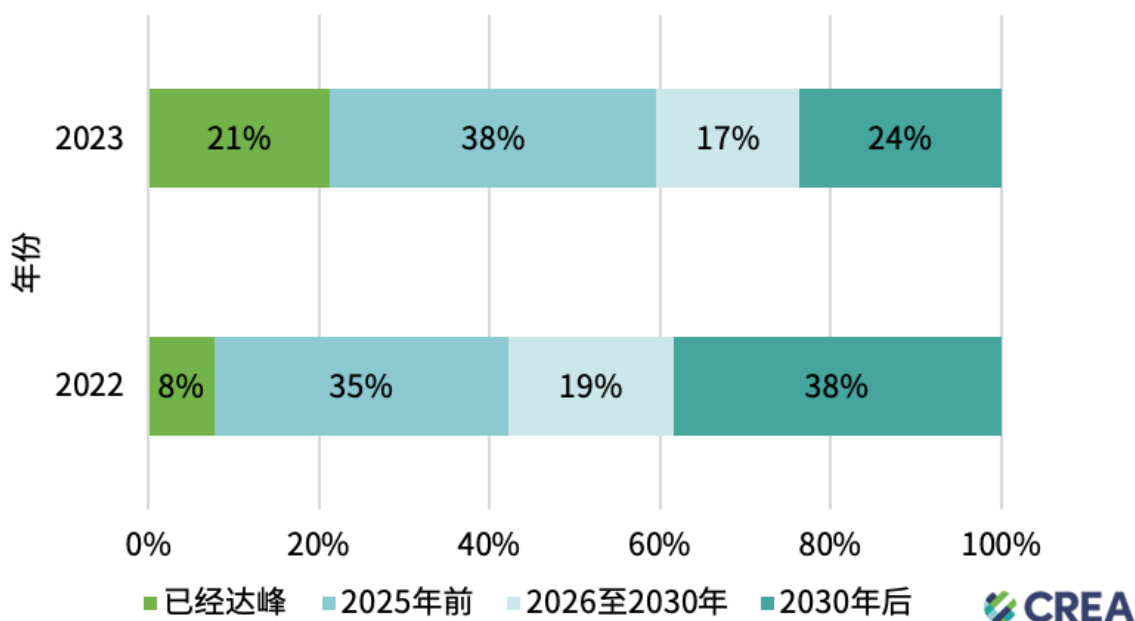


图 63 | 中国水泥行业的二氧化碳排放量达峰年

## 5.5 交通运输部门

自1980年代以来，中国的交通运输部门经历了乘用车和货运车数量的急剧增长，能源消耗和二氧化碳排放也随之激增。公路运输是该部门最大的二氧化碳排放源，目前主要依赖化石燃料。为了减少交通运输部门的二氧化碳排放，需要采取综合性措施。

2023年的专家调查结果显示，有37%的专家认为中国交通部门的二氧化碳排放达峰将在2030年之前实现（选项A），有43%的专家预测在2030年到2035年之间达峰（选项B）。相对而言，较少的专家认为达峰将在2035年到2040年之间（选项C，占比为15%），以及在2045年及以后（选项D，占比为6%）（表18）。与之前的预测相比，这些结果表明专家对中国交通部门的二氧化碳排放达峰时间更加分散，没有像之前的研究中那样出现明显的共识。

表 18 | 关于中国交通运输部门二氧化碳排放达峰年份的调查结果

你预计中国交通运输部门的二氧化碳排放会在何年达峰？	
A. 2030年前	33
B. 2030至2035年	38
C. 2035至2040年	13
D. 2045年及以后	5

2023年和2022年的调查结果表明，更多专家提前对于了中国交通部门的二氧化碳排放达峰时间的预测。认为峰值将在2030年之前实现（选项A）的专家从2022年的23%大幅度增加到2023年的37%。与之相对应的，预测交通部门将在2030年到2035年之间达到峰值（选项B）的专家从2022年的50%下降到2023年的43%。同时，预测峰值时间在2035年到2040年之间（选项C）的专家也从2022年的19%下降到2023年的调查中的15%。

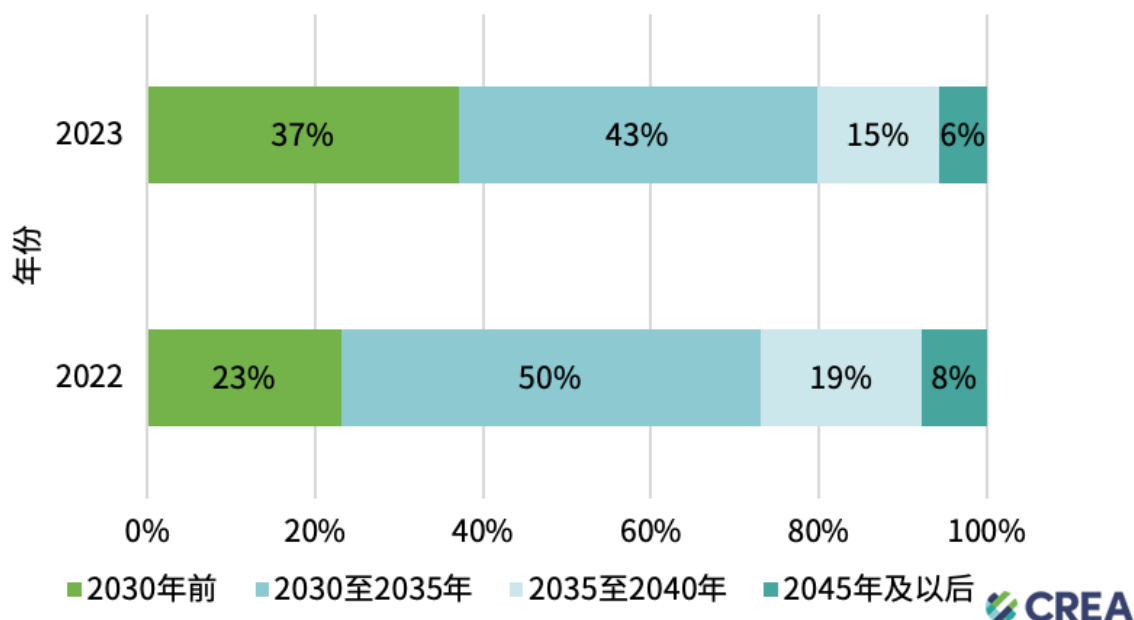


图 64 | 中国交通运输部门二氧化碳排放的达峰年

## 5.6 新形势的影响

新冠疫情对能源转型产生了多重影响。一方面，疫情减缓了经济活动，降低了能源需求增长，同时也影响了人们对清洁能源的投资能力。另一方面，政府的经济刺激措施为清洁能源技术的发展提供了契机。实证研究发现，COVID-19推动了低碳发电量的增长，加快了低碳能源转型<sup>185</sup>。IEA预计到2023年，清洁能源技术的投资将是近于化石燃料投资的近两倍。中国在过去两年经历了限电问题，而疫情解封后经济增速低于预期。在此背景下，我们设计了两个问题，旨在了解专家对新形势下能源转型进程的预判和建议。

专家们对中国疫情后的经济形势对能源转型进程的影响持不同看法。其中，一半以上（51%）的专家认为疫情后的经济形势将加快能源转型进程。这可能是因为在疫情期间出现了一些低碳趋势，如碳排放下降和可再生能源增加。然而，另外的34%专家担心当前的经济形势会减缓能源

<sup>185</sup> Li, K., Qi, S., Shi, X., 2022. The COVID-19 pandemic and energy transitions: Evidence from low-carbon power generation in China. *Journal of Cleaner Production* 368, 132994. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132994>

转型进程。这种观点可能考虑到经济发展可能会被放到比能源低碳转型更优先的位置。另外，9%的专家认为经济形势不会对能源转型产生影响，还有7%的专家表示不清楚。这可能反映了在当前情况下，中国的经济形势还有很大不确定性，因此难以准确预测未来能源转型可能受到的具体影响。

表 19 | 关于中国疫情后的经济形势影响能源转型进程的调查结果

您认为中国疫情后的经济形势如何影响能源转型进程?		
A.没有影响	8	9%
B.加快能源转型进程	45	51%
C.减缓能源转型进程	30	34%
D.不清楚	6	7%

关于中国的“双碳”战略和目标是否需要调整的问题，专家的意见比较一致。绝大多数（65%）的专家建议坚持“双碳”目标不动摇，并在实施策略和行动计划时做好适应性调整。即在双碳目标的实施过程中，要审时度势，根据实际情况调整步伐，把握好进度。另外还有9%的专家认为应坚定不移的执行战略和目标，不受经济形势影响。但也有12%的专家认为可以适度降低目标以促进经济发展，这反映了他们对经济发展的关切。此外，8%（7位）的专家提出应设定更为雄心勃勃的目标。

表 20 | 关于中国“双碳”战略和目标的看法或者建议的调查结果

您对中国的“双碳”战略和目标有什么看法或者建议?		
A.可以适度降低目标，以促进经济发展	11	12%
B.坚持目标不动摇，但在实施策略和行动计划时要做好适应性调整的准备	58	65%
C.战略和目标坚定不移，策略和行动也无需被经济形势左右	8	9%
D.或许可以考虑更具雄心的目标	7	8%
E.没有明确的建议	5	6%
F.其他观点	0	0%

## 6 结论

2023年7月，习近平强调，中国的碳达峰和碳中和目标是“确定不移”的，表现了中国政府实现“双碳”目标的决心。习近平同时指出：“但达到这一目标的路径和方式、节奏和力度则应该而且必须由我们自己作主，决不受他人左右。”

虽然，排放指标仍然在中国政府的议事日程中，但由于国内经济的下行压力与不断升级的地缘政治紧张局势，政策制定者优先关注点有所转移。然而，逆行的经济使清洁能源的制造与部署以前所未有的速度扩张，这使中国以早于政府预期的速度实现碳达峰与排放量下降提供了可能。

为了衡量中国的进展，我们对照与《巴黎协定》目标一致的转型路径、对中国关键排放部门的排放和能源趋势进行了基准评估。该评估采用与我们去年发布的展望报告同样的方法。我们的评估发现，以下多个指标都处于正轨：

- 清洁能源投资
- 电气化
- 建筑部门的煤炭消费量
- 钢铁与水泥的产量
- 建筑材料行业的排放量
- 电动汽车销售

我们也发现，以下几个指标直到2022至2023年间仍然偏离轨道：

- 二氧化碳排放总量
- 能源消耗总量
- 工业部门的能源消耗量
- 交通运输部门的能源消耗量
- 建筑部门的能源消耗量
- 对煤基发电产能的投资
- 对煤基工业产能（尤其是钢铁产能）的投资

以下是2023年的主要趋势：

## 排放反弹

2023年，中国的二氧化碳排放量出现了上扬，其主要原因是“清零”政策结束后的石油消费量出现上升与由干旱导致的水电发电量的急剧下降。本报告分析的所有路径都要求中国的二氧化碳排放量在2020年至2030年下降。这表示，在这些路径的预测中，中国需要在2030年前好几年实现碳达峰，且其排放在之后出现下降。所有路径也预测，中国在2030年后的排放下降速度要大大快于2020年至2030年间的下降速度，才能实现路径设定的目标。

尽管中国在清洁能源的扩张和电气化方面取得了长足的进步，但是其能源消费总量的快速增长也意味着其排放量的不断增加。中国能源需求的快速增长受其经济增长模式驱动，而其增长模式有利于能源密集度最高的行业，特别是钢铁、有色金属、化工和煤化工。中国建筑部门的能源消耗也比转型路径预测的增长速度要快，且其大多数增长是在电力消费方面，这导致电力部门的煤炭使用量增加（因为中国清洁能源的增加速度不足以满足全部的额外电力增加需求）。要解决上述问题需要采取一系列叠加措施，即在提高能源效率的基础上将经济结构从能源密集度最高的行业中转移出来，或者进行比转型方案预测的、规模更大的清洁能源投资。要实现以上这些措施，一个重要的步骤是优先考虑电气化，特别是在如大型热泵和电动汽车等可以用电力高度替代化石燃料的应用中。

## 清洁能源的高速发展助力提前碳达峰

2023年，中国对清洁能源技术的部署（尤其在太阳能和电动汽车方面）表现突出，超过所有预期。我们估计，中国今年新增的非化石能源发电量将首次超过其年发电总量的平均增幅。这意味着，如果清洁能源继续以现今的速度增长且电力消费的增速保持或低于历史平均值，那中国电力部门的排放量将在未来几年内达峰。

除了清洁能源技术的高速发展，2023年还见证了清洁能源制造业的快速发展，这使清洁能源和清洁技术首次成为投资与GDP增长的驱动因素，巩固了它们在政府经济政策中的重要地位。

中国高度重视清洁能源制造业上。这意味着，该产业会成为中国快速实现能源转型的动力。同时，这也使世界其他国家的能源转型进程与中国的利益息息相关。

## 对煤电、钢铁等两高产能的投资与碳达峰进程错位

2022年以前，中国每年平均净增的火力发电装机容量（以燃煤和燃气为主）为50GW，约等于每周新增一个大型发电厂。该速度比所有转型路径预测的都要快很多。在所有转型路径下，2020年至2030年间，中国的火力发电装机容量或小幅净增、或大幅下降。然而，2023年新增

的火力发电装机容量更是激增。2022年至2023年间，中国核准燃煤发电厂的速度进一步加快。

2023年，通过产能置换方式新建的钢铁项目仍然以高炉、转炉工艺为主。该趋势可能减缓钢铁行业达峰进程，也有碍实现该行业提高电炉钢产量的目标。同时，通过产能置换方式新建的电炉炼钢、氢冶金等低碳钢铁冶炼项目的投资有所增加，这两项技术都将在钢铁业的脱碳进程中扮演关键角色。

## **清洁技术制造业腾飞，产能过剩显现**

在2020年碳中和目标公布之后，中国的清洁技术制造业进入了黄金发展时期。由于前所未有的投资热潮，该行业在2022年至2023年间发展更加迅猛。清洁技术是中国的一个主要经济引擎，其在2023年该国的全部投资里占有24%，并驱动了总投资净增加。然而，由于不同市场主体对其趋之若鹜，该行业面临产能过剩的可能，且其产能的利用率也可能下降。

## **专家对碳达峰趋于乐观**

为了解行业人士的观点与预期，本报告对89位来自气候和能源领域各专业的专家进行了一次调查，被采访者的数量比去年的报告有所增加。相比去年，今年受访的专家对中国的“双碳”进程更为乐观。其中，认为中国会在2025年前实现二氧化碳排放达峰的专家占比从去年的15%上升为今年的21%，而认为中国的二氧化碳排放量在达峰前将比其2020年的排放量上升超过15%的专家占比从去年的69%下降至今年的56%。这可能反映出，专家们对中国实现其减排目标的预期越来越高。

大多数受访专家相信，中国正处在2030年前碳达峰的正轨上，然而，在2060年前实现碳中和的挑战仍然巨大。此结果显示，虽然中国可以实现2030年碳达峰的目标，但要大幅削减其碳排放仍是一项艰巨的任务，需要全社会矢志不渝的努力和联手协作。

## **温室气体排放信息披露亟待加强**

有关非二氧化碳温室气体的政策并没有取得实质进展。政府并没有为非二温室气体的控排设置官方的量化指标，也未要求非二温室气体排放的定期报送，后者本可以协助评估中国在此方面的趋势或进展。国家层面的《甲烷排放控制行动方案》也缺少具体或量化的指标。至于中国的碳中和目标是只针对二氧化碳还是所有温室气体，目前官方说法并未一致。

中国在温室气体排放的官方检测和信息公开披露上有所不足，最近一次完成的温室气体排放清单的公布还要追溯到2014年。在二氧化碳排放的报送方面，对于企业层面的报送一定进展，但是省级与全国层面的报送仍然没有进展。

## 附录：历史数据来源

本报告中使用的历史数据来自中国国家统计局的《中国能源统计年鉴2022》。其中，2021年的数据来自中国国家统计局与IEA的《世界能源平衡2023》（World Energy Balances 2023），后者包括了中国的官方报告数据和中电联的年度和月度电力统计数据。

2023年的全年数据是根据年初至9月的数据的同比变化预测的。2022年按燃料分类的火力发电量取自《BP世界能源统计年鉴》（BP Statistical Review of World's Energy），2023年的该数据取自英国智库恩伯（Ember）出版的《全球电力评论》（Global Electricity Review）。

表 21 | 历史数据来源

部门	指标	产品	数据来源	2023年数据来源
所有	温室气体排放量	二氧化碳	CAT	基于化石燃料消费量和水泥生产量的预测
所有	能源消费量	煤炭	NBS	月度表观消费量数据来自于万得资讯（Wind Information）
所有	能源消费量	石油	NBS	石油的表观消费量根据中国国家统计局的炼油厂吞吐量数据和中国海关的净出口数据得出
所有	能源消费量	天然气	NBS	月度表观消费量数据来自于万得资讯
所有	能源消费量	电	CEC	CEC
所有	能源消费量	一次能源消费量	NBS	根据煤炭、石油和天然气消费量以及非化石能源发电量计算得出
所有	能源消费量	非化石能源	NBS	中电联报告的非化石发电量
电力	温室气体排放量	二氧化碳	IEA	中电联的火力发电量的变化
电力	装机总量	风能	CEC	CEC
电力	装机总量	太阳能	CEC	CEC
电力	装机总量	核能	CEC	CEC
电力	装机总量	煤炭	CEC	CEC
电力	装机总量	火力发电	CEC	CEC



部门	指标	产品	数据来源	2023年数据来源
电力	装机总量	天然气	CEC	CEC
电力	装机总量	水电	CEC	CEC
电力	发电量	风电	CEC	CEC
电力	发电量	太阳能	CEC	CEC
电力	发电量	核能	CEC	CEC
电力	发电量	生物质能	IEA	恩伯《全球电力评论》
电力	发电量	煤炭	BP	恩伯《全球电力评论》
电力	发电量	火力发电	CEC	CEC
电力	发电量	天然气	BP	恩伯《全球电力评论》
电力	发电量	水电	CEC	CEC
电力	发电量	非化石	CEC	CEC
电力	发电量	所有	CEC	CEC
工业	能源消费量	煤炭	IEA	-
工业	能源消费量	石油	IEA	-
工业	能源消费量	天然气	IEA	-
工业	能源消费量	电力	CEC	-
工业	能源消费量	能源消费总量	IEA	-
钢铁	能源消费量	煤炭	IEA	动力煤消耗量和冶金行业的炼焦煤消耗量数据来自万得资讯
钢铁	能源消费量	天然气	IEA	-
钢铁	能源消费量	电力	CEC	CEC
水泥	生产量	水泥	NBS	NBS
交通运输	能源消费量	石油	IEA	石油产品的表观消费量
交通运输	能源消费量	电力	CEC	CEC
建筑	能源消费量	煤炭	IEA	-
建筑	能源消费量	天然气	IEA	-
建筑	能源消费量	电力	CEC	CEC

# 缩略语列表

- AR6: 第六次评估报告
- BECCS: 生物能源与碳捕获和储存
- CAEP-IAE: 中国生态环境部环境规划院大气环境研究所
- CA: 气候分析组织
- CAT: 气候行动追踪组织
- CCS: 碳捕集与封存
- CCUS: 碳捕获、利用和储存
- CEC: 中国电力企业联合会
- CEEP-BIT: 北京理工大学能源与环境政策研究中心
- CHP: 热电联产
- CO<sub>2</sub>: 二氧化碳
- CREA: 能源与清洁空气研究中心
- EAF: 电弧炉
- EIB: 欧洲投资银行
- EPPEI: 中国电力规划设计总院
- ETHZ: 苏黎世联邦理工学院
- EU: 欧盟
- EV: 电动汽车
- FIT: 上网电价
- FYP: 中国国民经济和社会发展五年规划
- GDP: 国内生产总值
- GHG: 温室气体
- Gtce: 10亿吨标准煤
- HVAC: 建筑物的供暖、通风和空调

HFCs: 氢氟碳化物

IAMs: 综合评估模型

ICCSA: 清华大学气候变化与可持续发展研究院

IEA: 国际能源署

IMF: 国际货币基金组织

IPCC: 政府间气候变化专门委员会

IIASA: 国际应用系统分析研究所

MEE: 中国生态环境部

MIIT: 工业和信息化部

MRV: 监测、报告和核查

mtce: 百万吨标准煤

NCEPU: 华北电力大学

NCGHGs: 非二氧化碳温室气体

NDC: 国家自主贡献

NDRC: 中国国家发展和改革委员会

NGFS: 央行与监管机构绿色金融网络

NEA: 中国国家能源局

NEV: 新能源汽车

NIESR: 英国国家经济和社会研究所

OECD: 经济合作与发展组织

PFCs: 全氟化合物

PIK: 波茨坦气候影响研究所

PKU: 北京大学

SDS: 可持续发展

SEN-RMU: 中国人民大学环境学院

tce: 吨标准煤

TCEP: 《追踪清洁能源进展》

UMD: 马里兰大学

UN: 联合国

UNFCCC: 《联合国气候变化框架公约》

WEO: 《世界能源展望》

