



清华大学
Tsinghua University

2024

全球碳中和进展评估 年度报告附录

清华大学碳中和研究院

2024年10月



并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

免责声明

本报告所引材料不在任何程度和方面表达或暗示对于任何国家、地域、城市或地区的法律地位或合法性，以及其版图及边界划分的立场和观点。

报告所述观点仅代表编写团队的研究成果，不代表清华大学碳中和研究院和腾讯公司的相关工作的执行依据。本报告所载资源来源被认为是可靠的，但编写团队不保证其准确性或完整性，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。编写团队并不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此相关的其他任何损失承担任何责任。

致 谢

本项目的顺利完成需感谢以下研究团队日以继夜的辛勤努力。

清华大学：

王灿、蔡闻佳、张诗卉、安康欣、沈鉴翔、甄紫涵、李明煜、
董馨阳、张尚辰、范淑婷、戴静怡、关钰生、夏成琪、钟函颖、
宫再佐、孙晋婕、张天翼、叶文鑫、梁嵩润、程浩生、李捷、
苏杨、廖维一、洪聪恺、李钰凯、曹媛、史欣

中国石油大学（北京）：

郑馨竺、高艺荧、任悦、张玲

腾讯：

许浩、吕学都、傅剑锋、林珊珊、仝玉娟、周滢垚、郭丰庆

感谢专家陈敏鹏、刘强、刘文玲、马爱民、孙桢（以上排名按姓氏拼音排序）在本报告撰写过程中提供的宝贵意见，感谢马仲琪在数据收集方面提供的支持，感谢腾讯 SSV 碳中和实验室提供的技术支持。

此外，如果需要进一步探讨本报告相关议题，敬请联系清华大学王灿教授（canwang@tsinghua.edu.cn）。

目 录

第一章 全球碳中和目标进展.....	1
1.1 碳中和/净零排放目标.....	1
1.1.1 碳中和目标类型.....	1
1.1.2 碳中和目标年份.....	2
1.2 碳中和目标的覆盖范围.....	3
1.2.1 碳中和目标的行业覆盖度.....	3
1.2.2 碳中和目标的温室气体覆盖度.....	3
1.2.3 碳中和目标的消费侧排放覆盖度.....	4
1.2.4 碳中和目标的领土排放覆盖度.....	5
1.2.5 碳中和目标的有效性和可靠性.....	5
1.3 碳中和目标的监管体系.....	6
1.3.1 碳中和目标的法律完备性.....	6
1.3.2 碳中和目标的监管机制.....	7
1.3.3 气候变化法律数量.....	8
1.3.4 气候变化诉讼案件数量.....	10
1.4 碳中和目标的具体路线图.....	11
1.4.1 碳中和的阶段性目标.....	11
1.4.2 国家级碳中和路线图.....	12
1.4.3 区域级别碳中和.....	12
1.4.4 行业层面碳中和目标.....	15
1.5 碳中和目标的公平性与一致性.....	19
1.5.1 碳中和目标的公平性.....	19
1.5.2 碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性.....	20
第二章 全球碳中和技术进展.....	24
前言.....	24
2.1 全球碳中和技术的综合分析.....	24
2.1.1 碳中和技术的目标雄心总结.....	25
2.1.2 碳中和技术的部署进展总结.....	28
2.1.3 碳中和技术的部署进展和目标雄心的差距.....	28
2.1.4 化石能源转型进展.....	29

2.1.5 碳中和技术的政策支持总结.....	30
2.1.6 碳中和技术的技术创新总结.....	33
2.2 可再生能源发电技术	34
2.2.1 目标雄心.....	35
2.2.2 部署进展.....	36
2.2.3 政策支持.....	38
2.2.4 创新能力.....	41
2.3 电动车技术	42
2.3.1 目标雄心.....	43
2.3.2 部署进展.....	44
2.3.3 政策支持.....	48
2.3.4 创新能力.....	50
2.4 节能技术	51
2.4.1 目标雄心.....	51
2.4.2 部署进展.....	52
2.4.3 政策支持.....	54
2.4.4 创新能力.....	55
2.5 绿氢技术.....	56
2.5.1 目标雄心.....	57
2.5.2 部署进展.....	58
2.5.3 政策支持.....	60
2.5.4 创新能力.....	61
2.6 生物燃料技术.....	63
2.6.1 目标雄心.....	63
2.6.2 部署进展.....	64
2.6.3 政策支持.....	66
2.6.4 创新能力.....	68
2.7 CCUS 技术.....	69
2.7.1 部署进展.....	70
2.7.2 政策支持.....	72
2.7.3 创新能力.....	74
2.8 碳汇技术.....	76
2.8.1 目标雄心.....	76
2.8.2 部署进展.....	77

2.8.3 政策支持.....	78
2.8.4 创新能力.....	80
第三章 全球气候投融资进展.....	82
前言	82
3.1 气候投融资政策进展	85
3.1.1 各国在其国际气候承诺中提及气候投融资的情况.....	85
3.1.2 各国气候相关金融风险评估与披露进展.....	88
3.2 气候投融资行动进展	91
3.2.1 国家财政预算用于气候行动的规模.....	91
3.2.2 各国碳定价机制进展.....	95
3.2.3 发达国家气候资金承诺与国际气候资金落实情况.....	97
3.2.4 各国在 GEF 和 GCF 的气候融资贡献	102
3.2.5 各国两年期报告中通报的资金规模.....	104
3.2.6 各国参与国际气候金融合作倡议情况.....	105
第四章 全球碳中和国际合作进展.....	110
前言	110
4.1 对外援助	111
4.2 国际技术转移阻碍	114
第五章 专题研究.....	118
5.1 气候立法专题：评估全球气候目标的法律保障体系	118
5.1.1 引言.....	118
5.1.2 核心观点.....	118
5.1.3 建议：加快建设气候法律体系，保障全球气候目标实现.....	124
5.2 可再生能源专题	125
5.2.1 基于目前发展趋势，全球可再生能源装机量无法达到 2030 年三倍目标	125
5.2.2 国际可再生能源投资助力发展中国家可持续发展.....	134
5.2.3 光伏贸易全球化促进福利提升与多方共赢.....	139
5.2.4 一国参与全球供应链如何促进全球光伏和风电部署与经济发展？以中国为例.....	143
5.3 技术前瞻专题：全球温室气体减排新兴技术发展态势分析	149
5.3.1 引言.....	149
5.3.2 技术动态分析.....	149

第六章 指标体系与度量方法.....	161
6.1 指标体系系统评估框架	161
6.2 指标体系	162
6.3 指标度量方案	164
6.3.1 各项指标度量方案.....	164
6.3.2 碳中和目标一致性的计算.....	164
6.4 数据来源	165

插图清单

图 1-1	碳中和目标类型	1
图 1-2	碳中和目标实现的年份	2
图 1-3	2024 年新增的碳中和目标年份分布	2
图 1-4	各国碳中和目标范围的行业覆盖度	3
图 1-5	各国碳中和目标的温室气体覆盖度	4
图 1-6	各国碳中和目标的消费侧排放覆盖度	4
图 1-7	各国碳中和目标的所有领土排放覆盖度	5
图 1-8	全球碳中和目标有效性和可靠性	6
图 1-9	碳中和目标的法律状态	7
图 1-10	碳中和目标的审查与报告制度	7
图 1-11	碳中和目标的问责制度	8
图 1-12	气候变化的法律数量	9
图 1-13	发展中国家的气候变化法律数量	9
图 1-14	发达国家的气候变化法律数量	10
图 1-15	气候变化诉讼案件数量	10
图 1-16	中短期目标类型分布	11
图 1-17	次国家级行为体更新碳中和规划的形式	13
图 1-18	更新单一维度的次国家级行政区的规划进步情况	14
图 1-19	更新多个维度的次国家级行为体碳中和规划进步情况	14
图 1-20	各大洲新增/更新碳中和规划的比例	15
图 1-21	各大洲碳中和目标规划的进退步比例	15
图 1-22	各国碳中和目标的公平性统计（数据来源：Net Zero Tracker）	20
图 1-23	碳中和目标的一致性统计（数据来源：模型计算）	21
图 1-24	各国碳中和目标的一致性统计（数据来源：模型计算）	22
图 1-25	主要国家 NDC 及碳中和目标公平雄心指数	23
图 2-1	提出碳中和技术目标的国家所占的 GDP、人口和碳排放比重	26
图 2-2	碳中和技术战略达成时间与目标数值（红色表示 2023 年新增）	27
图 2-3	不同类型碳中和技术部署进展的分国家占比图	28
图 2-4	各国当前的电动乘用车销量占比和目标值对比	29
图 2-5	各国化石燃料补贴占 GDP 的比例及化石能源消耗占总能源消费的比例 （选择前 15 国家）	30

图 2-6	不同技术类别政策推动模式（以 GDP 排名前 20 的国家）	33
图 2-7	新能源发电占比目标和 100% 新能源发电目标国家占比	36
图 2-8	2023 年各区域与主要国家可再生能源发电装机增长	37
图 2-9	2021 年发电量排名前 20 国家的可再生能源发电占比（三角形为发展中国家）	38
图 2-10	可再生能源与可再生能源发电政策目标全球分布	39
图 2-11	2022 年颁布新能源发电政策的国家数量变化	41
图 2-12	全球主要国家风光发电成本	42
图 2-13	电动汽车目标渗透率情况（红色为新增目标）	44
图 2-14	2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车销量变化（绿色为发展中国家）	45
图 2-15	2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车销量占全部汽车比例变化	45
图 2-16	2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车保有量变化	45
图 2-17	2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车保有量占全部汽车比例变化	46
图 2-18	2010—2023 年全球不同类型电动车销售量变化	47
图 2-19	2010—2023 年全球不同类型电动车保有量变化	47
图 2-20	2023 年不同类型电动车销量排名前 20 的国家	48
图 2-21	2023 年不同类型电动车保有量排名前 20 的国家	48
图 2-22	主要国家发表于电动汽车有关的论文数	50
图 2-23	主要能耗国家中未提出目标国家占比	52
图 2-24	主要市场热泵市场份额及其变化	53
图 2-25	太阳能热水器部署进展	54
图 2-26	节能技术的专利数各国占比	56
图 2-27	10 年来主要国家节能技术论文数量	56
图 2-28	各国电解槽装机目标	58
图 2-29	全球各类绿氢产能项目及完成情况（仅含声明能源种类的项目）	59
图 2-30	各国累计绿氢项目产能与完成情况	60
图 2-31	已投产和获得 FID 的绿氢项目的应用结构	60
图 2-32	氢能相关论文数量	62
图 2-33	氢能相关专利数量	62
图 2-34	2023 年主要国家燃料乙醇生产量及消费量	65
图 2-35	2023 年主要国家生物柴油生产量及消费量	66

图 2-36	燃料乙醇掺杂比例要求（截至 2021 年）	67
图 2-37	生物柴油掺杂比例要求（截至 2021 年）	68
图 2-38	主要国家生物燃料论文数	69
图 2-39	主要国家生物燃料专利数	69
图 2-40	运行中的 CCUS 项目数量	70
图 2-41	计划中的 CCUS 项目数量	71
图 2-42	主要国家 CCUS 项目所覆盖行业	72
图 2-43	2013—2022 年各国 CCUS 技术专利数量	75
图 2-44	2013—2023 年各国 CCUS 技术论文数量	75
图 2-45	碳汇技术目标雄心更新地图	77
图 2-46	2021 年全球各国森林固碳量	78
图 2-47	碳汇技术专利数	80
图 2-48	碳汇技术论文数	80
图 2-49	碳汇技术专利与论文数量	81
图 3-1	各类气候投融资政策进展覆盖国家数量、GDP、人口、CO ₂ 排放量占比	84
图 3-2	NDC 中提及气候投融资的情况	86
图 3-3	开展气候金融风险评估的国家数量	89
图 3-4	开展气候金融风险披露的国家数量	90
图 3-5	气候预算在国家财政预算中占比情况	93
图 3-6	不同类型国家的气候行动预算占比统计	94
图 3-7	各国的气候行动支出信息披露情况	95
图 3-8	全球各国碳定价机制覆盖温室气体排放量及对应碳价水平	97
图 3-9	各发达国家国际气候资金承诺出资规模、GDP 与碳排放	99
图 3-10	发达国家国际气候资金承诺出资规模与目标差距	99
图 3-11	损失与损害基金承诺出资规模与 GDP、碳排放	100
图 3-12	损失与损害基金承诺出资规模与 GDP、碳排放	101
图 3-13	GCF-1 各国承诺气候相关资金规模	104
图 3-14	GCF-2 各国承诺气候相关资金规模	104
图 3-15	发达国家和发展中国家加入 UN PRI 的机构数量	107
图 3-16	各国退出 UN PRI 的机构数量	108
图 4-1	更新的碳中和相关项目的领域占比饼状图	112
图 4-2	更新的碳中和相关项目的支持类型饼状图	112

图 5-1	a.颁布过气候相关法律/气候变化框架法的国家累计数 b. 每年/累计颁布的气候相关法律数.....	119
图 5-2	法条数 TOP20 国家累计颁布的气候相关法律数.....	119
图 5-3	a.各部门已颁布的气候法律数量（累计量）b.法条数 TOP20 国家气候相关法律的部门分布.....	120
图 5-4	a.2010-2023 年间，各类型法条数与当年颁布的总法条数之比 b.法条数 TOP20 国家的各类型法条占比.....	121
图 5-5	a.各国气候变化框架法的颁布数量及涵盖内容 b.各类型法条在框架法、一般法、行政法规中的占比.....	122
图 5-6	全球可再生能源装机量历史数据（2000-2023）与预测结果（2024-2030），依次为光伏、风电、水力、生物质、地热、总可再生能源。左右纵轴分别为装机量和倍数，灰色区域为 95%置信区间.....	127
图 5-7	全球光伏装机前六国家增长曲线，依次为中国、美国、澳大利亚、印度、德国、日本.....	128
图 5-8	全球风电装机前六国家增长曲线，依次为中国、美国、英国、印度、德国、西班牙.....	128
图 5-9	全球国家光伏装机增长分类。分类通过 Ratio: 2030 年与 2022 年的装机数比值、Penetration growth: (2030 年光伏装机量-2023 年光伏装机量)/2023 年总发电装机量,两个参数来进行。若 Ratio 大于 2.5 且 Penetration growth 大于 5%，为爆发增长型；若 Ratio 小于 1.5 或 Penetration growth 小于 1%，为缓慢增长型；其余为稳定增长型.....	130
图 5-10	全球国家风电装机增长分类 若 Ratio 大于 2.0 且 Penetration growth 大于 5%，为爆发增长型；若 Ratio 小于 1.5 或 Penetration growth 小于 1%，为缓慢增长型；其余为稳定增长型.....	130
图 5-11	全球各区域光伏倍数（2030/2022 装机量）箱型图。绿线表示该区域装机量倍数的中位数，箱子上下边缘分别表示 75%和 25%的数据点，展示了数据的集中分布区间，从箱子延申出的竖线表示数据的整体分布范围.....	131
图 5-12	全球各区域风电倍数（2030/2022 装机量）箱型图.....	131
图 5-13	中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家的经济拉动作用....	136
图 5-14	中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家不同行业的经济拉动作用.....	137
图 5-15	中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家的就业拉动作用....	138

图 5-16	2018—2021 年全球光伏自由贸易对壁垒施加国和目标国的社会福利影响.....	140
图 5-17	2018—2021 年光伏自由贸易对全球产出和就业的总影响	141
图 5-18	2018—2021 年全球光伏自由贸易对部门产出和就业的总影响	142
图 5-19	全球供应链带来的各国光伏和风电装机费用节约额	145
图 5-20	全球供应链的技术创新外溢效应带来的资金节约额	146
图 5-21	一国缺席新能源全球供应链对全球公平性的影响	147
图 5-22	全球生物燃料产量与消费量	151
图 5-23	主要国家生物燃料消费量年度变化情况	152
图 5-24	生物燃料各技术方向研究态势	152
图 5-25	碳封存主要技术方向	154
图 5-26	各国已提出的电解槽装机目标	156
图 5-27	a.全球各类绿氢项目产能与完成情况（仅含声明能源种类的项目） b.各国累计绿氢项目产能与完成情况.....	157
图 5-28	已投产和获得 FID 的绿氢项目的应用结构.....	158
图 5-29	a.氢能生产和储运领域的研究数 b. 各研究方向 5 个两年期的 CAGR（%）	159
图 6-1	指标体系系统评估流程图	161
图 6-2	全球碳排放权分配模型的搭建方法	165

附表清单

表 1-1	行业目标数据覆盖情况	16
表 1-2	能源供应目标总结	17
表 1-3	交通运输目标总结	18
表 2-1	碳中和关键技术的识别及对应行业	25
表 2-2	碳中和关键技术指标的说明	25
表 2-3	主要技术应用支持政策一览表（发达国家）	31
表 2-4	主要技术应用支持政策一览表（发展中国家）	32
表 2-5	2023 年碳中和技术论文数排名前 10 的国家	34
表 2-6	2023 年碳中和技术专利数排名前 10 的国家	34
表 2-7	可再生能源发电制度法规与财政激励政策	40
表 2-8	电动汽车技术主要应用国家支持政策一览表	49
表 2-9	节能技术主要应用国家支持政策一览表	55
表 2-10	主要国家氢能相关政策的支持力度	61
表 2-11	生物燃料技术主要应用国家支持政策一览表	67
表 2-12	CCUS 主要应用国家支持政策力度评级	73
表 2-13	不同国家 2023 年碳汇技术支持政策一览表	79
表 3-1	本章的评估指标体系	83
表 3-2	2023 年新增开展气候金融风险评估的国家	89
表 3-3	2023 年新增开展气候金融风险披露的国家	91
表 3-4	损失与损害基金承诺出资规模（百万美元）	101
表 5-1	已颁布多部气候变化框架法的国家及相关法律信息	122
表 5-2	部分国家/地区生物燃料技术战略规划布局	150
表 5-3	主要国家可持续航空燃料发展目标及行动案例	152
表 5-4	CCUS 主要技术方向论文数量	155
表 5-5	CCUS 主要技术方向专利数量	155
表 5-6	典型国家氢能技术发展战略	156
表 6-1	碳中和目标专题指标体系	162
表 6-2	各指标数据来源度量方法汇总	166
表 6-3	全球及区域级别碳中和目标计算中使用的人口、GDP 及 GHG 数据源	181

第一章 全球碳中和目标进展

1.1 碳中和/净零排放目标

1.1.1 碳中和目标类型

截止到本报告数据整理日期,所有统计国家碳中和目标的类型如图 1-1 所示。110 个 (56%) 国家提出“净零排放”目标, 26 个 (13%) 国家提出“排放减量目标 (绝对量)”, 24 个 (12%) 国家提出“碳中和目标 (相对量)”, 14 个 (7%) 国家提出“气候中性目标”, 7 个 (4%) 国家提出“排放减量目标 (绝对量)”, 3 个 (2%) 国家提出“其他”, 1 个 (0%) 国家提出“无”, 1 个 (0%) 国家提出“负碳排放”, 1 个 (0%) 国家提出“排放强度目标”。

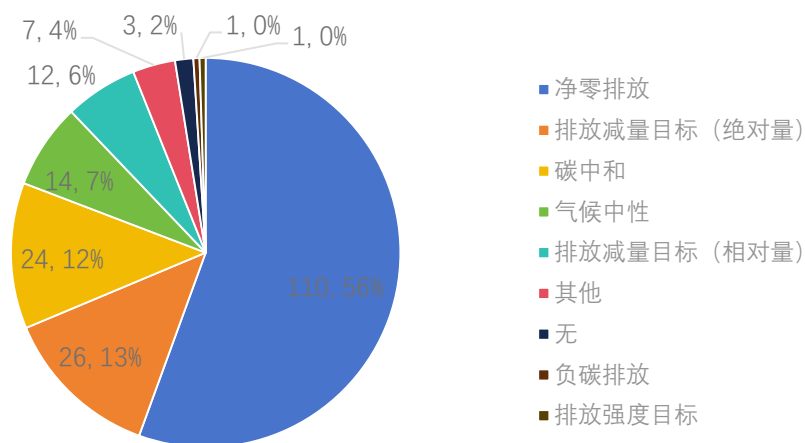


图 1-1 碳中和目标类型

相比于 2023 年报告,本报告将各个国家的目标类型做进一步细化,在“碳中和”、“净零排放”和“气候中性”三种类型的基础上增加以下类型(本报告下述内容在讨论“碳中和目标”时,指的是前述三种类型,而以下类型不包含在“碳中和目标”的范围之内):“负碳排放”,是指国家通过二氧化碳去除技术去除的二氧化碳(CO₂)大于其在一年内的排放量;“排放强度目标”,是指国家的排放强度(排放强度的定义为排放的量除以经济指标,如 GDP、人均收入、税收等)达到其提出的水平;“排放减量目标”,是指国家的排放量达到某一水平,通常会设置比较的基年或基础情景,其中绝对量减排目标指的是规定了排放量减少的绝对数值,相对量减排目标指的是规定了排放相对于基础减少的比例;“其他”,包含不符合上述描述的目标类型。

2023 年报告,提出碳中和目标的国家为 133 个;截止到本报告数据整理日期,提出碳中和目标的国家为 148 个,有 4 个国家更改了原来的碳中和目标(1

个改为了“负碳排放”，3个改为了“排放减量目标”），即共有19个国家新增了碳中和目标。在新增的碳中和目标中，有15个国家设定的目标为“净零排放”，有3个国家为“碳中和”，有1个国家为“气候中性”。

这19个国家全部为发展中国家。其中，最不发达国家有11个，占57.8%；内陆发展中国家有2个，占10.5%；小岛屿发展中国家有7个，占36.8%。

1.1.2 碳中和目标年份

截止至数据统计时间，碳中和目标实现的年份如图1-2所示，图中显示，全球碳中和目标实现年份总体滞后，仅有14个国家承诺2050年前实现碳中和（其中包括1个国家宣称已实现碳中和目标），巴黎协定目标的实现充满了挑战。

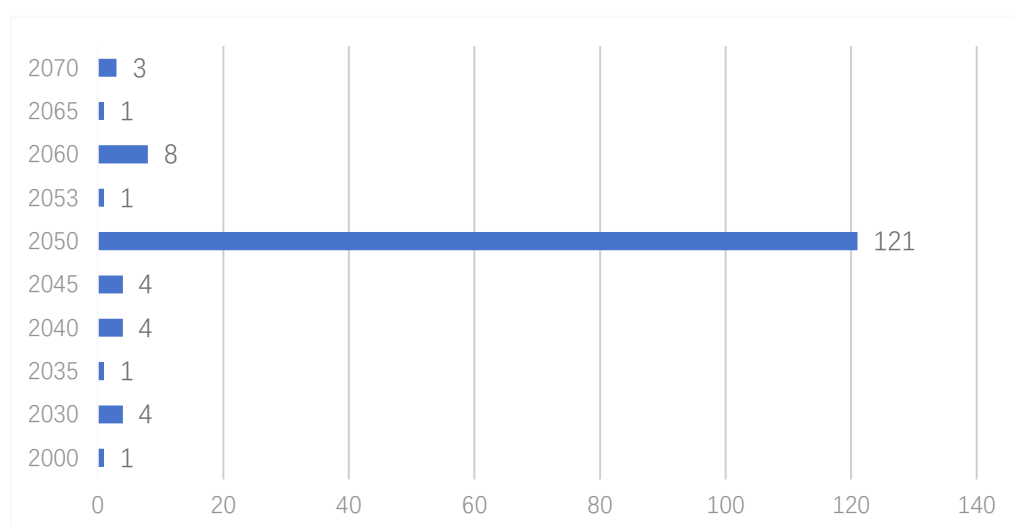


图 1-2 碳中和目标实现的年份

新增碳中和目标的年份分布如图1-3所示。可以发现，16个国家将目标定在2050年实现；剩余3个国家分别定在2000年（宣称已实现碳中和目标）、2030年和2060年。

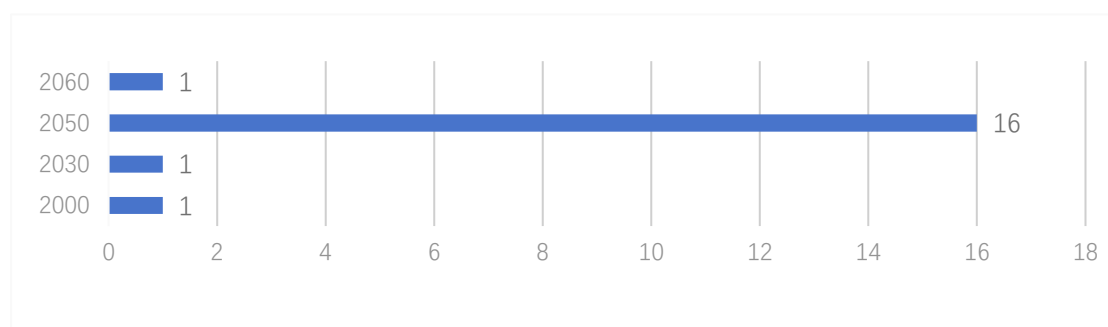


图 1-3 2024 年新增的碳中和目标年份分布

1.2 碳中和目标的覆盖范围

1.2.1 碳中和目标的行业覆盖度

本指标统计各国碳中和目标中所覆盖的行业，重点考察国际航空业和航运业两项。截止到数据获取时间，在 148 个承诺碳中和目标实现的国家中，只有 19 个国家的碳中和目标覆盖了国际航空业，比 2023 年报告中的 9 个增加了 10 个；35 个国家将国际航空业的碳排放排除在外，94 个国家在这方面未作出明确的说明。碳中和目标中明确涵盖国际航运业的有 12 个国家，相较于 2023 年报告中的 6 个增加了 6 个；37 个国家的碳中和目标不考虑国际航运业，99 个国家对此未作出明确说明。

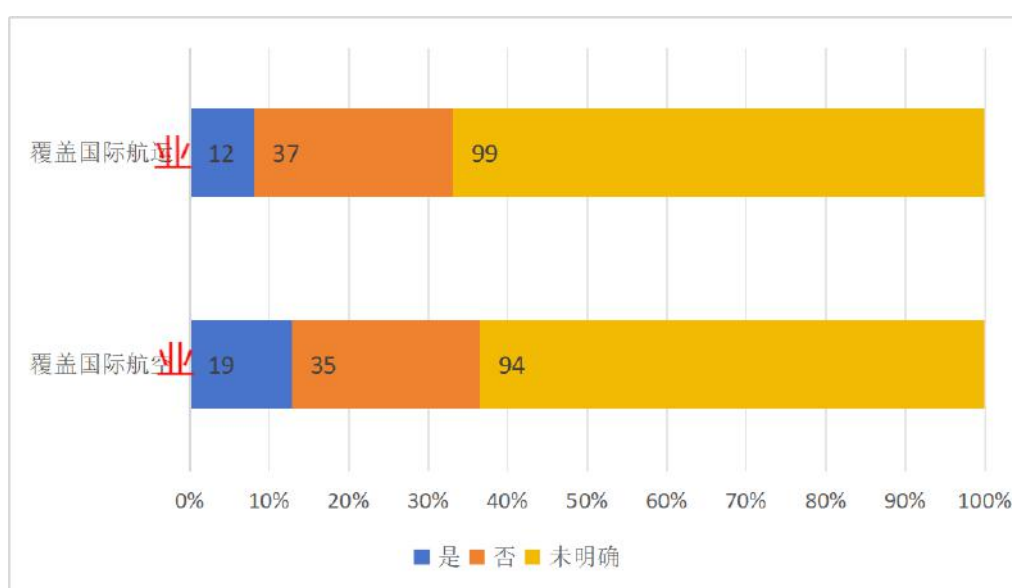


图 1-4 各国碳中和目标范围的行业覆盖度

新增碳中和目标的 19 个国家中，仅有 1 个国家提出覆盖国际航空业，占 5.2%；尚无国家明确提出覆盖国际航运业的碳排放。

1.2.2 碳中和目标的温室气体覆盖度

本指标统计各国碳中和目标对温室气体种类的覆盖度，作为衡量各国净零目标完善程度的一个维度。截止至本报告的数据统计时间，105 个国家的碳中和目标中所覆盖的温室气体为二氧化碳和其他气体，与 2023 年报告相比增长了 6 个；只考虑二氧化碳的国家为 18 个，与 2023 年报告相比增长了 12 个。

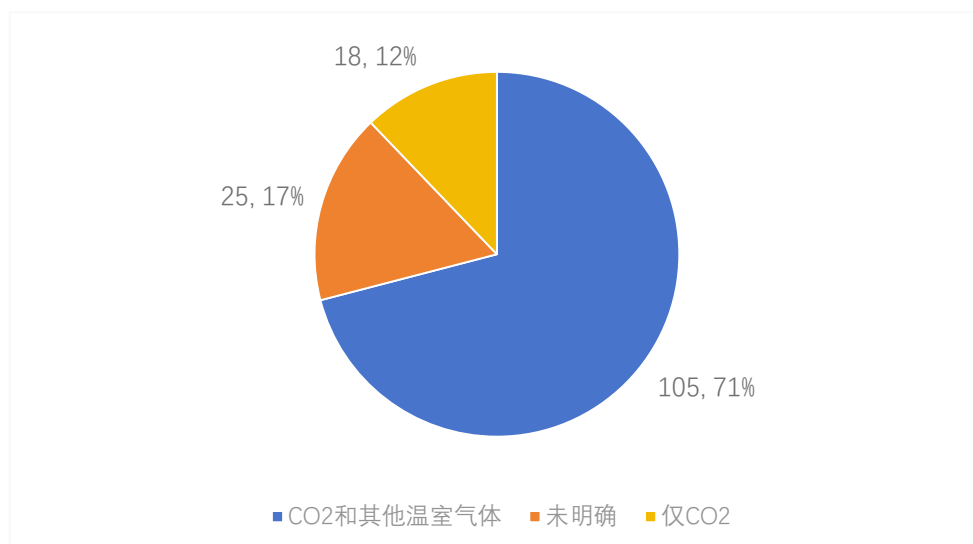


图 1-5 各国碳中和目标的温室气体覆盖度

新增碳中和目标的 19 个国家中，6 个国家提出了覆盖除二氧化碳以外的温室气体，占 31.5%。

1.2.3 碳中和目标的消费侧排放覆盖度

本指标所讨论的消费侧排放指进口货物所包含的排放量，因生产活动是由进口国地理边界内的消费活动所引起，因此消费侧排放计为间接排放的方式。

在各项指标中，全球各国（统计的 198 个国家）对消费侧排放覆盖的比例最低。仅有 14 个国家在政策文件中明确覆盖消费侧排放，相比于 2023 年报告增加了 2 个，有 32 个国家将其排除在外。覆盖消费侧排放的国家主要为太平洋部分岛国、欧盟部分国家和非洲几国。

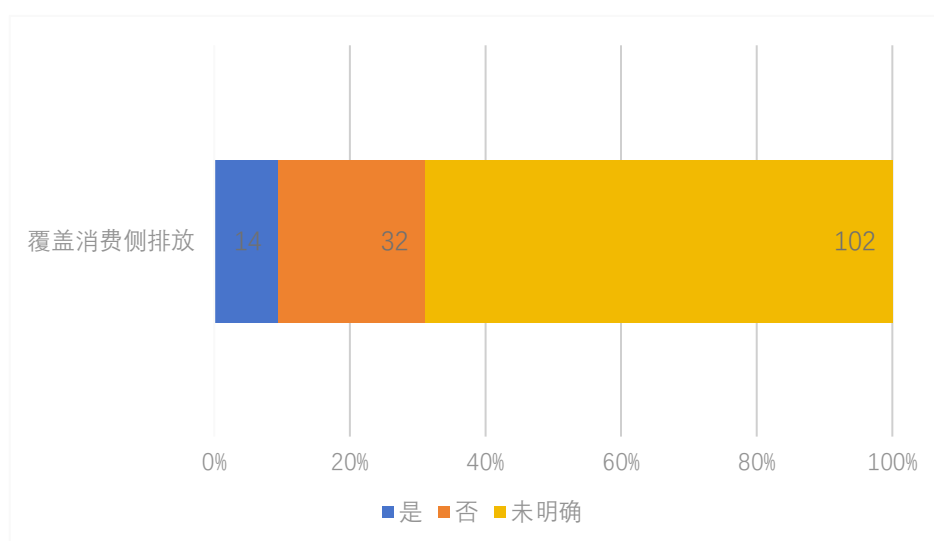


图 1-6 各国碳中和目标的消费侧排放覆盖度

此外，新增碳中和目标的 19 个国家中，没有国家提出覆盖消费侧排放。

1.2.4 碳中和目标的领土排放覆盖度

本指标统计了全球范围内各国对所有领土排放的覆盖情况，并区分国家类型加以比较，从而为发达、发展中国家碳排放责任分配的公平与否提供参考。

在有碳中和目标的国家中，大部分国家没有明确碳中和目标是否涵盖国家的所有领土排放。只有四成国家（57 个）提到对所有领土排放的覆盖。

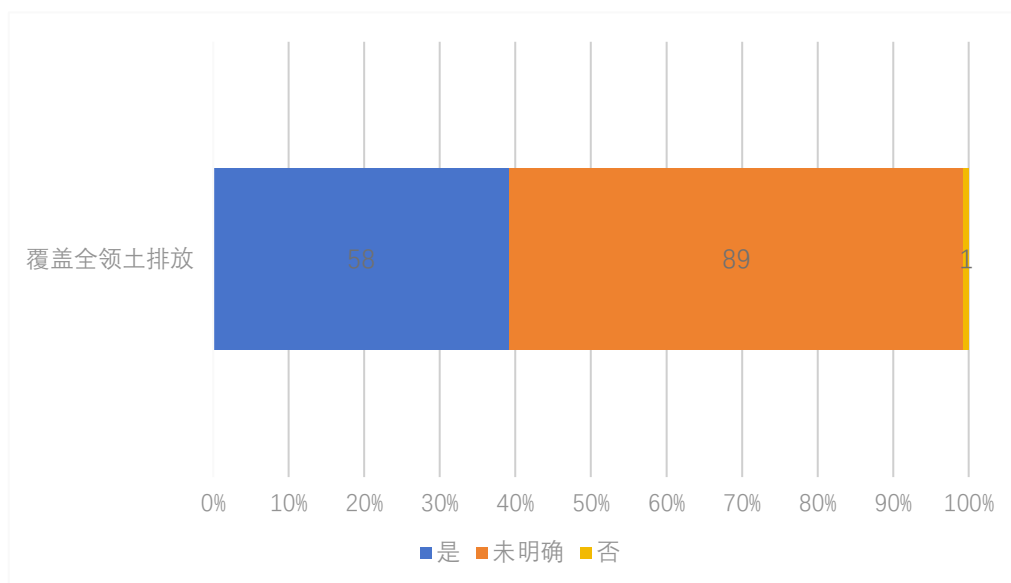


图 1-7 各国碳中和目标的所有领土排放覆盖度

此外，新增碳中和目标的 19 个国家中，有 4 个国家提出覆盖全领土排放，占 21.0%。

1.2.5 碳中和目标的有效性和可靠性

本指标统计各国是否计划使用碳信用以及是否有独立的碳移除目标。

全球对计划使用碳信用不明确，且有独立的碳移除目标的国家较少，碳中和目标的可靠性和有效性仍有待提升。截止到数据获取时间，在提出碳中和目标的 148 个国家中，仅有 29 个国家明确提出计划使用碳信用（相比于 2023 年报告增加了 7 个），不使用的国家为 96 个（相比于 2023 年报告增加了 75 个），23 个国家未明确是否计划使用碳信用。在独立的碳移除目标方面，全球有 118 个国家没有独立的碳移除目标（相比于 2023 年报告增加了 4 个），仅有 16 个国家包含独立的碳移除目标（相比于 2023 年报告增加了 5 个）。

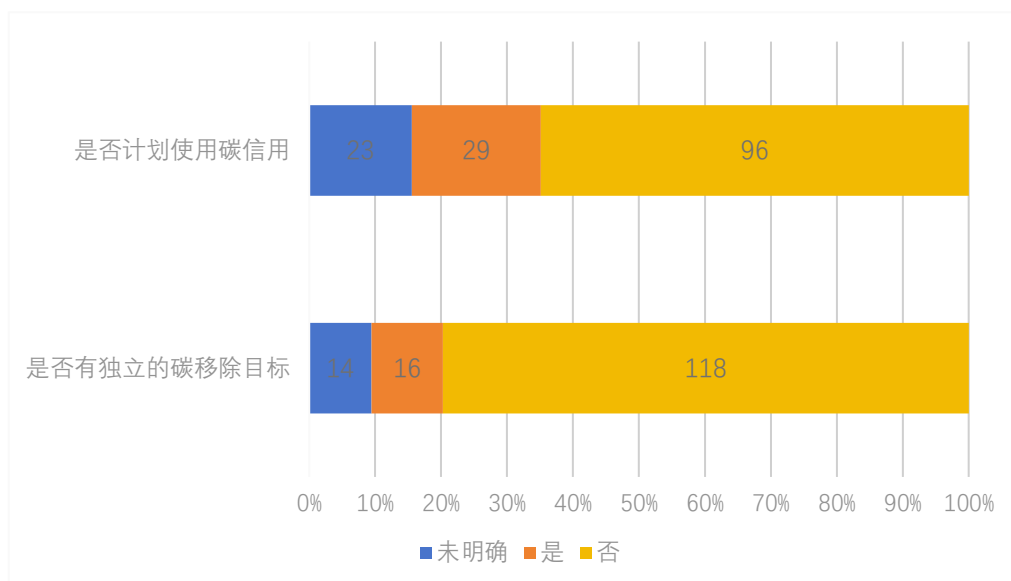


图 1-8 全球碳中和目标有效性和可靠性

此外，新增碳中和目标的 19 个国家中，仅有 1 个计划使用碳信用，占 5.2%；仅有 2 个有独立的碳移除目标，占 10.5%。

1.3 碳中和目标的监管体系

1.3.1 碳中和目标的法律完备性

各国的碳中和目标在法律地位上存在差异。在此部分评估中，各国碳中和目标的法律地位分为四类：“法律”，即将碳中和目标纳入立法；“政策文件”，包括各国政府在国内政策中写入碳中和目标，或在向联合国气候变化框架公约提交的“长期低温室气体排放发展战略”（LTS）中提出碳中和目标；“宣示/承诺”，例如政府首脑在演讲中宣布碳中和目标；“拟议”，即碳中和目标仍在讨论中。同时仍有部分国家无碳中和目标或自称已实现碳中和目标。

全球碳中和目标的状态以政策文件和拟议为主，相比于 2023 年报告，整体有很大进步。截止到数据获取时间，有 35 个国家以法律的形式确立了碳中和目标，占有所有国家比例的 18%，相比于 2023 年报告翻了一倍。政策文件国家数量为 85 个，占有所有国家比例的 43%，相比于 2023 年报告增加了 44 个。此外，有 15 个国家宣示或承诺了碳中和目标，占有所有国家的 7%；有 55 个国家的碳中和目标处于拟议状态，占有所有国家的 28%；有 6 个国家宣称已经实现了碳中和目标。

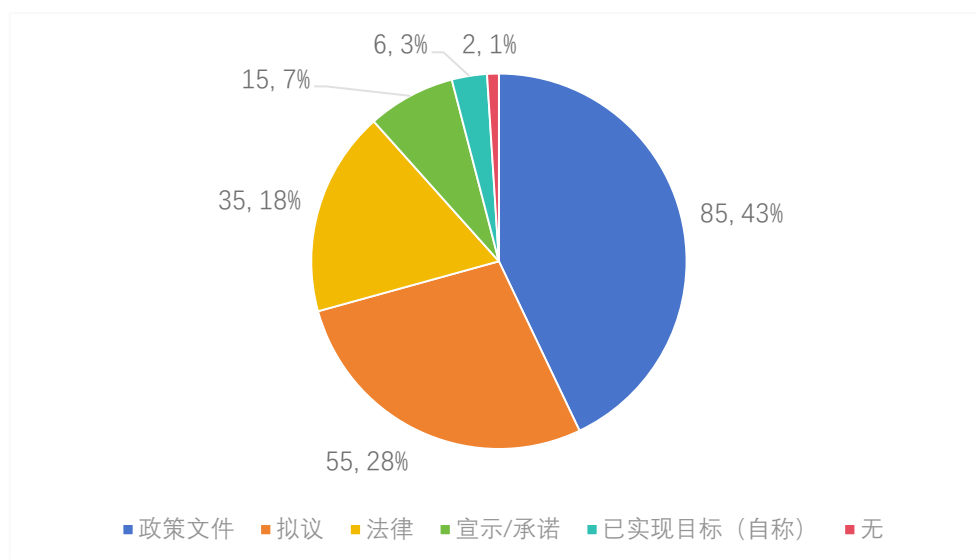


图 1-9 碳中和目标的法律状态

1.3.2 碳中和目标的监管机制

本指标主要统计面向碳中和目标的审查报告制度与问责制度。在审查报告方面，指标内容主要分为“年度报告”、“非年度报告”、“无报告机制”三种情况；在问责制度方面，指标内容为“是”、“否”、“未明确”。

在提出碳中和目标的 148 个国家中，有 144 个国家以年度报告或者非年度报告的形式来追踪碳中和进程。其中，108 个国家为非年度报告，36 个国家为年度报告。全球（统计的 198 个国家中）有 187 个国家具有报告机制，年度报告和非年度报告的国家分别是 45 个与 142 个，相较于 2023 年报告分别增加了 7 个与 54 个，此外有 10 个国家无报告机制。

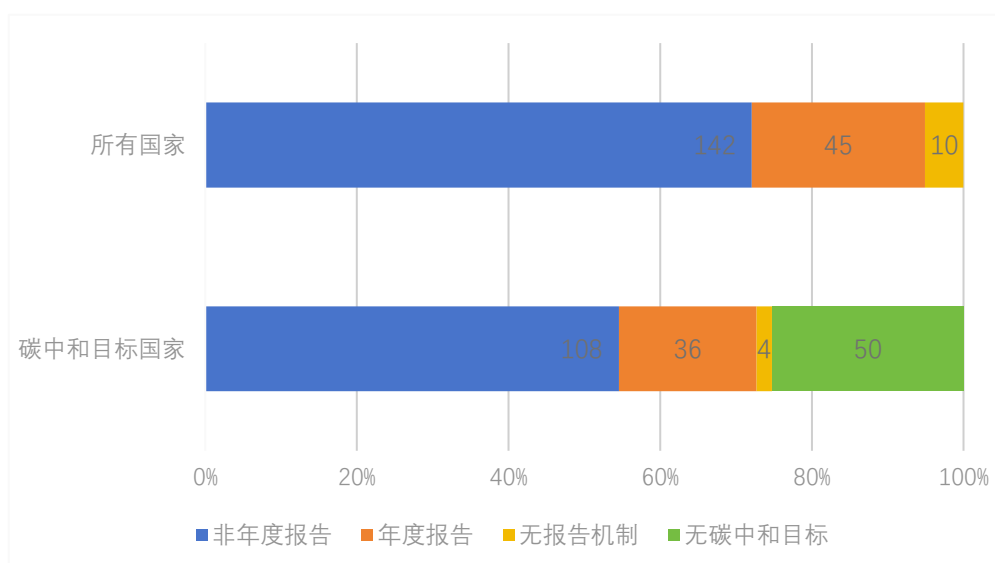


图 1-10 碳中和目标的审查与报告制度

然而，大部分的国家尚未明确是否对于碳中和目标采取问责制度，明确的国家中也仅有一小部分表示有与碳中和相关的问责制度。在全球（统计的 198 个国家）仅有 18 个国家存在相关的问责制度，相较于 2023 年报告增加了 9 个；在提出碳中和目标的国家中，仅有 13 个国家有与碳中和相关的问责制度，全球落实碳中和行动仍存在较大不确定性。

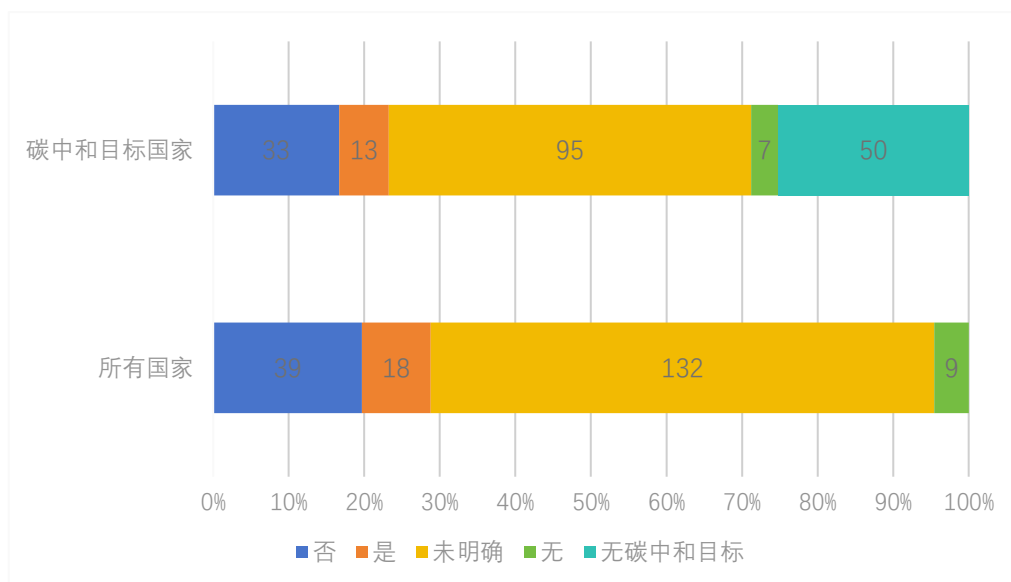


图 1-11 碳中和目标的问责制度

此外，新增碳中和目标的 19 个国家中，没有国家提出使用年度报告，使用非年度报告的国家有 17 个，占 89.4%，拥有报告制度的比例与全球平均水平接近；仅有 1 个国家提出了问责制度，占 5.2%。

1.3.3 气候变化法律数量

本指标为本报告新增指标，统计各国气候变化的法律数量，数据来自 Climate Change Laws of the World。全球大部分国家气候变化的法律数量在 10 部至 30 部之间，所有国家的平均数量约为 30 部。

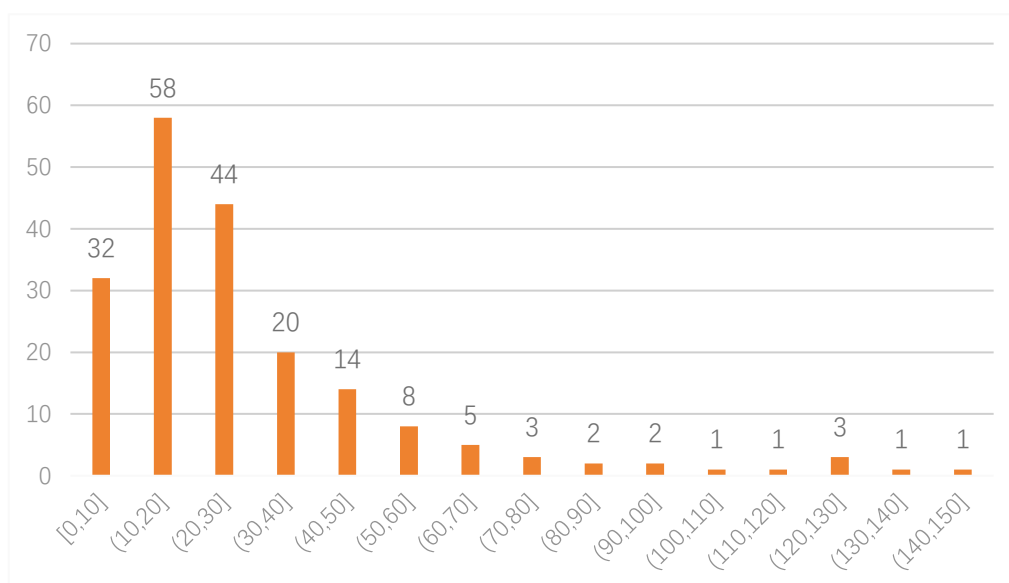


图 1-12 气候变化的法律数量

分国家类型来看，发达国家的气候变化法律比发展中国家更加完善。发展中国家的分布趋势与全球整体情况相近，集中在 10 部至 30 部的区间内，平均数值为 22.8 部；发达国家在各个区间的分布较为均匀，在 20 部至 60 部的区间内较为集中，平均值为 48.9 部。

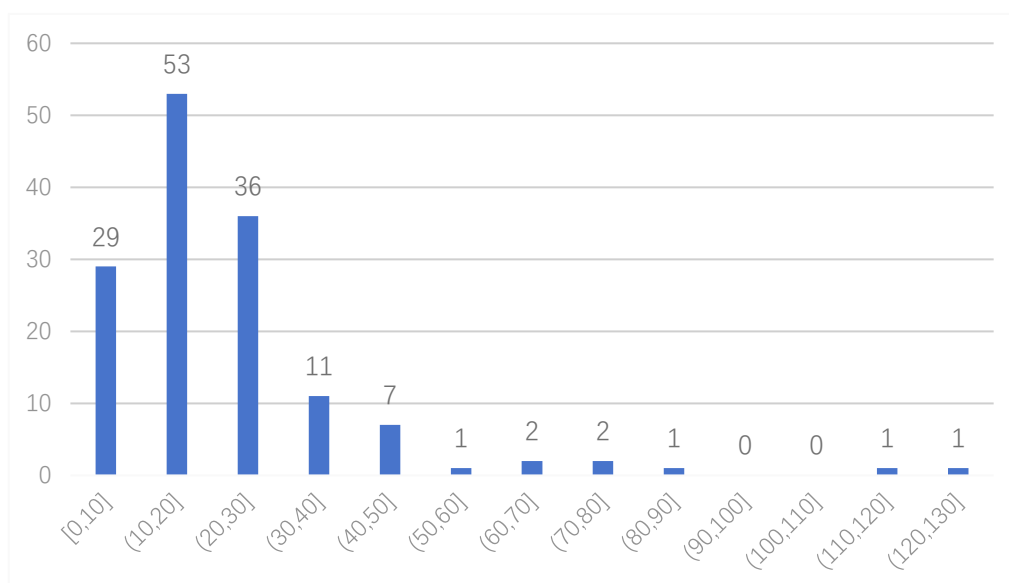


图 1-13 发展中国家的气候变化法律数量

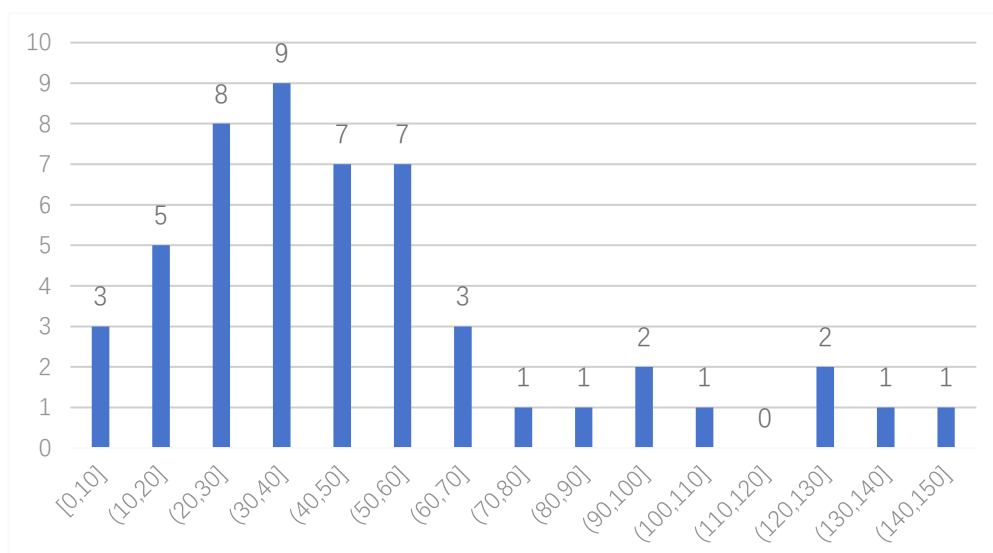


图 1-14 发达国家的气候变化法律数量

1.3.4 气候变化诉讼案件数量

本指标为本报告新增指标，统计各国气候变化相关的诉讼案件数，数据来自 Climate Change Litigation Databases。本指标在一定程度上能够反映国家内部气候变化法律活动的积极程度，但数据的差异会来源于行政手段的差异。比如，有些国家的气候变化相关的利益维护不会进入到司法程序，而某些国家气候变化相关的司法程序会相对活跃。并且，本数据库在不同国家的信息获取上也存在差异，对于美国（数据库单位所在的国家）的诉讼案件数量统计很多，截止数据统计日期达到了 1746 件，而其他国家的诉讼案件数量统计较少。

在本数据库中，145 个国家没有诉讼案件被统计。统计到的 53 个国家中，平均诉讼案件数量为 48 件。绝大多数国家（43 个，74.1%）的案件数量在 20 件以下（图 1-15）。

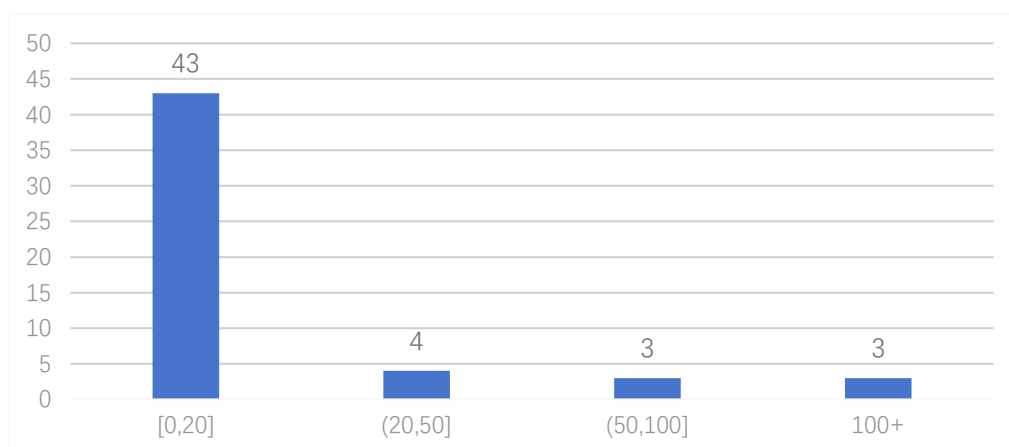


图 1-15 气候变化诉讼案件数量

1.4 碳中和目标的具体路线图

1.4.1 碳中和的阶段性目标

本指标统计各国碳中和的中短期目标。在本报告中，将中短期目标的各种目标类型的分类调整为与“碳中和目标类型”这一指标一致。

全球纳入统计的 198 个国家中，150 个国家设立了中短期目标，占有所有国家的 75.7%，相比于 2023 年报告增加了 3 个；48 个国家没有设立，占有所有国家的 24.2%。在设立了中短期目标的国家中，20 个将中短期目标的年份设定为 2025 年（相比于 2023 年报告增加了 4 个），122 个将中短期目标的年份设定为 2030 年（相比于 2023 年报告增加了 7 个），此外设置为 2020 年、2021 年、2030 年、2050 年的各有一个，有 2 个没有设置时间。

全球提出碳中和承诺的 148 个国家中，95.2% 的国家（141 个，相比于 2023 年报告增加了 17 个）设立了中短期目标，仅 4.8%（7 个）的国家没有设立。其中，78.3% 的国家（116 个，相比于 2023 年报告增加了 12 个）将中短期目标年份设定为 2030 年，12.1% 的国家设定了 2025 年的中短期目标，8.1% 的国家没有设定中短期目标，需要进一步落实中短期应对气候变化的措施。

纳入统计的所有国家中，中短期目标的类型分布如图 1-16 所示。全球大部分国家的中短期目标为排放减量目标，其中 69 个国家为绝对量的排放减量目标，占比 35%；51 个国家为相对量的排放减量目标，占比 26%。此外，分别有 4 个和 1 个国家设置了排放强度和净零排放的中短期目标，有 25 个国家设置的中短期目标不属于上述分类类型。

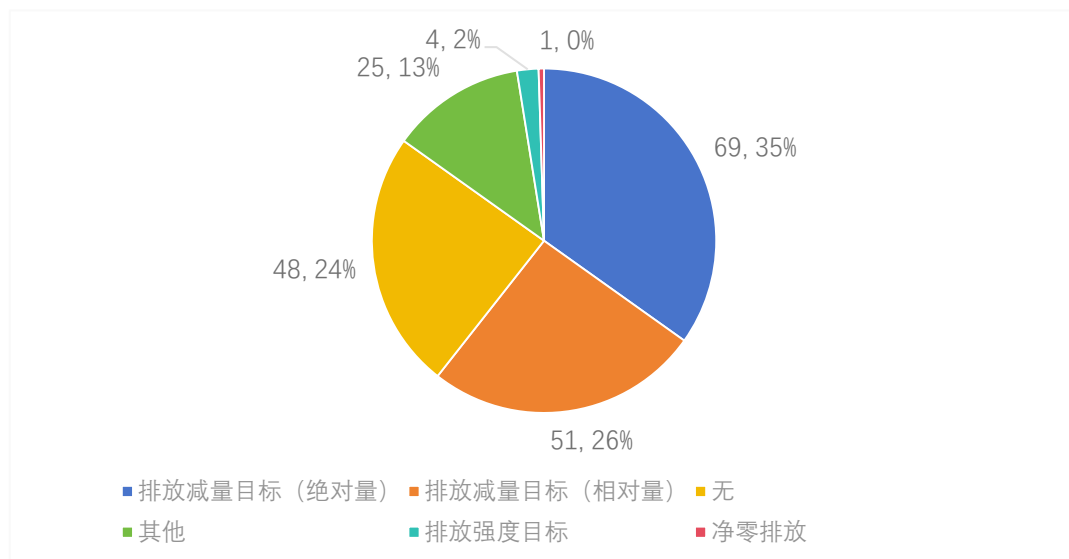


图 1-16 中短期目标类型分布

1.4.2 国家级碳中和路线图

本指标主要统计国家级别的碳中和路线图,对应的指标为“是否有详细计划”和“概述详细计划”。

在 Net Zero Tracker 的数据库中,本指标对应“plan options”这一指标。截止到数据统计日期,纳入统计的所有国家中,119 个国家(占全体国家总数的 60.1%)具有国家级别的详细计划,相比于 2023 年报告增加了 4 个;提出碳中和目标的 148 个国家中,86 个国家(占碳中和目标国家总数的 58.1%)具有国家级别的详细计划,相比于 2023 年报告增加了 8 个。

对于一个详细的国家级路线图,应该包括以下几个要素:① 对目标所涵盖的所有排放范围的措施。例如,如果目标涵盖了所有的气体,但该计划只涉及碳排放的对应措施,这将无法实现目标中的气候雄心。此要点有 67 个国家的详细计划符合,占具有详细计划国家的 56.3%,占有所有国家的 33.8%。② 关于这些措施在一定时间内减排多少的详细规划。例如,改用可再生能源将每年节省多少吨(具体数字)的排放。此要点有 81 个国家的详细计划符合,占具有详细计划国家的 68.1%,占有所有国家的 40.9%。③ 关于该措施的具体应用以及应用规模的信息。例如,如果发展电动汽车,电动汽车的市场占有率应为多少;如果安装了太阳能光伏装置,装机容量是多少。此要点有 72 个国家的详细计划符合,占具有详细计划国家的 60.5%,占有所有国家的 36.4%。④ 是否会定期评估详细计划的实施情况,以及是否会对计划进行更新与调整。此要点有 60 个国家的详细计划符合,占具有详细计划国家的 50.4%,占有所有国家的 30.3%。

1.4.3 区域级别碳中和

本指标主要发现:全球次国家级行为体积极提出、更新碳中和规划,整体目标朝更具雄心的方向迈进。过去一年,已经提出碳中和规划的 655 个次国家级行为体中有 104 个(15.9%)更新了碳中和规划,所有更新碳中和规划的次国家级行为体有 77.1%碳中和规划更具有雄心。此外,全球有 62 个次国家级行为体首次提出碳中和规划,提出碳中和规划的次国家级行为体总数上升了 9.5%。

【简介】

城市、区域级别碳中和规划是指次国家级行为体为自身制定的碳中和目标、政策与路线图。碳中和是全球实现《巴黎协定》温控目标的必然要求与必经阶段。在 2021 年达成的《格拉斯哥气候协议》强调未来十年是应对气候变化的关键十年,落实各国碳中和目标,将承诺转化为行动至关重要。虽然全球各国在近五年间纷纷提出碳中和目标和规划,但是国家级的碳中和目标较为宏观,无法客观反映该国各地区的碳中和行动。从 bottom-up 的角度看,各国需要有次国家级碳中

和规划对全国碳中和目标进行支撑。因此，次国家级的碳中和规划是落实国家级碳中和目标的关键因素。

基于 Net Zero Tracker (NZT) 的数据，本指标统计了全球 25 个最大的排放体所有二级行政区（地区级）和全球所有人口超过 50 万人的三级行政区（城市级）的次国家级行为体落实碳中和规划的情况。这一指标覆盖了全球排放量的约 85% 和全球人口的 70%，涵盖了全球所有的大排放体和具有代表性的小型排放体样本，具有全面性和代表性。2024 年，本指标重点在于衡量全球次国家行为体在碳中和规划方面的进展。

【进展评估】

全球次国家级行为体积极提出、更新碳中和规划，整体目标朝更具雄心的方向迈进。过去一年，已经提出碳中和规划的 655 个次国家级行为体中有 104 个（15.9%）更新了碳中和规划。碳中和规划的内容可以分为三个主要维度：碳中和规划的目标类型、目标年份和目标状态（效力）。如图 1-17，在更新碳中和规划的次国家级行为体中近半数不止更新了碳中和规划的一个维度。总量上，2023 年全球有 62 个城市/地区首次提出碳中和规划，提出规划的城市/区域个数上升 9.5%。

■ 仅更新目标类型 ■ 仅更新目标年份 ■ 仅更新目标状态 ■ 其他

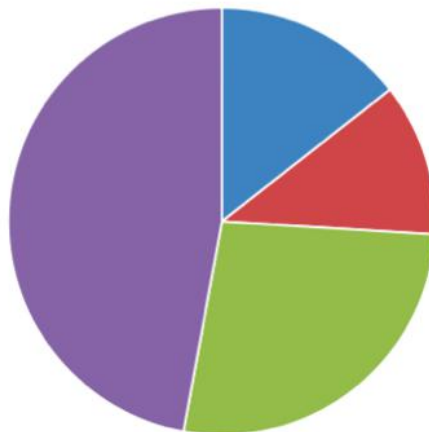


图 1-17 次国家级行为体更新碳中和规划的形式

从碳中和规划的雄心上看，整体上次国家级行为体的碳中和规划雄心有所提升。所有更新规划的次国家级行为体有 77.1% 的碳中和规划更具有雄心。如图 1-18，在更新单一维度的次国家级行政区中只有 18.2% 下调了自身的目标，而其中有 40% 是延后了实现碳中和规划目标的年份。

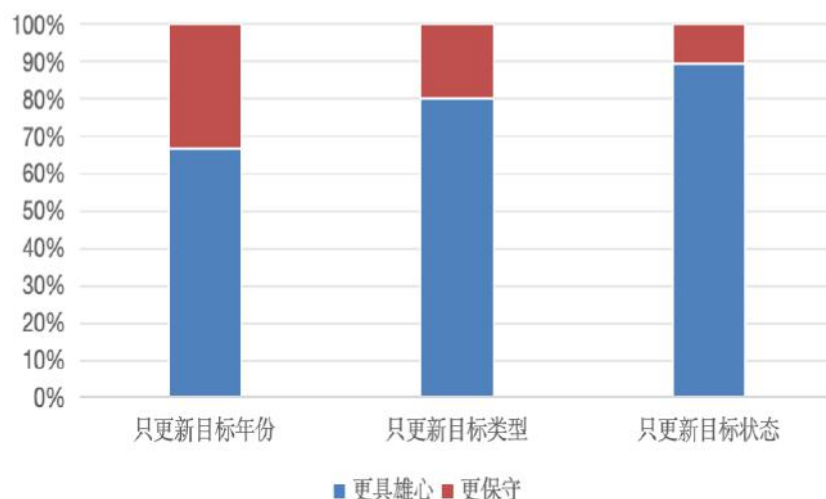


图 1-18 更新单一维度的次国家级行政区的规划进步情况

本指标发现，同时更新碳中和规划不同维度的次国家级行为体偏好同向改变规划的不同维度。如图 1-19，更新不止一个目标维度的次国家级行政区中有 59.2% 的目标相比之前从目标类型和目标效力上都更具雄心。所有不同向改变规划维度的次国家级行为体都是目标类型更具雄心但是效力有所下降，这占到总数的 16.3%。

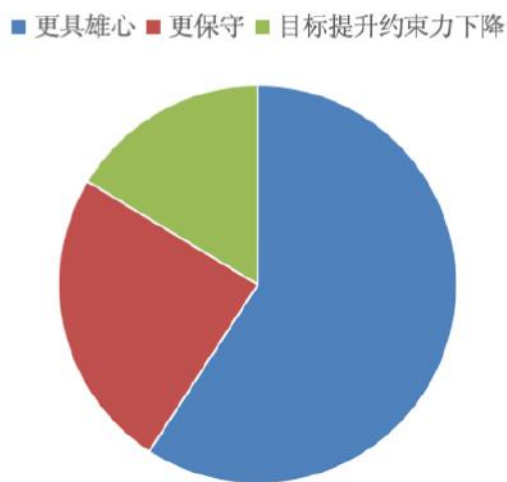


图 1-19 更新多个维度的次国家级行为体碳中和规划进步情况

发展中地区主力新增目标，发达地区主力更新目标，目标退步的地区主要集中在南亚和大洋洲。如图 1-20，东亚和拉丁美洲地区是新增次国家级行政区碳中和目标的主要来源。北美和欧洲地区是更新次国家级行政区碳中和目标的主要来源，东亚地区在更新和新增碳中和目标上都表现积极。

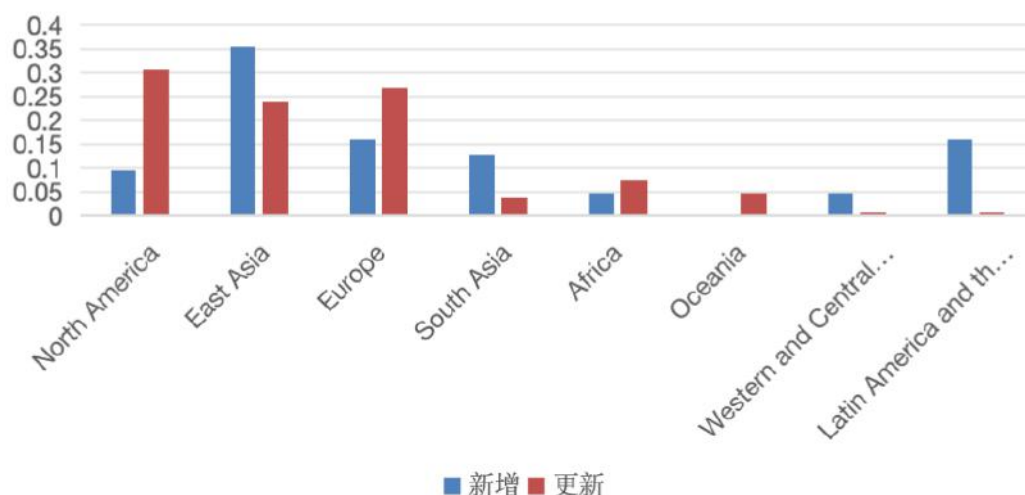


图 1-20 各大洲新增/更新碳中和规划的比例

东亚地区多维度表现突出，更新规划多且规划进步比例高。目标退步的地区较为集中，主要在南亚和大洋洲。北美和东亚规划进步的次国家级行政区比例高，分别占到了 84%和 72%。拉美和中西亚只有一个次国家级行政区更新了规划，从规划对比中剔除。南亚和大洋洲规划退步的次国家级行政区比例高，分别占到了 75%和 40%。从绝对数量和相对比例综合分析，欧洲目标退步的次国家级行政区也较多，达到了 7 个（25%）。

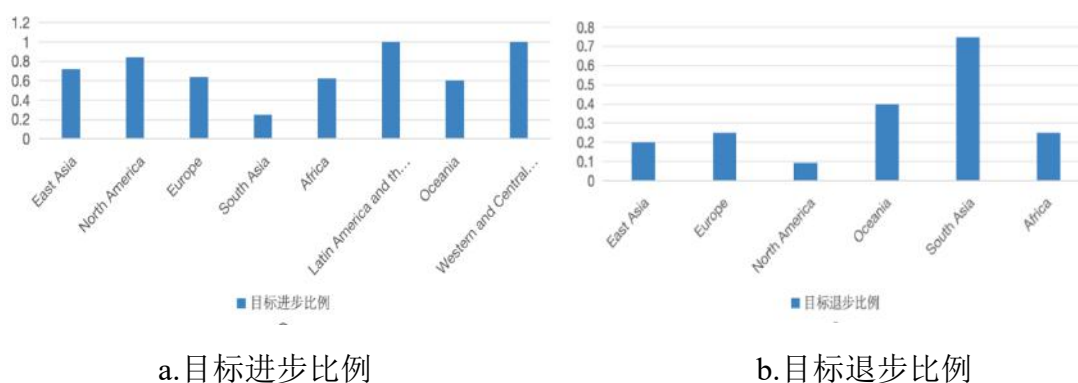


图 1-21 各大洲碳中和目标规划的进退步比例

1.4.4 行业层面碳中和目标

本指标显示：研究范围内的 18 个国家和地区，都提到了交通运输和能源供应方面的目标。其中交通运输的目标主要与电动车相关，能源供应的目标主要与可再生能源增长相关。其他目标只有部分国家有涉及。

表 1-1 行业目标数据覆盖情况

三级指标	交通运输	产业	农业	土地利用和林业	废物	建筑业	能源供应
国家或区域							
中国	○			○		○	○
俄罗斯	○			○			○
加拿大	○		○	○		○	○
南非	○						○
印度	○			○			○
印度尼西亚	○	○					○
土耳其	○						○
墨西哥	○		○	○	○		○
巴西	○			○			○
德国	○				○	○	○
日本	○	○				○	○
欧盟	○						○
沙特阿拉伯	○			○			○
澳大利亚	○	○	○		○		○
美国	○	○				○	○
英国	○	○		○		○	○
阿根廷	○		○	○	○	○	○
韩国	○					○	○

【简介】

本报告的研究范围覆盖了 G20 国家中的 17 个国家和欧盟，涵盖了 climate action tracker 提供的数据。在行业目标方面，本报告详细分析了能源供应、交通运输、产业、建筑业、农业、土地利用与林业、废物共七大行业类别。所有研究国家都在交通运输和能源供应方面设定了明确目标，这两个行业是全球碳中和目标努力的重点。在交通运输行业，电动车的推广是普遍的目标；而在能源供应行业，大多数国家的目标集中在可再生能源的增长上。此外，部分国家还涉及到了其他行业的碳中和目标，但这些目标的涉及范围较小。相比 2023 年，部分国家的目标出现延迟或放宽的情况。

【进展评估】

在全球范围内，各国在能源供应方面的碳中和目标体现了对可再生能源开发利用的加强以及对化石燃料依赖的调整。多个国家设定了提高可再生能源在能源结构中的占比目标，显示了全球对可再生能源依赖度增加的趋势。例如，阿根廷计划到 2025 年底使可再生能源占发电量的 20%，并到 2030 年开发 2.6 吉瓦的风电和太阳能。澳大利亚的目标是到 2030 年，可再生能源在电力结构中所占比例达到 82%。巴西则计划到 2031 年，可再生能源占一次能源的 48%和发电量的 84%。美国的目标是到 2025 年可再生能源的发电量达到 25 吉瓦，最迟在 2035 年实现无碳电力系统。英国的目标是到 2035 年实现 100%清洁电力。沙特阿拉伯计划到 2030 年，50%的电力来自可再生能源。中国的目标是到 2025 年非化石能源占一次能源消费比重达到 20%左右，风电和太阳能发电装机容量达到 1 200 吉瓦。

一些国家在减少对化石燃料的依赖和增加其他能源形式的使用上设定了明确目标。韩国计划到 2030 年将对化石燃料进口的依赖降低到 70%以下，同时提高核能在电力结构中的份额至少 30%。加拿大则承诺到 2030 年将来自石油和天然气行业的甲烷排放减少 45%~50%，到 2035 年实现净零排放电网。俄罗斯承诺到 2030 年将其 GDP 的能源强度降低 30%。南非设定了 2024 年后发电的总体排放限制为每年 275 吉吨当量二氧化碳。相比之下，墨西哥支持化石燃料而非可再生能源，显示出与全球减碳趋势相反的倾向。

表 1-2 能源供应目标总结

国家	值	年份
可再生能源发电占比		
巴西	84%	2031
澳大利亚	82%	2030
德国	80%	2030
沙特阿拉伯	50%	2030
中国	50%	2025
欧盟	45%	2030
日本	38%	2030
印度尼西亚	23%	2025
阿根廷	20%	2025
其他		
墨西哥	支持化石燃料	
土耳其	光伏52.9GW，风电29.6GW	2035
俄罗斯	将 GDP 能源强度降低 30%	2030
加拿大	净零电网	2035
美国	净零电网	2035
英国	净零电网	2035
南非	限制发电排放	
韩国	能源结构调整	2030
印度	可在再生能源装机2倍	2030

在全球范围内，各国针对交通运输领域的碳中和目标主要集中在推广电动汽车、建设充电基础设施、提升电动车在市场中的份额。此外，还包括设定逐步禁售化石燃料汽车的时间表。

多个国家设定了增加电动汽车销售比例、建设充电站和提高电动车在市场中的份额的目标，显示了全球向电动汽车过渡的共同趋势。例如，阿根廷计划安装超过 86 000 个充电站和 2 500 个快速充电站，并到 2030 年通过电动汽车或油电混合动力车替代现有行政车辆。俄罗斯的目标是 2030 年达到至少设立 72 000 个充电站，电动汽车占汽车总产量的 10%。澳大利亚的目标是到 2030 年将电动汽车在乘用车领域的市场份额提高到 10%。美国发布了《国家交通脱碳蓝图》，旨在到 2030 年所有新车中 50%为电动汽车。中国的政府目标是到 2030 年新能源汽车市场份额达到 40%。日本的目标是最迟到 2035 年新销量的电动汽车达到 100%，其中包括非插电式混合动力汽车。印度的目标是到 2030 年，电动汽车在所有新车销售中的比例达到 30%。沙特阿拉伯计划到 2030 年利雅得 30%的车辆为电动汽车。

一些国家设定了逐步禁售燃油车的时间表。巴西计划到 2060 年禁止销售燃油汽车。英国在 2021 年 COP26 之前确认其目标是到 2030 年逐步淘汰汽油及柴油汽车和货车的销售，但之后又将停售日期推迟到了 2035 年。欧盟的目标是到 2035 年实现新型乘用车和货车的零排放。

表 1-3 交通运输目标总结

国家	值	年份
电动车		
阿根廷	电动车替代行政车辆	2030
澳大利亚	电动车市场份额10%	2030
德国	1500万辆电动车	2030
俄罗斯	电动车产量10%	2030
韩国	113万辆电动车	2025
日本	100%电动车销售	2035
沙特阿拉伯	利雅得30%为电动车	2030
土耳其	100万辆电动车	2030
印度	30%私家车为电动车	2030
印度尼西亚	25%电动车销售	2030
其他		
巴西	禁售化石燃料汽车	2060
加拿大	100%ZEV销售	2035
美国	50%ZEV销售	2030
墨西哥	50%ZEV生产	2030
南非	5%公共汽车为清洁车	2025
欧盟	新型乘用车和货车零排放	2035
英国	淘汰汽柴油汽车	2035
中国	新能源汽车市场份额40%	2030

在土地利用与林业方面，多数国家采取了植树造林、提高森林覆盖率等措施来增加碳汇和减少温室气体排放。阿根廷计划到 2030 年将森林面积增至 160 万公顷，并通过减少土地使用排放量（27Mt 当量二氧化碳）实现温室气体的抵消。巴西致力于在 2028 年之前实现亚马逊地区零非法森林砍伐。俄罗斯预计到 2050 年，其碳汇量将达到 1 200 Mt 当量二氧化碳，较 2030 年的 539 Mt 当量二氧化碳有显著增加。加拿大的旗舰计划是在未来十年内种植 20 亿棵树。墨西哥承诺到 2030 年无条件地将林业部门的温室气体排放减少到 50%。沙特阿拉伯计划到 2030 年种植 4.5 亿棵树，并在未来几十年内种植 100 亿棵树。印度设定了到 2030 年额外碳汇 2.5~3 吉吨当量二氧化碳的目标。英国计划到 2025 年植树 3 万公顷。中国则设定了到 2025 年每年造林 36 000 平方公里的目标。

在农业领域，各国通过减少化肥使用、优化牲畜管理、提供资金支持等方式减少农业排放，以达到碳中和目标。阿根廷通过植树造林（2018—2030 年面积达 138 万—200 万公顷）和减少牲畜养殖的温室气体排放来控制农业部门的碳排放。澳大利亚在 2023—2026 年为碳农业推广计划提供 2000 万澳元资金支持。加拿大计划到 2030 年将化肥使用产生的排放量比 2020 年的水平减少 30%。墨西哥承诺到 2030 年无条件地将农业部门的温室气体排放减少到 50%。

在产业领域，各国采取了多样化的措施来减少碳排放。例如，澳大利亚计划

将特定工业部门的净排放量从 2021—2022 年的 138 吉吨当量二氧化碳减少到 2030 年的不超过 71 吉吨当量二氧化碳。美国通过《美国创新与制造法案》颁布了应对 HFCs 排放的法律。日本钢铁联合会宣布到 2050 年实现 CO₂ 净零排放目标。英国设定了到 2035 年将工业排放量相对于 2018 年水平减少三分之二的目标。

在建筑业领域，各国关注提高能效和推广零能耗建筑。阿根廷的目标是到 2030 年使住宅能效标签计划惠及 600 万家庭。德国规定从 2024 年起新供暖系统需要 65%的可再生能源。韩国计划到 2025 年使所有新建筑满足零能耗建筑标准。英国到 2035 年将禁止安装所有新的燃气锅炉。中国则推动增加太阳能和地热能在新建筑中的应用，提高可再生电力能源比例。

在废物处理领域，各国采取了减少废物产生和提升废物处理效率的策略。阿根廷计划到 2030 年消除露天垃圾填埋场。澳大利亚设定了到 2030 年将人均废物产生总量减少 10%的目标。德国的 2019 年气候行动计划针对废物行业提出了三项额外措施，包括支持小型垃圾填埋场曝气项目等。墨西哥承诺到 2030 年无条件地将废物行业的温室气体排放减少到 30%。

在全球各国努力实现碳中和目标的背景下，出现部分国家的政策退步情况值得关注。英国、墨西哥和德国的退步政策具体反映了国内政治、经济与国际形势的复杂互动。英国政府将新汽油和柴油汽车的停售日期从 2030 年推迟到 2035 年。墨西哥政府取消支持可再生能源的政策，并转而优先考虑化石燃料，取消了推动 65 个新太阳能和风力发电厂建设的成功政策工具。德国放宽了供暖系统改革的政策，原来设定的全国新建供暖系统自 2024 年起需要使用至少 65%可再生能源的要求，在部分地区推迟到了 2028 年。

1.5 碳中和目标的公平性与一致性

1.5.1 碳中和目标的公平性

本指标显示：63%的国家在净零排放目标文件中提及公平，较 2023 年报告时上升 10 个百分点。但在提及净零排放目标本身的公平性的国家中，部分国家并未清楚解释本国目标是否公平，这一情况在 2023 年间并未改善。

【简介】

公平一直是联合国气候谈判的核心。《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)指出，“缔约方应保护气候系统[...]在公平的基础上，根据他们共同但有区别的责任和各自的能力”。《巴黎协定》提出了建立差异化的自主贡献目标的模式，这一模式赋予各国更大的自主权，避免了对各方应承担的负担进行简单的统一评估。

然而，在传达这些贡献时，各方仍应证明其目标“公平和雄心勃勃，鉴于 [...] 国情”（UNFCCC，2015）。这意味着各国在确定目标时，不仅需要符合科学要求和全球共同利益，还需要考虑到各国的发展水平、历史责任、经济能力以及其他国情，根据公平概念来确定和证明其目标是合理。

因此，本指标将对各国碳中和目标文件进行汇总分析，以确定其中是否提及了公平原则。具体而言，主要关注各国政府在其碳中和目标文件中对公平概念的表述和涵盖程度。特别地，将重点关注主要国家在其碳中和目标文件中如何阐述公平原则，以评估其是否清晰地解释了其碳中和目标是符合《巴黎协定》下的公平贡献。

截止至本报告的数据统计时间，125 个国家在净零排放目标文件中提及公平，62 个国家（占比 63%）未在净零排放目标文件中提及公平，有 10 个国家仍未明确。相较于 2023 年报告，有 33 个国家由未提及公平或未明确转为提及公平，其中包括 5 个欧盟国家，1 个金砖国家（印度），4 个 OECD（除欧盟外）国家（瑞士、英国、日本、阿联酋），5 个小岛屿发展中国家及最不发达国家。从提及公平的国家占比来看，欧盟及 OECD（除欧盟外）这两种类型国家进步较为明显，欧盟国家中提及公平的国家比例由 54% 上升至 65%，OECD（除欧盟外）中提及公平的国家比例由 57% 上升至 79%。小岛屿发展中国家及最不发达国家进步最缓，提及公平的国家比例由 61% 上升至 62%。

在净零排放目标中提及公平性的国家中，很多国家并未明确说明本国目标是否符合公平原则，能否满足《巴黎协定》下对全球减排的公平贡献的要求。在过去一年中，这一情况并未得到改善。

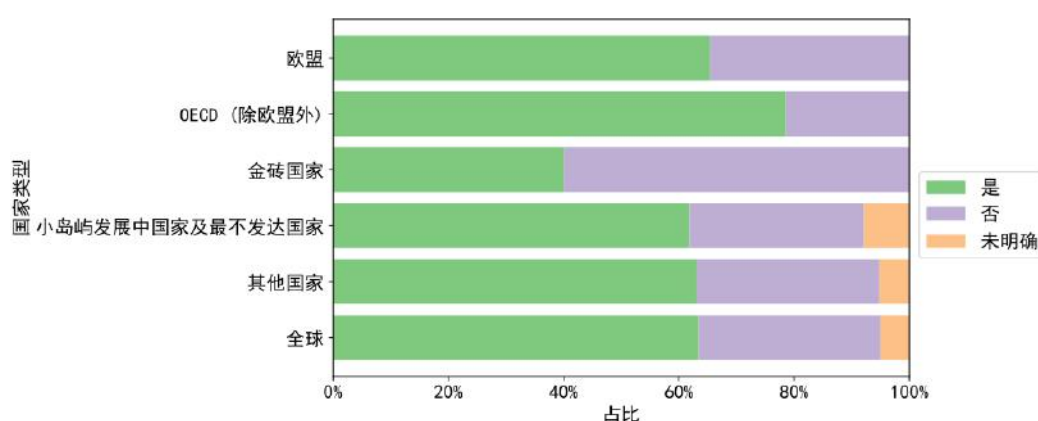


图 1-22 各国碳中和目标的公平性统计（数据来源：Net Zero Tracker）

1.5.2 碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性

本指标显示：经公平分配模型评估，已提出净零排放目标的国家中，73% 的

国家净零排放目标符合低于 1.5°C 的全球温升目标,几乎所有国家均符合低于 2°C 的全球温升目标。

本指标旨在基于模型评估,系统评价全球 197 个国家的净零排放承诺与《巴黎协定》2°C/1.5°C 目标的一致性。评估模型与 2023 年报告相同。分配方案设计:以基于责任、能力或(和)基本需求原则、人均主义原则、国家主义原则及多阶段公平原则四种公平原则,选取文献中普遍报道的 15 种碳排放分配方案,以确保评估的全面性和公正性。排放空间计算:以使用模型计算各国在不同分配方案下的允许排放空间,确定在 2°C 和 1.5°C 温升目标下的排放限额。净零排放承诺对比:将基于公平原则分配的 2°C/1.5°C 减排责任与各国实际的净零排放承诺进行对比,评估其与《巴黎协定》温升目标的一致性。本报告增加国家目标的公平性雄心指数。

通过全球碳排放权的公平分配模型,本指标对国家净零排放目标与巴黎协定目标的一致性进行评价。较 2023 年报告,满足 1.5°C 目标的国家占比由 46% 上升至 52%;未明确情况的国家/地区在 2023 年约占 67%,在 2024 年略有下降至约 55%。满足 2°C 目标的国家占比由 63% 上升至 70%。

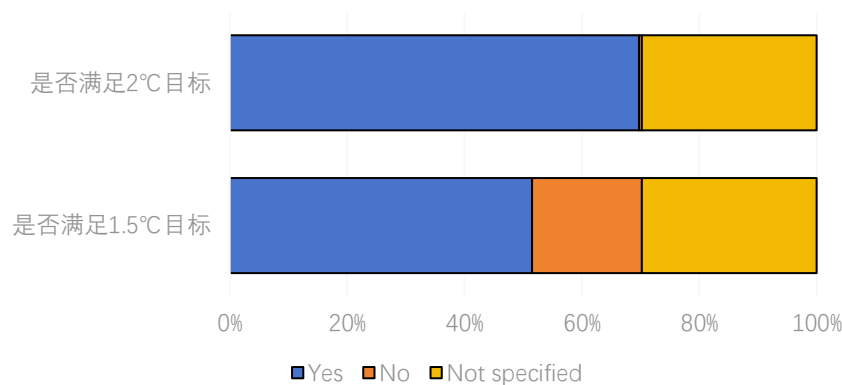
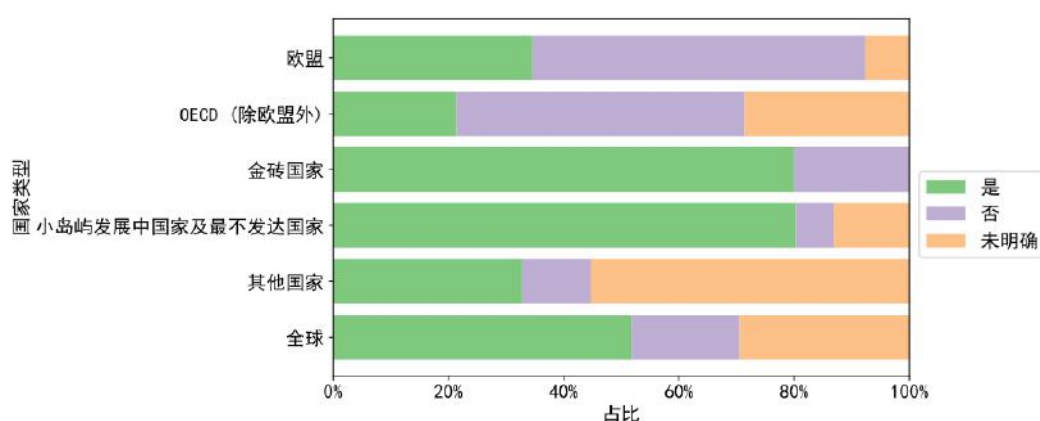
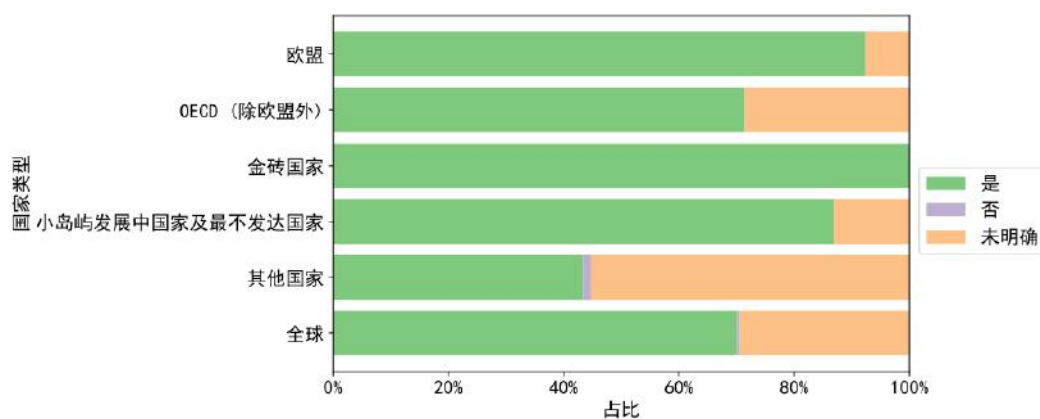


图 1-23 碳中和目标的一致性统计（数据来源：模型计算）

从国家集团的角度来看,对于 1.5°C 目标,欧盟国家及其他国家进展最为明显,但欧盟国家达到目标一致性的比例仍然较低。欧盟国家中,2023 年达到目标的比例为约 27%,在 2024 年略有上升至约 35%。小岛屿发展中国家及最不发达国家 2023 年达到目标的比例为约 76%,在 2024 年增加到了约 80%。金砖国家及 OECD (除欧盟外) 国家均没有出现变化。在其他国家中,2023 年达到目标的国家/地区比例为 25%,而在 2024 年增加到了约 33%。



(a) 是否满足 1.5°C 目标



(b) 是否满足 2°C 目标

图 1-24 各国碳中和目标的一致性统计（数据来源：模型计算）

本指标将公平原则进一步细分为四个维度，分别为责任、能力或（和）基本需求原则、人均主义原则、国家主义原则及多阶段公平原则，构建各国家的国家自主贡献目标（NDCs）及碳中和目标在各公平原则下的雄心指数。

公平原则对国家的倾向性大体上可分为两类：责任、能力或（和）基本需求原则及人均主义原则，国家主义原则及分阶段公平原则。在历史责任与减排能力原则下，发展中国家的雄心指数较高，而发达国家雄心指数较低，这反映了发展中国家对于应对气候变化所承担的历史责任以及其有限的减排能力。而在国家主义原则及多阶段公平原则下，发达国家的雄心指数较高，这表明了这些国家当前的目标更加重视自身国家利益和发展战略。

此外，大多数国家的碳中和目标雄心指数较国家自主贡献目标（NDC）有较大的提升。这表明国际社会对于实现碳中和目标的雄心正在逐步增强，各国在气候行动上的努力也在不断加强。具体而言，大多数发展中国家在各原则下均有所

进步，反映了其对于实现全球气候目标的积极态度和努力。而发达国家在历史责任与减排能力原则下进步不大，说明其减排目标相较于历史排放责任和国家财富能力而言尚显不足。

如图 1-25 对主要国家进行比较，美国、日本及英国趋势相近，在除责任、能力或（和）基本需求原则外的其他公平原则下，净零排放目标的雄心指数均较高，责任、能力或（和）基本需求原则下净零排放目标的雄心指数低，NDC 目标的雄心指数在除国家主义原则外均处于最低。中国、南非和印度尼西亚均在责任、能力或（和）基本需求原则下雄心指数最高。印度净零目标的雄心指数较 NDC 提升不明显，在责任、能力或（和）基本需求原则下雄心指数提升，其他原则下雄心指数均下降。南非和印度尼西亚在净零排放承诺情景下的雄心指数明显高于其他情景，表明其对未来减排目标的高度重视。巴西在责任、能力或（和）基本需求原则下净零排放目标和 NDC 目标的雄心指数均为最低，其他原则下净零排放目标的雄心指数很高。

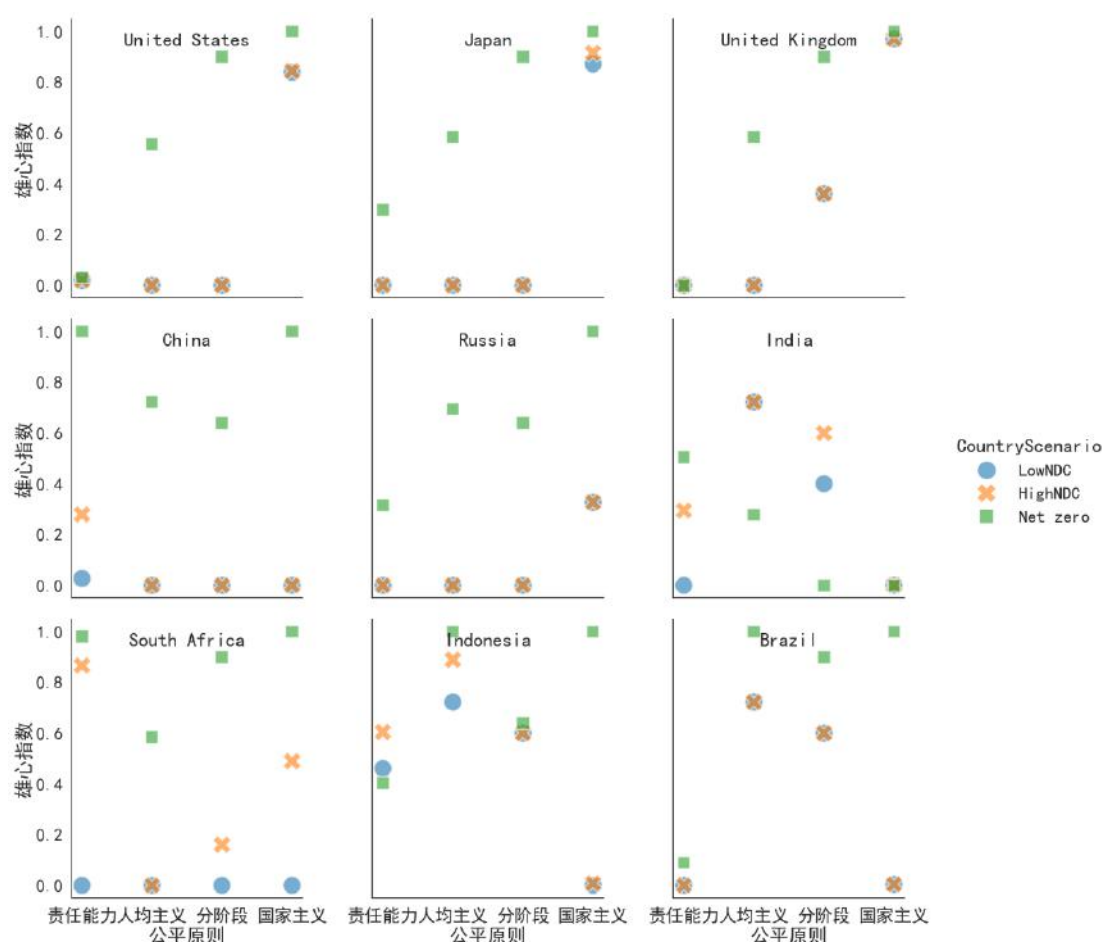


图 1-25 主要国家 NDC 及碳中和目标公平雄心指数

第二章 全球碳中和技术进展

前言

各国的低碳能源转型进程其直接体现是不断提高零碳技术体系和相关产业在社会经济生产中的渗透应用。本章将从各类碳中和技术的角度出发对各国碳中和进展进行评估。

从温室气体排放源头来看，全球主要的排放部门包括电力、非电力以外的工业、交通、建筑和土地利用变化。不同行业的低碳解决方案存在着差异，但整体上可分为如下几类减排技术：一是以光伏发电、风力发电为代表的可再生能源发电和电动汽车技术。这些技术由于近年来成本迅速降低，在全球应对气候变化的大背景下得到蓬勃发展，目前已经初步形成产业化发展，是电力和交通行业迈向零碳化的重要手段。二是包含涵盖范围非常广的节能技术。这类技术的定义需要以当前技术的能效水平作为基准，并随着时间的发展而变化，低能耗技术将持续是电力、工业、交通和建筑部门中最具有成本效益的解决方案之一。三是生物质的解决方案。除了属于可再生能源发电技术的生物质发电外，乙醇汽油和生物柴油可成为交通部门的低碳方案，生物质还能够在钢铁、水泥等工业中作为化石燃料或原料的替代品。四是以碳捕获、封存与利用（CCUS）和可再生氢为代表的新兴碳中和技术。这类技术能够在电力、工业和交通部门完全实现零碳化中扮演关键的角色，但目前仍处于试点阶段，尚未具有成熟的商业模式。五是碳汇开发的管理技术，通过植树造林等管理体系，应对土地利用变化中导致的温室气体排放。

2.1 全球碳中和技术的综合分析

本部分从技术发展的目标雄心、部署进展、政策支持和创新能力四个维度确定**关键指标**，从而追踪各国在碳中和技术推动中的应用进展。目标雄心是指国家以发布官方文件的形式对本国碳中和技术制定明确的发展目标，例如特定年份下技术在该国的渗透率或部署量；部署进展是指目前各国碳中和技术的部署情况，例如试点技术的项目数，产业化技术的渗透率或者部署量；政策支持是指各国制定碳中和技术的利好政策，包括强制型、激励型和配套型政策，及对化石燃料等高碳排放行业的限制政策；创新能力是指国家对碳中和技术的创新水平，可以通过专利数来体现。在描述碳中和关键技术的指标中，有一些是数值型变量，例如专利数目；有一些是文本描述型，例如具体的政策；还有一些同时包含了文本描述和数值变量，

例如技术目标的制定。通过对这些指标分国别进行搜集和梳理，形成了碳中和技术分国别的进展数据库。

表 2-1 碳中和关键技术的识别及对应行业



	新能源发电	电动汽车	节能技术	生物燃料	CCUS	氢能替代	碳汇开发
电力							
工业							
交通							
建筑							
土地利用变化							

表 2-2 碳中和关键技术指标的说明

分类	描述说明	表征值	指标类型
目标雄心	国家发布官方文件对各类碳中和技术制定发展目标	特定年份的渗透率或部署量（截面或累积）	文本描述+数值型
部署进展	国家对各类碳中和技术当前的部署情况	当前的项目数、渗透率或部署量（截面或累积）	数值型
政策支持	国家对各类碳中和技术的支持政策的描述（激励型、强制型和配套型）	-	文本描述型
创新能力	国家对碳中和技术的当前创新能力	专利数目	数值型

2.1.1 碳中和技术的目标雄心总结

全球不同国家以官方文件的形式针对各类碳中和技术及相关产业提出了国家层面的战略发展目标，图 2-1 为针对各类碳中和技术已提出战略目标的国家统计其在全球 GDP、人口和碳排放中所占的比例，并且区分了 2022 年及以前提出的目标和 2023 年新增目标的国家所占比例。

已明确碳中和技术发展战略目标的国家在全球 GDP、人口和碳排放上覆盖比例较大，尤其是可再生能源发电技术、电动汽车技术、节能技术和碳汇开发技术。此外，可再生氢、CCUS 技术的覆盖比例也均超过一半。相对而言，生物燃料的覆盖度最低，说明生物燃料的发展规模仍处于较低水平。生物燃料极大程度的依赖于

当地的生物质资源供给，因此仅在拥有特定生物质资源的国家中会得到足够的重视，例如巴西、印度、泰国等国家。

从 2023 年新增目标的国家占全球 GDP、人口和碳排放的比例来看，CCUS 技术的覆盖度最高，2023 年提出 CCUS 战略目标的国家覆盖了全球 30% 以上的 GDP、人口、碳排放（其中包含中国、英国、日本等已有目标国家的更新），从战略目标维度反映了 CCUS 技术在 2023 年的快速发展。此外，可再生能源发电技术、电动汽车技术在高覆盖度的基础上，2023 年持续保持较高的增长速度，相关战略目标仍在不断提出。节能技术的发展已经较为成熟，且由于其含义宽泛在国家技术战略目标中难以明确的定量，故 2023 年新增目标占比较低。可再生氢、生物燃料 2023 年新增目标的占比也较低，很多国家尚未具备发展可再生氢、生物燃料技术的成熟条件。

从碳中和技术的目标雄心来看，发展中国家和发达国家的偏好存在一定的模式差异。许多发展中国家会依靠当地的资源优势，对资源依赖性技术（生物燃料）提出目标，体现在提出该类技术的国家所占的人口比重明显高于 GDP 比重；而发达国家主要通过依托其技术优势制定自身的产业战略方向，体现在提出科技依赖型技术（可再生能源发电技术、电动汽车、可再生氢）的国家所占的 GDP 比重明显高于人口比重。

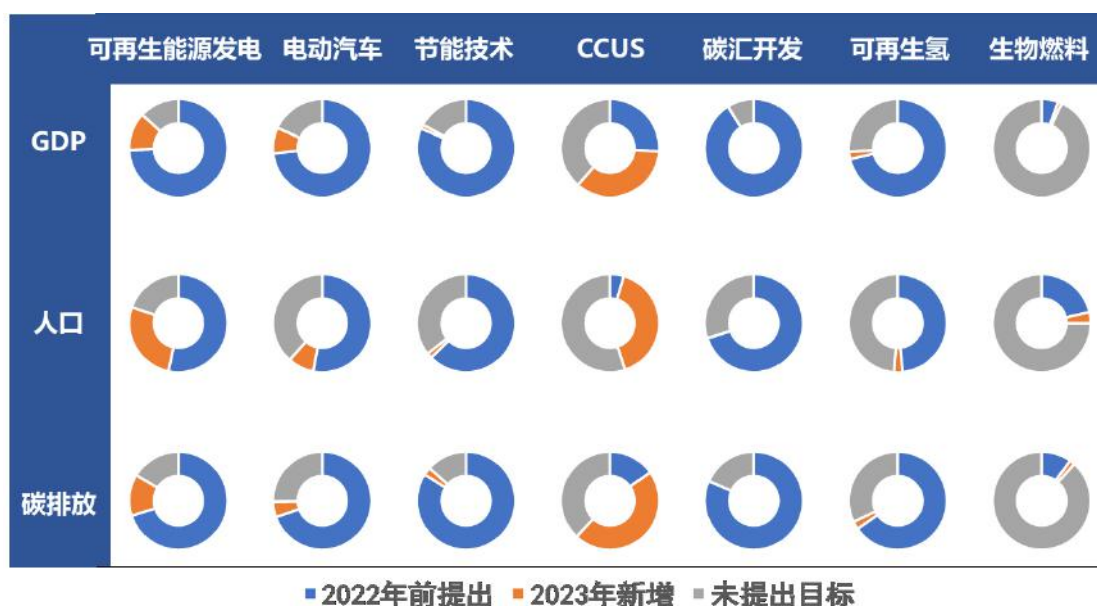


图 2-1 提出碳中和技术目标的国家所占的 GDP、人口和碳排放比重

从碳中和技术战略目标定量化角度来看，节能技术的定义依赖于能效，且其指标是个相对值，甚至是动态变化的；CCUS 技术和碳汇技术多数处于试点阶段，其

技术包含资金投入、成本下降、项目数量、减碳量等多个方面，因此，上述三项碳中和技术难以进行量化的比较分析。

对于其他可量化的碳中和技术战略发展目标进行比较分析，如图 2-2 所示，各国提出量化的技术战略发展目标主要集中在可再生能源发电技术和电动汽车技术领域。2023 年，提出新能源发电占比目标、电动汽车占比目标和氢能部署产能目标的国家分别新增 23、15、7 个，占有提出量化目标战略国家的 20% 以上。同时，新能源发电和电动汽车技术在雄心勃勃的 100% 新能源目标中占比最多，16 个国家提出了新能源发电占比 100% 的目标，28 个国家提出了 100% 的零排放汽车销售量或禁售燃油乘用车的目标。

从国家类别来看，2023 年提出新的碳中和技术目标集中在发展中国家，体现出发展中国家在碳中和技术目标雄心和战略部署的步幅加快。且从已公布的具体碳中和技术的达成时间和目标数值来看，总体上发展中国家的碳中和技术战略目标雄心并不逊于发达国家。但是从总量上来看，提出碳中和技术目标的发达国家数量远高于发展中国家。

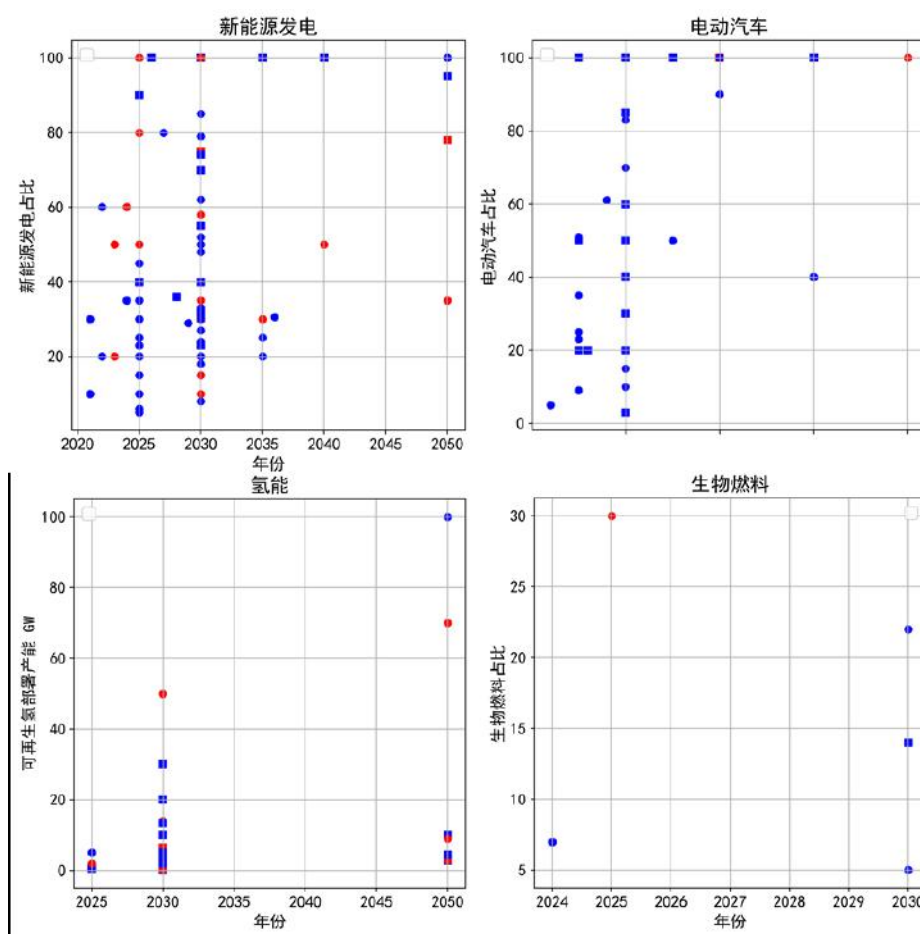


图 2-2 碳中和技术战略达成时间与目标数值（红色表示 2023 年新增）

2.1.2 碳中和技术的部署进展总结

全球正加速碳中和技术的部署，但不同类型国家部署进展的侧重点不同。例如，发达国家和发展中国家在不同类型碳中和技术的部署进展上具有不同的分布规律：对于成熟的技术，发展中国家和发达国家的部署进展基本相同；对于资源依赖型技术发展中国家有较大的潜力；而对于科技含量较高的先进技术，发达国家则走在前列。

总体来看，中国在多种碳中和技术部署中贡献了中坚力量。相比 2022 年，2023 年中国贡献了全球过半的可再生氢技术产能和大量的可再生能源装机以及电动车销量，为这些低碳新型产业贡献了主要力量。其他发达国家在插电混动汽车、生物柴油、CCS 等技术中占优势，这些技术强烈依赖于技术创新，这与经济水平密切相关；而其他发展中国家在水电、生物乙醇、森林碳汇等技术上占优势，这些技术依赖于当地的资源禀赋。

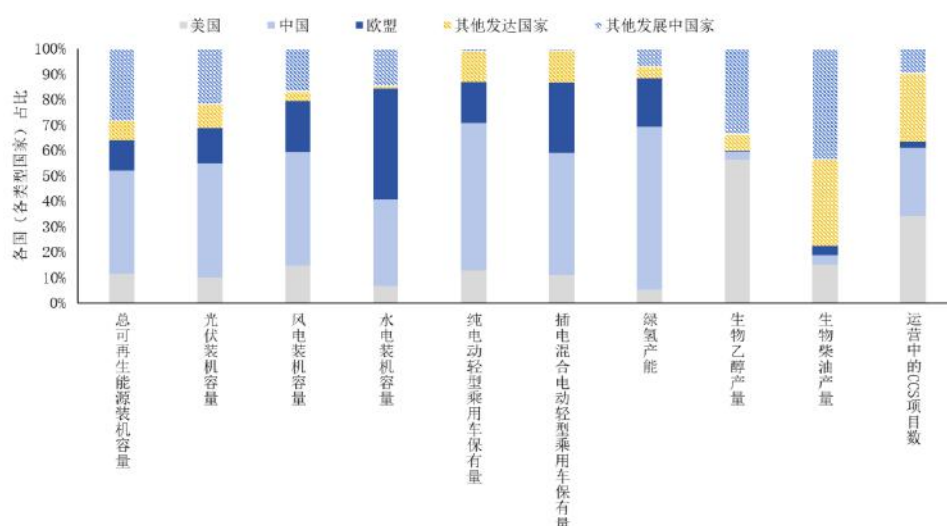


图 2-3 不同类型碳中和技术部署进展的分国家占比图

2.1.3 碳中和技术的部署进展和目标雄心的差距

电动汽车是当前发展最快也是覆盖国家范围最广的消费侧碳中和技术，对电动车技术的分析可以有效展现各国碳中和技术部署进展的差异。图 2-4 以电动汽车销量的渗透率为指标，比较了电动车技术的部署进展和目标雄心的差距，展现了各国历史发展趋势和目标值的差距。

从图中可以发现，当前销量渗透率较高的国家也倾向于制定更加具有雄心的目标。如北欧国家（挪威、冰岛、瑞典、丹麦、芬兰）电动乘用车的销量占比较高，在 2023 年均突破 45%。同时，这些国家均设定了 100% 电动汽车销售目标，挪威

设定在 2025 年，其他北欧国家设定在 2030 年。相较 2022 年，中国的电动车销量占比增速最快，在 2023 年达到 38%，率先达成了 2025 年电动小客车销量占比目标，而在 2021 年，这一数字只有 16%。另外，卢森堡也达成了其 2030 年电动小客车销量占比目标。尽管电动车销量占比靠前的绝大多数国家在最近 3~5 年有快速增长趋势，但在瑞士、英国、希腊等国，销量占比的增长有放缓趋势，而且这些国家距离销量目标仍有较大差距，需要进一步的政策驱动。

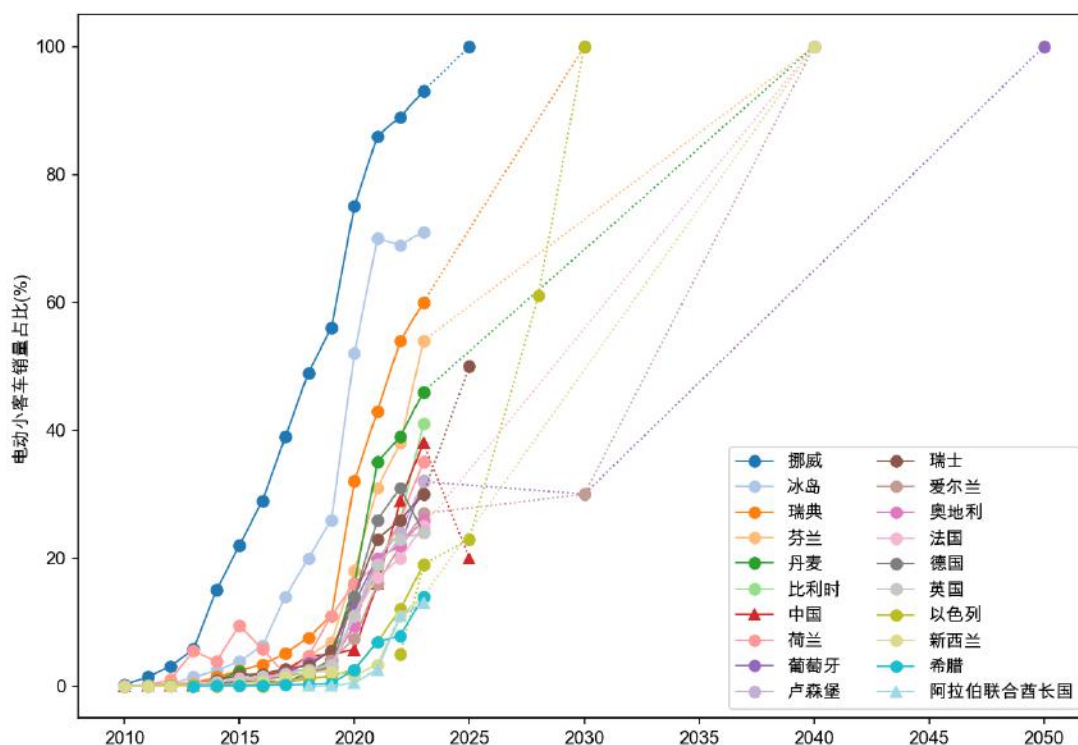


图 2-4 各国当前的电动乘用车销量占比和目标值对比

2.1.4 化石能源转型进展

碳中和路径的核心是以具有碳中和属性的可再生能源替代会破坏全球碳循环系统的化石燃料。两次工业革命使得人类社会大量使用以煤炭、石油和天然气为主的化石能源实现社会的生产和发展，而可持续发展和气候变化的议题需要人类社会逆转这一趋势，逐步淘汰化石燃料。在化石燃料相关产业发展中，由政府主导的化石燃料补贴被视为碳中和进程的重要阻碍要素。化石燃料补贴是指政府为了降低化石燃料价格而对生产或消费化石燃料的企业或个人提供的经济支持。虽然在一些国家，化石燃料补贴被视为支持国内经济发展的重要措施，但是这种政策受到国际社会普遍反对，因为它鼓励了对化石燃料的过度消费，还可能削弱清洁能源技术的发展，不利于各国乃至全球碳中和目标的实现。因此，许多国家已经开始采

取措施逐步减少和最终消除化石燃料补贴，并逐步推广清洁能源。在 2021 年达成的《格拉斯哥气候协议》中，也要求各国逐步淘汰低效化石燃料的补贴。

本报告搜集了化石燃料占总能源消耗的比例，2022 年全球仍有 9 个国家的能源结构中 100%均来自化石能源，以中东地区的化石能源富集地区为主。此外，本报告还搜集了全球各国化石能源的补贴比例，为了可比性，报告计算了单位 GDP 的化石燃料补贴，并选择了排名前 15 的国家展示在图 2-5 中。从图中可见，以中亚（乌兹别克斯坦、土库曼斯坦）、北非（利比亚、阿尔及利亚）和中东（埃及）为主的国家都是通过化石燃料的补贴措施激励化石能源的使用。这些国家大部分拥有非常丰富的化石燃料资源，相关产业也是支持国家发展的命脉，其转型需要付出高昂的成本，难度巨大，在全球转型进程中需要得到更多的重视和国际合作的支持。

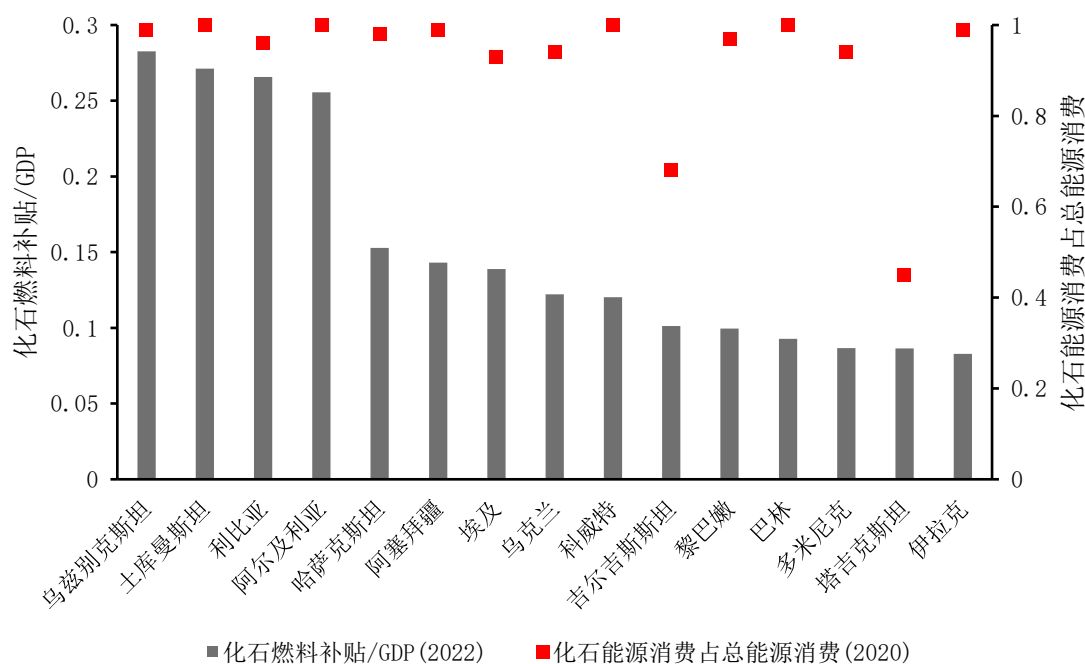


图 2-5 各国化石燃料补贴占 GDP 的比例及化石能源消耗占总能源消费的比例（选择前 15 国家）

2.1.5 碳中和技术的政策支持总结

政策支持方面，全球主要技术应用国家正积极组合各类强制型、激励型、配套型政策以推动各类技术发展。其中，强制型政策涵盖立法、标准、命令等多个层面，激励型政策主要为补贴、税收、基金、贷款等绿色金融手段及试点/合作项目部署，电动汽车、可再生氢技术辅以相应配套型措施。

可再生能源发电技术的政策覆盖度最广，65%（128/197）的国家提出可再生能

源推动支持政策，2023 年，66 个国家更新了或修订了可再生能源发电政策，63 个国家新增了可再生能源发电政策。其中，投资补贴、投资或生产税收抵免等财政激励政策的新增数量最多。节能技术的政策覆盖度次之，14%（28/197）的国家提出节能技术推动支持政策，涉及交通、工业、建筑三个领域，2023 年，9 个国家新增了交通行业节能政策，8 个国家新增了工业行业节能政策，7 个国家新增了建筑行业节能政策。电动汽车、碳汇开发技术的政策覆盖范围较广。可再生氢、生物燃料、CCUS 等资源/经济依赖性技术仅在少数国家进行强有力的政策组合推动。

表 2-3 主要技术应用支持政策一览表（发达国家）

国家	可再生能源发电技术	电动汽车技术	节能技术	可再生氢技术	生物燃料技术	CCUS 技术	碳汇开发技术
美国	×	×0	▲×	×0	▲×	▲×	×
日本	▲×	×0	▲×	×0	▲×	▲×	×
加拿大	▲×	▲×0	▲×	0	▲	▲×	×
韩国	×	▲×	▲×	×0			×
德国	×	×0	▲×	×0	▲×	×	
英国	▲×	▲×0	▲×	×0		×	
意大利	×	×	▲×	×0	▲×		
西班牙	▲×	×	▲×	0	▲×		
澳大利亚	×		▲×	×0	×	▲×	×
挪威	×	×		0	▲×	×	
瑞典	×	×0			▲×		
荷兰	×	▲×0		×0	▲×	×	
葡萄牙	×	×			▲×		
冰岛		▲×0				▲	
芬兰	×	×0			▲×		
新西兰	×	×					×
瑞士	×	×0			▲×		
波兰	×	×0		0	▲×		
法国	×	×0	▲×	×0	▲×		
奥地利	×			×0	▲×		×
比利时	×			×0	▲×		
捷克共和国	×				▲×		
新加坡	×						
丹麦	×					×	
斯洛文尼亚	×						×
斯洛伐克	×						×

注：强制型政策▲；激励型政策×；配套型政策0

对主要技术应用国家进行支持政策对比发现，发达国家重视度较高，发展中国家中，仅中国在各个技术上均推行了支持政策。此外，国家间在技术选择、政策模式上存在差异性。在技术选择上，美国、中国、加拿大等经济体量大国在各个技术上均推行了支持政策。欧洲发达国家倾向于推进交通领域技术发展，重点支持电动汽车、可再生氢、生物燃料发展。依赖于当地资源条件，部分东南亚及非洲国家倾向于推行生物燃料及碳汇开发技术支持政策。在政策模式上，中国和美国倾向于强制型和激励型政策并重，欧洲国家倾向于激励型政策。

表 2-4 主要技术应用支持政策一览表（发展中国家）

	可再生能源发电技术	电动汽车技术	节能技术	可再生氢技术	生物燃料技术	CCUS 技术	碳汇开发技术
中国	×	▲×○	▲×	×○	▲×	▲×	×
印度	×	×○	▲×	×○	▲×		
俄罗斯	×		▲				
巴西	×		▲×	○	▲×	▲	
伊朗	×					×	
沙特阿拉伯	×		▲			×	
墨西哥	×		▲×	×			×
土耳其	×		▲×	×○			×
印度尼西亚	×		▲×		▲×		
越南	×						
南非	×		▲×			×	
泰国	×		▲×		▲×	×	
保加利亚	×				▲×		×
智利	×			×○			
阿根廷	×			×○	▲×		×
马来西亚					▲×	×	
哥伦比亚	×				▲		
菲律宾	×				▲×		×
秘鲁	×				▲×		
巴林	×					×	
埃及	×			×○		×	
伊拉克						×	
肯尼亚	×						×
喀麦隆	×						×
摩洛哥	×						×
阿尔及利亚	×			○			×

注：强制型政策▲；激励型政策×；配套型政策○

对不同技术类别政策推动模式对比发现，不同技术类别政策推动模式存在差异性。可再生能源发电技术、电动汽车技术倾向于以税收减免、补贴、投资等绿色金融政策方式推进发展，少数国家搭配强制型政策或配套措施来促进技术推行。2023 年，有 17 个国家新增了可再生能源投资或生产税收抵免政策，有 8 个国家新增了电动汽车税收减免政策。节能技术、生物燃料技术倾向于以强制命令型政策推动和激励型政策驱动，节能技术主要采用国家标准/规范的形式、生物燃料技术则以生物燃料掺杂要求驱动发展。CCUS 技术、可再生氢技术、碳汇开发技术倾向于推进试点项目激励技术发展，并辅以相应的标准、财政补助及配套设施。2023 年，美国、中国等 CCS 技术发展较为成熟的国家对具体的运行中或计划中的项目给予了大额资金支持。

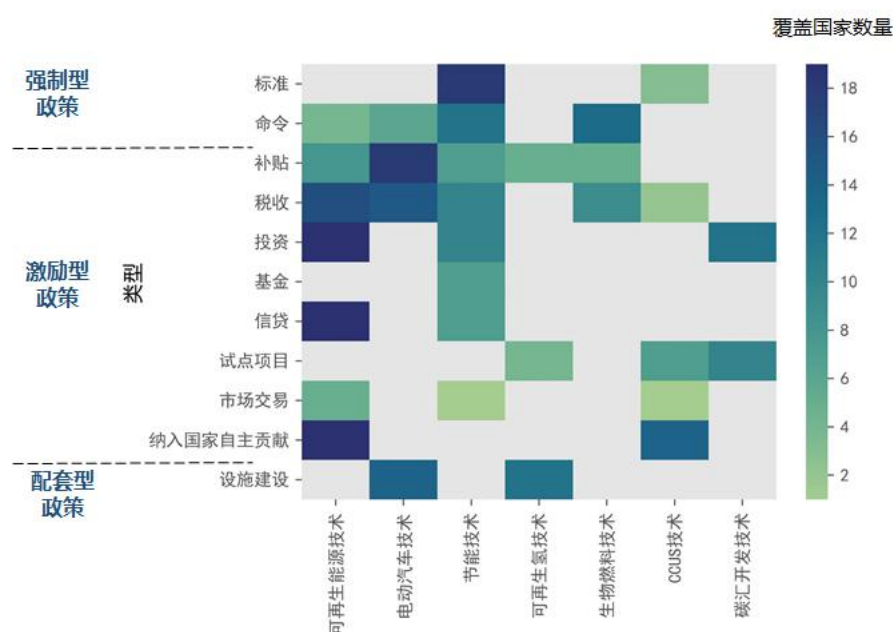


图 2-6 不同技术类别政策推动模式（以 GDP 排名前 20 的国家）

2.1.6 碳中和技术的技术创新总结

在创新能力方面，中国在碳中和技术领域的研究领先全球，在各类碳中和技术论文数量和专利数量均位居榜首。亚洲国家在碳中和技术研究中崭露头角，韩国、日本在碳汇、氢能、电动汽车、可再生能源发电专利数量方面较为领先，印度在论文数量领先。欧洲国家在碳中和技术研究方面均衡发展，德国、英国、意大利和法国等在各个领域都有不错的表现，尤其是德国在碳汇、氢能、电动汽车领域的表现突出。新兴国家在碳中和技术领域的增长迅速，印度尼西亚在碳汇和碳捕集与封存技术创新、巴西在风力发电技术创新等表现亮眼。

表 2-5 2023 年碳中和技术论文数排名前 10 的国家

论文数排名	碳汇	氢能	电动汽车	生物质燃料	光伏发电	风力发电	水力发电	节能	碳捕集与封存
1	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国
2	美国	美国	印度	美国	印度	印度	印度	美国	美国
3	巴西	印度	美国	印度	美国	美国	美国	印度	印度
4	德国	德国	德国	巴西	沙特阿拉伯	英国	巴西	意大利	韩国
5	印度	韩国	意大利	德国	韩国	沙特阿拉伯	意大利	德国	德国
6	加拿大	日本	韩国	西班牙	德国	西班牙	印度尼西亚	英国	澳大利亚
7	英国	沙特阿拉伯	英国	加拿大	英国	埃及	挪威	土耳其	英国
8	澳大利亚	伊朗	加拿大	意大利	西班牙	加南大	俄罗斯	波兰	加拿大
9	西班牙	英国	日本	澳大利亚	意大利	德国	英国	沙特阿拉伯	沙特阿拉伯
10	法国	俄国	法国	英国	日本	韩国	马来西亚	西班牙	西班牙

表 2-6 2023 年碳中和技术专利数排名前 10 的国家

专利数排名	碳汇	氢能	电动汽车	生物质燃料	光伏发电	风力发电	水力发电	节能	碳捕集与封存
1	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国
2	韩国	日本	日本	美国	日本	日本	俄罗斯	日本	美国
3	印度	美国	美国	日本	韩国	韩国	日本	美国	印度
4	美国	韩国	德国	印度	美国	美国	韩国	德国	日本
5	日本	德国	韩国	韩国	德国	印度	美国	韩国	韩国
6	俄罗斯	加拿大	印度	加拿大	澳大利亚	德国	德国	印度	俄罗斯
7	印度尼西亚	法国	法国	澳大利亚	印度	加拿大	巴西	法国	英国
8	南非	英国	英国	巴西	加拿大	澳大利亚	加拿大	英国	澳大利亚
9	巴西	澳大利亚	加拿大	俄罗斯	巴西	英国	印度	加拿大	印度尼西亚
10	土耳其	俄罗斯	俄罗斯	印度尼西亚	西班牙	巴西	澳大利亚	俄罗斯	德国

2.2 可再生能源发电技术

碳中和技术中的排头兵：可再生能源技术是指利用自然资源和自然过程，如风能、太阳能、水力能、生物质和地热能等，生产出清洁的、可持续的能源的科学技术。可再生能源技术具有低碳排放、无污染、可再生性强等优势，被广泛应用于生产和生活领域，尤其是在电力方面，可以优化电力结构，促进电力部门低碳转型。IRENA（International Renewable Energy Agency）的《可再生能源展望：能源转型2050》^①报告显示，到 2050 年全球与能源相关的碳排放需以每年 3.8% 的速度下降，

^① <https://www.irena.org/publications>

才能使全球平均温升控制在 2°C 以内，可再生能源在终端能源消费占比应增至 66%，而能源强度改善速度每年需提高 3.2%。可见，可再生能源在满足排放目标的能源转型中占据了重要地位。

目前常见的低碳技术有光伏发电、风能发电、水力发电、生物质技术等，但可再生能源的部署高度依赖于当地的资源禀赋，因此各地的可再生能源分布差异较大。但是普遍来讲，光伏和风能正日益成为成本最低的电力来源，极有可能在未来 10 年内大多数可再生能源的成本将具备竞争优势。可以预见，随着科技不断发展，可再生能源技术将得到不断的改进和提高，为人类提供更为清洁、便捷、高效的电力来源。

目前，全球只有极少数国家做到了电力部门零碳排放，大多数国家仍然处于刚开始转型的探索阶段，尚未达到大规模应用可再生能源的程度。但是，很多国家已经针对可再生能源的应用提出了雄心勃勃的目标，并且对此颁布了一定的支持政策。

2.2.1 目标雄心

可再生能源装机容量和发电量是衡量可再生能源发电的重要基础指标，近 2/3 的国家已提出相关目标。根据可再生能源全球状况报告显示^①，目前全球已有 133 个国家提出了可再生能源发电容量或发电量目标，其中，107 个国家提出了未来发电占比目标。从涵盖的国家数可以看出，作为重要能源脱碳手段，发展可再生能源在全球得到了广泛的共识。

2022 年提出的新增的新能源发电战略目标主要集中在发电占比、具体技术占比/装机目标等定量指标上。可再生能源发展对于发电量大国很关键，因可再生能源本身的不稳定、不连续的特性以及巨大的用电需求量而更具挑战，可再生能源容量或发电量目标在一定程度反映了该国对于发展可再生能源的态度。图 2-7 展示了全球 107 个国家提出可再生能源发电容量目标的情况。大部分国家提出的都为 2030 年以内的短期目标。具体的发电占比目标数值在 10%~100%，体现了当前各国可再生能源发电技术发展水平的差异。2022 年提出新增的可再生能源发电占比目标多为发展中国家，体现了目前发展中国家对可再生能源发电技术的目标雄心与迅速发展。

在 37 个已经提出 100% 可再生能源的国家当中，有 7 个国家为 2022 年新增的，具体为：厄瓜多尔（2030 年）、尼泊尔（2030 年）、图瓦卢（2025 年）、英国（2035 年）、瓦努阿图（2030 年）、智利（2050 年）、肯尼亚（2030 年）。除了英

^① <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

国、美国等发达国家，提出 100%可再生能源发电的发展中国家数量占据份额更高，这在一定程度上是由于国家发电量需求对可再生能源推广带来不同的挑战。

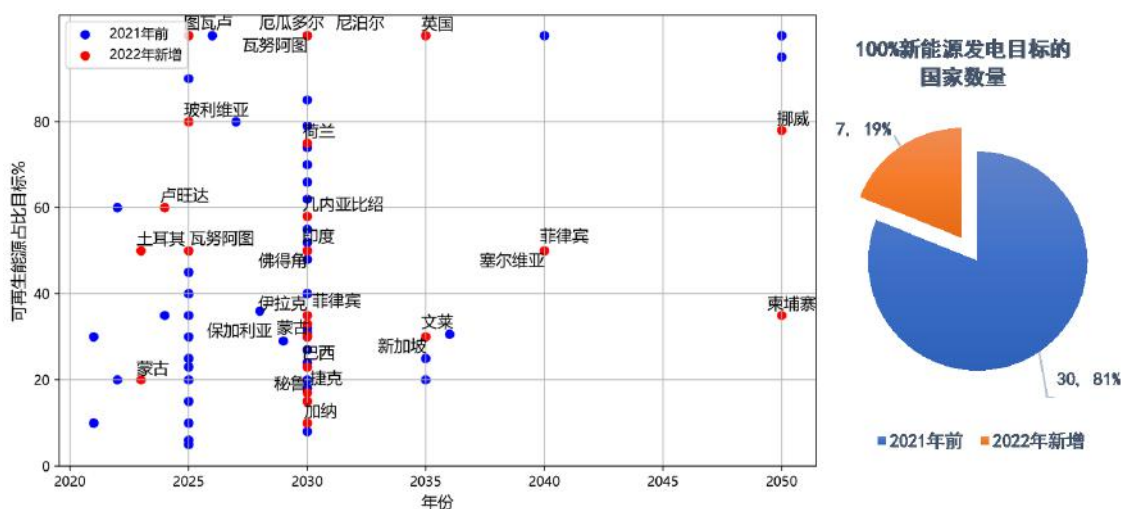


图 2-7 新能源发电占比目标和 100%新能源发电目标国家占比

2.2.2 部署进展

全球可再生能源的部署范围较广，但各国部署进展差距较大。从可再生能源发电装机容量上看，中国占全球可再生能源装机容量的 37.6%，是排名第二的美国的三倍；从可再生能源装机容量和发电量占比上看，发达的北欧国家、可再生能源资源较好的非洲南部国家和南美国家、以及部分岛国的占比较高。

可再生能源发电装机容量一般是指可使用的可再生能源发电的发电厂和其他设施的最大净发电能力，代表了一个国家的可再生能源发电能力。截至 2023 年末，根据 IRENA 数据显示^①，全球可再生能源装机容量 3870 吉瓦，相比 2022 年的 3382 吉瓦，增长了 14%，占 2023 年全球电力总装机的 43%。从具体可再生能源发电技术来看，太阳能发电、水力发电、风能发电装机占总可再生能源装机的比例分别为 37%、33%、26%。其中 2022 年光伏发电装机增长 32%，风能发电装机增长 13%，呈现出高速发展的态势，而水力发电的开发程度已经较高，装机没有显著增长。

图 2-8 展示了全球排名前 20 的国家的可再生能源装机容量总量。虽然全球各国对建设可再生能源发电能力定下了不同程度的目标，但是全球各国的总装机容量差距巨大，排名第一的中国，可再生能源总装机容量是排名第二的美国的 3 倍、是其他 19 个国家总和的约三分之二、占全球总装机容量的三分之一。中国的水电、光伏发电、风能发电和固体生物燃料发电装机容量均为最高。除此之外，美国、德国、印度等国家的新能源发展水平较高。从区域上看，2023 年，亚洲、南美洲的

^① <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>

可再生能源发电部署速度较快。其中，南美洲的光伏发电装机容量相比 2022 年增长 40%。非洲的可再生能源发电装机部署速度较慢，一定程度上反映了可再生能源发电技术在当地的发展情况。

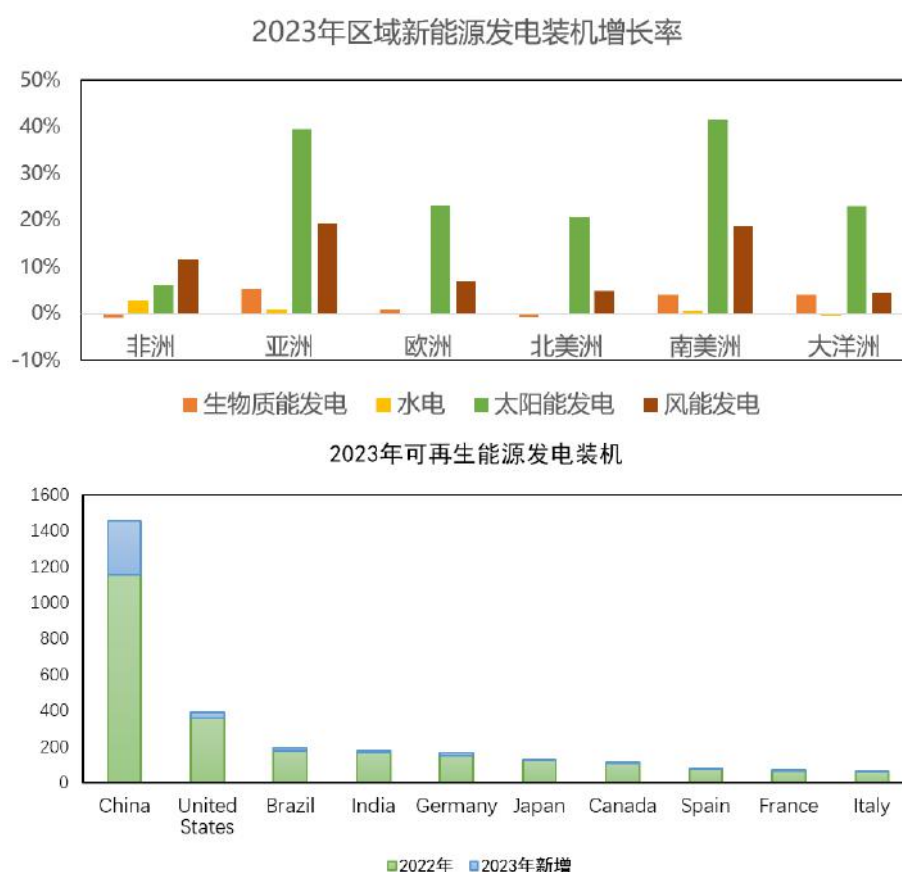


图 2-8 2023 年各区域与主要国家可再生能源发电装机增长

根据 IRENA 数据显示^①，基于最新的全球发电量数据统计，2021 年，可再生能源发电总量为 7858 TW·h，其中，水力发电 4275 TW·h，占比 55%，其次为风能发电（1838 TW·h），太阳能发电（1034 TW·h），生物质能发电（615 TW·h）。在生物质能发电当中，固体生物燃料发电占比 70%，沼气和可再生城市废物发电分别占比 15%和 14%。

尽管可再生能源装机容量代表了各国的发电能力，但考虑到可再生能源的真实发电量受到当地自然条件和技术条件以及各国的用电需求的约束，可再生能源的装机容量还无法完全揭示一个国家实际的能源结构是否清洁。而可再生能源发电占比代表的是一个国家的可再生能源发电量在所有发电量中的占比，可以更直接地体现可再生能源在各国电力转型中的部署进展。当可再生能源发电在一个国

① <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>

家的总发电量中占比较高时，可以说这个国家在实际意义上已经进入了电力部门脱碳进程。目前，全球已有 35 个国家可再生能源发电占比超过一半。其中，以哥伦比亚（68.58%）为代表的南美洲国家、以冰岛（99.99%）和挪威（98.79%）为代表的部分欧洲国家，还有如斐济（60.26%）、洪都拉斯（74.87%）等岛国。但是，目前可再生能源发电占比较高的国家普遍发电量较少。在全球发电量排名前 20 的国家中，只有巴西和加拿大的可再生能源占比达到了一半以上；而越南在 2000 年左右的可再生能源占比高于 50%，但随着经济的发展和稳定能源需求的增加，可再生能源的占比随着时间的变化有所下降，到 2020 年时只有 36%。但是，类似于越南的可再生能源占比逐年下降的国家属于少数个案，大多数国家随着对减缓气候变化的认识 and 需求的增加，可再生能源的发电占比在逐年增加。比如英国，相比较 2000 年可再生能源发电只有 3% 的占比，2020 年可再生能源 40% 的占比增加了十倍以上；德国也在 20 年的发展中增加了五倍以上。

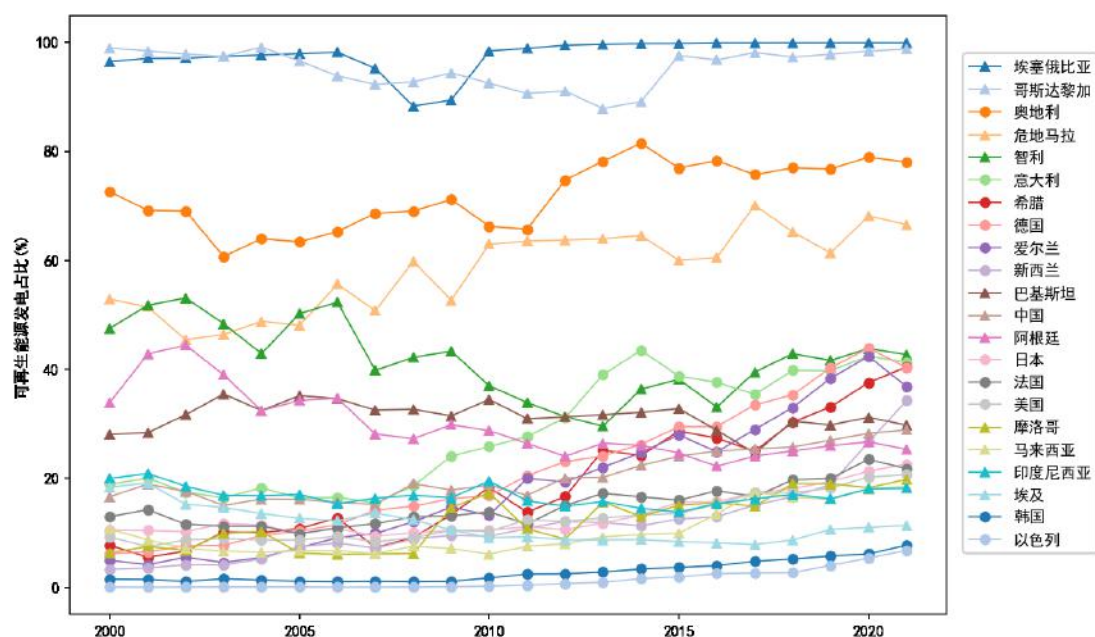


图 2-9 2021 年发电量排名前 20 国家的可再生能源发电占比（三角形为发展中国家）

2.2.3 政策支持

超一半国家提出推动可再生能源发电的支持政策，以补贴、税收减免、投资等绿色金融促进政策为主，其中近 30 个国家提出了化石燃料禁令政策，禁令时间集中在 2030 年及以后，电力部门关注度最高。不同技术条件下的可再生能源往往由于技术、规模或安装的其他特征不同而导致其发展困难，而多样化的可再生能源的激励手段有助于解决这些问题。因此，可再生能源政策的多样化代表了一个国家对

于可再生能源的重视程度和发展可再生能源的市场条件。当前，可再生能源支持政策以电价补贴、可交易的 RECs、税收减免、公共金融手段等激励型政策为主。目前，可再生能源技术政策覆盖度最广，全球已有 135 个国家出台了与可再生能源激励的相关政策。

国家对于可再生能源和可再生能源发电的政策目标，一定程度上反映了其对于可再生能源的政策支持力度。图 2-10 概括了可再生能源政策目标和可再生能源发电政策目标在全球的分布情况。新能源发电相关政策目标中，能源相关和电力相关政策在空间上的分布较为一致。非洲、中亚和俄罗斯相关政策目标覆盖度较低。2022 年，除了日本、挪威和英国，其他新增的新能源发电政策目标均分布在发展中国家。对于可再生能源和可再生能源发电的政策目标进行更新或修订的国家有：安哥拉、玻利维亚、中国、以色列、约旦、帕劳、罗马尼亚，均为发展中国家。

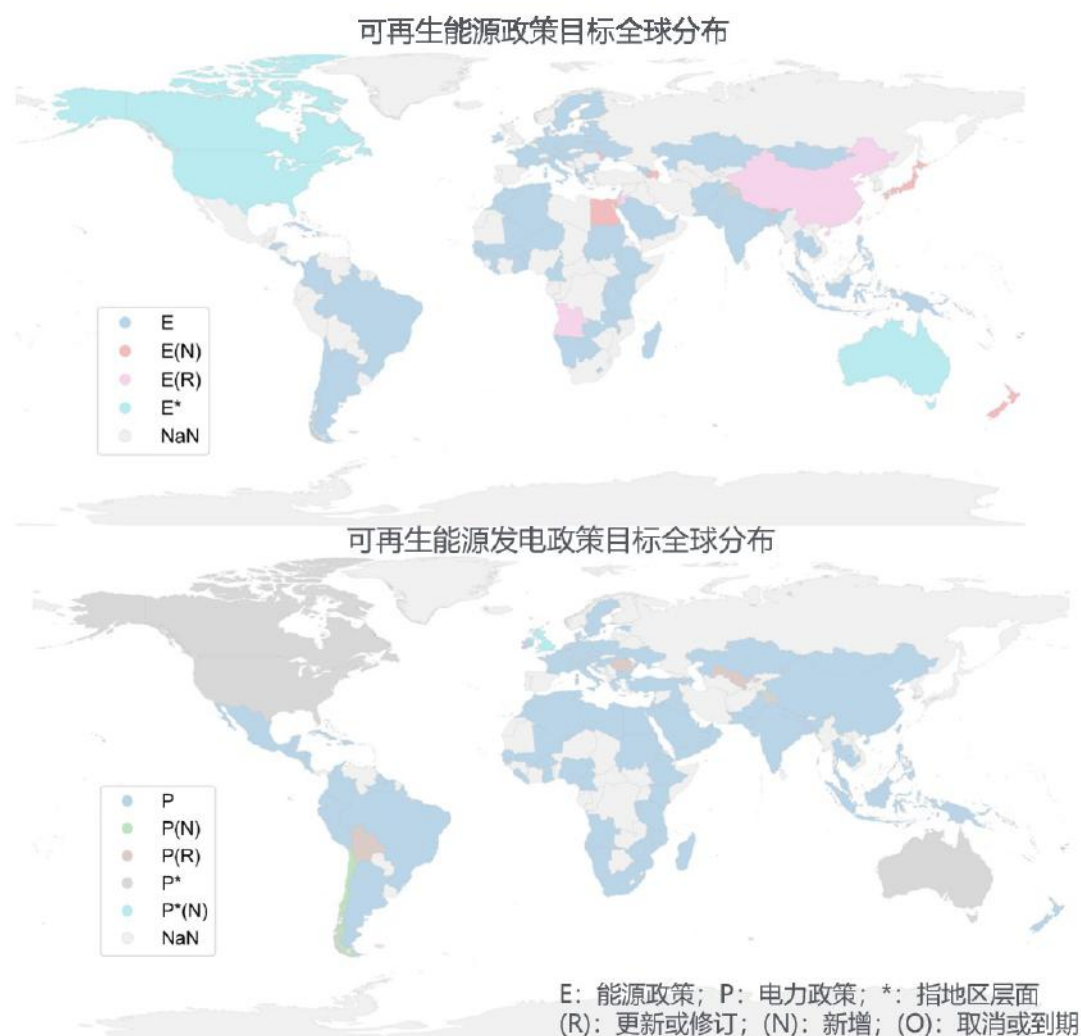


图 2-10 可再生能源与可再生能源发电政策目标全球分布

可再生能源发电技术的支持政策主要包括零碳政策、国家资助贡献目标中对分布式可再生能源的提及、具体技术的制度法规和财政相关的激励政策。表 2-7 对于可再生能源发电的制度法规和财政激励政策的具体含义进行了说明。从具体的支持政策和法规来看，2022 年宣布了大约 80 项新的可再生能源政策（主要以财政/金融激励形式），而监管政策的新增有限，跨行业的政策总数达到 454 项。在宣布相关支持政策的 49 个国家中，超过一半的国家位于欧洲。

表 2-7 可再生能源发电制度法规与财政激励政策

制度法规	净计量/计费政策	屋顶太阳能或其他分布式能源所有者将多余电能输送到电网，并在需要时从电网中购买电能
	上网电价/保费支付政策	设定优惠的电力价格和提供额外的可再生能源发电补贴
	生物燃料混合/可再生能源交通政策	将生物燃料与传统燃料（如汽油和柴油）混合使用，推动交通领域生物燃料的使用
	供热相关政策	在供热领域颁布可再生能源使用和化石燃料禁令政策
财政激励	减税政策	降低销售、能源、二氧化碳排放、增值税或其他税收来促进可再生能源发电目标
	投资或生产税收抵免政策	鼓励私人企业或个人投资于可再生能源发电
	投资补贴相关政策	公共投资、贷款、补助、资本补贴或退税

从具体的新能源发电支持政策来看，零碳政策、INDC 和 NDC 中分布式可再生能源政策这种对于可再生能源发电的整体推动政策数量最多也最为成熟，2022 年的更新多为对已有政策的修订。若进一步细分支持政策的类型，其投资补贴、投资或生产税收抵免等财政激励政策在 2022 年新增的数量最多，体现了各国在财政上对可再生能源发电的支持力度加大。而在制度法规方面，与供热相关的政策新增数量最多。相对而言，针对某一领域或技术的制度法规推行起来难度更大，需要更多地投入，以提高支持政策的有效性。

2022 年，有 22 个国家取消了上网电价/保费支付政策，说明相关政策的推进并不理想。上网电价/保费支付政策的取消是由于多种因素造成的，例如能源市场竞争激烈、监管不到位等政策实施中的阻力，以及电网容量不足、能源存储技术不够成熟等技术限制，导致上网电价政策的实施效果不佳。其次，也有 5 个国家取消了生物燃料混合/可再生能源交通政策。在实际推行过程中面临的生物燃料供应链不稳定、成本过高、技术成熟度不足等挑战可能成为取消这些政策的原因。

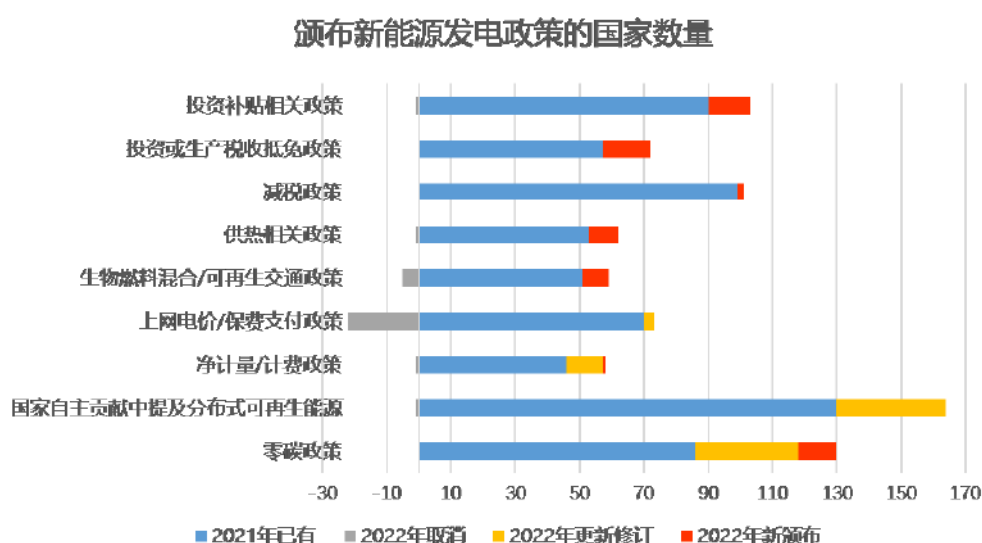


图 2-11 2022 年颁布新能源发电政策的国家数量变化

2.2.4 创新能力

在可再生能源发电技术创新方面，以美国、韩国、德国为代表的发达国家具备强劲的创新能力，以中国为代表的发展中国家显露积极发展的势头。光伏技术的创新主要体现在光伏电池转换效率的提升、成本降低、可靠性增强等方面。美国、韩国、德国、法国等国在光伏技术研究方面处于领导地位，这些发达国家大力支持光伏产业的发展，并在光伏技术创新领域进行了大量的投资和研究。近年来，作为最大的发展中国家中国，也在光伏电池组件的制造和研究方面投入了大量资金，拥有世界上最大的光伏产业链生产基地。风电和水电也是两类应用非常广泛的新能源技术。近年来，风电的技术创新能力提升显著，风机效率大幅增加、度电成本明显下降。风电技术的研发主要体现在机械制造方面，例如涡轮机和叶片设计的改进。因此，风电技术创新的优势国家主要集中在德国、美国、韩国和中国这些本身拥有非常雄厚的工业基础的国家。水电是一种稳定、可靠的可再生能源，与风电较为类似，水电的技术创新也主要体现在高效涡轮机和叶轮设计的改进，其创新能力也主要在日本、韩国、美国和德国等。相较于上述三种技术，生物质发电、地热能技术和潮汐能技术的应用范围相对较少，主要是由于高昂的成本限制了在发电过程中的应用。从国别差异上来看，以美国、德国、英国为代表的发达国家在这些较为前沿的发电技术中的研发投入较大，少数发展中国家，如中国，在这些技术的研发上也有所投入。

图 2-12 以可再生能源发电成本作为指标来反映各国的技术创新。新能源发电成本在过去十年间显著下降，光伏发电的度电成本从 2010 年的每千瓦时 0.3—0.5

美元下降到 2022 年的每千瓦时 0.04—0.1 美元（以 2022 年美元价格计），陆上风电的度电成本从 2010 年的每千瓦时 0.1—0.2 美元下降到 2022 年的每千瓦时 0.03—0.05 美元（以 2022 年美元价格计）。近年来，各类技术的度电成本下降速度逐渐放缓。值得注意的是，日本的可再生能源发电成本，尤其是陆上风电发电成本显著高于其他国家。由于日本对废弃农用地的使用限制、太阳能电池价格高昂、并网工程困难，导致日本可再生能源发电成本居高不下。

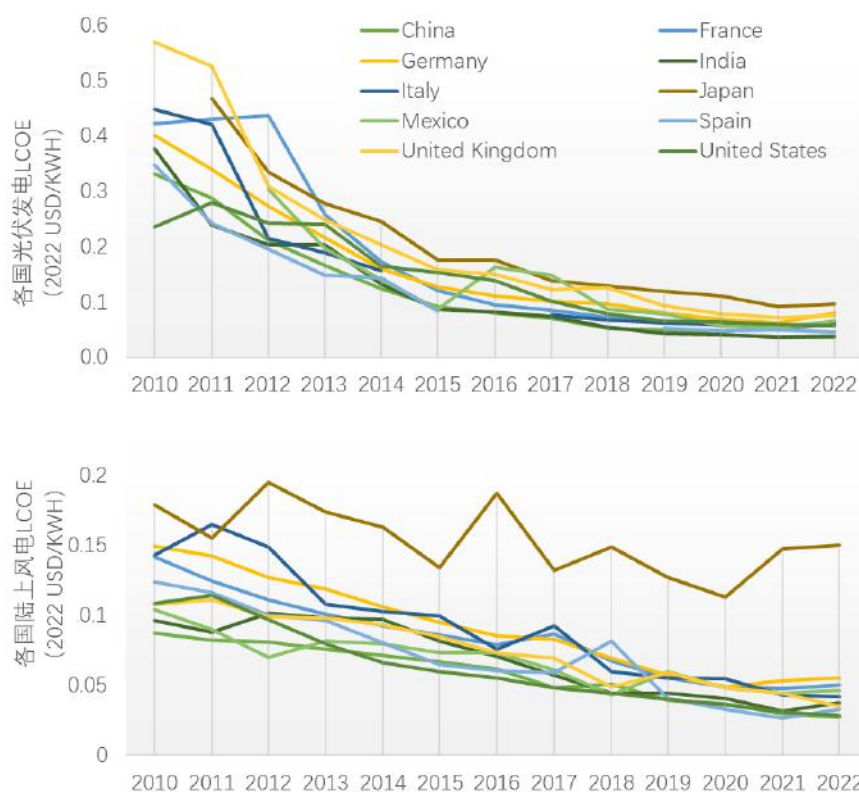


图 2-12 全球主要国家风光发电成本

2.3 电动车技术

交通部门是实现碳减排的先驱。在碳中和目标大力推广的背景下，电动汽车具有不直接使用化石燃料和减少碳排放的优势，倍受全世界的关注。电动汽车作为一种新型能源车辆，以车载电源为驱动力，通过电机驱动车轮转动。其主要结构包括电力驱动及控制系统、传动装置和工作装置，其中电力驱动及控制系统是电动汽车的核心。目前电动汽车技术相对成熟，已经可以与传统的燃油汽车平价竞争。当前世界各国正在致力于发展和普及电动汽车，减少燃油汽车的数量，从而有效降低对传统化石能源（如石油）的需求，增加电力资源的使用，以促进可再生能源发电占比日益提高，缓解碳排放问题。

在电动汽车战略目标上，全球有超过 50 个国家提出了电动汽车销量或保有量的目标，有超过一半的国家提出汽车完全电动化（或淘汰燃油汽车）的愿景。2030 年新增目标的国家几乎都提出了雄心勃勃的电动化占比的目标。提出电动汽车销量目标的国家主要集中在欧美、东亚和东南亚地区，欧洲（尤其是北欧）、美国和中国的目标雄心较大。目前电动汽车市场发展较好的国家在目标设置上更为激进，在交通领域迫切的碳减排压力之下，可靠性较高的电动汽车替代仍需要更多国家明确的战略目标支持。

在电动汽车发展方面，欧美发达国家和亚洲部分国家的发展较为领先。从绝对数量上看，中国的电动汽车销量和保有量均为全球第一，且增量大；从市场占比上看，北欧国家（尤其是挪威）发展较好，挪威电动汽车销量和保有量占比高达 93% 和 29%；从电动车技术看，纯电动车发展最快，插电式混合动力车其次，但有后来居上的趋势。

在电动汽车创新方面，中国是电动汽车创新能力最强的国家。德国、美国和日本具有经典老品牌的汽车生产国，依靠长期在汽车领域的耕耘，目前在论文数方面仍然处于领先地位。发展中国家如中国和印度正持续加大对电动汽车领域的投资，专利数量正在不断增加。相信在不久的将来，这些电动汽车新兴国家将会与老品牌汽车发达国家并驾齐驱，共同前进。

2.3.1 目标雄心

新提出电动汽车销售量和保有量目标的国家增加了 80%，其中新增国家几乎都提出了雄心勃勃的 100% 零排放汽车销售量或禁售燃油车的销售占比目标。根据 IEA 的全球电动汽车数据库^①，绝大多数国家的销量目标以占比的形式呈现，在 30 个 100% 电动车销售量或禁售燃油车目标的国家中，有 18 个国家于 2023 年提出电动车 100% 零排放销售量或禁售燃油车的目标，其平均时间节点为 2038 年。15 个国家提出了在 2040 年实现电动车 100% 零排放销售量或禁售燃油车的目标。厄瓜多尔提出实现电动车 100% 零排放销售量或禁售燃油车的目标时间最早在 2025 年，巴西提出实现目标的时间最迟在 2060 年。中国提出 2035 年电动汽车在轻型乘用车销售中的份额达到 100%（其中不少于 50% 的纯电动汽车）。从中近期来看，瑞士提出 2025 年电动车（包括混合动力电动车）的市场占比达 50%。整体上看，提出电动汽车销量目标的国家主要集中在欧美、东亚和东南亚地区，欧洲（尤其是北欧）、美国和中国的目标雄心较大。

^① Global EV data explorer, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2024>

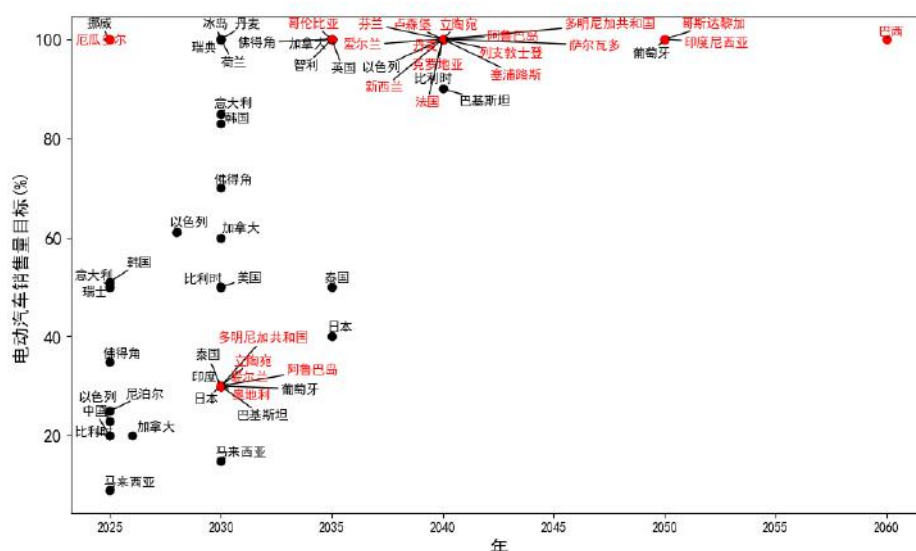


图 2-13 电动汽车目标渗透率情况（红色为新增目标）

2.3.2 部署进展

全球电动汽车销量和保有量正在快速增长，但各国电动汽车销量和保有量的绝对量及其占比差异较大。目前中国、德国、美国和北欧国家的电动汽车部署进展较好，其中中国的电动汽车销量和保有量的绝对数量在全球遥遥领先，而挪威的电动汽车销量和保有量占比在全球遥遥领先。

轻型乘用车是目前道路交通最主要的车辆类型，也最能反映一个国家汽车市场的发展状况。而电动轻型乘用车是目前电动汽车中最为成熟且发展势头最好的车辆类型，电动轻型乘用车销量和保有量是反映各国电动汽车市场发展的重要指标。本指标数据基于 IEA 数据库^①，从电动轻型乘用车销量的绝对量来看，全球 2023 年的电动轻型乘用车超过 1300 万辆，较 2022 年销售量增加了 300 万辆。其中中国销量最多，达 810 万辆，占全球电动车销量的 60%；美国销量 140 万辆，德国销量 70 万辆，英国和法国均超过 40 万辆。从电动轻型乘用车销量占比来看，北欧国家的发展情况较好，其中挪威的电动轻型乘用车已经主导市场（93%）；其他国家中，冰岛为 71%，瑞典为 60%，芬兰为 54%。过去一年，芬兰增长最多，增长了 16%，德国下降了 7%。

从电动轻型乘用车保有量的绝对量来看，2023 年，全球电动汽车保有量为 3960 万辆，较 2022 年增加 1300 万辆。其中，中国的电动轻型乘用车保有量达 2180 万辆，美国超过 480 万辆，德国超过 250 万辆，英国和法国均超过 150 万辆。从电动轻型乘用车保有量占比来看，北欧国家的发展情况较好：挪威为 29%，冰岛为 18%，瑞典、丹麦超过 10%。过去一年，冰岛电动轻型乘用车保有量占比增加最多为 4%。

^① Global EV data explorer, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2024>

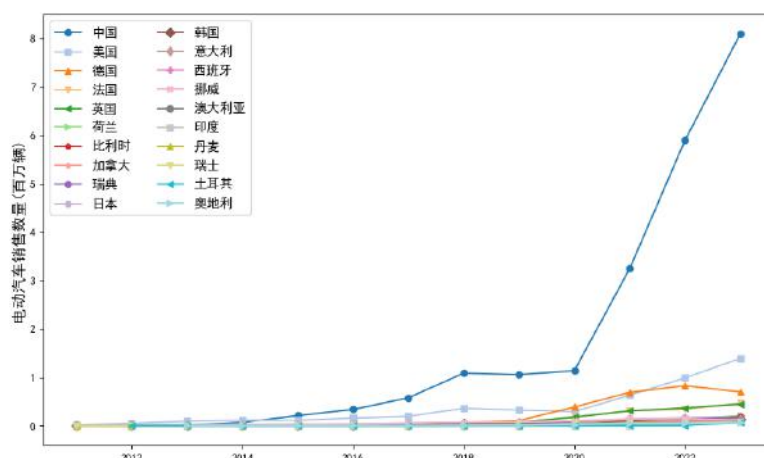


图 2-14 2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车销量变化（绿色为发展中国家）

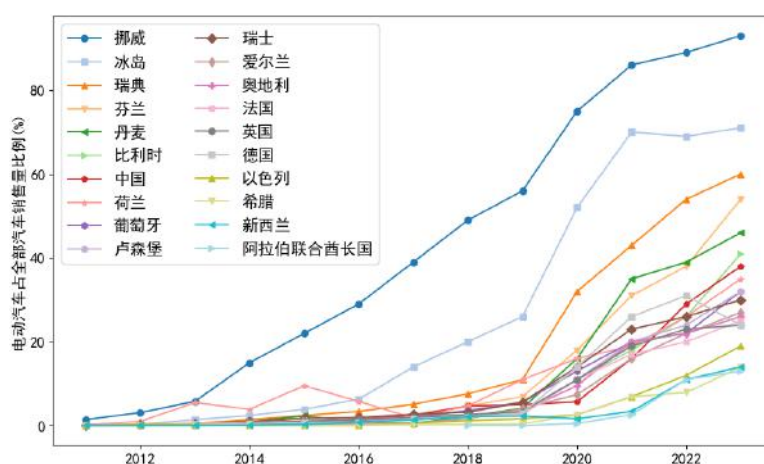


图 2-15 2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车销量占全部汽车比例变化

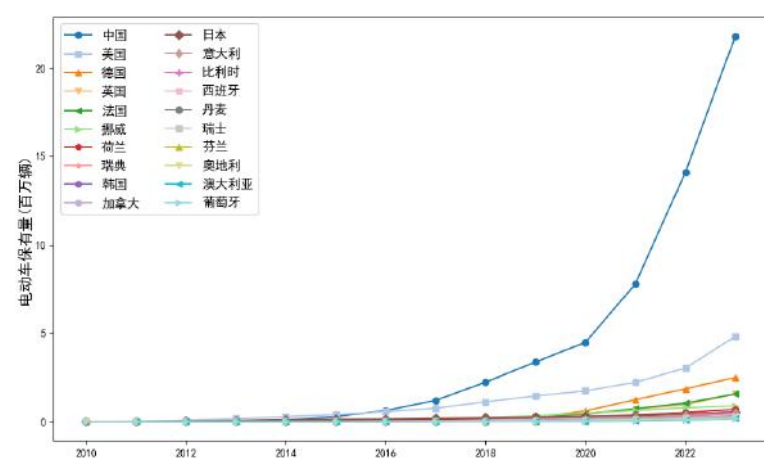


图 2-16 2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车保有量变化

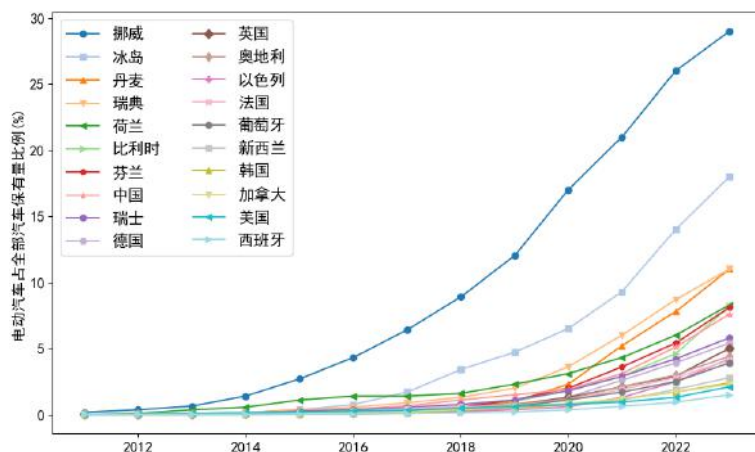


图 2-17 2010—2023 年全球排名前 20 的国家电动轻型乘用车保有量占全部汽车比例变化

从技术上看，电动汽车的种类主要包括纯电动车、插电式混合动力车、燃料电池电动车等。纯电动车是指只靠电池（没有内燃机）借助电机提供动力，驱动汽车行驶；插电式混合动力汽车由燃油发动机和电动机提供动力，可实时切换纯电、纯油以及油电混合模式；燃料电池汽车通过燃料的化学能转化为电能，提供行驶所需的能量，并由电动机驱动汽车行驶，目前主要的燃料类型为氢。当前，纯电动车发展最快，插电式混合动力车其次。2023 年全球纯电动车销售量为 925 万辆，插电式混合动力车 420 万辆，燃料电池电动车仅为 0.9 万辆；自 2020 年以来，纯电动车年均增长 120%，插电式混合动力车年均增长 113%，燃料电池车年均增长 7%。从保有量看，2023 年，全球纯电动车保有量为 2750 万辆，插电式混合动力车为 1200 万辆，燃料电池车为 6.6 万辆；自 2020 年以来，纯电动车年均增长 103%，插电式混合动力车年均增长 88%，燃料电池电动车年均增长 53%。

从国别上看，中国是全球最大的纯动车和插电式混合动力车销售市场，韩国是最大的燃料电池电动车市场。

从销售量看，2023 年中国纯电动车销售量为 540 万辆，占全球纯电动车销量的 60%；插电式混合动力车销售量为 270 万辆，占全球插电式混合动力车销量的 67%。韩国燃料电池电动车销售量为 4300 辆，占全球燃料电池电动车销量的 48%。从保有量看，2023 年中国纯电动车保有量为 1600 万辆，占全球电动车保有量比例为 59%；插电式混合动力车保有量为 580 万辆，占全球插电式混合动力车保有量比例为 49.3%。韩国燃料电池电动车保有量为 3.4 万辆，占全球燃料电池电动车保有量比例为 51.3%。绝大多数国家电动车技术以纯电动车为主导；巴西、比利时、智利、意大利、希腊、西班牙、斯洛伐克等少数国家以插电式混合动力技术为主导。

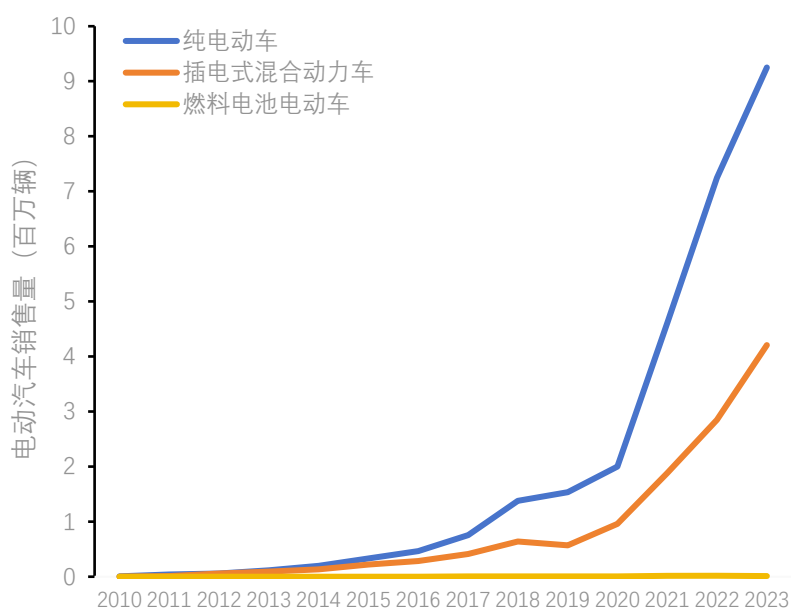


图 2-18 2010—2023 年全球不同类型电动车销售量变化

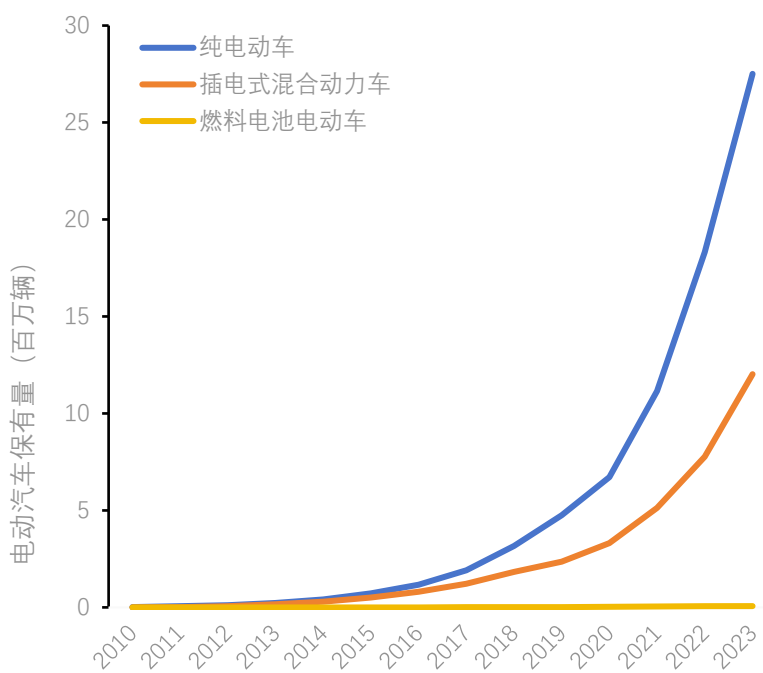


图 2-19 2010—2023 年全球不同类型电动车保有量变化

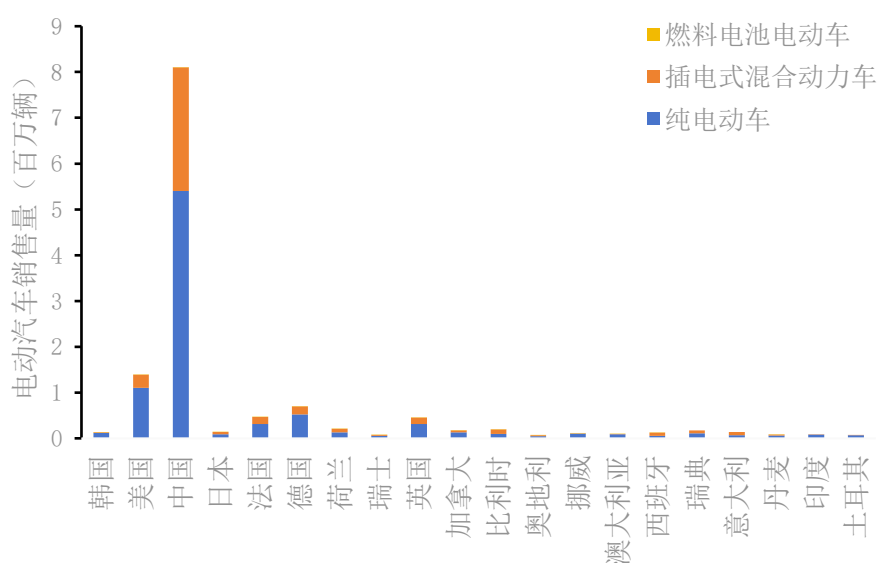


图 2-20 2023 年不同类型电动车销量排名前 20 的国家

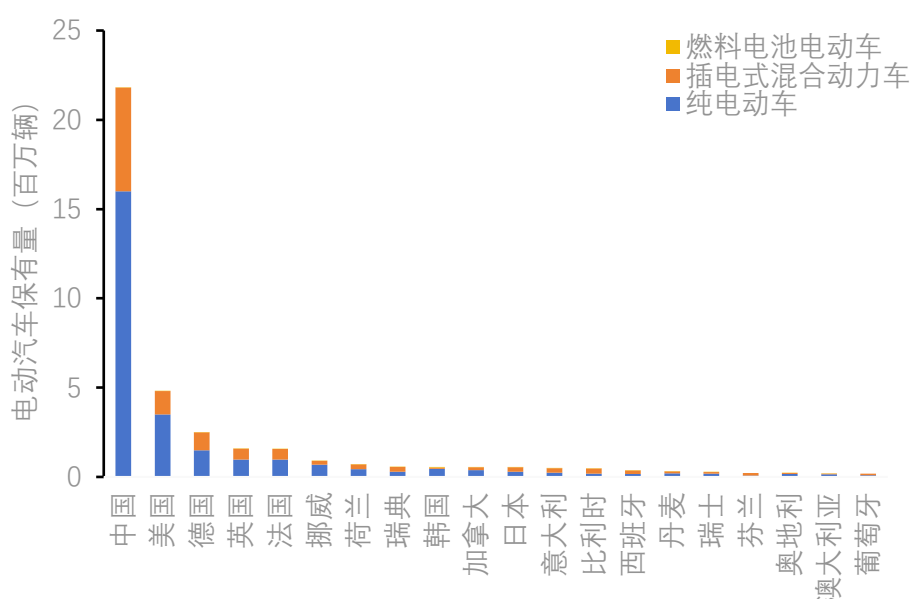


图 2-21 2023 年不同类型电动车保有量排名前 20 的国家

2.3.3 政策支持

以税收减免、补贴等政策推进电动汽车发展是主流，少数国家搭配强制型政策或配套措施来加速其电气化战略目标的实现。目前全球已有 50 多个国家或地区发布了关于发展电动汽车的战略目标，尽管不同国家激进程度有所差异，但无一例外的都体现了政府对于电动化趋势的重视和支持。为了达成这些战略目标，需要相应的激励政策予以支持。基于 IEA 政策数据库^①，表 2-8 汇总了电动车销量排名前

① <https://www.iea.org/policies>

20 的国家的激励政策，并将其分为命令管理、补贴类型、税收减免以及配套措施 4 大类相关政策。中国、美国和英国形成了较为全面的电动汽车部署推动政策体系。各国都在需求侧积极提出具体的电动车补贴和税收减免政策并且有具体的行动，而在供给侧的补贴政策推动上较弱如对电动汽车产业的投资。各国的政策通常更倾向于设定目标和提出指导原则，而不是直接推动电动汽车的销售或者实施传统燃油车的禁令。2023 年，较多的国家（法国、日本、瑞士、丹麦、印度）在电动车充电桩建设方面部署了相关的政策；英国、加拿大的激励政策侧重在电动车销售方面；英国在电动车投资方面推动了政策部署；美国、丹麦、奥地利在电动车税收减免方面推动了政策部署。挪威由于较高电动汽车渗透率，正在逐步取消高端电动车的增值税优惠。综合来看，这些激励政策的实施为电动化趋势的发展提供了有力的支持。随着技术的不断革新和政策的不断完善，电动汽车将成为未来汽车产业的主流趋势。

表 2-8 电动汽车技术主要应用国家支持政策一览表

	燃油/电动车销售	补贴		税收减免	充电桩建设
		电动车投资	购买电动汽车		
中国	2	2	4	4	2
美国	3	3	4	2→3	3
德国	1	1	2	3	2
英国	2→3	2→4	3	2	3
法国	3	2	3	0	0→2
挪威	1	0	0	0	0
瑞典	1	3	2→4	0	3
韩国	1	0	2	2	0
意大利	0	2	2	0	0
加拿大	2→3	3	2	3	2
荷兰	1	0	3	4	0
日本	1	0	4	4	0→1
比利时	4	0	4	4	2
西班牙	1	0	1	3	2
瑞士	1	1	0	0	0→2
丹麦	1	2	0	2→4	2→3
印度	3	4	1	0	2→3
奥地利	2	0	3	2→3	2
以色列	2	0	0	0	0
葡萄牙	1	0	2	4	0

注：0-无；1-强调；2-具体行动；3-具体政策；4-具体行动+政策；→表示 2022 年到 2023 年变化。

2.3.4 创新能力

中国已成为全球电动汽车技术创新的引领者。电动汽车技术创新主要集中在电池技术、车辆结构和智能技术等方面。电动汽车的电池是其核心部件，电池技术的改进可以大幅提升电动汽车的续航能力和性能。近年来，针对电池材料、结构和制造工艺的研究不断深入，涌现出了一系列新型电池技术。电动汽车相对于传统汽车来说，有着不同的驱动方式和动力系统，因此车辆结构和设计也需要进行相应的改进和优化。此外，随着人工智能和物联网技术的快速发展，智能化已经成为电动汽车技术创新的一个重要方向。智能驾驶、车联网、自动化控制等技术的应用，不仅可以提升电动汽车的性能和安全性，还可以改善用户体验和驾驶舒适度。图 2-22 描述了不同国家的论文数目占比变化，并将其作为技术创新能力的主要定量指标。

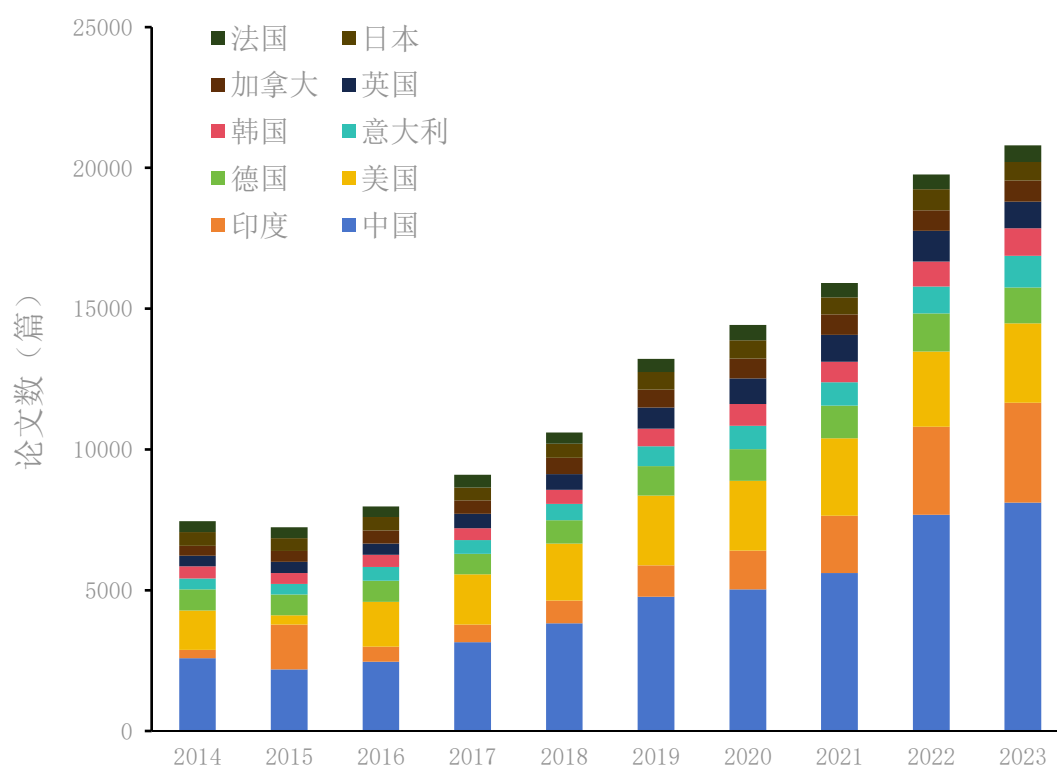


图 2-22 主要国家发表于电动汽车有关的论文数

从图中可以看出，全球论文数不断增加，自 2020 年以来，中国电动汽车论文数年均增长 15%，已成为全球电动汽车技术创新的引领者（论文数约占到全球的 39%），在电动汽车技术产业链上具备强大的创新能力。中国政府在电动汽车技术研发上加大了投入，出台了一系列财税政策及研发补贴措施，以鼓励企业加大电动汽车技术的研究和开发。这些政策的实施有效推动了中国电动汽车产业的快速发展

和技术创新。例如比亚迪公司是中国最早进入电动汽车领域的企业之一，其在电动汽车电池技术和电机技术等方面拥有自主研发能力。此外，印度在电动汽车论文数方面增长迅速，2020—2023 年论文数年均增长 50% 远超其他国家。

2.4 节能技术

节能与能效技术在过去一年引起了全球决策者更多的关注与重视，体现在相关政策的更新与加强。全球呼吁需要更有雄心的节能与能效目标，当前的目标不能满足未来的需求，但节能技术的市场部署与研究创新进展依然良好。

全球能源与气候危机的发酵推动了能源转型，节能问题在过去一年引起了更多的关注。2023 年 12 月在迪拜召开的 COP28 大会上，各国联合承诺到 2030 年将能源效率提高一倍，以满足能源相关排放在 2050 年达到净零的需要，从而最终服务于实现《巴黎协定》将全球温升控制在 1.5℃ 的目标。而据 IEA 的研究，尽管能效政策的势头正盛，但全球能效提升的实际进展并不理想，2023 年全球能源强度的增长率仅为 1.3%，低于 2% 的长期趋势。以下从目标雄心、支持政策、部署进展以及创新能力四个维度，对全球节能与能效技术的进展情况进行追踪与更新分析。

2.4.1 目标雄心

能效目标雄心仍然呼吁全球有更多的进展，并需要各国统一其目标的指标标准。在此前检索欧盟委员会网站及查阅分国别目标等工作基础之上，本报告对全球主要能耗国家（能耗排名前 25）以及欧盟国家的节能与能源效率的目标雄心的进展进行了追踪与更新。主要能耗国家中，已经提出目标的国家并没有对目标进行更新，而仅有埃及在其国家能源效率行动计划（National Energy Efficiency Action Plan）的第二版中更新了到 2030 年能耗减少 18% 的目标。在主要能耗国家中，仍有 7 个国家没有明确提出节能或者能效的目标雄心，而这些国家占据了全球能耗的近 1/4（图 2-23）。全球能效目标雄心的另一大进展是欧盟提出了 2030 年预期最终能源消费减少 11.7% 的目标，每年的节能率从 0.8% 增加到 1.3%（2024—2025 年）和 1.5%（2026—2027 年），从 2028 年起增加到 1.9%。这相当于 2024 年至 2030 年期间年度平均节能 1.49%。不过欧盟国家对此的响应并不积极，仅有塞浦路斯、希腊、卢森堡与荷兰更新了其长期能效的目标雄心。

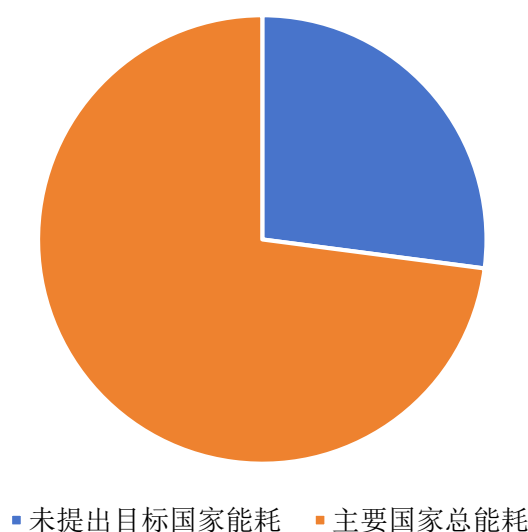


图 2-23 主要能耗国家中未提出目标国家占比

在 2023 年底举办的 COP28 气候峰会上，近 200 个国家联合做出承诺，到 2030 年将全球可再生能源容量增加两倍以及将全球能源效率提高一倍。根据国际能源署（IEA）的估算，这就需要在 2030 年前全球能源效率的平均年增长率达到一倍，即从 2022 年起全球能效的提高从每年的 2% 增长提高到每年 4%。结合这一目标审视当前的全球情况，一方面是目标雄心不足，绝大部分国家仍然没有提出长期目标，特别是部分能耗大国；另一方面，已经提出的目标存在标准不统一、进展难追踪、横向不可比等问题。在这些目标中，有以节能百分比计或以绝对量计的指标，也有针对单位 GDP 能耗的指标；有明确根据基年划定的指标，也有根据基线情景划定的指标；有单独针对目标年提出的量化指标，也有针对逐年进步率提出的量化指标。目标的指标体系混杂，给全球目标雄心的评估、横向的比较分析以及追踪各国的进展带来了较为严峻的挑战。

2.4.2 部署进展

节能技术在各国部署进展依然存在不平衡，发达国家的渗透率普遍高于发展中国家，且发展中国家的节能技术部署更缺少对统计的关注。从热泵技术和太阳能热水器的部署来看，中国已成为全球最大的热泵市场，且人均太阳能热水器面积增长全球最高。

本指标基于欧盟 ODYSSEE-MURE 数据库^①以及 IEA 报告^②对热泵在全球各国的市场渗透率进行了进展追踪，并分析了太阳能热水器的部署情况，用以评估各国

① <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/>

② <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps-in-china>

能效技术市场进展。整体来看，截止到 2020 年末，全球范围内的热泵安装量超过 1.8 亿台，其中中国、北美和欧洲地区的安装量排名前三，分别达到了 30%、25% 和 10%，共计占全球热泵总安装量的 65%，预测随着热泵技术的不断成熟，未来全球热泵安装量将会继续提升。分国别来看，空间供暖热泵的市场份额在所有主要热力市场中普遍增加（图 2-24），表现较好国家包括斯洛文尼亚（增幅达 27.9%）和马耳他（市场份额连续两年都是 100%），而意大利（-8.4%）与芬兰（-6.7%）市场份额下降较多。

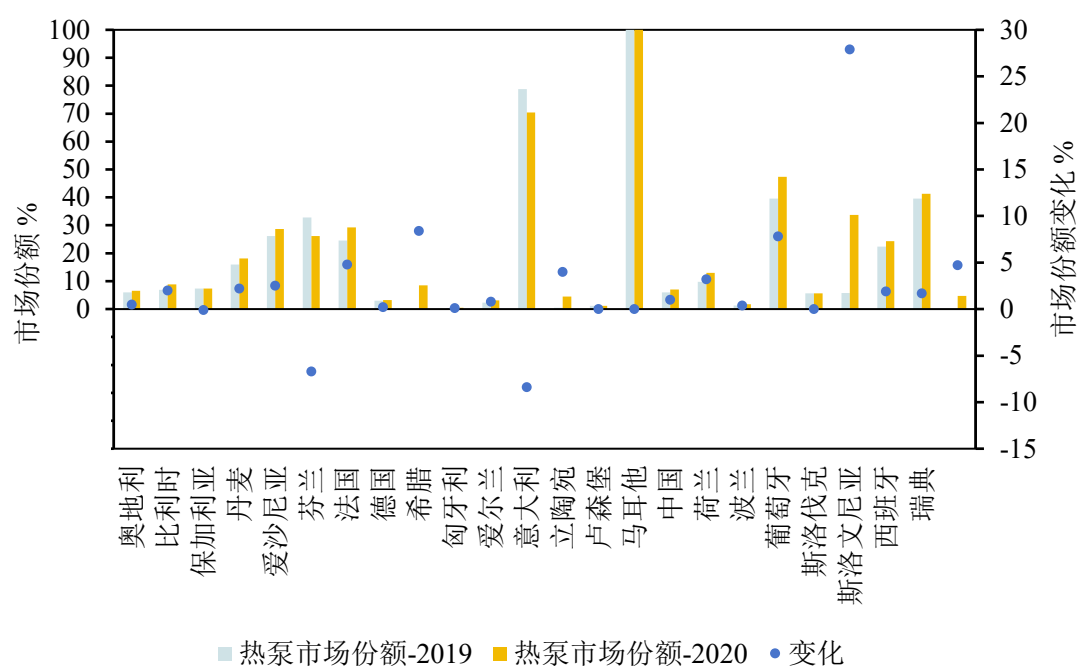


图 2-24 主要市场热泵市场份额及其变化

太阳能热水器往往与建筑节能改造密切相关，其应用可以有效降低建筑能耗。采用人均太阳能热水器安装面积作为评估该技术部署的进展指标，对中国以及欧洲这两个主要市场的情况进行了追踪分析（图 2-25）。整体来看，全球太阳能热水器的部署呈现增长的趋势；具体到国家，中国是最主要的市场，在全球装机容量中占比可达 70%，且进步也最为突出（增幅高达 860%）。波兰与斯洛伐克的增幅均超过 25%，拉脱维亚下降较多（66%）。

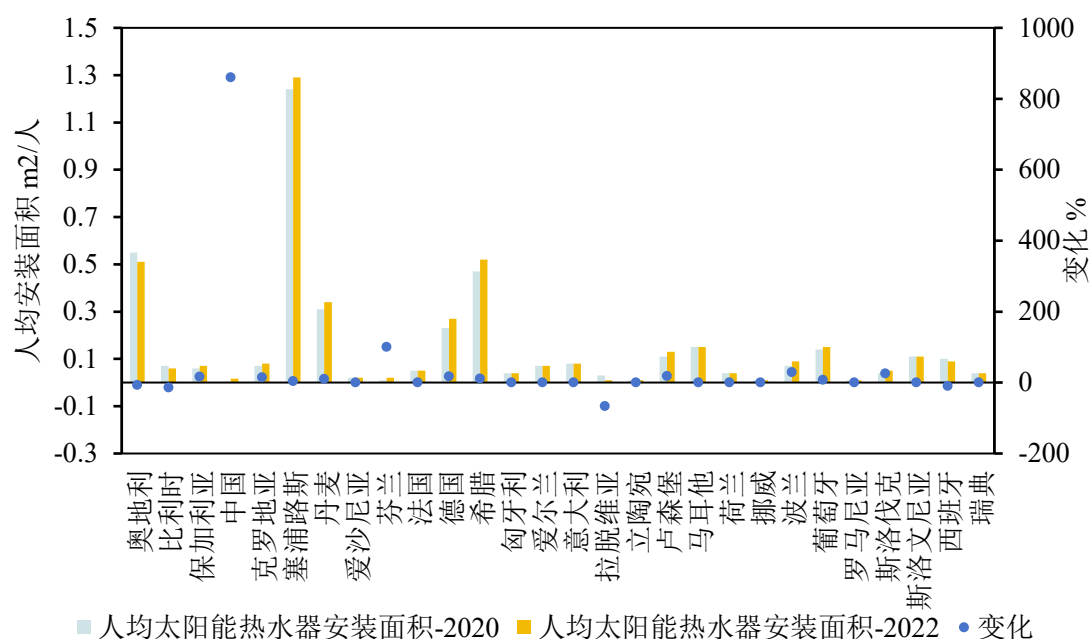


图 2-25 太阳能热水器部署进展

2.4.3 政策支持

对于节能技术的政策支持各国存在显著的差异，从全球整体角度来看仍需继续完善政策体系。基于 IEA 政策数据库^①，如表 2-9，总结更新了全球能耗前 20 名国家的工业部门、交通部门和建筑部门在节能技术方面所颁布的强制型政策和激励型政策，发现各国政策体系与更新情况存在显著差异。

整体来看，各国的政策以多样化的激励政策为主，激励型政策的行业覆盖度显著高于强制型政策，特别是德国、法国等欧洲国家。从更新情况来看，大部分国家的政策覆盖度都有所提升，如德国加强了对工业和交通领域激励型政策的关注，巴西加强了对建筑业的激励型政策的关注，印度尼西亚同时新增了建筑和交通领域的强制型政策和激励型政策。但仍有一些国家没有进行政策的更新，如俄罗斯、印度、日本等。通过对比两年间各行业词频的变化，发现建筑行业从 51 增长至 68，交通行业从 38 增长至 57，工业从 53 增长至 65，这反映了建筑与公共设施节能改造在全球范围内引起了更多更广泛的关注，成为这一年的政策热点。此外，政策的更新情况还反映出，更新较少或者完全没有更新的国家，往往也是原先政策基础较差的国家；而政策基础较好的国家更倾向于提升政策对于行业的覆盖度以及政策类型的多样性。这一趋势表明，全球仍然需要进一步完善节能技术的支持政策体系，特别是当前政策基础较薄弱的国家。

^① <https://www.iea.org/policies>

表 2-9 节能技术主要应用国家支持政策一览表

	强制型政策			激励型政策							
	国家标准/规范	立法	能效等级/标签/节能认证	信贷	投资	基金	政府拨款预算	减税	补贴	赠款	市场交易
中国	B, T, I	B, T, I	B	B, T, I		I	B, I	T	B, T		
美国	B, T, I	B		B, I	B, T, I		B, I				
俄罗斯	I										
印度	T, I	I	B			B, I					I
日本	B	I	B, T				B, I	T	B, T, I		
加拿大	B, T		T, I		B, T, I	B, I			I		
德国	B		T	I	B, T, I	I	T, I	B, T	B, T, I	I, T	
巴西	B, I	I		T, B	I, B	B	T, I, B				
韩国	B, T, I		B, I		T						
法国	B, I	T, I	B	T	B, I, T	B	T	B	T		
沙特阿拉伯	I										
英国	B, I	B	T	I	B, I	I, B, T	B	T, I	B		
墨西哥	B, T	I	B, T, I	I	I	I		T			
印度尼西亚	T, I	I	B, T, I	B	B, T		B, T	T	B, T		
意大利		B	B	B	B, I	I, T	T, I	B	B, T		
土耳其		I	I					T			
澳大利亚	B, T, I		B	T	T, B	T	T, B		I	I	
西班牙	B	T	B, T		T, I		B		I, T, B		
泰国	B		B				B, I, T	T	T		
南非	B, I		B					I	I	I	

注：B 指建筑行业；T 指交通行业；I 指工业行业；红色表示更新

2.4.4 创新能力

节能技术创新能力的国别差异与可再生能源发电技术类似，中国、美国等大国的创新能力领先全球，且中国贡献的专利与论文数量增长最高。

图 2-26 描述了不同国家的专利数目占比，并将其作为技术创新能力的主要定量指标。从进展来看，新兴市场有着良好的表现，节能技术专利数增长以中国最为突出（20940 件），其次为印度（342 件），这表明新兴经济体的创新能力正在快速提升；然而专利数量排名靠前的国家仍主要是发达国家，这些国家依然占据着节能技术创新的主导地位。从 2023 年到 2024 年全球节能技术创新的格局发生了一定的变化，中国超越了德国、韩国与美国，跃升为全球节能技术专利数最多的国家，中美两国的技术创新超过了全球一半的水平。从近 10 年的发展趋势看全球节能技术论文数量的增长，中国在其中有着突出的贡献（图 2-27）。

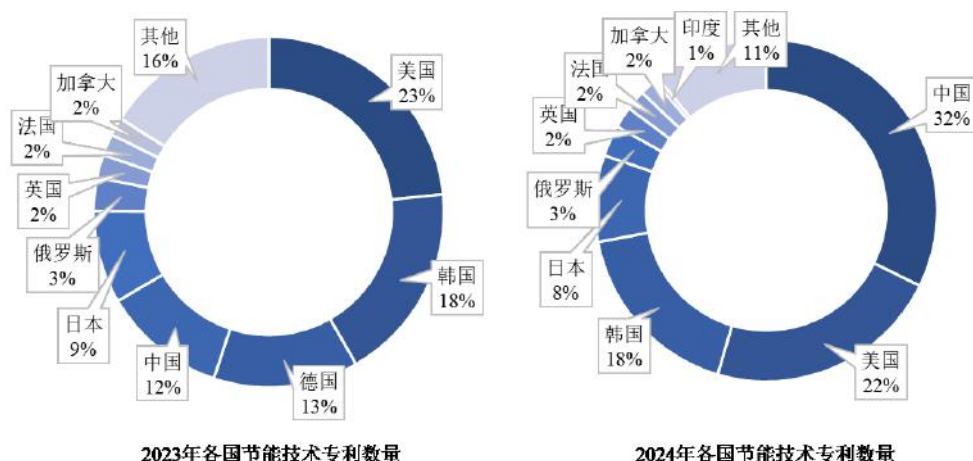


图 2-26 节能技术的专利数各国占比

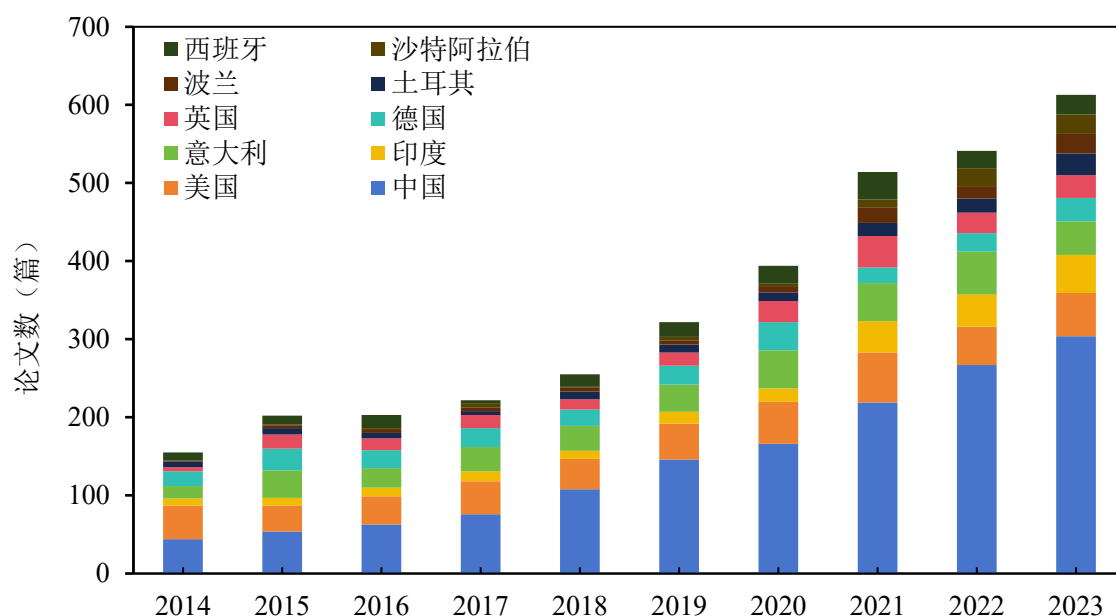


图 2-27 10 年来主要国家节能技术论文数量

2.5 绿氢技术

2023 年全球绿氢产业迅速发展，中国在其中扮演着主导地位。绿氢是未来零碳能源体系的重要组成部分。一方面，绿氢可以在交通、工业、电力、建筑等多个领域替代传统的化石能源，满足绿电难以满足的原料需求、工业热需求。另一方面，在高比例可再生能源的电力系统中，绿氢将发挥其消纳、调峰的重要作用，显著提高电力系统灵活性，保障绿电的有效供给。此外，氢能的多元应用还将提升能源结构的多样化，提升能源安全水平。相关产品也将打开广阔的市场空间，为经济高质量发展持续注入新动能。2023 年全球氢能发展目标持续更新，发展中国家在其中

扮演了重要角色。在此背景下，过去一年内绿氢产能迅速增长，中国成为全球绿氢产业发展的主要贡献者和重要引领者。未来 3 年内，中国也拥有着最高的绿氢增长潜力。同时，过去一年各国也积极开展氢能政策部署，日本、韩国、美国等的政策支持力度较高，全球范围内，亟须进一步推进国际氢能合作。技术创新方面，目前中美两国在氢能技术创新中持续保持引领地位，日韩两国也拥有显著的氢能技术创新优势。

2.5.1 目标雄心

2023 年全球氢能发展目标持续更新，发展中国家在其中扮演了重要角色，全球范围内，各国的量化目标以中短期目标（2030 年）为主。绿氢的主要制备方式是通过电解槽技术使用绿电电解水制氢，电解槽装机目标是衡量各国绿氢发展雄心的关键指标。截至 2022 年底，已经有 20 余个国家提出了量化的电解槽装机目标，以发达国家为主。基于 Hyresource 数据库^①，我们梳理了各国在近几年提出的电解槽装机目标，图 2-28 展示了相关结果。在过去的一年内，有 15 个国家提出或更新了电解槽装机目标，其中，发展中国家处于主体地位，占比超过 70%。值得注意的是，新西兰、土耳其、乌拉圭等国颁布了具体的氢能发展路线图，详细设定了中短期和长期目标。尽管如此，目前各国所提目标仍以中短期为主。在所有量化目标中，短期目标（2025 年前后）占 10%左右，中短期目标（2030 年前后）占 70%左右，长期目标（2050 年前后）仅占不到 20%。在所有已公布具体的电解槽装机目标的国家中，印度对中短期目标展示了最强的雄心，其 2023 年公布的国家绿色氢能路线图指出，印度的电解槽装机规模将在 2030 年达到约 500 万吨/年（对应 30 吉瓦的电解槽装机容量）。此外，日本在长期目标方面表示出了最强的雄心，提出 2050 年前后绿氢产能将达到约 2000 万吨/年（对应 120 吉瓦的电解槽装机容量）。需要说明的是，当前全球氢能发展目标仍然需要进一步明确，近 1/3 的发达国家仍然没有出台相关的路线图或规划，大多数发达国家也未提出明确的量化目标。同时，仅有约 10 个国家设定了长期的电解槽装机目标，美国、中国等主要的经济体也仍然没有明确的长期目标，这意味着全球氢能战略目标的明晰程度还需进一步提高。

^① <https://research.csiro.au/hyresource/policy/international/>

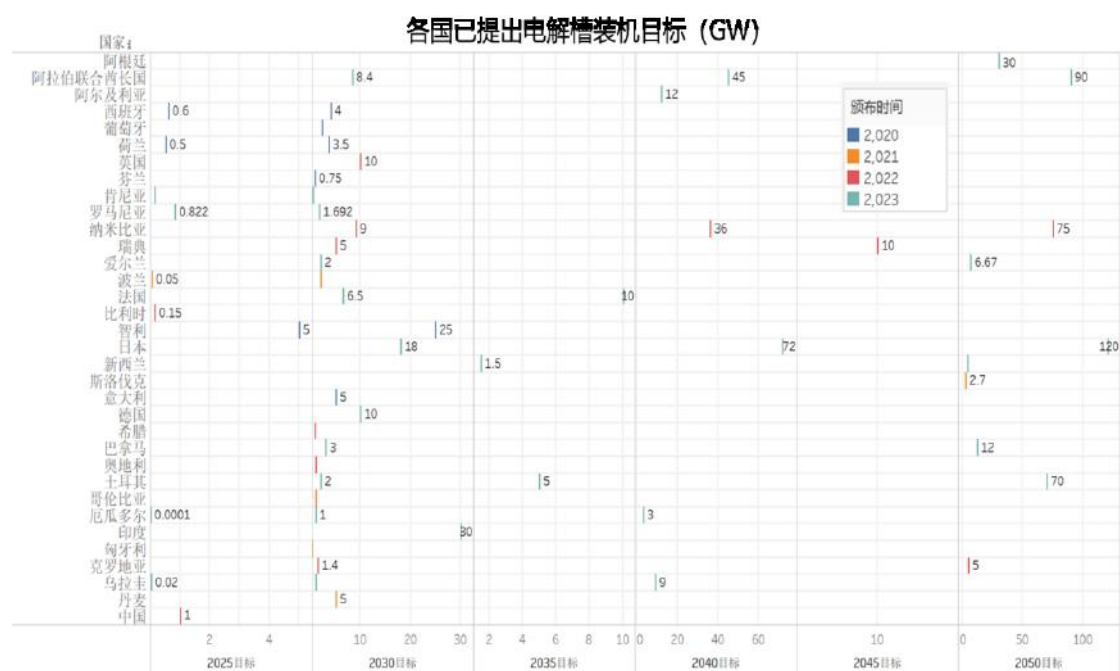


图 2-28 各国电解槽装机目标

注：部分国家的绿氢技术目标以产量（百万吨/年）进行设定，使用“16.67 万吨绿氢对应 1 吉瓦电解槽产能”进行换算；由于“蓝氢”亦属于清洁氢范畴，图中未体现清洁氢相关目标，仅体现“绿氢”对应的电解槽产能目标；对于“范围性”目标，取中位数进行量化。

2.5.2 部署进展

2023 年全球绿氢产能迅速增长，未来 3 年风电制氢（尤其是海上风电制氢）或将迎来加速扩张。在过去的一年中，中国贡献了超过一半的全球绿氢产能，未来 3 年内，中国也拥有着最高的绿氢增长潜力。发展至今，各国低碳氢的应用场景逐步多元，全球范围内，低碳氢应用仍以交通、工业领域为主；在德国、西班牙等欧洲国家，低碳氢的应用已经逐渐向建筑、电力等领域延伸。

过去一年，大量绿氢产能项目进入规划、建设、投产阶段，主要以光伏制氢为主。基于 IEA 氢能项目数据库^①，图 2-29 展示了全球各类绿氢产能项目及完成情况。其中，预部署产能的完成比指的是已投产产能除以已投产产能与处于“FID 和在建”状态中的项目产能之和。该指标越低，则短期内产能增长速度越高。2023 年，全球绿氢项目数量超过了 1800 个，相较 2022 年增加 500 余个。其中，已正式投产的项目不到 15%，处于 FID 和在建中的项目占 11%，其余项目仍在概念和试验阶段。同时，全球范围内，以光伏制氢为代表的绿氢产能是 2022 年的 4 倍左右，总量在 20 万吨左右。其中，光伏制氢处于主导地位，占比 70%左右。未来 3 年，

① <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>

光伏制氢增长放缓，风电（尤其是海风）制氢将迎来加速扩张。当前，光伏制氢预部署产能的完成比超过 30%。相比之下，风电制氢的完成比却在 2%左右，海风制氢的完成比甚至低于 0.5%。同时，混合能源制氢的完成比在 0.8%左右，这意味着未来 3 年该类制氢方式将会更加普遍。

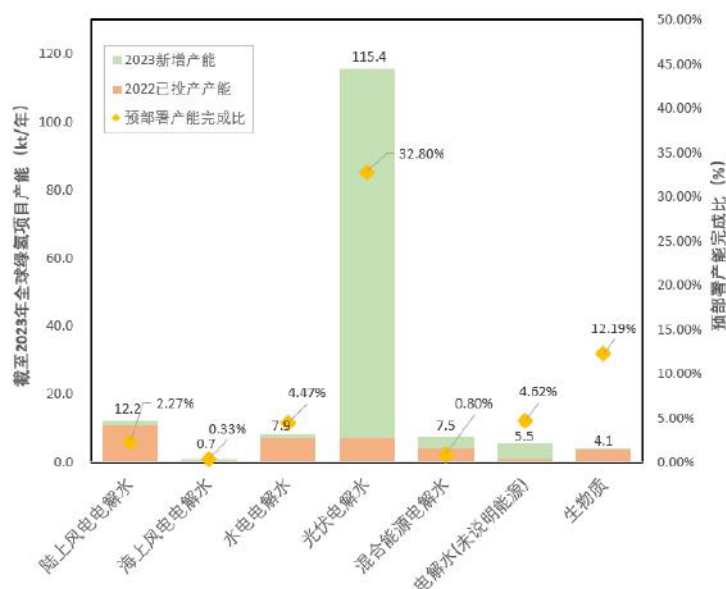


图 2-29 全球各类绿氢产能项目及完成情况（仅含声明能源种类的项目）

中国在当前全球氢能产业的发展中处于引领地位。图 2-30 展示了各国累计绿氢项目产能与完成情况。2023 年，中国绿氢产能增长十分迅速。在 2020 年和 2022 年，中国分别拥有全球绿氢总产能的 10%和 30%。至 2023 年底，中国绿氢产能已经超过全球总产能的一半，达到 117 千吨左右。整体上，中国已经成为了全球氢能产业的重要引领者和实践者。相比之下，北美地区的低碳氢产业主要以蓝氢为主。这主要是由于北美地区拥有较为丰富的天然气资源和相关产业。未来 3 年，中国拥有着全球最高的绿氢增长潜力。目前，在发展氢能产业的主要国家中，中国预部署产能完成比几乎处于最低，仅为 9.3%。这意味着未来 3 年中国绿氢产能增幅可能达到 10 倍以上，拥有最高的增长潜力。

随着氢能示范项目的逐渐铺开，绿氢的应用场景逐步多元。图 2-31 展示了已投产项目应用结构与已投产项目数。相比 2022 年，绿氢在交通和工业领域的应用规模进一步扩张，相关项目往往具备规模大、产能高的特点。同时，绿氢在电力、建筑等领域也兴起了一批示范应用，但项目规模往往较小，大多为大型项目的附加应用。具体的国家分布上，德国、西班牙等欧洲国家绿氢应用的多元性更高。德国已投产和获得 FID 的绿氢项目数达 78 个，位于全球第一。相关项目往往规模较小，应用较为多元，几乎涉及到氢能应用的所有领域。

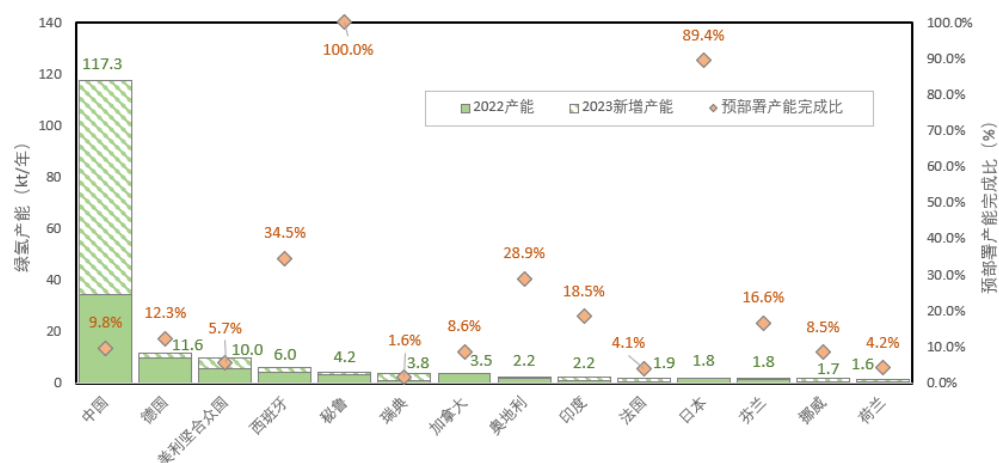


图 2-30 各国累计绿氢项目产能与完成情况

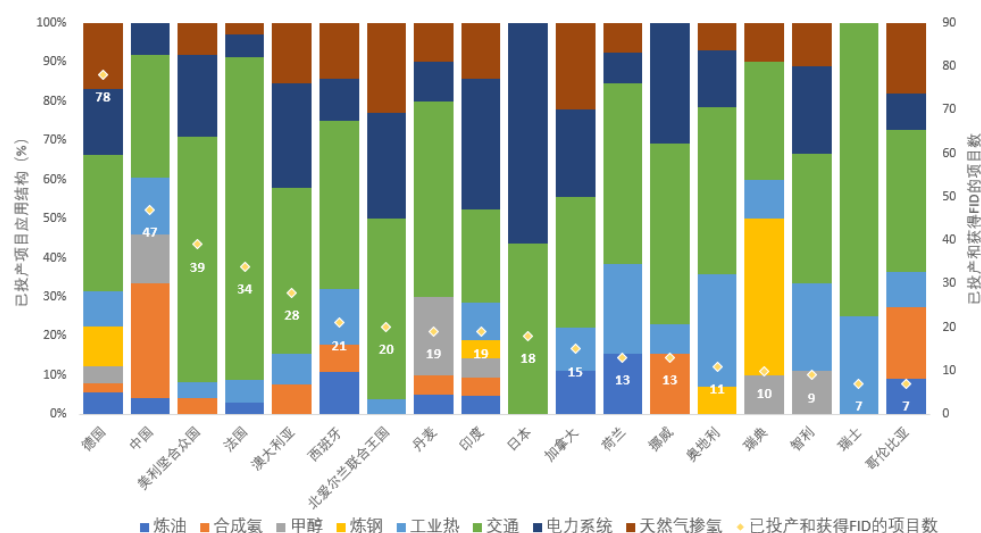


图 2-31 已投产和获得 FID 的绿氢项目的应用结构

2.5.3 政策支持

2023 年，各国积极开展氢能政策部署，日本、韩国、美国等政策支持力度较高，全球范围内，亟须进一步推进国际氢能合作。基于 Hyresource 数据库^①，我们整理了主要国家氢能相关政策的支持力度，如表 2-10 所示。其中，0 表示无相关政策，1 表示在政策规划中进行强调，2 表示做出了具体行动，3 表示出台了具体政策，4 表示做出了具体行动并出台了相关政策。2022 年，提出国家级氢能战略或路线图的国家数在 50 个左右，在过去一年内，有 20 多个国家新提出了国家级氢能发展战略或路线图，新增国家中以发展中国家为主。整体上，日本、韩国、美国等的氢能政策支持力度较高，侧重于生产补贴、技术研发、基础设施建设等方面。由于日韩等国氢能经济发展较早，相关战略、政策至目前已相对完善。此外，美国

① <https://research.csiro.au/hyresource/policy/international/>

和西欧部分国家则在近期对氢能支持力度较高，美国甚至针对低碳氢提供了每公斤 3 美元的税收抵免，这可能使美国的低碳氢成本跃居世界最低。目前，各国政策中对国际氢能合作的支持相对薄弱，仅有个别国家实施了相关行动，亟须进一步加强。

表 2-10 主要国家氢能相关政策的支持力度

		对清洁氢 生产提供 补贴	鼓励生 产氢基 衍生物	推进氢 基础设 施建设	推进氢能 技术投资 研发	推进国 际氢能 合作	推进氢能 监管、标 准体系建 设
主要 国家	阿根廷	3	1	4	1	0	4
	澳大利亚	2	0	1	1	0	0
	智利	2	2	2	3	0	1
	中国	1	1	3	2	1	1
	法国	2	1	2	2	0	2
	德国	1	0	2	2	3	4
	意大利	4	1	2	4	0	1
	日本	4	3	4	4	2	3
	挪威	0	1	2	1	0	2
	韩国	4	2	4	4	0	3
	英国	1	0	2	1	0	1
	美国	4	1	4	4	1	1
新提 出的 国家	巴西	0	0	2	2	0	0
	厄瓜多尔	1	1	2	2	2	2
	埃及	2	2	1	1	0	0
	印度	2	0	1	1	0	2
	爱尔兰	1	1	0	1	0	0
	以色列	1	1	2	1	1	1
	肯尼亚	1	1	1	1	0	0
	斯里兰卡	1	2	2	1	0	1
	土耳其	2	0	1	1	0	0
	阿尔及利亚	0	1	1	1	1	0

注：0-无;1-强调;2-具体行动;3-具体政策;4-具体行动+政策

2.5.4 创新能力

2023 年，中美两国在氢能技术创新中持续保持引领地位，日韩两国也拥有显著的氢能技术创新优势。图 2-32 和图 2-33 分别描述了主要国家与氢能相关的论文及专利数量，将其作为技术创新能力的主要定量指标。

研究方面，近两年中国的氢能相关研究显著增多。2022 年和 2023 年，中国新产出的氢能相关论文数量都在 3 万篇左右，接近 2021 年的 1.7 倍。此外，美国、印度、日本和韩国每年新产出的氢能相关论文数量基本保持稳定。

应用方面，中国、美国、韩国保持着较高的专利申请增速。过去 5 年内，中美韩三国每年新增专利数的增长率分别在 20%、10%和 30%左右，日本每年新增的专利数基本稳定。

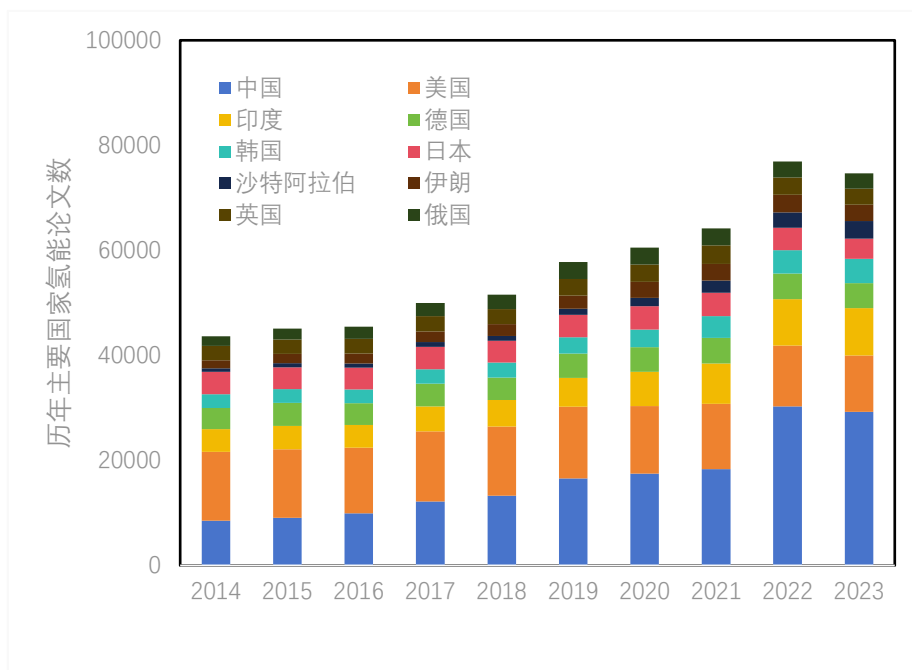


图 2-32 氢能相关论文数量

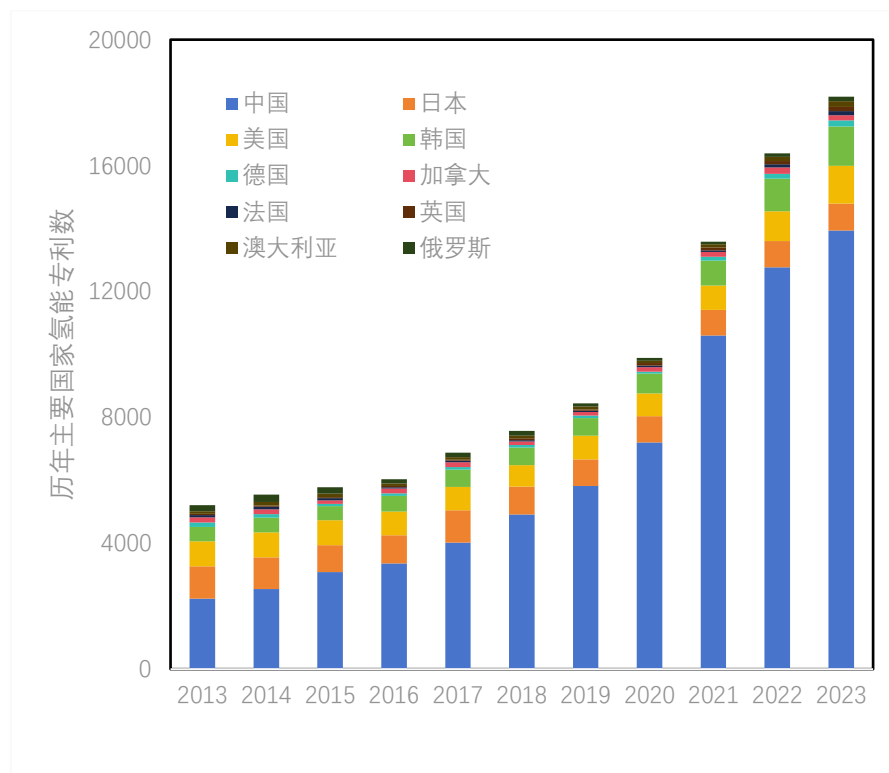


图 2-33 氢能相关专利数量

2.6 生物燃料技术

生物燃料技术为**碳中和的有机能源解决方案**。生物燃料技术是一种利用生物质能，通过物理转换（固体成型燃料）、化学转换（直接燃烧、气化、液化）、生物转换（发酵转换成甲烷）等形式将其转换为固态、液态和气态燃料加以高效利用的科学与技术。生物燃料技术可以利用多种可再生有机资源，如植物油等，来生产汽油、柴油、汽油和柴油的混合物等，与传统的煤炭和石油燃料技术相比，更易于操作，具有更高的能源密度，并且可以有效减少温室气体排放。生物质能源化利用技术包括：直接燃烧利用（发电或供热）、制成型燃料、制气态燃料（沼气、生物天然气等）、制液态燃料（生物乙醇、生物柴油等）。生物质能源化利用呈现以下发展趋势：多元化分布式应用；生物天然气、成型燃料；生物液体燃料形成燃料乙醇、混合醇、生物柴油等能源衍生替代产品，扩展到航空燃料、化工基础原料等应用领域。随着国际社会对保障能源安全、保护生态环境、应对气候变化等问题日益重视，加快开发利用生物质能等可再生能源已成为世界各国的普遍共识和一致行动，也是全球能源转型及实现应对气候变化目标的重大战略举措。生物基材料、生物质燃料、生物基化学品是涉及民众生活质量和国家能源与粮食安全的重大战略产品。根据世界生物质能协会（WAB）的 *Global Bioenergy Statistics 2023* 报告，可再生能源对全球热量生产的贡献在 2000—2020 年间翻了一番，其中 96% 的可再生热能来自生物质能。经济合作与发展组织（OECD）发布的“面向 2030 生物经济施政纲领”战略报告，预计 2030 年全球将有大约 35% 的化学品和其他工业产品来自生物制造。生物质能源已成为位居全球第一的可再生能源。

2.6.1 目标雄心

仅有欧盟国家设定了生物质燃料市场占有率目标，多数国家设定的是**生物燃料掺杂比例目标**。生物质燃料市场占有率目标反映了国家对该技术部署的雄心，2023 年 3 月底，经过长达两年的密集谈判和磋商，欧盟委员会、欧洲议会和欧盟理事会就新的可再生能源指令 RED III 达成一致，对可再生能源指令 REDII(2018) 进行了几项重大修改，其中包括将 2030 年 PartA 先进生物燃料在交通领域占比目标下限从 3.5% 增至 5.5%。大多数欧盟国家都响应了可再生能源指令，例如，芬兰设置了 2030 年先进生物燃料在交通领域占比 10% 的目标，意大利设置了 8% 的目标，荷兰设置了 7% 的目标。生物质掺杂比例目标反映了对生物质燃料品质要求的雄心，该目标制定受技术水平、资源条件、国际形势等因素制约。根据 USDA 系列报告^①，印度尼西亚在生物柴油混杂目标上最具雄心，2021 年，在技术成熟的前

^① <https://www.usda.gov/>

提下，已实现 2025 年 30% 的生物柴油掺杂目标；2023 年，实施了 35% 的生物柴油掺杂规定。据印尼生物燃料生产商协会（APROBI）数据显示，2023 年印度尼西亚全年生物柴油总产量增长 13%。

2.6.2 部署进展

生物燃料技术在全球范围内部署进展呈现较大的区域和技术类型差异，也和当地资源禀赋相关。关于燃料乙醇的部署进展，美国和巴西在生产和出口上处于全球领先；中国的燃料乙醇供应相对紧张，目前仍处于产能建设阶段。关于生物柴油的部署进展，欧盟在产量和消费量上处于全球领先，进口量大且对原料有所限制。中国产量高于消费量，补位出口的能力强劲。

基于 USDA 系列报告^①，推广应用燃料乙醇的主要国家和地区有美国、巴西、欧盟、中国、印度、加拿大、泰国、阿根廷等。由于自然条件、基本国情、技术投入、资金支持等多重因素的影响，燃料乙醇在全球范围内的开发和利用呈现出明显的不对称性。其中，美国为解决能源安全及粮食产能过剩问题，于 20 世纪 80 年代开始大力发展燃料乙醇，在政府扶持和玉米产量大幅增加的推动下（大量种植转基因玉米），美国燃料乙醇产量一路攀升，近年来产量以年均 1.6% 的速度增长，是当前全球燃料乙醇最大生产国、消费国及出口国，生产的燃料乙醇出口到世界数十个国家和地区。目前，美国燃料乙醇总产量占到全球产量的 50% 以上，主要出口到加拿大、巴西、印度、韩国等。巴西是世界上最早推行燃料乙醇应用的国家。20 世纪 70 年代，巴西将燃料乙醇产业发展提到了国家战略的层面，得益于完善的政策支持体制和庞大的甘蔗产业资源优势，近年来巴西燃料乙醇产量以年均 2.0% 的速度增长，产量中约 90% 用于国内替代石油燃料，其余出口到国外市场，燃料乙醇的推广使巴西从石油净进口国一跃成为出口国。中国燃料乙醇产业起步较晚，但发展迅速，燃料乙醇生产量从 2013 年的 2934 百万升增长到 2023 年的 3900 百万升，年均增长 2.9%。但目前整体来看，中国燃料乙醇还处于产能建设阶段，相关生产技术也还在研究阶段。

推广应用生物柴油的主要国家和地区包括欧盟，主要使用菜油、动物油、废弃食用油；印度尼西亚、马来西亚、泰国，主要使用棕榈油；美国、巴西、阿根廷，主要使用豆油；中国，主要使用动物油、废弃食用油。根据美国农业部（USDA）系列报告，在主要生产/消费国中，印度尼西亚呈现以国内消费为主、出口为辅的使用模式；美国、巴西呈现自产自销的使用模式；欧洲地区则呈现产量和进口双高的使用模式；阿根廷、中国、印度尼西亚、马来西亚为出口大国。

^① <https://www.usda.gov/>

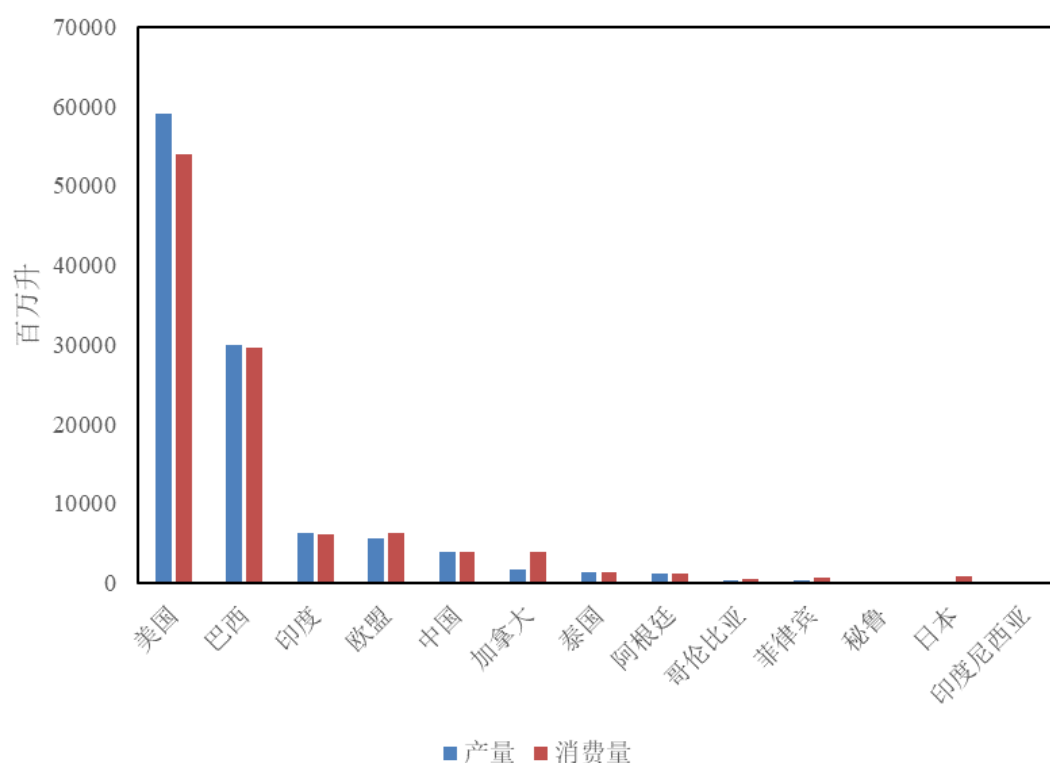


图 2-34 2023 年主要国家燃料乙醇生产量及消费量

其中，欧盟对生物柴油依赖进口，反倾销税的取消使 2018 年进口量高增。2018 年，由于取消了阿根廷（2017 年 9 月）和印度尼西亚（2018 年 3 月）的生物柴油反倾销税，欧盟的生物柴油进口量从 2017 年的 1669 百万升增长到 2018 年的 4148 百万升，同比高增 149%，占消费量的 25%。2018 年以来，欧盟的生物柴油进口量占其总消费量的比例维持在 15% 以上。欧盟生物柴油的主要供应商是阿根廷、中国、马来西亚、印度尼西亚和韩国，2020 年分别占欧盟生物柴油进口量的 33%、31%、18%、5% 和 4%。

受欧洲地区政策制约，印度尼西亚和马来西亚生物柴油出口量缩减，中国生物柴油出口补位，2020 年欧盟从中国的进口量与 2019 年相比增长了 60%。受欧盟对先进生物柴油需求的政策推动，中国工业出口油（UCOME）出口量自 2017 年以来快速增长，根据 TDM 有限责任公司的数据，在 2023 年 1 月至 4 月期间，中国对欧盟的生物柴油出口增长了 86%，其中荷兰、西班牙、马耳他、保加利亚和德国的增幅最大。

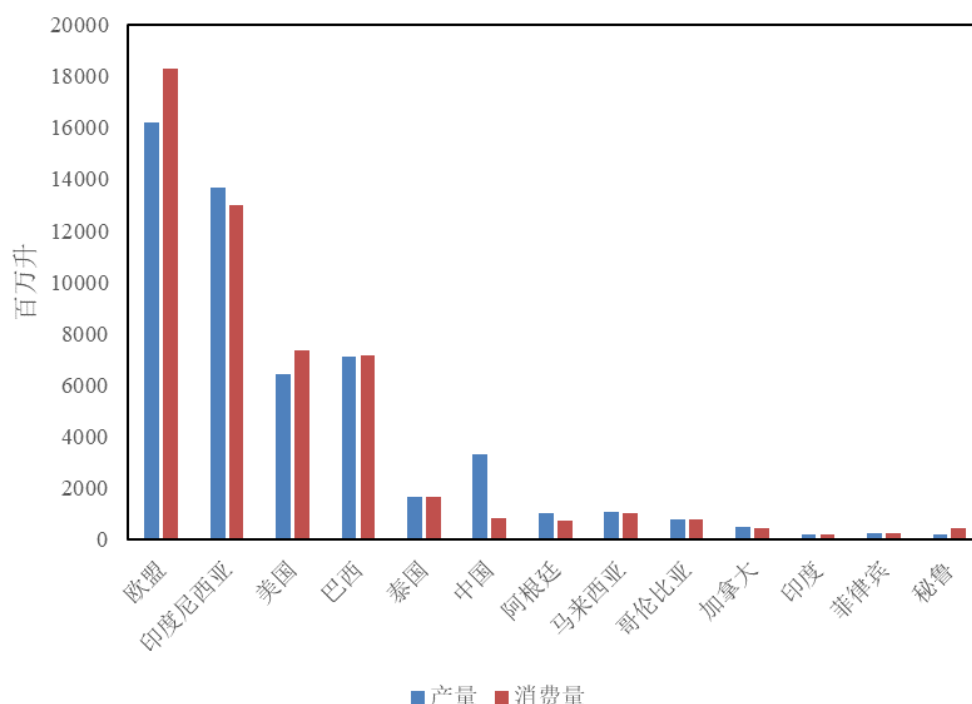


图 2-35 2023 年主要国家生物柴油生产量及消费量

2.6.3 政策支持

主要的应用国家积极推动生物燃料发展，强制型、激励型政策强有力组合驱动市场快速发展，生物燃料掺杂要求是扩大生物燃料使用的主要驱动因素。环境保护等因素促使各国在政策和法规等方面对生物燃料给予支持。多年来，生物燃料支持政策一直是运输部门最常见的可再生能源政策，支持生物燃料的生产和使用是道路运输中激励采用可再生能源政策的主要措施。基于 USDA 系列报告^①，如表 2-11，整体来看，生物燃料的主要生产/消费国在强制型掺杂要求、激励型税收调整、生产补贴等方面都部署了相关政策，部分国家还为其进行了环境可持续性认证。

其中，生物燃料掺杂要求是扩大生物燃料使用的主要驱动因素。基于 REN21 报告^②，如图 2-36 和图 2-37，截至 2021 年，从国家层面上，共有 45 个国家制定燃料乙醇掺杂比例要求，其中发达国家 10 个。共有 31 个国家制定生物柴油掺杂比例要求，其中发达国家 13 个。整体来看，多个国家积极推动生物燃料发展，运用生物燃料掺杂要求不断驱动生物燃料的推广使用。印度尼西亚通过一系列政策措施，将在交通部门使用棕榈油强制掺混生物柴油的比例从 2013 年的 10% 一路提升至 2023 年的 35%，并于 2020 年提前实现其原定的 2025 年 30% 目标。泰国也于 2021 年实现其 2024 年 7% 的生物柴油掺杂目标。然而，受到原材料、价格等因素

① <https://www.usda.gov/>

② <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

影响，仍有少数国家降低了现有要求，例如阿根廷为了控制燃料价格，将其国家生物柴油混合规定从 10% 降至 5%；印度尼西亚由于缺乏供应，将其乙醇混合授权从 5% 降至 2%。

表 2-11 生物燃料技术主要应用国家支持政策一览表

	强制掺混要求	税收减免	税收保护	生产补贴	环境可持续性认证
欧盟	4	0	4	0	2
美国	4	4	4	4	0
印度尼西亚	4	0	4	4	2
巴西	4	4	4	4	0
阿根廷	4	4	4	0	2
中国	4	4	0	0	0
泰国	4	4	0	4	0
日本	0	4	4	0	2
马来西亚	4	0	0	4	2
澳大利亚	0	4	4	0	0
加拿大	4	0	0	0	0
哥伦比亚	4	0	0	0	0
菲律宾	4	4	0	0	2
印度	4	4	4	0	0
秘鲁	4	0	4	0	0

注：0-无；1-强调；2-具体行动；3-具体政策；4-具体行动+政策

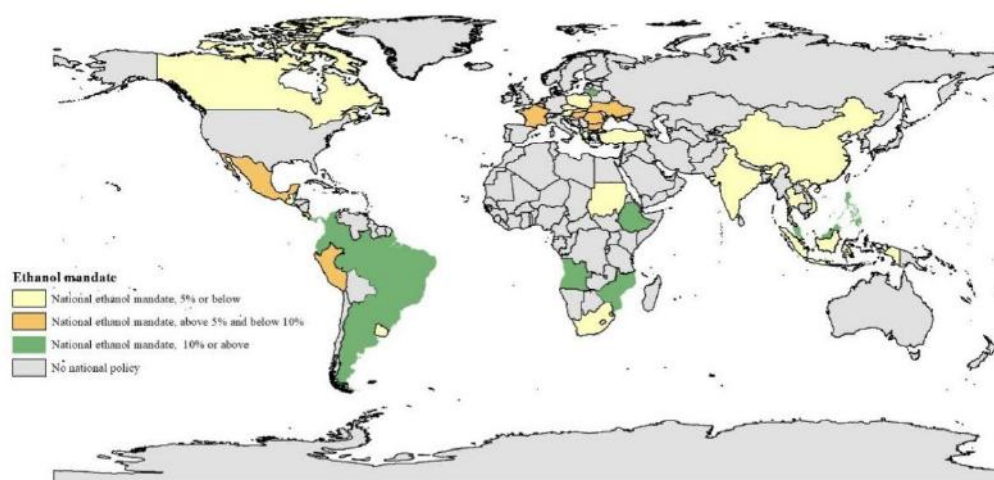


图 2-36 燃料乙醇掺杂比例要求（截至 2021 年）

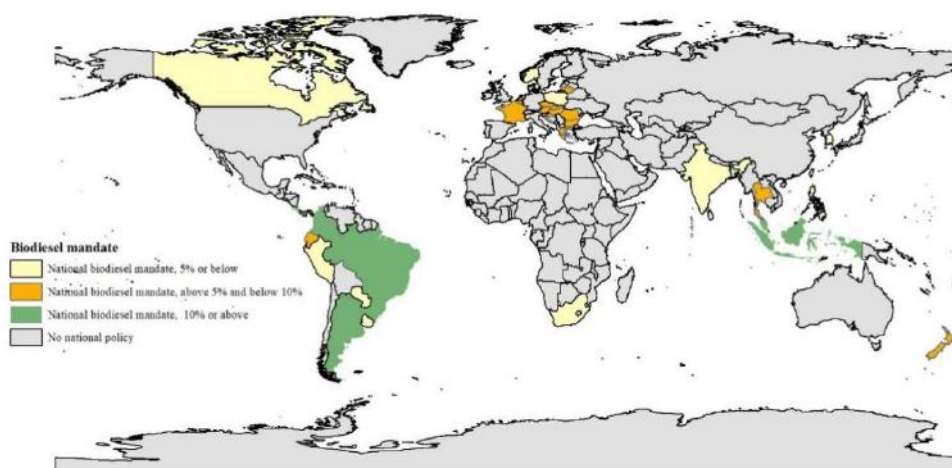


图 2-37 生物柴油掺杂比例要求（截至 2021 年）

相关政策强有力组合驱动生物燃料快速发展，美国可再生燃料协会（RFA）的统计数据显示，2015 年以来，全球燃料乙醇产量一直维持小幅增长的状态；根据 REN21 系列报告，2011 年至 2021 年，全球生物柴油产量几乎翻了一番，2021 年生物柴油产量达到 450 亿升。由于可加工的原料范围更广，生物柴油的生产比乙醇的生产分布更广。

2.6.4 创新能力

中国处于绝对领先地位，美国创新速度有所下降。生物燃料的技术创新主要体现在生物质的多样化利用和生产工艺优化。例如更广泛的生物质资源，如植物油、食品废料、生活垃圾等的利用，以及从传统的物理、化学处理到新的生物化学技术，如发酵、酵素处理、微生物代谢等，提高了生物质转换的生产效率和产量。

图 2-38 显示了主要国家在生物燃料方面发表的论文数近十年的变化，其中，2014—2023 年，中国生物燃料论文数以 12.9% 的年均速度增长，美国则以年均 1.8% 的速度波动下降。中国生物燃料论文数占比从 2014 年的 12.3% 提升至 2023 年的 23.4%，美国生物燃料论文数占比从 2014 年的 17.2% 下降至 2023 年的 9.3%，中国于 2017 年反超美国。图 2-39 描述了主要国家在生物燃料方面专利数近十年的变化，其中，2013—2022 年，中国生物燃料专利数以 7.9% 的年均速度增长，美国则以年均 10.8% 的速度下降。

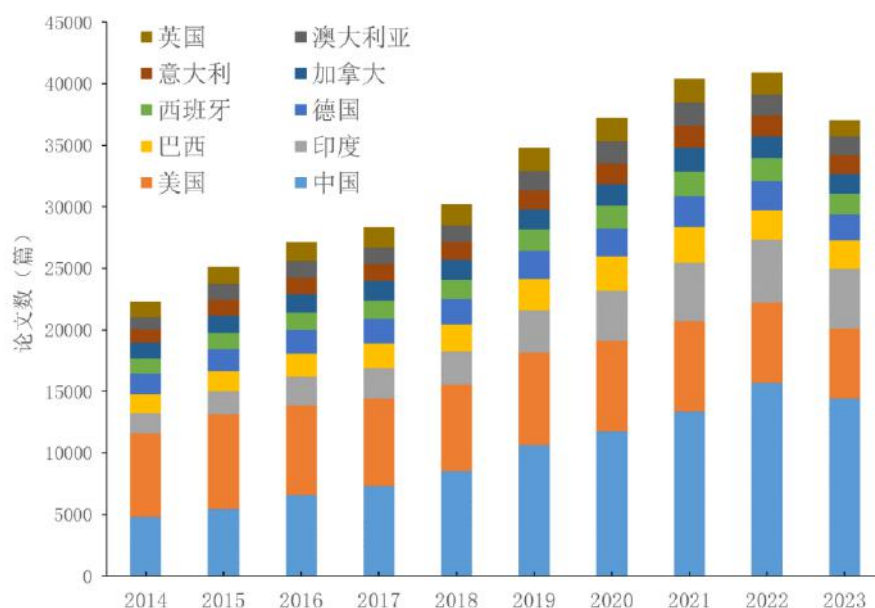


图 2-38 主要国家生物燃料论文数

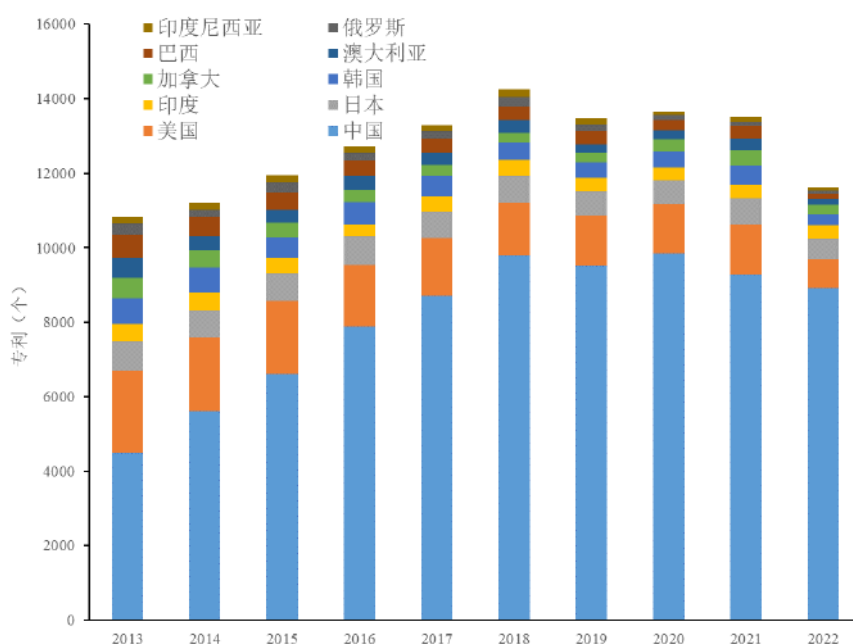


图 2-39 主要国家生物燃料专利数

2.7 CCUS 技术

碳中和“最后一公里”。碳捕集、利用与封存技术（carbon capture, utilization and storage, CCUS）是指将二氧化碳从工业、能源等排放源或大气中分离，直接加以利用或封存，以实现 CO₂ 减排的工业过程，是全球低碳发展的重要技术选择。

该技术被称为碳中和的“最后一公里”。一方面因其技术水平尚未成熟，被普遍认为在零碳之路的中后期才能够大规模部署发力。另一方面因其在碳中和技术路线中的重要托底作用，具体体现在三方面：首先，CCUS 是化石能源零排放利用的必要技术，可以在能源系统深度脱碳的基础上保证其灵活性和可靠性；其次，CCUS 为钢铁、水泥等难减排行业的深度脱碳提供了经济可行方案；第三，该技术大类之下的某些技术（如生物质 CCS、直接空气捕集等）可以形成负排放，可用于抵消部分难以消除的碳排放。

虽然目前在全球范围内已有上百个 CCUS 项目在运行，但整体仍处于工业示范阶段，其产业化应用的主要障碍在于成本高昂。当前技术研发的重点在于降低各环节的成本和创造可以帮助项目盈利的碳利用技术。

CCUS 技术大类涵盖了捕集、运输、利用、封存等环节的诸多细分技术。捕集环节包括化学吸收捕集、吸附捕集、膜分离捕集、直接空气捕集等技术。运输环节主要包括管道运输、船舶运输、卡车和铁路运输。在利用上，CO₂ 可以作为商品，通过直接或间接利用发挥作用。在封存方面，按照封存地或封存形态差异，二氧化碳封存主要包括地质封存、海洋封存、矿化封存三大类。

2.7.1 部署进展

2022—2023 年间，CCUS 项目总量增长明显，正在运行的项目与计划中的项目都有所增加，计划中的项目增长贡献了重要部分。从 CCUS 项目的覆盖地区上看，美国保持全球领先的地位并且对数量增长贡献突出，中国运行的项目数量有重要进展，发达国家和中东国家也有较好的部署进展。

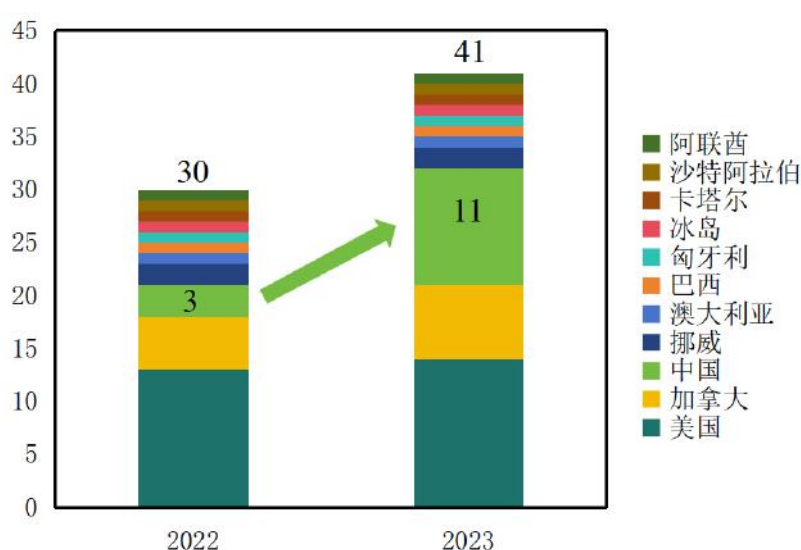


图 2-40 运行中的 CCUS 项目数量

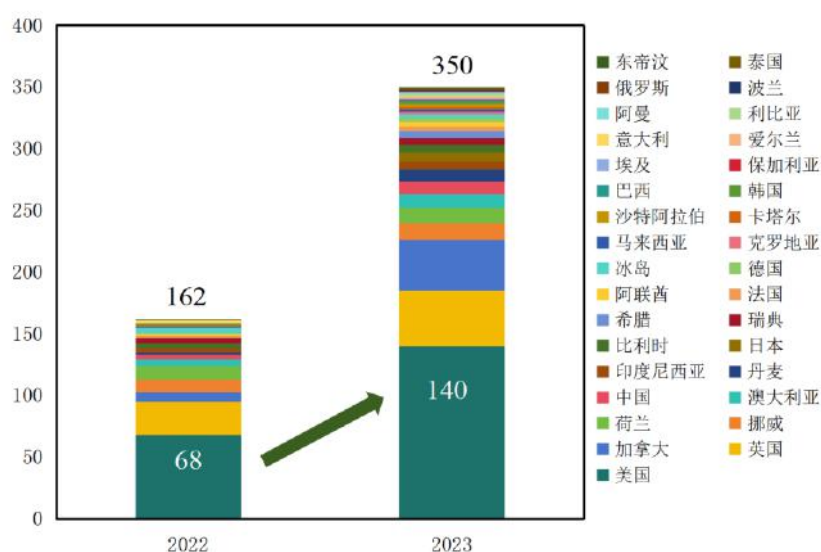


图 2-41 计划中的 CCUS 项目数量

CCUS 技术部署进展指标基于 Global CCS Institute (GCCSI) 发布的《Global Status of CCS 2023》报告，数据中区分维度包含了商业化项目和试点示范项目^①，本指标不作特别区分，主要考察 CCUS 项目的运行阶段。截至 2023 年 9 月，处于不同发展阶段的商业 CCUS 项目总捕集规模达到 3.61 亿吨/年，相比于 2022 年增长 49.8%，处于运行中的项目占比仍然较小，捕集能力由每年约 0.43 亿吨增长至 0.49 亿吨，大部分处于建设或开发阶段，处于停止运行状态的项目未纳入统计。从项目数量来看，美国拥有目前世界上最多的 154 个 CCUS 项目，其中正在运行的项目数量高达 14 个，计划中的项目数量由 68 个大幅增长为 140 个，二者数量都分别居世界第一。其他项目数总量领先的国家包括加拿大（48 个）、英国（45 个）、中国（21 个）、挪威（16 个）、澳大利亚（12 个）等。其中中国正在运行的项目数由 3 个增长为 11 个，占总体增长的 73%。

基于报告进一步统计，各 CCUS 项目所覆盖的行业呈多样化，目前以乙醇生产、发电和制热、化肥生产、天然气生产为主要应用行业，同时涉及水泥生产、钢铁生产等难减排行业。美国在覆盖行业的多样化水平方面处于世界领先地位，基本涵盖了所有行业。加拿大、英国、中国、挪威在行业覆盖的多样化水平方面也表现较好。

① 商业化项目有如下特征：包含商业化运作的捕集、运输、利用或封存全链条设施，二氧化碳实现永久封存；一般具备较长的经济寿命期；在满足监管要求的前提下，能够产生一定的经济回报。试点示范项目则用于测试、研发、示范 CCS 技术或流程，二氧化碳可能不会被永久封存，此外通常具有较短的寿命期（例如实验结束便终止），不一定产生经济回报。

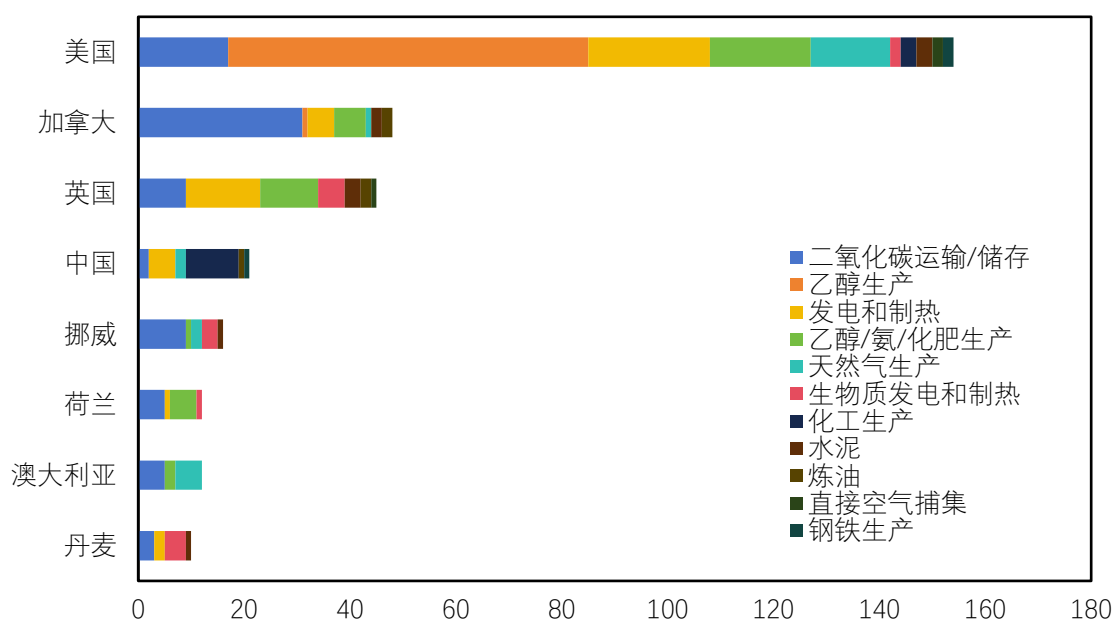


图 2-42 主要国家 CCUS 项目所覆盖行业

2.7.2 政策支持

2022—2023 年间，多国在激励措施、法律法规体系建设方面持续积极的开展政策支持。CCUS 技术一方面可以促进绿色低碳发展，另一方面成为传统油气行业在能源变革中新的发力点，能够大幅刺激基础设施建设和增加就业。目前，许多国家发布了积极的 CCUS 技术支持政策，比较典型的有美国、英国、中国等。在美国，CCUS 技术凝聚了民主党和共和党两党共识，得到了从民间私营机构到地方及联邦政府的大力支持。英国将 CCUS 视为创造就业机会、加强能源安全、开发北海封存资源和开辟跨境商业合作的绿色经济增长点，同时强调了将 CCUS 产业和蓝氢生产协同发展的潜力，发布了一系列支持政策促进产业集群和基础设施建设。中国目前的能源结构仍以化石能源为主，要实现化石能源的零碳化需要使用 CCUS 技术；在未来向以可再生能源为主的能源系统过渡的过程中，CCUS 技术的应用可以在能源系统深度脱碳的基础上保证其灵活性和可靠性。因此，中国政府也十分重视 CCUS 技术作为碳中和技术体系中托底保障的重要价值，在各层级的政策设计中高度重视技术攻关和产业示范发展。

基于互联网公开数据^①，收集整理了部分国家为 CCUS 技术新增的支持政策。英国、安道尔、新加坡、土耳其、土库曼斯坦、越南 5 个国家在向联合国提交的国家自主贡献相关文件（INDC/First NDC/First NDC Update）中提到了 CCUS 技术，

① <https://www.energy.gov/oced/funding-notice-carbon-capture-demonstration-projects-program> 、
<https://www.globa-lccsinstitute.com/resources/global-status-report/>等

并重视 CCUS 技术在脱碳路线图中的作用。

实施研发或试点项目支持的国家较多。部分国家还在基础设施建设方面提供了支持，以确保 CCUS 技术的实施。例如，美国、英国、澳大利亚都提供了针对基础设施建设的专门拨款。

表 2-12 CCUS 主要应用国家支持政策力度评级

	正在运行 CCS 项目	纳入 NDC	资金与试点支持	政策支持
澳大利亚	1	4	1	2
巴西	1	0	0	0
加拿大	2	4	1	1
中国	2→3	4	1	4
丹麦	0	0	2	0
埃及	0	4	0	0
法国	0	0	0	0
德国	0	0	1	0
冰岛	1	4	0	0
日本	0	4	1	1
马来西亚	0	0	1	0
荷兰	0	0	3	0
挪威	1	4	2	1
卡塔尔	1	4	0	0
俄罗斯	0	0	0	0
沙特阿拉伯	1	4	0	0
韩国	0	0	0	0
瑞典	0	0	0	0
泰国	0	0	0→1	0
阿联酋	1	4	0	0
英国	0	0→4	2	1
美国	4	4	4	4

注：0-无;1-强调;2-具体行动;3-具体政策;4-具体行动+政策;→表示 2022 年到 2023 年变化。

除了激励类政策之外，各国也加强了 CCS 技术的法律法规体系建设。例如，日本国会于 2023 年 5 月 12 日通过了《GX 促进法》，随后于 5 月 31 日通过了《GX 脱碳电力供应法案》。《GX 促进法》要求政府制定 GX 促进战略，发行 GX 过渡债券（规模 20 万亿日元），并确保 GX 私人投资者利益。CCS 也被列为要推广的领域，政府计划在未来 10 年投资 4 万亿日元。

但也有一些国家未能采取积极的政策支持 CCUS 技术的发展，这与多方面的因素有关。目前 CCUS 发展面临的障碍主要包括：

成本过高。捕集环节的成本和能耗是企业开展 CCUS 的重要瓶颈之一，当前第一代碳捕集技术成本和能耗偏高、缺乏广泛的大规模示范工程经验，而第二代技术尚处于实验室研发或小试阶段。另外，CCUS 项目往往涉及捕集设施与原排放设施的集成，CCUS 改造或集成可能影响企业或工厂原本的运营及产品质量。运输与封存基础设施规模大、建设成本高，CO₂ 长期封存的责任也构成了企业的沉重负担。

经营风险。二氧化碳的封存受地质条件、温度和压力变化、地质活动等因素影响，对地质勘探和监测工作提出了较高要求。地质封存的信息不足和技术支持不够，会增加投资与经营的风险。从流程链条来看，CCUS 涉及多个环节，任一环节的延期或受阻都会影响其上下游的运行，这个风险在英国政府关于 CCUS 商业模式的报告中被多次提到，也被视为阻碍 CCUS 商业化的重要挑战。

民众支持。目前公众对于 CCUS 技术的认知有限，很难肯定其在减缓气候变化上的重要性。同时，公众也担忧 CCUS 技术带来的负面影响，包括高成本的 CCUS 技术导致能源价格升高，影响民众生活；封存过程可能会导致地下水污染、地震等潜在风险；CCUS 技术为化石燃料产业提供了“道德借口”，可能会使化石燃料产业延续，减缓向可再生能源转型的速度。

2.7.3 创新能力

中国在 CCS 技术方面的论文数量与专利数量都领先世界，印度及一些发达国家如美国、韩国、日本等也具有较强创新能力。CCS 技术创新主要体现在捕获技术和储存技术方面的创新，例如化学吸收、物理吸附、膜分离和生物吸收等技术的效率提升，以及封存在地下的地层岩石中和注入到已经采空的油气井中的经济性提升。

专利数量与论文数量是技术创新能力的主要定量指标。2013—2022 年 CCS 技术相关专利数持续增长，且在 2022 年中国贡献九成以上，美国、日本、俄罗斯随后。论文数量上，中国同样是发布论文数目最多的国家，2023 年占 48.6%，美国、

印度等随后。中国注重科技创新与技术进步，对 CCUS 技术开展大量研发，提升核心能力。

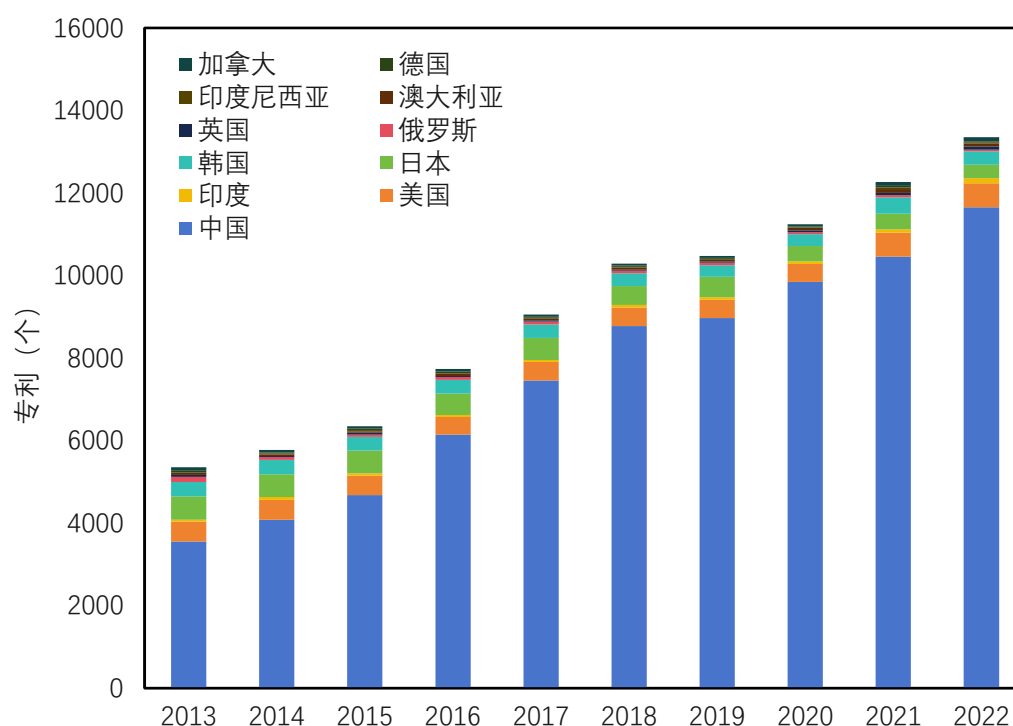


图 2-43 2013—2022 年各国 CCUS 技术专利数量

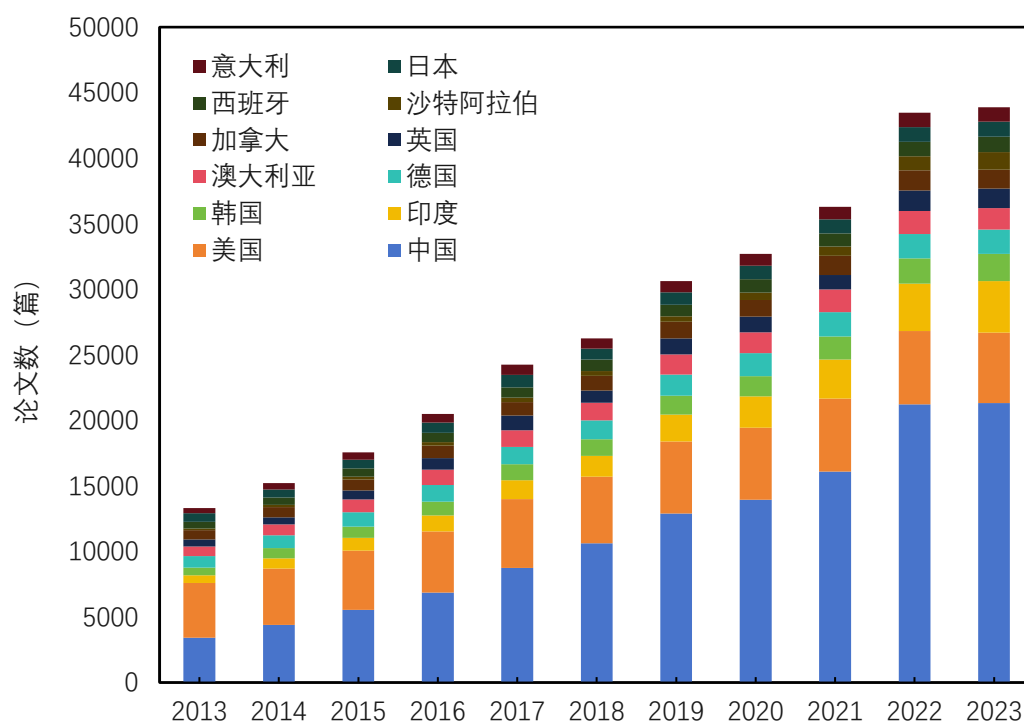


图 2-44 2013—2023 年各国 CCUS 技术论文数量

2.8 碳汇技术

全球森林碳汇整体分布存在显著的空间异质性，美洲、欧洲地区碳汇存量丰富，亚洲地区具有较大上升空间。植物通过光合作用吸收空气中的二氧化碳，并固定到植物体内和土壤中，这一过程称为碳汇。但植物呼吸作用或枯死的有机物降解也将释放二氧化碳。地球大气、水及森林植被中碳元素周而复始地在有机和无机形态间的转换，形成了相对稳定的地球碳循环过程。森林植被与森林土壤形成了森林碳循环的微生态系统，而森林固碳则是森林植被与森林土壤共同作用的结果。碳汇技术增加森林碳储量通常有三种方式：第一种，通过增加森林面积或减少毁林，提高生态资源总量，从而增加二氧化碳吸收总量。这也是鼓励植树造林提高碳汇的理论依据。第二种，提高森林碳汇仅有“量”的提高还不够，还应有“森林生态功能”这个“质”的提高。中幼林倘若缺乏科学抚育和养护，生态功能将会降低甚至丧失，并且伴随森林演替、成熟，过熟林激增，森林整体固碳能力将有所下降。为此，亟须需通过森林经营促进其生长而吸收更多的碳，并积极进行抚育和间伐控制树木死亡率以及遏制枯死森林的自然降解。第三种，森林碳汇产业模式是增加碳汇、解决气候变化的高效路径。森林碳汇产业模式将通过“森林生态抚育、资源增加—生态资源能源化利用，实现收入—分布式资源生产—绿色资源供给—资源收入为生态功能提高提供资金”产业模型的建立，实现产业发展，获取良性盈利。这将为生态抚育、生态功能提高提供稳定、持续的资金支持，彻底解决森林抚育养护、森林更替改造等严重缺乏资金投入的问题。

2.8.1 目标雄心

2021 年，占全球森林面积 90%以上国家和地区的 140 多位领导人在《格拉斯哥森林和土地利用领导人宣言》中承诺共同努力，到 2030 年制止和扭转森林丧失和土地退化现象。宣言中提到，这些国家将加强共同努力，以便养护森林和其他陆地生态系统并加快恢复，促进国际和国内贸易及发展政策，促进可持续发展和可持续商品的生产及消费，使各国互利，不推动砍伐森林和防止土地退化，减少脆弱性，增强抵御能力，改善农村生计，包括增强社区权能，发展有利可图的可持续农业等。

2023 年 3 月 1 日至 2 日，代表主要森林盆地的 20 多个国家在非洲森林中心的加蓬利伯维尔举行“同一个森林峰会”，致力于寻求保护热带森林的解决方案，制定了“利伯维尔”计划。该计划的主要目标包括：森林国家与国际社会之间达成公平协议，以协调环境目标与经济发展；保护最重要的碳和多样性储备的标志性举措：积极保护伙伴关系（PCP），初始预算为 1 亿欧元，以及通过“生物多样性信用”奖励模范国家的机制；一个名为“同一个森林愿景”的标志性科学项目，旨在测量

碳固存的净平衡，并准确绘制未来五年亚马逊、非洲和亚洲最重要的碳和生物多样性储备图；为三个森林盆地的企业领导者制定的“10by30”战略，到2030年通过与热带森林可持续开发相关的活动创造1000万个就业岗位，以及一系列切实的企业承诺。这些国家共同提出的未来森林发展目标强调了可持续性及其与经济协调关系，也为未来多个国家间共同开展森林碳汇治理、提出更具有雄心的森林碳汇目标提供榜样。

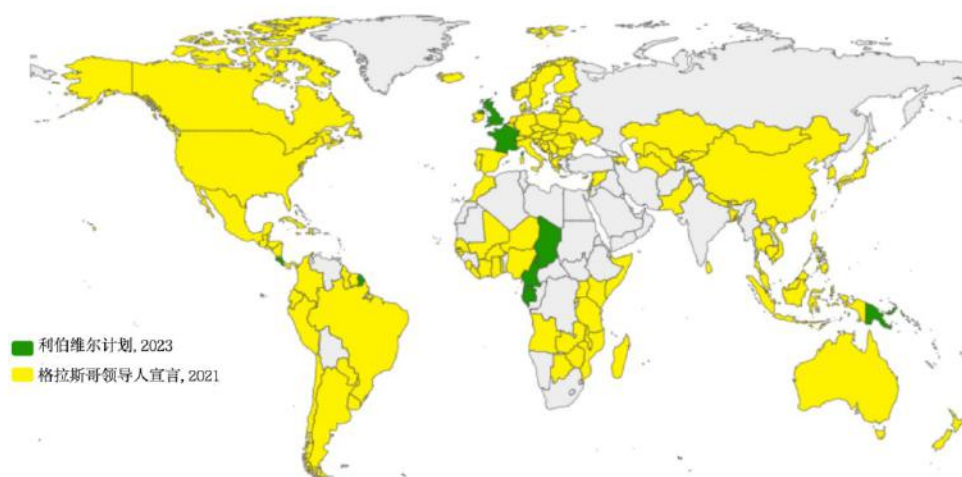


图 2-45 碳汇技术目标雄心更新地图

2.8.2 部署进展

2021 年全球森林管理不力，固碳量约为-5.2 亿吨二氧化碳，而中国、中亚和欧洲部分地区固碳量增加。基于互联网公开数据^①，本研究计算了 2021 年度全球各国森林固碳量，如图 2-46 所示，其中正值表示 2021 年该国森林固碳量有所增加，负值表示减少，分别意味着森林从大气中吸收/向大气中释放了二氧化碳。结果显示，全球森林碳储量分布呈现显著的空间异质性特征。中国在森林碳汇管理与成效方面遥遥领先，2021 年度固碳量增加最多；部分中亚国家和欧洲国家森林固碳量也有所增加。同时，以巴西为代表的南美洲国家和大部分非洲国家都在经历森林固碳量的损失，这可能不仅是与当地森林管理政策不利或发展理念不可持续有关，还可能是已经遭受到气候变化的影响。此外，北美国家如加拿大、墨西哥及东南亚国家如马来西亚、印度尼西亚等也在经历森林固碳量损失。北欧和澳大利亚的森林几乎没有变化，这些国家和地区需要防范土地利用和森林变化带来的二氧化碳排放。

^① <https://www.fao.org/home/en>, 等

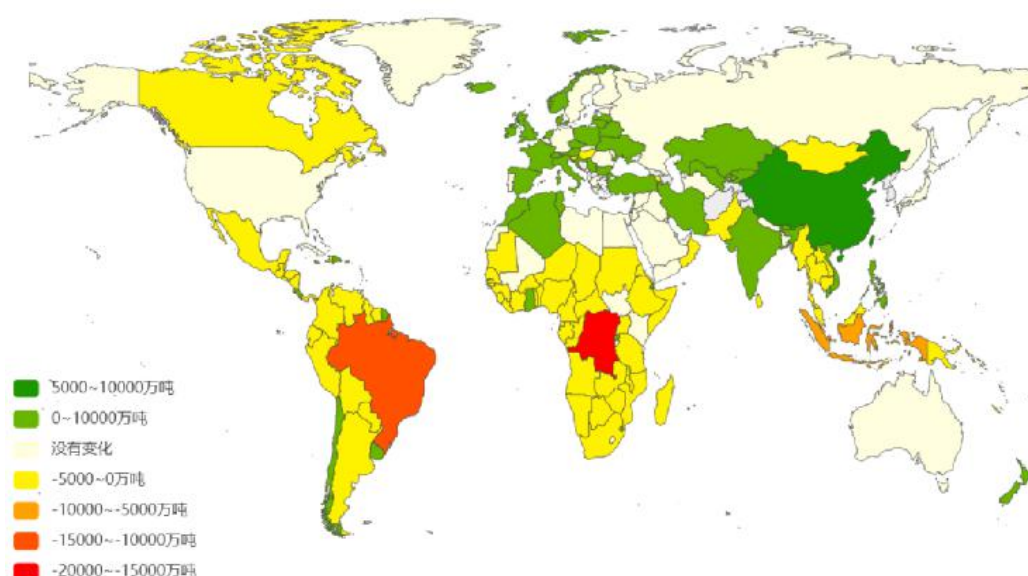


图 2-46 2021 年全球各国森林固碳量

2.8.3 政策支持

更多的发展中国家推出了切实可行、掷地有声的政策。尽管发达国家对碳汇重视程度较高，森林资源禀赋较高的发展中国家对碳汇的扶持力度也在逐步增强。基于互联网公开数据^①，表 2-13 呈现了 2023 年碳汇技术主要应用国家政策支持的情况。日本、美国、英国、澳大利亚、加拿大等发达国家对碳汇技术的重视程度均相对较高。日本重申了到 2030 年扭转森林损失和停止土地退化的承诺，重点是促进可持续的森林管理和木材的使用，通过公共和私营部门的合作努力，积极鼓励在建筑和各种产品中使用木材。欧盟的森林砍伐法规对欧盟市场上的林产品资格实施了严格的标准，强调“无森林砍伐”的地位和遵守相关立法。它涵盖了合法的森林砍伐和退化，超过了以前禁止非法砍伐的法律，并强调了社会和环境方面的考虑，要求遵守当地法律。加拿大则通过木材的绿色建设项目鼓励在建筑项目中使用创新的木材基建筑技术。中国致力于开展人工造林，支持大规模国土绿化工程，并且调动资源支持发展中国家森林可持续发展，制定规范国家储备林建设，推动国家储备林高质量发展。然而，少有国家制定森林筹资战略。

^① <https://forestclimateleaders.org/wp-content/uploads/2023/12/FCLP-2023-Annual-Report.pdf>, 等

表 2-13 不同国家 2023 年碳汇技术支持政策一览表

国家	森林面积增加3%	维持和加强碳汇积累	增强森林可持续管理	增强森林应对灾害和气候变化适应力	加强森林区建设和森林保护政策	增强长期森林资源可持续管理	推广使用来自可持续经营森林的产品	调动资源支持发展中国家森林可持续发展	增加林业公共、私人和慈善融资	增强南北、北北、南南和三角林业科技与技术创新合作	制定森林筹资战略	改进森林资源信息资料收集工作
澳大利亚	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0
巴布亚新几内亚	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
巴基斯坦	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
德国	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
厄瓜多尔	0	0	3	3	3	3	0	0	3	0	0	0
法国	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
斐济	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0
芬兰	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
刚果（金）	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
哥伦比亚	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
哥斯达黎加	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
圭亚那	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0
韩国	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
荷兰	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
加拿大	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
加纳	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0
美国	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0	0	2
秘鲁	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2
尼日利亚	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3	0
挪威	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
日本	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0
瑞典	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
坦桑尼亚	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新加坡	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
英国	0	0	3	0	3	0	0	2	0	0	0	0
越南	3	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0

注：0-无，1-强调，2-具体行动，3-具体政策，4-具体行动+政策。

2.8.4 创新能力

碳汇技术创新能力较强的国家主要是中国、美国和欧洲发达国家。碳汇技术主要通过森林种植、湿地恢复等方式，增加陆地和水生生态系统对二氧化碳的吸收能力。其创新主要体现在生物技术、土地利用和空间技术等环节，例如优化微生物、植物、动物等生物技术手段；在土地利用和规划上进行创新，促进生态系统的恢复和固碳能力等。

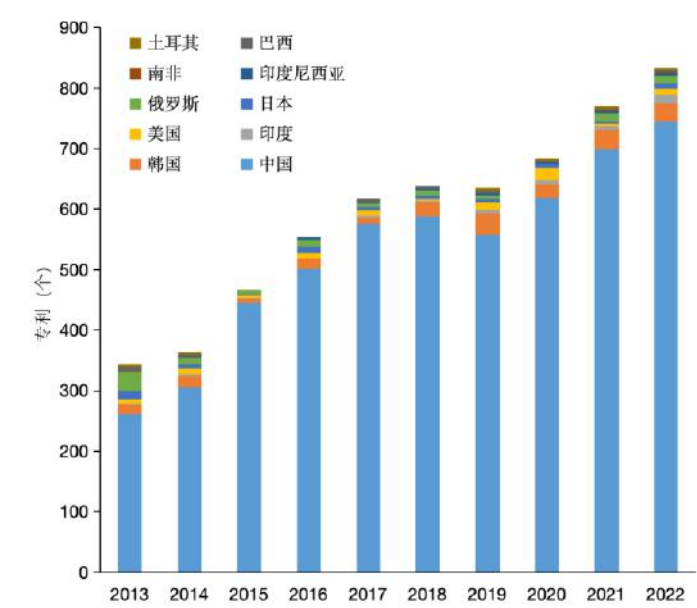


图 2-47 碳汇技术专利数

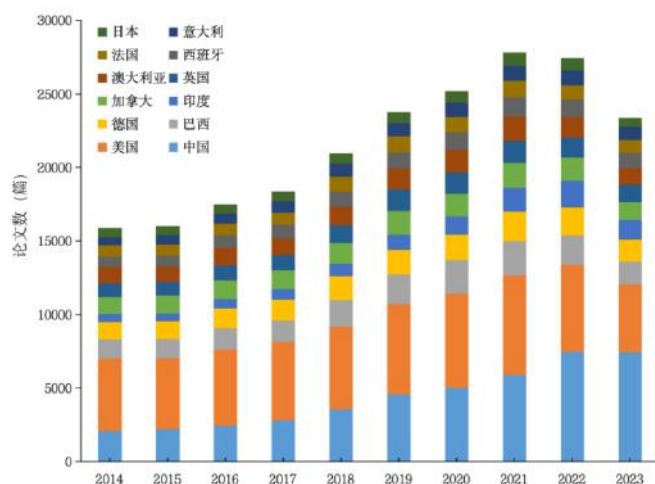


图 2-48 碳汇技术论文数

图 2-47 和图 2-48 描述了不同国家在碳汇技术方面专利数量和论文数量，并将其作为技术创新能力的主要定量指标。从图中可以看到，近年来，俄罗斯、日

本、意大利等发达国家碳汇技术创新有所下降，巴西、南非、印度尼西亚等新兴发展中国家碳汇技术创新有所上升。中国更重视碳汇相关技术专利，其它国家更重视碳汇相关科研文章。总体来讲，中国的碳汇相关技术创新能力有所提高，其他国家有所下降。

此外，美国的政策和市场环境相对成熟，国内有较为完善的碳市场和碳交易机制，以及各种碳补偿计划，促进了农林碳汇技术的发展和运用。在技术方面，美国通过研究和发展新型树种、栽培模式和林业管理方法等手段，提高了林业碳汇的效益和可持续性。中国的政策和市场环境相对较新，但政府对农林碳汇技术的支持力度逐渐加大。中国通过实施各种政策和项目，如生态公益林建设、退耕还林工程、荒漠化防治工程等，促进了农林碳汇技术的应用和发展。在技术方面，中国通过改进林业种植和管理技术，提高了林业碳汇的效益和可持续性。欧洲地区拥有比较完善的碳市场和碳交易机制，政府对碳减排和农林碳汇技术的支持力度也较大。在技术方面，欧洲地区注重林业管理和经营，开展了一系列研究和实践，以提高林业碳汇的效益和可持续性。

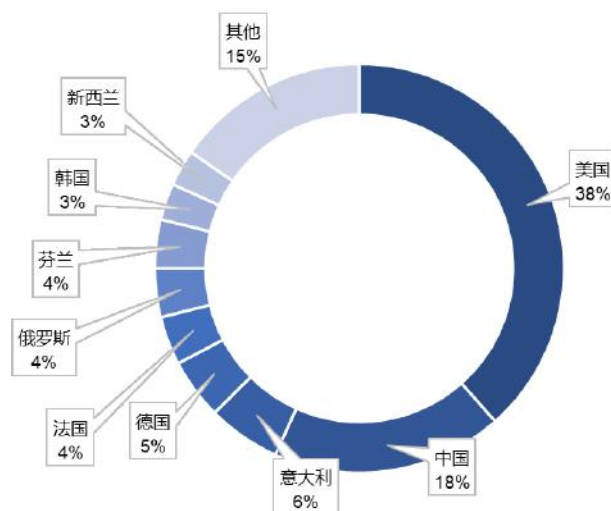


图 2-49 碳汇技术专利与论文数量

第三章 全球气候投融资进展

前言

资金是全球碳中和行动的关键支柱。全球实现《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）和《巴黎协定》目标须采取全面措施减缓气候变化，在电力、工业、交通、建筑等部门大量部署零碳技术，建设气候友好型基础设施以避免锁定排放，建设气候智慧型农业，并且保护与恢复陆地与海洋碳汇。以碳中和为导向的经济社会系统性变革需要大量资金支持，因此气候投融资进展成为衡量碳中和行动进展的关键指标，而能否为气候行动调动足够的投资与融资支持决定转型能否成功。在气候谈判的框架下，气候资金长期是 UNFCCC 和《巴黎协定》的重点议题，共同但有区别的责任原则与公平原则要求发达国家承担对发展中国家提供资金支持的义务，各方围绕出资目标和承诺落实展开激烈谈判。在当前全球面临地缘政治、能源、气候、粮食、债务等多重危机的背景下，气候投融资已经成为影响全球经济复苏与碳中和行动进程的关键因素。

全球气候投融资需求与缺口巨大。根据政府间气候变化专门委员会（IPCC）的评估，为实现《巴黎协定》的 2°C/1.5°C 目标，全球在电力供应、能源效率、交通、农林业和土地利用（AFOLU）等部门的年均减缓投资需求高达 2.3 万~4.5 万亿美元^①。对比当前的全球气候资金规模，发达国家和发展中国家的气候资金规模须增长至各自当前水平的 3~5 倍和 4~7 倍，分别达到 2%~4% 和 4%~9% GDP（2017—2020 年平均值）的水平^②。另一方面，化石能源的投资水平依旧很高，2021 年全球化石能源供应（未加装 CCUS）的投资规模约 8960 亿美元^③，且远高于国际能源署（IEA）给出的 2050 年全球净零排放情景下化石能源投资需求^④。

本章综合考虑政策进展和行动进展两个维度，对全球 198 个国家和地区气候投融资进展进行评估。本章基于指标政策含义与数据可得性，选取 8 个指标对全球各国面向碳中和目标的气候投融资进展进行评估（表 3-1）。在政策进展方面，对各国在国际气候承诺中提及气候投融资的情况（指标 3.1.1）进行分析，评估各

① Kreibichl S., T. Yong Jung, S. Battiston, P. E. Carvajal, C. Clapp, D. Dasgupta, N. Dube, R. Jachnik, K. Morita, N. Samargandi, M. Williams., Investment and finance. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022.

② Kreibichl S., T. Yong Jung, S. Battiston, P. E. Carvajal, C. Clapp, D. Dasgupta, N. Dube, R. Jachnik, K. Morita, N. Samargandi, M. Williams., Investment and finance. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022.

③ IEA. World Energy Investment 2022 [R]. Paris, 2022.

④ IEA. World Energy Investment 2022 [R]. Paris, 2022.

国国际承诺与雄心；对各国气候相关金融风险评估与披露（指标 3.1.2）进行概述，评估其国内促进气候投融资发展的政策体系的完整程度。在行动进展方面，对国家财政预算用于气候行动的规模（指标 3.2.1）、各国碳定价机制进展（指标 3.2.2）、发达国家气候资金承诺与国际气候资金落实情况（指标 3.2.3）、各国对全球环境基金（GEF）和绿色气候基金（GCF）的注资规模（指标 3.2.4）进行分析，并且对各国两年期报告中通报的资金规模（指标 3.2.5）和各国参与重要国际气候金融合作倡议的情况（指标 3.2.6）进行分析，评估各国投融资机构和企业参与国内绿色金融发展和全球气候投融资治理的积极性。

表 3-1 本章的评估指标体系

一级指标	二级指标
政策进展	各国在其国际气候承诺中提及气候投融资的情况 各国气候相关金融风险评估与披露进展
行动进展	国家财政预算用于气候行动的规模 各国碳定价机制进展 发达国家气候资金承诺与国际气候资金落实情况 各国在 GEF 和 GCF 的气候融资贡献 各国两年期报告中通报的资金规模 各国参与国际气候金融合作倡议情况

全球各国持续关注气候目标实现的资金需求，积极推动气候投融资政策体系建设，但目前的气候投融资政策体系仍然未能系统有效驱动金融资源支持气候行动。2023 年 2 月至今，共有 36 个国家和地区更新 NDC，提交 NDC 的国家中有阿尔及利亚、阿根廷等 21 个国家没有提及气候投融资。91%的缔约方提供了关于资金支持国家自主贡献的信息，提供关于气候资金定量信息的国家比例有所提高。2023 年 2 月至今，新增亚美尼亚、不丹、格鲁吉亚等 13 个国家和地区提交了 LT-LEDS，共有 85%的国家提及了实施 LT-LEDS 的投资需求。与此同时，全球碳定价机制日渐完善，碳价有所提高。2023 年，印度与澳大利亚增加了 ETS 机制。目前全球 ETS 机制共 35 个，碳税机制共 32 个，二者覆盖了 23.11%的温室气体排放，2023 年，全球加权平均碳价相比 2022 年提高了 0.7 USD/tCO_{2e}。尽管如此，全球碳定价机制仍未普及。过去一年中，发展中国家对气候金融风险重视程度明显增加，各国加速推动气候相关金融风险评估；但气候金融风险披露进展有限，需要统一风险评估方法，需要规范信息披露。如图 3-1 所示，两类国际承诺（指各国在 NDC 和 LT-LEDS 提及气候融资的情况）和四类政策进展（指气候相关金融风险评估和披露、碳定价机制和可持续金融政策）尚未覆盖全球所

有国家。除 NDC 气候融资承诺外，其他指标都尚未覆盖全球一半以上的国家。可持续金融政策已覆盖了全球近一半的国家，覆盖的 GDP、人口或 CO₂ 排放量已超过 80%。气候金融风险评估及披露以及碳定价两类政策覆盖国家数量或 GDP、人口和 CO₂ 排放量占比均有待提高。但总体而言，全球气候资金规模与《巴黎协定》目标下的资金需求仍存在巨大差距，气候投融资政策体系仍然未能系统有效驱动金融资源支持气候行动。

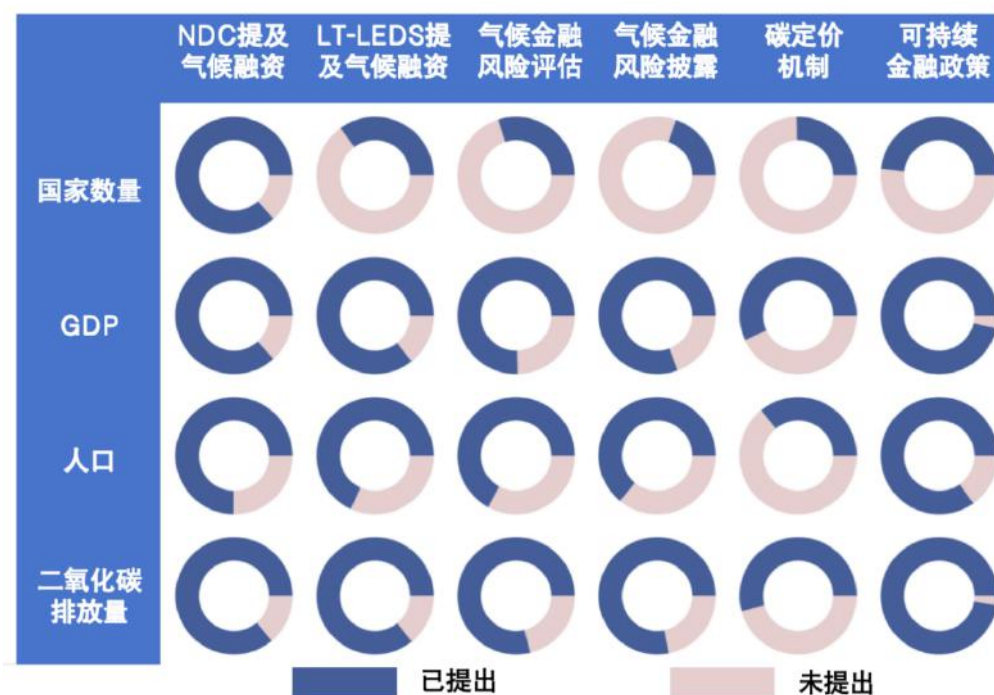


图 3-1 各类气候投融资政策进展覆盖国家数量、GDP、人口、CO₂ 排放量占比

注：以环状图描述各类政策进展覆盖国家的数量及对应国家 GDP、人口和 CO₂ 排放量占全球总量的比例。蓝色代表一国在某类政策上有所进展（做出相关承诺或出台政策），反之用粉色表示。

多数发达国家继续履行气候资金出资义务，但与满足实现巴黎协定目标的资金需求相比仍有一定距离；不同发达国家间承诺出资的完成度差异巨大，全球气候资金合作仍需进一步加强。32 个发达国家中在提交的双年报中提供了国际气候资金的出资承诺，其中 22 个缔约方承诺提供的公共资金与此前相比有所增加。总体而言，发达国家的气候资金出资承诺有所增加，预计到 2025 年发达国家每年将提供 947 亿美元的国际气候资金，现有承诺仍无法完成 1000 亿美元的出资目标。日本继续在做出承诺的发达国家中遥遥领先，法国、德国、英国、意大利等也在稳步提升出资承诺。用承诺出资完成率衡量不同发达国家的国际气候资金出资行动力度，发现不同国家间完成情况差异巨大。瑞士、挪威、卢森堡、比利时等发达国家已超额完成 2025 年出资目标承诺；希腊、英国、新西兰距离

各自的出资目标还有较大差距。COP28 决议通过建立损失与损害基金，帮助受到气候变化负面影响的脆弱国家。截至目前，部分国家已经对损失与损害基金做出了出资的承诺，总金额超过 7.2 亿美元。其中意大利、法国、德国和阿联酋承诺注资规模达到了 1 亿美元。GCF 的第二次增资规模相比第一次也有一定提升。其中，第一次未出资的美国注资 30 亿美元，成为了注资规模最大的国家。也有部分发展中国家积极参与 GCF-2 的注资，其中韩国注资最多，为 3.018 亿美元。发达国家继续主导国际气候合作倡议，发展中国家逐渐显露身影。加入 GFANZ 的机构数量持续增长，而加入 UNPRI 的机构数量变化较小。值得注意的是，许多发达国家的机构存在退出国际气候金融合作倡议的情况。

小岛屿发展中国家对气候行动与气候相关金融风险的重视程度明显增加，但仍呼唤更充足的资金支持和能力建设。小岛屿发展中国家在资金规模上明显落后，但占比表现较好；目前只有少数国家进行了明确的气候行动相关支出的核算，部分国家的预算并没有落实到行动。小岛屿发展中国家对气候金融风险的重视程度也有明显的增加，但对气候金融风险的强制披露进展有限，相关能力建设仍亟待加强。

3.1 气候投融资政策进展

3.1.1 各国在其国际气候承诺中提及气候投融资的情况

【本指标主要发现】

截止 2024 年 5 月，194 个已提交《巴黎协定》NDC 的缔约方中，21 个国家 NDC 未提及气候融资，36 个国家和地区 NDC 进行了更新；提交了 LT-LEDS 的 71 个缔约方全部提及气候融资，仅有 1 个国家未提及气候融资，有 13 个国家新提交了 LT-LEDS。不发达国家和小岛屿国家更加注重气候融资的需求和国际资金的获取，而许多发达国家则主要关注国内资金的筹措。同时，关于资金的确切数额、来源与使用方向以及相关工具和机制，各国的阐述往往不够明确。

【简介】

《巴黎协定》引入了国家自主贡献（NDC）机制，规定各成员国需要自行设定关于气候变化缓解和适应的目标及行动计划，并促进向低碳经济转型。此外，这些承诺需要每五年更新一次，以增强实施力度。协定还鼓励各国制定与公布各自的长期低排放发展策略（LT-LEDS），适应不同的国家情况。NDC 和 LT-LEDS 构成了国际气候承诺的关键组成部分。在此框架下，资金是实现气候目标的关键支持手段。对发展中国家而言，由于本国资源限制，履行这些承诺需要额外的资金、技术支持和能力建设。相对地，经济更发达的国家不仅拥有更强的经济金融

能力，还承担着在气候行动中走在前列的责任，并为发展中国家提供必要的国际气候资金。因此，在 NDC 和 LT-LEDS 的文件中对资金问题的详细表述，反映了各国对气候资金投入的关注程度。。

本指标基于《巴黎协定》缔约方提交的最新 NDC 和 LT-LEDS 文件，对提及气候投融资的文本信息进行梳理，从涵盖范围、融资机制、融资规模、融资去向等方面分析各国对气候投融资的整体重视程度。

【进展评估】

总体而言，大多数国家在 NDC 和 LT-LEDS 中认可气候融资在支持气候行动中的重要性。如图 3-2 所示，截止 2024 年 5 月，共 194 个缔约方已经提交了本国 NDC 文件，36 个国家在过去一年的时间里更新了 NDC 文件，以增强气候雄心和行动力度。其中，与 2023 年没有变化的是，包括印度、日本、巴西、阿根廷、沙特阿拉伯在内的 21 个国家未明确在 NDC 中提及气候融资。截至 2024 年 5 月，有 71 个缔约方提交了 LT-LEDS，相较于 2023 年 13 个国家第一次提交了他们的 LT-LEDS。

从气候融资范围看，69%的国家，主要是欠发达国家和小岛屿国家，指明需要国际资金支持作为气候融资的一部分。相比之下，22%的国家，包括多数发达国家和一些发展中国家，将气候融资的需求限定在国内资金范围内。此外，只有 7%的国家表明他们的融资策略包括对其他国家实施 NDC 的资金支持。并且，许多发达国家还没有承诺对国际气候资金支持的具体措施。考虑到发展中国家在实现碳中和目标过程中所面临的巨大融资需求，发达国家的积极参与和支持国际气候融资显得尤为重要。这不仅是为了支持全球气候行动的有效性，也是为了确保全球碳排放减少目标的实现。

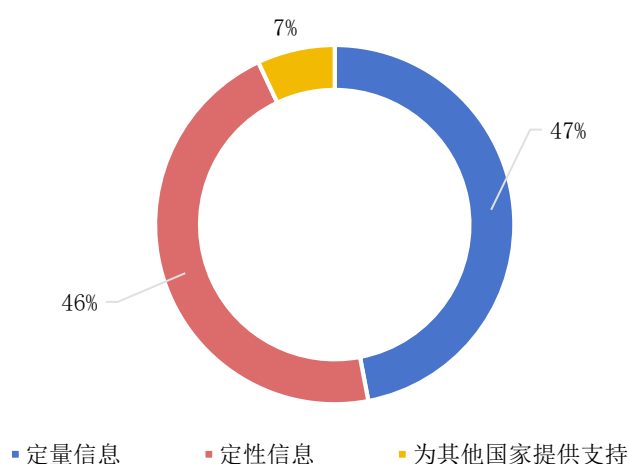


图 3-2 NDC 中提及气候投融资的情况

从气候融资需求看，提交 NDC 的国家中，46%的缔约方提供了资金支持需求的量化估计，这些估计往往表示为国家数据中心时间范围内的总额。其中，27%的国家在其新的或更新的国家发展报告中首次提供了最新的财政支助需求数量估计数。大多数缔约方将依赖国际支助的有条件行动的数量估计数与可能由国内来源供资的无条件行动的数量估计数区分开来。提交 LT-LEDs 的国家中，有 85%提到了实施长期低排放发展战略的资金需求，26%的国家提供了核算出的资金需求，26%的国家定性描述了其资金需求，另外 33%的国家仅提供了关于需求的一般性说明。有的国家在 LT-LEDs 中明确提出了气候融资的资金需求，如亚美尼亚提出，将创建一个有利于气候行动的投资环境，并利用各种资金来源和工具吸引 53.75 亿~72.25 亿美元；阿曼实现净零排放路径额外增加约 1900 亿美元的资本投资，主要用于电力和氢能基础设施建设，例如电网升级和扩展、氢气管道和储存、电动汽车充电基础设施以及大规模部署长时储能。

从气候融资机制来看，提交 NDC 的国家中，有 38%的缔约方提供了关于缓解和适应专题或部门资金支持需求的信息，如指定公共支出用途、建立气候基金或支持性金融体系等。提交 LT-LEDs 的国家中，有 57%的国家提供了资料，说明各自政府为通过经济政策措施、融资机制或金融工具增加资金流动所作的努力，这其中，约一半国家制定了财政政策。一些国家在 NDC 和 LT-LEDs 中明确了支持气候融资的具体机制。例如，德国计划通过燃料排放交易法、高效建筑联邦资金 (BEG) 计划、电动汽车推广多种政策和措施，间接地引导资金流向气候行动领域，并鼓励私人部门参与气候投融资；欧盟提出 InvestEU 计划，该计划将在利用私人投资进行转型方面发挥重要作用。

从气候融资用途看，各国在 NDC 和 LT-LEDs 中均列举了一些融资需求较大的领域。可再生能源、能源效率、运输和林业都需要缓解资金，而与水、农业、沿海保护和复原力有关的活动需要适应资金。有一些国家明确提出了气候资金的用途和支持的领域，如阿曼提及获取的资金将会用于能源领域、工业领域、交通领域、建筑领域、技术研发和地区发展等方面。

【政策启示】

尽管在多数国家的 NDC 和 LT-LEDs 中提及了气候融资相关信息，但通过仔细分析这些文本内容可以发现，国家间在对气候融资的关注程度上存在显著差异。特别是，一些国家的 NDC 文件中虽然提到了气候融资，但对于融资的需求规模、资金来源、资金使用途径以及具体的融资机制等关键细节尚未作出充分明确的说明。例如德国的 NDC 中侧重于气候行动目标、政策和措施，气候投融资的具体机制和规模并未提及。此外，关于气候融资是否应包括国际资金的问题，各国尚

未形成一致意见。发展中国家特别强调了国际融资的需求与重要性，然而一些发达国家并未考虑将国际融资支持纳入其气候融资范畴。鉴于“自主贡献”的原则，建议对发展中国家在其 NDC 和 LT-LEDS 文件中进行辅导，帮助它们明确提出气候资金的定量或定性需求及其使用目的。这样做将促进发达国家与国际金融机构更有效地根据这些需求提供融资支持，从而加强全球气候行动的协调和效果。

3.1.2 各国气候相关金融风险评估与披露进展

【本指标主要发现】

2023 年，全球各国继续推动气候金融风险评估进程，发展中国家对气候金融风险的重视程度明显提升。目前已有超过 190 个国家开展了气候金融风险评估，与 2022 年相比，有 35 个国家开始开展气候相关金融风险评估，其中包括了 34 个发展中国家。但气候金融风险披露的进展十分有限，2023 年仅有 11 个国家开始强制披露气候相关金融风险。

【简介】

气候相关金融风险,主要指气候变化可能带来的底层金融资产价值贬损的风险。根据不同的风险传导路径和减损方式，气候相关金融风险主要分为物理风险和转型风险。物理风险是指由极端天气和气候事件、海平面上升、生态系统服务损失(如荒漠化、缺水、土壤质量或海洋生态退化)的影响对企业、家庭和金融机构的资产造成冲击而产生的经济金融风险。转型风险是指低碳转型过程中，由于公共政策、技术、投资者或公众情绪的转变以及破坏性商业模式创新导致资产价格变动而引发的金融风险。相比于直接促进气候投融资的激励政策，气候相关金融风险管理旨在推动市场主体披露经营活动的气候风险,为银行和金融监管机构监管金融风险以及为市场根据气候风险重新对资产进行估值提供信息,加速投融资活动远离气候风险敞口较高的行业。

本指标对全球各国银行和金融监管机构是否要求相关市场主体披露气候相关金融风险的政策进行评估，以表征各国管理气候风险、促进气候投融资的政策进展。政策数据来源为各国政府、银行网站公开的政策信息以及银行与监管机构绿色金融网络(NGFS)、气候相关财务信息披露工作组(TCFD)等。

【进展评估】

气候变化相关金融风险逐渐引起更多国家和地区的重视，越来越多的相关机构和部门将气候金融风险评估纳入行动框架。如表 3-3 所示，与 2022 年相比，有 35 个国家开始开展气候相关金融风险评估，包括 7 个北美洲国家、5 个大洋

洲国家、8 个非洲国家、2 个南美洲国家、2 个欧洲国家和 11 个亚洲国家。令人欣慰的是，这 35 个国家中包括了 34 个发展中国家。由此可见，各国正推动气候金融风险评估的进程，其中发展中国家对气候金融风险的重视程度明显增加。

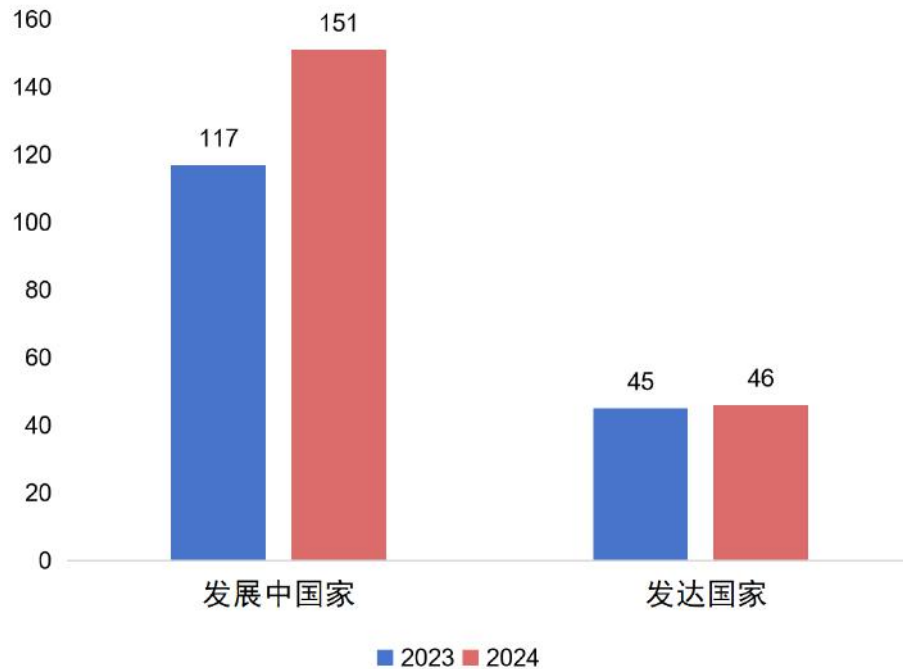


图 3-3 开展气候金融风险评估的国家数量

表 3-2 2023 年新增开展气候金融风险评估的国家

国家	大洲	国家	大洲	国家	大洲
巴巴多斯	北美洲	喀麦隆	非洲	阿联酋	亚洲
巴哈马	北美洲	肯尼亚	非洲	巴林	亚洲
百慕大	北美洲	卢旺达	非洲	柬埔寨	亚洲
哥斯达黎加	北美洲	毛利塔尼亚	非洲	马尔代夫	亚洲
墨西哥	北美洲	摩洛哥	非洲	马来西亚	亚洲
特立尼达和多巴哥	北美洲	尼日利亚	非洲	孟加拉国	亚洲
牙买加	北美洲	坦桑尼亚	非洲	斯里兰卡	亚洲
斐济	大洋洲	突尼斯	非洲	土耳其	亚洲
马绍尔群岛	大洋洲	巴拉圭	南美洲	亚美尼亚	亚洲
密克罗尼西亚联邦	大洋洲	智利	南美洲	约旦	亚洲
萨摩亚	大洋洲	北马其顿共和国	欧洲	越南	亚洲
汤加	大洋洲	俄罗斯	欧洲		

比如斯里兰卡气候风险评估发现沿海社区容易受到极端气温上升和沿海洪水的影响，从而可能产生与气候变化相关的重大金融和政治风险；尼日利亚对商业银行的贷款组合进行了基于情景的分析，并根据既定分类法评估其投资组合对低碳和高碳资产的风险敞口百分比。

虽然更多国家的机构开始逐步开展气候金融风险的评估工作，但气候金融风险的信息披露进展十分有限。2023 年仅有 11 个国家增加气候金融风险的强制性披露要求。比如，印度尼西亚的银行被要求审查其贷款组合中碳密集型行业的风险敞口。2023 年底，印度尼西亚金融服务管理局（OJK）宣布，到 2026 年，所有银行都需要将气候风险纳入其贷款决策中。此前，只有属于 OJK 气候工作组的银行才必须参与气候压力测试。但各国的信息披露的标准还需要进一步统一。多数国家要求遵循气候相关财务信息披露工作组（TCFD）公布的标准，也有部分国家自行制定了相关标准，比如澳大利亚审计与鉴证委员会（AUASB）就根据国际审计与鉴证准则委员会（IAASB）的最终标准制定了相关的信息披露准则。

虽然新增强制披露要求的国家较少，但也有部分国家已经开始为气候金融风险披露做准备，如孟加拉国银行将从 2024 年开始分 2 或 3 个阶段为银行和金融机构发布关于气候和可持续发展相关风险报告和披露的指南；斐济气候变化司与太平洋地区国家自主贡献中心和无国界银行家组织合作，开展了斐济气候风险披露指南草案研讨会。

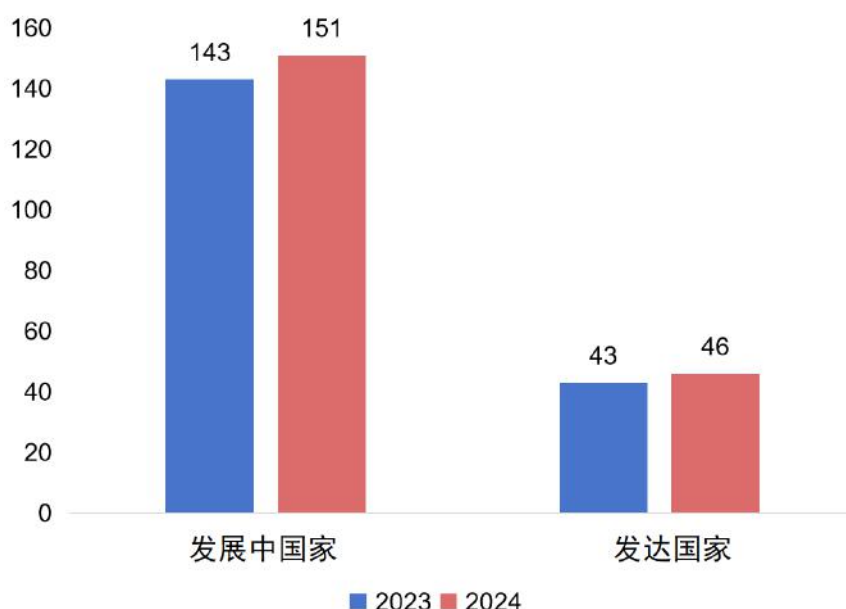


图 3-4 开展气候金融风险披露的国家数量

表 3-3 2023 年新增开展气候金融风险披露的国家

国家	大洲	国家	大洲
墨西哥	北美洲	孟加拉国	亚洲
澳大利亚	大洋洲	日本	亚洲
摩洛哥	非洲	土耳其	亚洲
坦桑尼亚	非洲	印度	亚洲
智利	南美洲	印度尼西亚	亚洲
德国	欧洲		

【政策启示】

气候金融风险披露政策的制定和执行至关重要，以确保金融机构和投资者充分了解和评估气候变化对其资产和投资组合的潜在影响。各国政府及相关国际组织需要进一步制定和完善气候风险披露的指南和框架，以帮助金融机构和企业更好地理解与披露与气候变化相关的信息。各国政府也可以开展培训和教育计划，帮助金融从业者和企业领导者了解气候风险管理的重要性，以及如何进行有效的气候风险披露。

3.2 气候投融资行动进展

3.2.1 国家财政预算用于气候行动的规模

【本指标主要发现】

目前，大部分国家尚未在国家预算中对气候行动相关支出进行专门、全面的披露。新西兰与南非在信息披露方面最为领先。在已披露相关信息的国家中，小岛屿发展中国家在资金规模上明显落后于发展中国家，但在占比上表现最好。多米尼加的气候相关预算占比最高，达 21%。部分发达国家，如法国与德国积极投资气候行动（占比分别为 8%与 10%），但统计中大部分发达国家财政预算用于气候行动的比例低于 1%。值得注意的是，部分国家的预算并没有落实到行动。例如，有报道指出，德国 2023 年 KTF 基金仅花费了一半。^①巴基斯坦 2022—2023 财年的相关预算也仅支出了一半。

① German special climate fund remains untapped to large extent | Clean Energy Wire[EB/OL]. [2024-05-09]. <https://www.cleanenergywire.org/news/german-special-climate-fund-remains-untapped-large-extent>.

【简介】

国家财政预算作为政府编制、立法机关审批的政府未来财年内收支状况的计划，其具体支出科目和预算规模体现了各国政府活动的重点和优先事项。面对气候变化这一严峻挑战，需要将绿色低碳可持续发展的理念融入国家财政预算编制过程中，利用国家公共资金支持清洁能源开发、能源效率提升、低碳基础设施投资、环境治理与生态保护等行动。因此将气候行动融入财政预算编制，对促进气候投融资具有重要意义。一是政府对气候友好型项目的财政支出可以降低一些气候友好型项目的早期投资风险，为私人投资进入创造机会。二是弥补某些私人资本难以进入领域的资金缺口，例如一些适应活动和自然保护项目。三是为一些低碳产品创造市场需求，推动低碳技术的规模扩增。

基于各国政府发布的预算文件、统计报告、部门新闻与第三方报道等数据来源，对各国 2024 年可获取的最新财年总预算与用于气候相关行动^①的预算计划进行分析，以评估政府财政预算支持气候行动、促进气候投融资的进展。

【进展评估】

本次统计了 30 个国家的国家财政预算用于气候行动的规模。图 3-5 展示了气候相关行动预算占比与各国财政预算规模的情况。从预算占比看，大多数国家（17 个）的气候相关项目预算占总预算比例低于 1%，剩余 13 个国家的气候行动相关预算分布在 0.03%到 21.1%之间。所有披露气候相关预算信息的国家中，占比最高的国家是多米尼加，其气候行动的主管部门预算占国家预算的 21.1%。在发达国家中，德国的气候预算支出占比最高，为 10.3%。美国气候行动相关项目的预算绝对规模最高，达 700 亿美元，但由于美国的财政总预算也最高，因此占比小于 1%。

^① 各国预算中对于“气候相关行动预算”的标准不一。为保证数据准确与可比性，本部分“气候相关行动预算”优先采用各国明确汇总的气候相关行动预算。在无专门汇总时，统计与气候变化的减缓与适应相关项目的预算总额。在数据不足时，则统计环境与气候变化的主管部门的预算，或选用第三方报道的数据。相比于 2023 年报告，本年度报告部分国家的统计口径有更新。

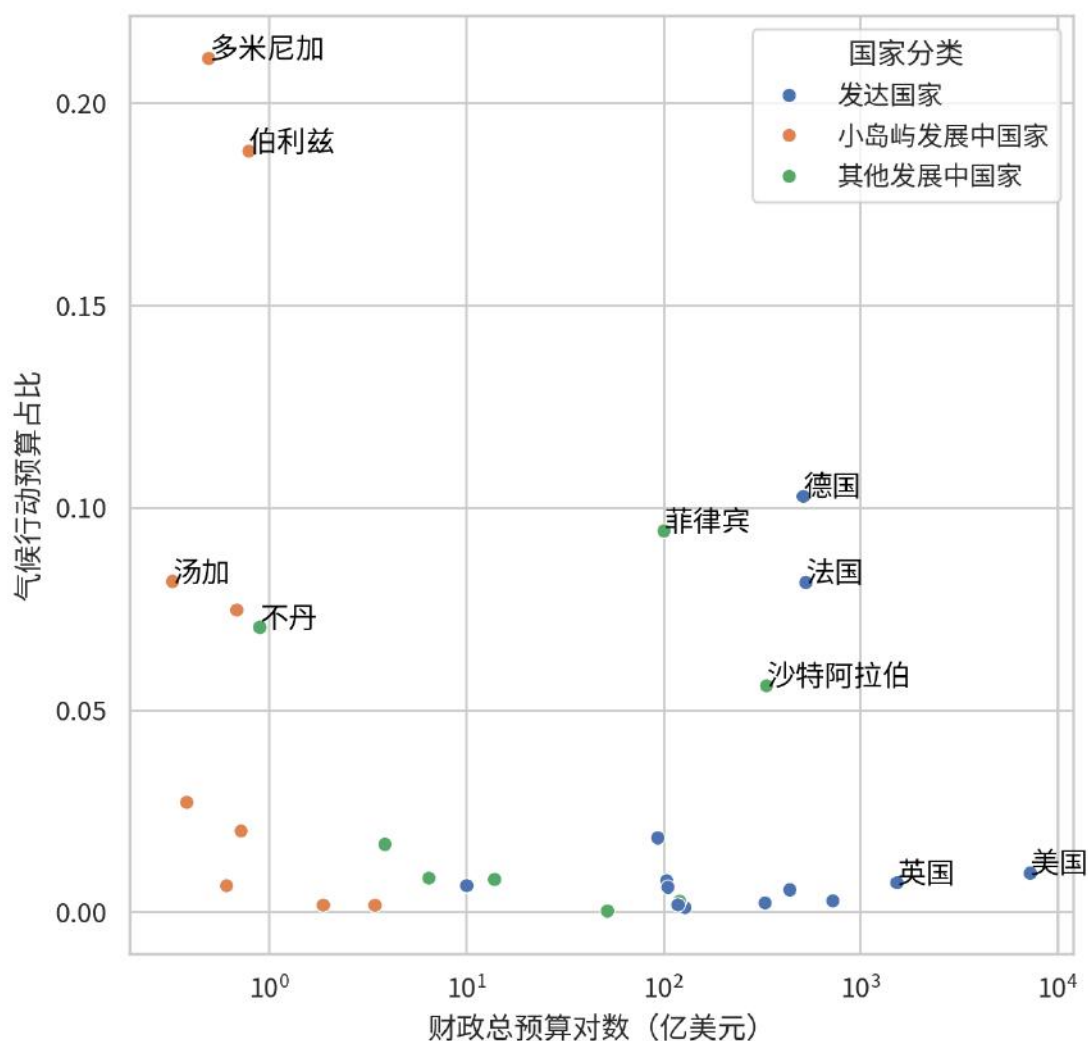


图 3-5 气候预算在国家财政预算中占比情况

尽管小岛屿发展中国家在资金规模上明显落后于发展中国家，但从图 3-6 上可以看出，小岛屿发展中国家在占比上表现最好。除德国（10.3%）、法国（8.1%）与芬兰（1.8%）外，其余 10 个发达国家的气候行动预算占比均低于 1%。

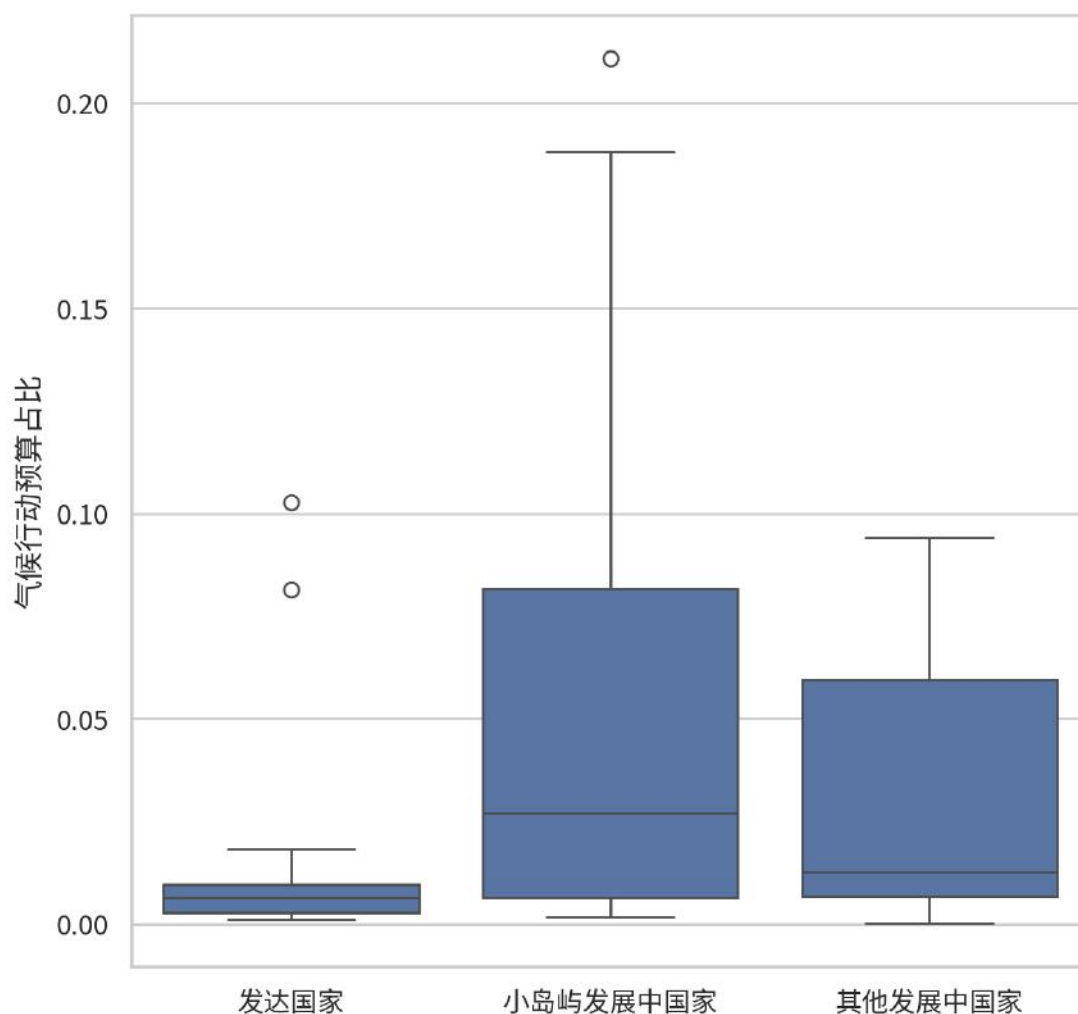


图 3-6 不同类型国家的气候行动预算占比统计

值得注意的是，在信息披露质量上，从图 3-7 可以看出，目前只有少数国家进行了明确的气候行动相关支出的核算。信息披露程度最佳的国家是新西兰，其《环境相关支出的估计》(Estimate of environmental expenditure) 在方法学与数据上都全面而清晰。南非的《南非气候金融现状》(The South African Climate Finance Landscape) 则对国内的各项资金来源与用途进行了全面统计。澳大利亚在预算中对气候支出的方法学进行了清晰、完善的定义，但尚未覆盖已有项目。不丹则针对 4 个部门引用了气候预算标签，将支出分类为减缓、适应、能力建设与无关三类。

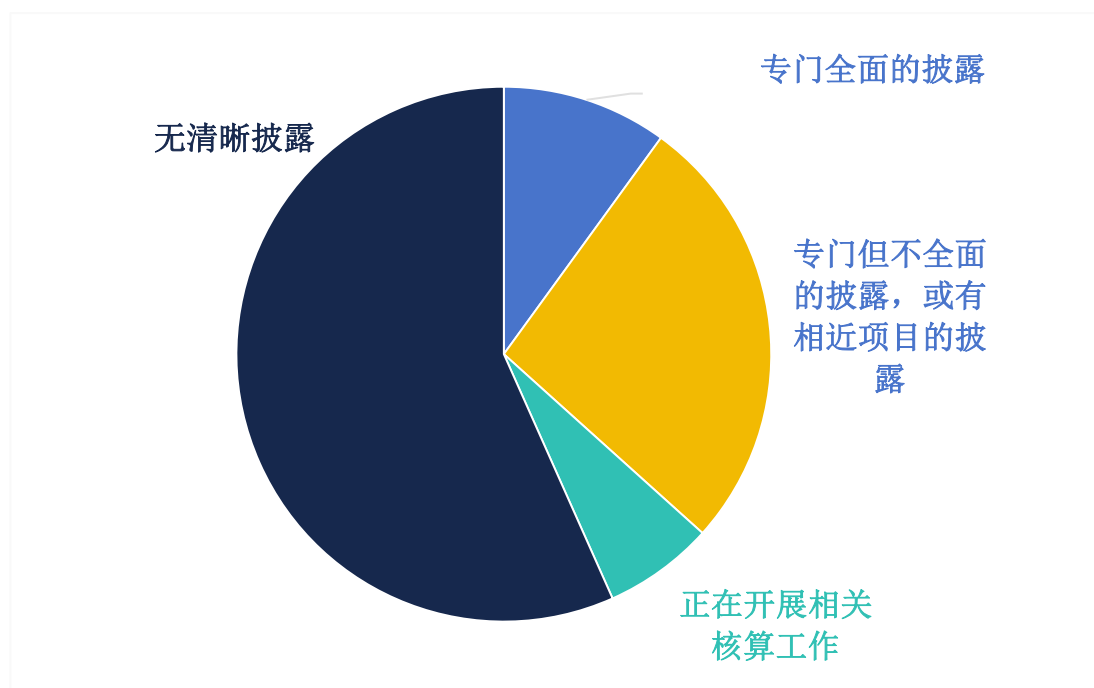


图 3-7 各国的气候行动支出信息披露情况

此外，我们发现，部分国家的预算并未落实到行动。例如，有报道指出，德国 2023 年 KTF 基金仅花费了一半。根据巴基斯坦 2023—2024 财年预算报告，其上一财年的气候行动相关预算仅支出了一半。

【政策启示】

财政预算作为政府直接支配和使用的公共资金，其规模有限且不同用途之间存在竞争，其分配体现了政府的工作重点。专门、全面、透明的信息披露有利于气候行动的进展跟踪与评估，对实现不同目标间的权衡也有重要作用。各国应当将气候行动与其他可持续目标纳入财政预算的规划中，加强信息披露，以提高公共支出的可持续发展社会效益。各国应进一步提高气候相关行动的预算占比，并将预算落实到行动，以保障气候行动目标与规划的实现。

3.2.2 各国碳定价机制进展

【本指标主要发现】

截至 2023 年，全球共有 37 个 ETS 机制，37 个碳税机制，覆盖 49 个国家与全球 23.11% 的温室气体排放。相比 2022 年，全球碳定价机制日渐完善，有两个国家新增了 ETS 机制，但距离全球普及仍有相当距离。碳价从 2022 年的 13.5 美元/tCO₂e 上升至 14.2 美元/tCO₂e，但仍然远低于实现《巴黎协定》温升目标所需水平。

【简介】

碳定价机制对促进全社会气候投融资创造显性市场激励。碳定价机制通过对人为排放的二氧化碳等温室气体进行收费，使温室气体排放产生的负外部性影响内部化，以价格信号激励排放者做出减排或付费的决策，因此碳定价机制能够抑制对化石燃料生产和消费的投资。由于低碳技术的经济竞争力提升，碳定价机制还能够激励社会资金支持气候投融资活动。同时，碳定价机制还可以为政府带来更多财政收入，缓解财政压力，并且增加对气候行动和可持续发展的公共资金支持。

由于碳定价机制对于引导气候投融资具有独特作用，追踪各个国家与地区的碳定价机制的进展成为评估全球气候投融资进展的重要一环。本指标基于世界银行集团数据，对截至 2023 年的全球各国碳定价机制的建立及进展开展评估，并就其趋势、地域特征等展开分析。

【进展评估】

截至 2023 年，全球共有 51 个国家设立了碳定价机制。49 个国家有碳交易或碳税机制，二者覆盖了 11.66GtCO₂e，占全球排放量的 23.11%，相比 2022 年的 23.17%略有下降，但基本相同。在已实施碳定价机制的国家中，仅有碳税的国家是 4 个，仅有碳交易机制的国家是 17 个，仅有碳信用机制的国家是 2 个。同时设置碳信用与碳交易机制的国家，以及同时设置碳信用与碳税机制的国家均有 4 个，同时设置碳税与碳交易机制的国家共 16 个，有 3 个国家三种机制同时存在。2023 年新增两个碳交易机制，即印度尼西亚 ETS（Indonesia ETS）与澳大利亚减碳保障机制（Australia Safeguard Mechanism）。

从碳价水平来看，2023 年全球加权平均碳价略微上升。2023 年，全球加权平均碳价为 14.2 美元/tCO₂e。不考虑通胀的情况下，全球加权平均碳价相比 2022 年上升 0.7 美元/tCO₂e。具体到机制上，相比于 2022 年，2023 年共有 35 个机制的碳价上升，9 个机制的碳价下降。深圳、东京与马萨诸塞州的 ETS 碳价上涨最为显著，是前一年的十倍以上。而日本埼玉、新西兰、加拿大魁北克与韩国的 ETS 碳价下跌超过 20%。

图 3-8 展示了全球各国碳定价机制的碳价水平。可见，大部分国家的碳价尚不足以实现具有雄心的气候目标。根据国际货币基金组织(IMF)的研究，为了实现在全球变暖限制在 1.5—2℃ 以内以避免气候灾难，全球平均碳价需要在 2030 年达到 75 美元/tCO₂e。^①当前，碳价高于这一目标的机制仅有 9 个，除乌拉圭外均为欧洲国家。同时，乌拉圭也是全球碳价最高的国家（155.86 美元/tCO₂e）。

^① International Monetary Fund. More Countries Are Pricing Carbon, but Emissions Are Still Too Cheap[EB/OL]. 2022[2023-03-18].

大部分国家的碳价距离 75 美元/tCO₂e 仍有相当大的距离。

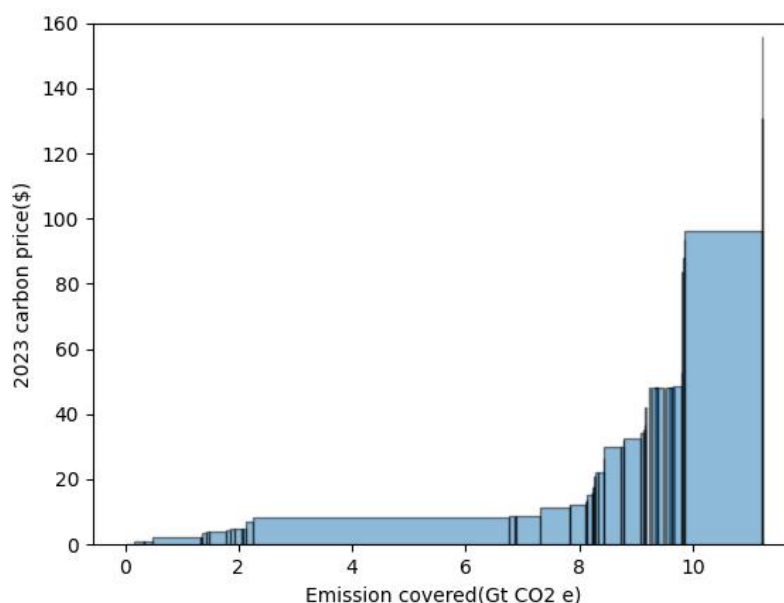


图 3-8 全球各国碳定价机制覆盖温室气体排放量及对应碳价水平

【政策启示】

目前全球碳定价机制覆盖的国家与排放量仍然不足，定价水平较低，且普及速度与价格上升速度都有待提升。当前，碳定价机制在激励企业与投融资机构减少碳排放方面的作用仍然不足。在能源危机与高通胀的背景下，许多国家通过降低能源税、增加化石能源补贴、实施价格管制等方式降低了能源价格，使碳定价的政治与经济背景变得更加复杂。^①为实现气候目标，各个国家应当加速碳定价机制的推广，并提高碳价。各国需要针对自身的情况，选用合适的机制、覆盖面与价格，以实现气候行动与其他目标的协同。

3.2.3 发达国家气候资金承诺与国际气候资金落实情况

【本指标主要发现】

发达国家的国际气候资金出资承诺有所提升，但距 1000 亿美元的出资目标仍有较大差距，需要关注并跟踪发达国家出资承诺的具体落实情况。各国资金的出资承诺完成的情况存在巨大差异。同时还成立了新的融资机制，COP28 中新设立了损失与损害基金，已有部分国家承诺向其注资。

【简介】

资金是解决气候变化问题的关键，发达国家兑现资金承诺是发展中国家的重

^① World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2023[EB/OL]. 2023[2024-05-10]

要关切。在 2009 年《联合国气候变化框架公约》第十五次缔约方大会（COP15）上，发达国家承诺在 2020 年之前每年提供至少 1000 亿美元资金帮助发展中国家应对气候变化挑战。这一目标在坎昆气候大会上正式确定，在巴黎气候大会上得到正式确定并延长至 2025 年。联合国气候变化格拉斯哥会议（COP26）决定将“长期气候资金”谈判议程延续至 2027 年，并于 2024 年制定 2025 年后新资金量化目标，同时敦促发达国家到 2025 年将适应气候资金总额在 2019 年基础上至少增加一倍。

发达国家的气候资金出资承诺对帮助最脆弱国家应对气候变化意义重大，有助于提高全球气候融资的力度和可预测性。为了避免气候变化达到危险水平，1000 亿美元的承诺已是微不足道，而十多年后发达国家仍迟迟未能履行这一承诺，因此实现《巴黎协定》的目标存在着巨大的资金缺口。发达国家每年的出资情况可以反映实现该目标中遇到的问题，尽快实现出资和资金的优化分配有着重要的意义。而发展中国家实际收到的资金情况也可以反映国际气候资金流动、相关信息披露的现状和存在的问题。本指标主要对发达国家两年期报告（BR）中通报的资金情况、发展中国家通报收到的资金规模以及发达国家的国际气候资金承诺进行评估。

【进展评估】

32 个发达国家在提交的双年报中提供了国际气候资金的出资承诺，其中 22 个缔约方承诺提供的公共资金与此前相比有所增加，仅捷克一个国家承诺提供的公共资金量有所减少。图 3-9 展示了这些发达国家承诺的国际气候资金的出资规模、GDP 与碳排放的情况。其中，日本承诺的出资规模继续在发达国家中遥遥领先。日本承诺在 2021—2025 年间提供 6.5 万亿日元的气候资金，并曾在缔约方第二十六届会议上宣布，在此期间额外提供多达 100 亿美元的资金，以助力发达国家完成 1000 亿美元的出资目标。加拿大、芬兰、爱尔兰、新西兰等 8 个缔约方宣布或重申，它们计划提供的气候资金至少较此前报告的承诺额翻一番。

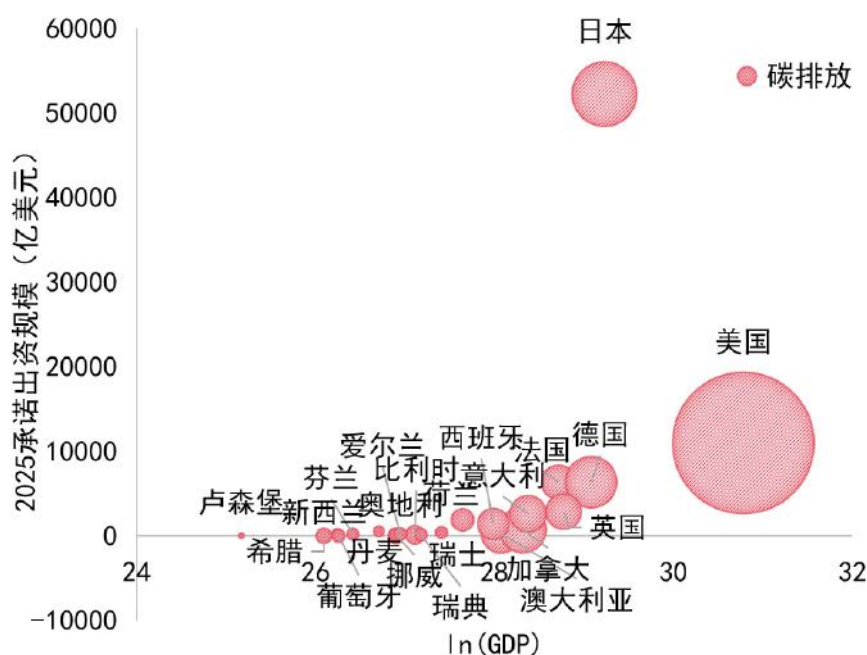


图 3-9 各发达国家国际气候资金承诺出资规模、GDP 与碳排放

将各国的出资目标折算成 2025 年每年的气候资金出资承诺并进行加总，得到的结果与去年的比较如图 3-10 所示。到 2025 年，发达国家的出资总额将达到 947 亿美元左右，与 2023 年的统计结果相比增加了 177 亿美元，但距离 1000 亿美元的目标仍有一定的差距。

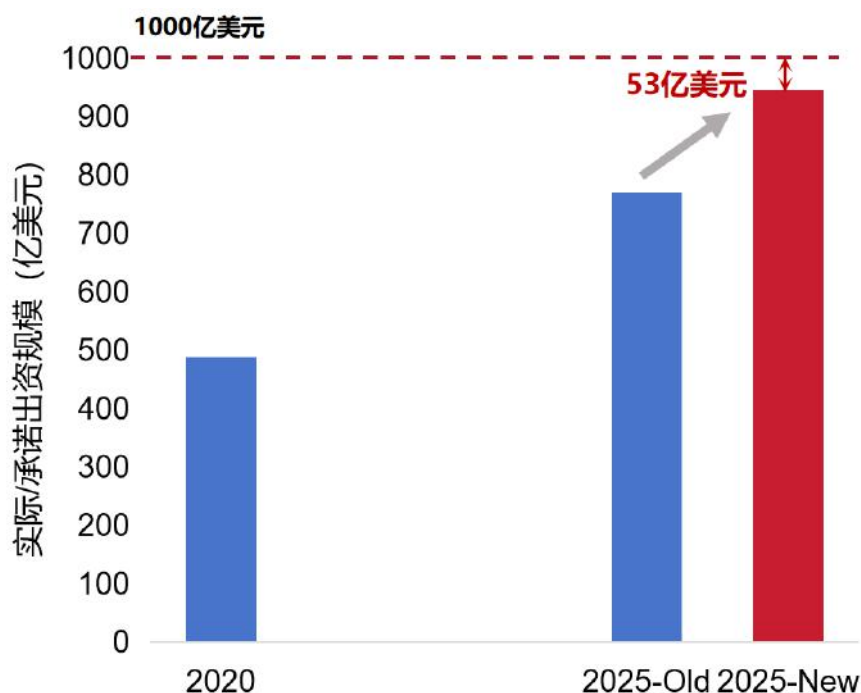


图 3-10 发达国家国际气候资金承诺出资规模与目标差距

在承诺出资规模之外，出资承诺是否真正落到实处也至关重要。本章采用承诺出资完成率衡量不同发达国家的国际气候资金出资行动力度，具体的计算公式为：

$$\text{承诺出资完成率} = \frac{\text{2020 年实际出资规模}}{\text{2025 年气候资金承诺}} \times 100\%$$

各个国家 2020 年的实际出资规模和承诺出资完成率情况如图 3-11 所示。可以看出，各个发达国家的承诺完成情况差异巨大。瑞士、挪威、卢森堡、比利时等发达国家已超额完成 2025 年出资目标承诺。日本虽然是 2020 年实际出资规模最大的国家，但距其承诺仍有距离。希腊、英国、新西兰距离各自的出资目标还有较大差距。

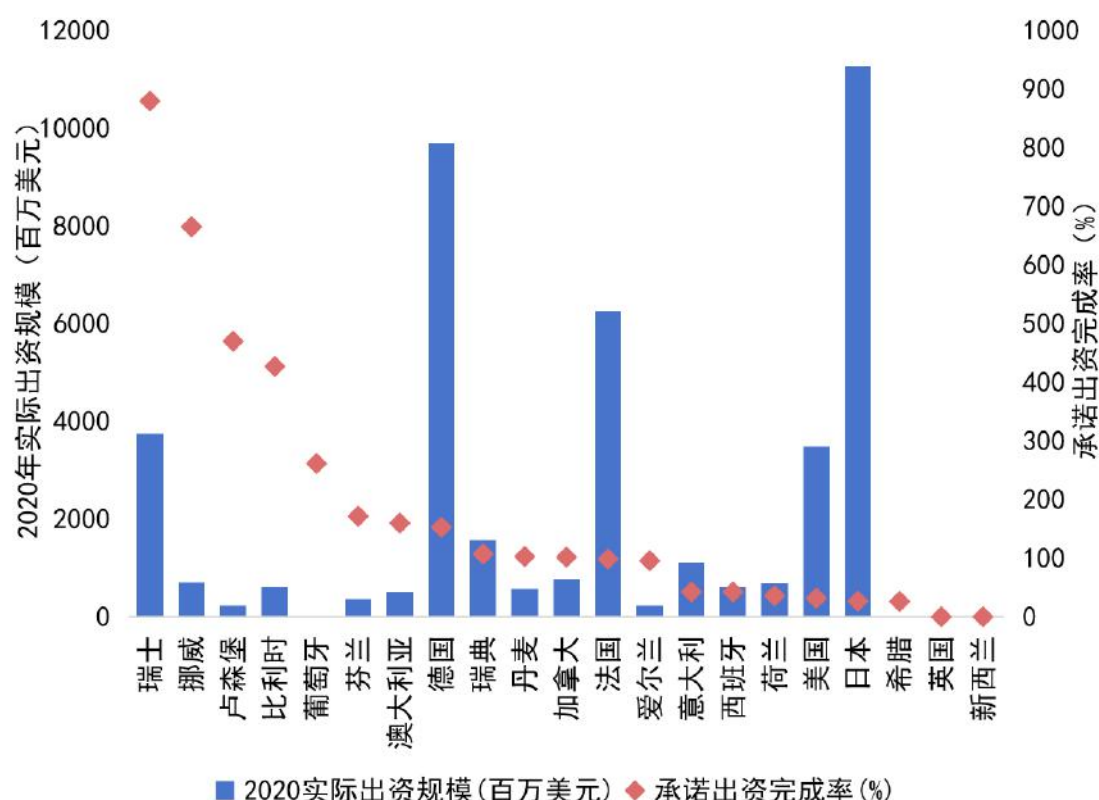


图 3-11 损失与损害基金承诺出资规模与 GDP、碳排放

除此之外，COP28 决议通过了一项新的融资机制，通过建立损失与损害基金，帮助受到气候变化负面影响的脆弱国家。截至目前，部分国家已经对损失与损害基金做出了出资的承诺，总金额超过 7.2 亿美元（表 3-4）。其中意大利、法国、德国和阿联酋承诺注资规模达到了 1 亿美元（图 3-12）。

表 3-4 损失与损害基金承诺出资规模（百万美元）

国家	承诺注资规模	国家	承诺注资规模
加拿大	11.6	荷兰	16.3
丹麦	25.5	挪威	25
爱沙尼亚	0.5	葡萄牙	5.45
芬兰	3.26	斯洛文尼亚	1.63
法国	108.9	西班牙	21.7
德国	100	阿联酋	100
冰岛	0.6	英国	50.6
爱尔兰	27.3	美国	17.5
意大利	108.9	欧盟	27.1
日本	10		

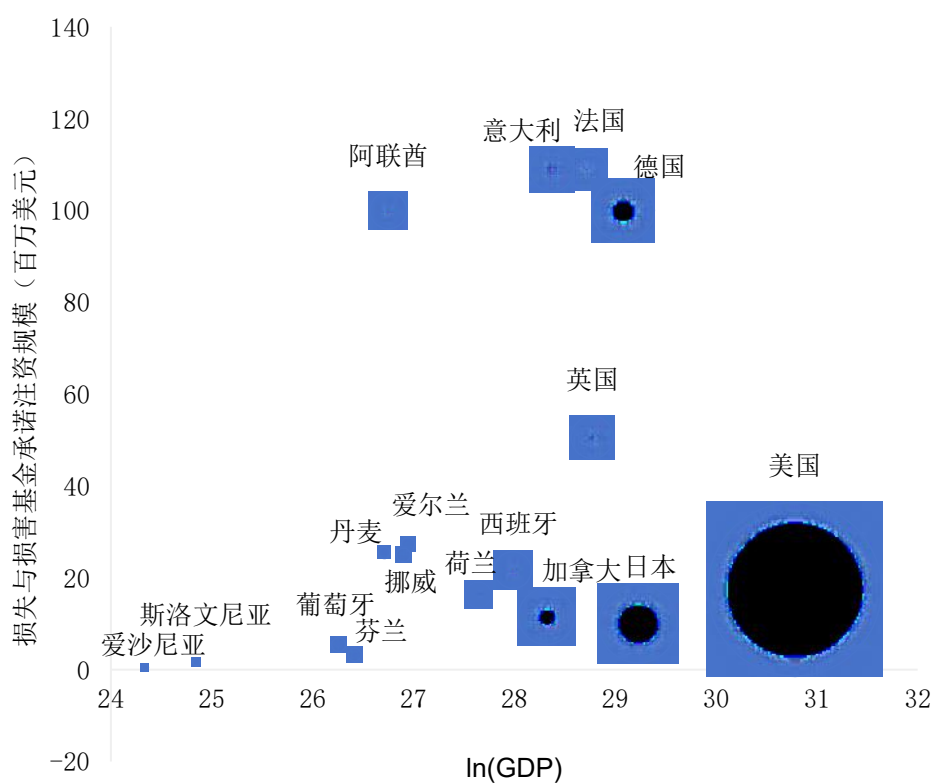


图 3-12 损失与损害基金承诺出资规模与 GDP、碳排放

【政策启示】

发达国家气候资金出资承诺与 2022 年相比有所提升，但与 1000 亿美元资金的承诺还有一定差距，发达国家的国际气候资金承诺尚未完全落实。目前，虽然全球气候资金总量持续增长，但总体资金缺口依然巨大。资金对于发展中国家应

对气候变化意义重大，发达国家的援助也必不可少，应督促发达国家尽快兑现气候资金出资承诺。与此同时，新的资金机制也逐渐成立，还需继续创新金融工具和国际气候资金合作模式，满足发展中国家应对气候变化的多元化需求。

3.2.4 各国在 GEF 和 GCF 的气候融资贡献

【本指标主要发现】

发达国家继续履行多边气候基金注资义务，绿色气候基金的第二次增资（GCF-2）规模相比第一次增资有一定提升，部分发展中国家也积极参与注资。截至 2023 年 12 月，31 个国家承诺在未来四年向绿色气候基金提供共计 128 亿美元的支持。

【简介】

全球环境基金（GEF）和绿色气候基金（GCF）是《公约》下资金机制的经营实体，也是《公约》下规模最大的两支多边基金。GEF 是气候公约、《联合国生物多样性公约》《联合国防治荒漠化公约》等国际环境公约的资金实体。在气候公约下，GEF 已为 130 多个国家近 1000 个减缓气候变化项目提供了资金支持，项目产生的温室气体减排量达到 84 亿吨^①。GCF 旨在支持《公约》和《巴黎协定》的实施，特别是帮助《巴黎协定》缔约方落实其国家自主贡献，其用于减缓和适应项目的资金各占 50%。目前，GCF 已经批准了 100 亿美元资金用于支持在 127 个发展中国家开展的 190 个适应和减缓项目^②。由于 GEF 和 GCF 是《公约》下主要的资金流动渠道，发达国家负有向其注资支持发展中国家气候行动的义务，因此评估各国特别是发达国家在 GEF 和 GCF 下的贡献，对于盘点全球气候投融资进展至关重要。GCF 已进行第二次注资，此次增资的主要目的是为了加强全球对气候变化的应对能力，特别是在发展中国家。这包括支持实施国家确定的贡献（NDCs）、加强适应能力、促进可持续能源使用、保护生态系统，以及支持创新技术和市场机制。GCF-2 的目标是筹集更多的资金，以满足全球气候变化行动的需求，特别是在面对日益严重的气候变化影响时。本指标将对各国在 GCF-2 中的贡献进行分析。

① Global Environment Facility. Climate Change | GEF [EB/OL]. [2022-10-9]. <https://www.thegef.org/what-we-do/topics/climate-change>.

② UNFCCC. Decision 6/CP.26. Report of the Green Climate Fund to the Conference of the Parties and guidance to the Green Climate Fund. [R]. Bonn: UNFCCC, 2021.

【进展评估】

GCF 继续在其资金窗口下为气候行动提供资源。根据董事会第三十六次会议（B.36）的决定，批准项目总数为 228 个，GCF 资助总额为 128 亿美元，其中共同融资为 355 亿美元。根据认可实体（AE）的估计，这些批准的项目和计划预计将减少 29 亿吨温室气体排放，并惠及 2.96 亿直接受益者和 7.23 亿间接受益者。按名义价值计算，私营部门和公共部门分别占绿色气候基金资金的 35% 和 65%。按赠款等值计算，GCF 投资组合分配中 52% 用于适应（41.5 亿美元），48%（37.7 亿美元）用于缓解。

截至 2023 年 7 月 31 日，GCF-1 的所有捐助方均已确定认捐并签署了捐助协议/安排，名义金额相当于 98.7 亿美元。GCF 继续根据其准备和准备支持计划（准备计划）加强对发展中国家的支持。截至 2023 年 7 月 31 日，GCF 已批准了涵盖 142 个国家的 709 项准备请求，包括支持国家适应计划和/或其他适应规划流程的请求。已为 709 项准备请求以赠款或技术援助的形式承诺提供 5.2758 亿美元，其中 603 项正在执行或已完成。与此同时，根据 B.33/04 号决定的授权，修订 2024—2027 年准备计划战略的工作已取得进展，初步草案已在 B.36 中提交理事会审议。在进一步开发之后，包括与 USP-2 更好地保持一致，它将在 B.37 中提交给董事会审议。截至 2023 年 7 月 31 日，绿色气候基金已批准 103 项适应规划提案，另有 33 项正处于审查过程的不同阶段。秘书处继续改进准备提案的批准时间表和支付期限（包括国家适应计划提案）。2022 年提交的提案，从首次提交到批准之间审核流程的中位时间降至 99 天，而 2021 年为 162 天，2020 年为 125 天。2022 年提交的提案的支付速度降至 105.5 天，而 2021 年为 168.5 天 2020 年为 441 天。GCF 还通过不同的 GCF 资助窗口继续支持发展中国家在其国家适应计划中确定实施的优先适应事项。根据 GCF-1 目标，优先向特别脆弱的国家分配适应资金，其中 66% 的赠款等值资金（65% 名义价值）分配给最不发达国家（LDC）、小岛屿国家发展中国家（SIDS）和非洲国家。GCF 还继续致力于为国家指定机构、联络点和 AE 提供额外指导，以准备范式转变的高影响力适应项目。部门指南将根据“关于 GCF 为加强气候适应提供支持的愿景、方法和范围的指导”和“原则”，在减缓和适应成果领域服务于这一目的。以证明绿色气候基金支持的活动的活动的影响潜力。

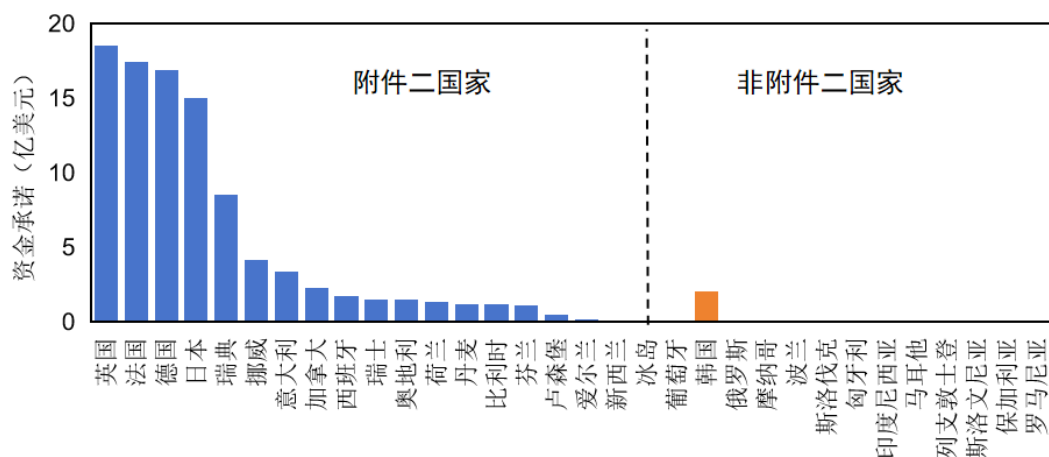


图 3-13 GCF-1 各国承诺气候相关资金规模

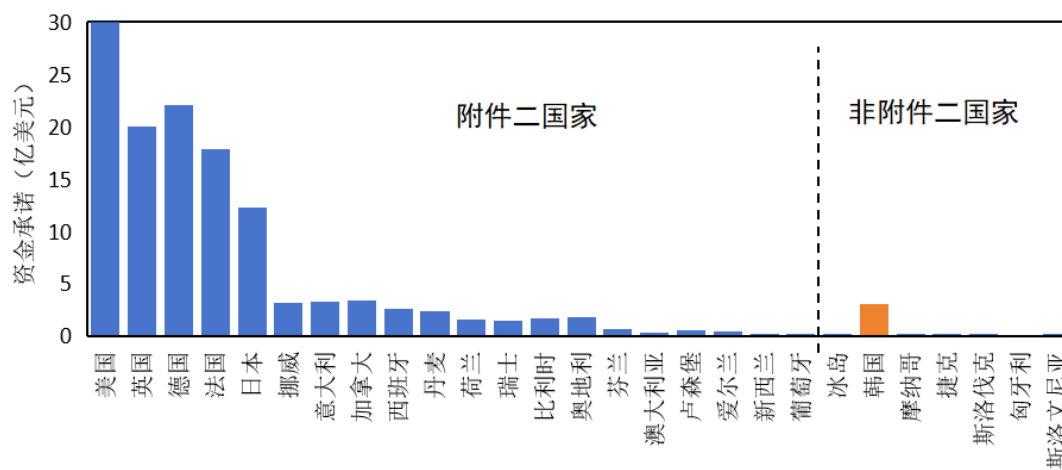


图 3-14 GCF-2 各国承诺气候相关资金规模

3.2.5 各国两年期报告中通报的资金规模

【本指标主要发现】

发达国家第五次两年期报告通报的资金规模较第四次有所增加，其中日本通报金额 450 亿美元，是通报资金规模最大的国家。发展中国家两年期报告提交的信息并不完全，截止目前通报的收到资金额约为 500 亿美元，其中印度、印度尼西亚、巴西得到的资金支持较多。

【简介】

在《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）下，各国需在两年期报告中通报其贡献和获得的资金规模，该指标旨在量化各国从国际、国家和私营部门获得的资金，以支持其应对气候变化的努力。这些资金包括但不限于减缓和适应气候变化的项目和计划，确保透明度和问责机制的落实，有助于评估全球气候资金流动

的现状和趋势，从而推动全球气候融资的协调与优化。本指标将对各国在两年期报告中通报的资金规模进行分析。

【进展评估】

发达国家第五次两年期报告通报的资金规模较第四次增加了 255 亿美元，增幅 35%，其中，第一次未通报资金规模的美国此次通报金额 63.5 亿美元。日本通报金额 450 亿美元，是通报资金规模最大的国家。其次是德国和法国。发展中国家两年期报告提交的信息不完全，截止目前通报的收到资金额（以地区为单位收到资金不计入，共同融资不计入）约 500 亿美元，其中印度、印度尼西亚、巴西得到的资金支持较多。

在资金来源方面，发展中国家的气候资金主要来源于双边融资、多边融资、国内公共资金和私营部门资金。这些资金用于支持各国实现气候变化减缓和适应措施。在资金用途方面，这些资金主要用于支持各国实现其国家自主贡献（NDC）中的减缓和适应目标。例如，在印度尼西亚，资金主要用于支持气候变化的减缓和适应行动，如可再生能源、森林保护、废物管理等项目。在南非，资金主要用于支持能源部门的改革、可再生能源的发展、城市基础设施的投资等。

在资金差距方面，尽管国际社会已经承诺提供资金支持，但发展中国家在实现其气候变化目标方面仍然面临资金缺口。例如，根据联合国的报告，到 2030 年，发展中国家需要每年投资 1.6 万亿美元来实现可持续发展目标，其中包括气候变化的减缓和适应目标。然而，目前每年的投资仅为 5000 亿美元左右，存在巨大的资金缺口。

此外，发展中国家在获取和使用气候资金方面也面临一些挑战。首先，获取资金的程序复杂，需要满足各种条件和要求，这对于一些能力较弱的国家来说是一个挑战。其次，资金的分配和使用存在不透明性，需要加强监督和评估机制，确保资金能够真正用于实现气候变化目标。

总的来说，发展中国家在气候资金方面面临资金来源的多样性、资金用途的广泛性和资金差距的挑战。为了实现气候变化目标，需要国际社会提供更多的资金支持，并加强监督和评估机制，确保资金的有效使用。同时，发展中国家也需要加强自身的能力建设，提高获取和使用气候资金的能力。

3.2.6 各国参与国际气候金融合作倡议情况

【本指标主要发现】

截至 2024 年 4 月，加入 GFANZ 的机构有 742 个，签署 UNPRI 的机构总数达 5347 个。目前欧洲和北美发达国家仍在持续主导 GFANZ 和 UNPRI 等国际气

候金融合作倡议，但是许多发展中国家逐渐显露身影，都在不断增加加入倡议的机构，充分提高了倡议成员的多样化程度。但目前有部分发达国家的机构陆续退出 GFANZ 和 UN PRI，这些机构或多或少面临贡献不足、财务资源短缺、政治法律压力问题，引发对国际气候金融倡议的持续质疑。

【简介】

格拉斯哥净零金融联盟（GFANZ）是 2021 年 4 月由前英格兰银行行长 Mark Carney 提倡启动，引领以降低全球金融活动碳排放为目标的国际金融组织联盟。GFANZ 致力于对其成员机构提供气候投融资的数据分析与指导，并帮助其制定净零排放转型路线图，从而协助成员机构实现 2050 年净零排放目标。联合国负责任投资原则组织（UN PRI）于 2006 年在纽约证券交易所成立，这是一个由全球各地资产所有者、资产管理者以及服务提供商组成的国际投资者网络，致力于发展全球可持续金融体系。UN PRI 发布了一系列投资原则，用于金融机构对可持续投资的参考，并为成员提供量化评估 ESG 因素的方法与气候投融资领域的研究报告，旨在帮助投资者认识 ESG 因素对投资价值的影响，进而推动全球可持续发展进程。GFANZ 和 UN PRI 的工作在气候投融资领域发挥着重要的作用，本指标对加入 GFANZ 和 UN PRI 的机构数量和类型、时间变化、贡献评价进行整理和评估。

【进展评估】

GFANZ 包括净零资产管理者倡议（NZAM）、净零资产所有者倡议（NZAOA）、巴黎资产所有者联盟（PAAO）、净零银行业联盟（NZBA）、净零金融服务提供者联盟（NZFSPA）、净零投资顾问倡议（NZICI）、风险投资气候联盟（VCA）、净零出口信贷机构联盟（NZECA）8 个倡议或联盟，企业和金融机构可以通过加入 8 个倡议或联盟之一成为 GFANZ 成员。截至 2024 年 4 月，加入 GFANZ 的机构共有 742 个，其中 NZAM 倡议包含的成员机构最多，有 325 个，占比达到了 43.8%，加入成员数量最少的是 NZECA 和 NZICI，分别仅有 8 个和 11 个机构，分别占比 1.1%和 1.5%。

目前 GFANZ 成员机构主要来自欧洲和北美发达国家，发达国家共 680 个，占比为 91.6%，所有发展中国家机构占比仅为 8.4%，从 2022 年到 2023 年，发达国家加入的机构数量从 405 个增加到 680 个，其中美国、英国、瑞士、法国、德国分别增加 71、43、16、14、10 家，同时 GFANZ 也在不断增加联盟成员的多样化程度，2021 年在非洲和亚太地区启动了 GFANZ 区域网络，希望全球更多发展中国家的机构加入联盟，从 2022 到 2023 年发展中国家加入机构从 5 个迅速增

加到 62 个，其中亚洲和拉丁美洲国家增加机构较多，分别为 24 和 23 个，而非洲国家增加机构数量仍然较少。

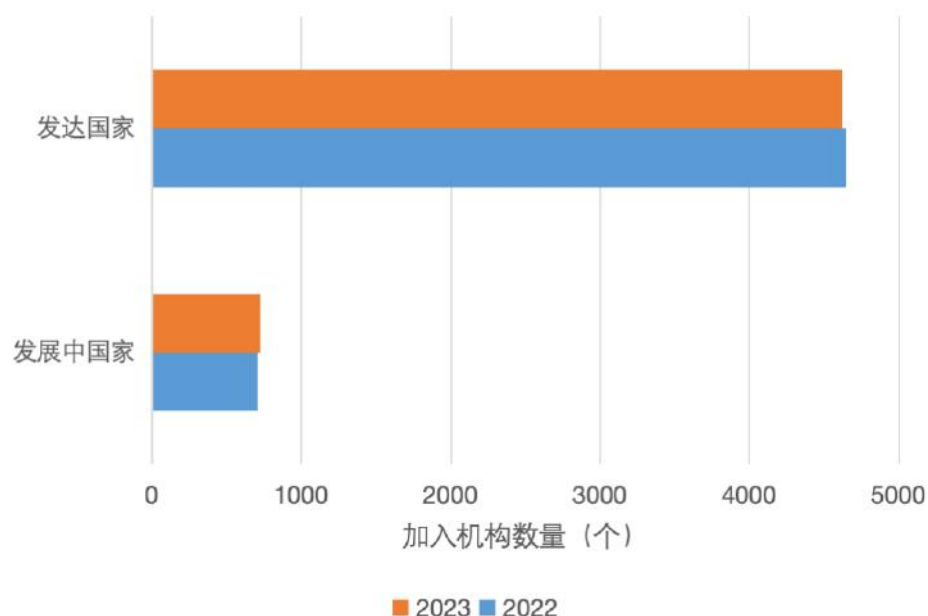


图 3-15 发达国家和发展中国家加入 UN PRI 的机构数量

UN PRI 签署机构数量和国家方面，欧洲和北美发达国家的数量占绝大多数，共 4621 个，占比 86.4%，而发展中国家的机构数量明显较少，共 726 个，仅占比 13.6%。从 2022 年到 2023 年，签署 UN PRI 的机构数量和国家数量均较为稳定，分别减少 4 个和 2 个，分别仅占 0.07%和 2.3%；其中发达国家机构数量总体有所减少，共减少 25 个，而发展中国家机构数量总体有明显的增加，共增加 21 个。如图 3-16 所示，减少机构数量最多的国家包括美国、英国、荷兰、南非、瑞典，减少比例从 3%~5%不等，多为欧美发达国家，增加机构数量最多的国家包括西班牙、日本、新加坡、印度、韩国，增加比例从 6%~20%不等，多为亚洲、欧洲国家。就地区而言，欧洲和北美增加和减少机构数量均大于 10 个，亚洲增加机构数量 13 家，仅减少 1 家，签署倡议更加积极，拉丁美洲和非洲增加和减少机构数量均小于 5 家，对 UN PRI 参与积极性较弱。

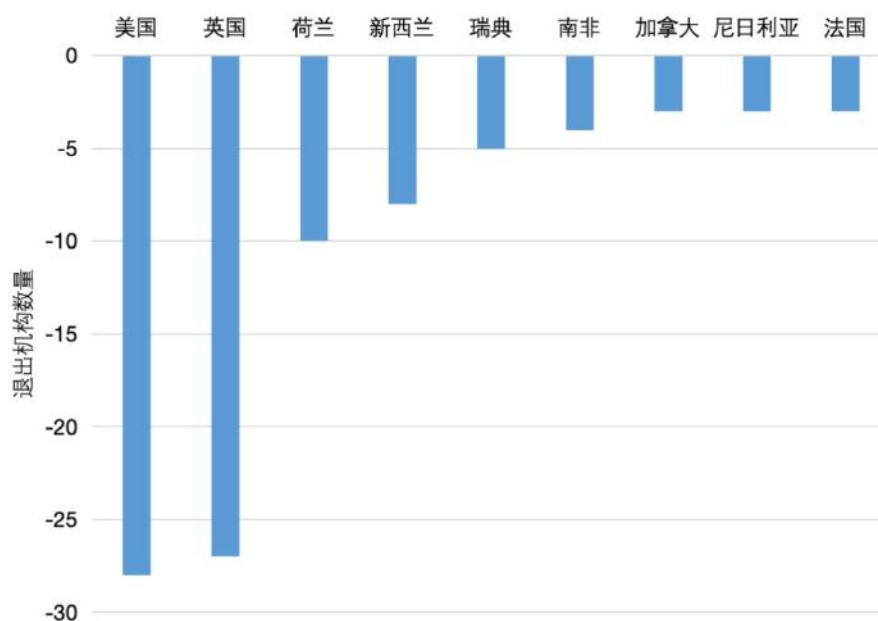


图 3-16 各国退出 UN PRI 的机构数量

需要注意的是，GFANZ 和 UN PRI 等国际气候金融倡议中陆续有发达国家机构退出，对倡议的贡献和成效提出了质疑和挑战。GFANZ 的首要目标是最迟在 2050 年实现净零排放，但 COP26 大会中提到，部分 GFANZ 加入机构仍在维持不符合《巴黎协定》目标的投资。化石燃料投资方面，一项分析显示花旗集团和美国银行在支持化石燃料公司扩张方面的支持力度比其他 NZBA 成员的银行都要高，LGIM 作为 NZAM 中最大的英国公司，截止 2023 年 9 月在化石燃料开发商中持有至少 130 亿美元的资产。规则制定方面，《卫报》揭露了 GFANZ 规则中的“洗绿”漏洞，这些漏洞将允许 GFANZ 成员可以在 2023 年以后保持对煤炭和其他化石燃料的现有投资。此外还有部分机构因为一系列问题而陆续退出 GFANZ，如美国 Vanguard Group、英国 Lloyd's of London、法国安盛、德国安联、日本损保控股都陆续因为政治和法律压力而退出，澳大利亚 Cbus Super、奥地利 Bundespensionskasse 和德国慕尼黑再保险集团则宣布因为财务和资源问题退出 GFANZ。

与 2022 年相比，2023 年部分发达国家签署机构存在退出 UN PRI 的情况，其中美国和英国成为了退出倡议机构数量最多的国家，退出的机构数量分别达到了 28 个和 27 个，这些机构的退出与 UN PRI 内部的管理问题以及所在国的政治和法律压力密切相关。合作障碍方面，例如在根据美国的证券法和反垄断法，签署 UN PRI 机构有被视为“集团”的法律风险；“安静外交”类型的机构可能会处于不利地位，例如 2016 年部分机构因为没有投票支持一项强制性提案而受到批评乃至“除名”威胁，提案中要求埃克森美孚和雪佛龙披露更多气候变化信息；

内部治理问题也会导致成员退出，2013 年 6 家丹麦养老基金机构对 UN PRI 的管理方式表示担忧，认为其缺乏民主和透明度，最终导致这 6 家丹麦养老基金公开决定退出 UN PRI。

【政策启示】

目前 GFANZ 和 UN PRI 等国际气候金融倡议的成员机构主要是以欧洲、北美为代表的发达国家机构，并且加入 GFANZ 的发达国家机构仍然在继续增加；同时发展中国家逐渐在国际气候金融合作倡议中崭露头角，GFANZ 和 UN PRI 中发展中国家机构迅速增加，国际气候金融合作需要且正在听到更多来自发展中国家的声音。国际气候金融倡议在全球可持续金融体系建立中发挥着重要的作用，但这些倡议也面临一些质疑和挑战，GFANZ 面临缺乏限制化石燃料措施和“洗绿”规则漏洞的质疑和批评，以及因为机构自身和政治法律等内外因素而导致的成员退出问题；UN PRI 也面临发达国家机构明显退出、所在国家政治法律压力、自身治理导致的一系列问题，反映了依靠自愿的方案实现气候目标的弱点。

第四章 全球碳中和国际合作进展

前言

实现全球碳中和需要世界各国的集体努力。由于发展阶段不同，各国在历史排放、技术水平和碳减排成本等方面存在着诸多差异。各国之间的资金、技术合作能够促进低成本减排技术在全球的应用和发展中国家能力建设，为全球协调一致以成本效益最优的路径实现《巴黎协定》目标提供支撑。全球应对气候变化的行动可以被归类为设立目标和落实行动两大阶段。设立目标指的是各个国家通过谈判达成条约，并最终确定相应减排目标的过程；落实行动指的是各国为达成目标采取的措施，通常包含促进减排技术成本下降及广泛应用的多种手段。

在设立目标阶段，各国需要协商并就应对气候变化的全球目标和机制达成一致，这种各国达成一致、签订条约的过程是一类国际合作。在落实行动阶段，各国目标是降低全球减排成本，以成本最优的方式实现低碳转型，因为不同国家发展阶段不同、科技水平不同，所以先进技术的发展与其国家间的转移是全球实现碳中和的必然要求与助推器，这种技术转移是另一类国际合作。两类国际合作中，前者能否达成往往取决于减排技术的成本，随着减排技术成本下降，各国将更有激励达成应对气候变化的国际合约并设立更具有雄心的减排目标；而后者是低成本减碳技术能在全世界普及的关键，即前者能否实现的关键。本节所讨论的国际合作指的是落实行动阶段的技术转移。

但是国际合作涉及的领域、政策十分多样，同时存在着阻碍和促进国际合作的多种力量，很难直观呈现当前碳中和进程中各国进行国际合作的水平。因此，本节将以碳中和相关技术在全球的应用为切入口，从当前全球存在的阻碍力量（指标 4.2）和全球促进碳中和的合作力量（指标 4.1）角度来对全球当前国际合作发展的趋势进行梳理，以还原一个碳中和国际合作的具体图像。

本节指标体系如表 4-1 所示。

表 4-1 第四章指标体系

一级指标	二级指标
4.1 对外援助	4.1.1 对外技术转让项目情况
4.2 技术转移合作壁垒	4.2.1 国际技术转移阻碍

4.1 对外援助

本指标主要发现：能源领域是本年度国际技术转移项目的主要领域，占 2023 年 3 月至 2024 年 3 月期间各国上传的双年报中碳中和相关的国际技术转移项目（以下简称为“更新的碳中和相关项目”）的 52.1%；软性支持是本年度国际技术转移项目的主要支持类型，占更新的碳中和相关项目的 80.1%。值得注意的是，不同国家在双年报中披露国际技术转移项目的数量与质量有显著差异。

【简介】

国际技术转移是指国家之间交易、转让特定生产技术及其相关权利的行为。在全球碳中和过程中，国际技术转移包括风能发电、太阳能发电、水力发电等减缓技术和抗旱作物、灾害预警系统等适应技术，以及节能实践或设备使用技能培训等软技术^①。IPCC 的《全球 1.5℃ 温升特别报告》分析认为，未来 30 年内温室气体的增加将主要来自于发展中国家^②。技术创新正在成为各国深化行业减排的关键手段。这意味着各国，尤其是发展中国家，需要国际技术转移来支撑其深度减排，加速全球碳中和进程。

本指标基于 2023 年 3 月至 2024 年 3 月上传的 2022 年双年报（BR），对国际减缓技术转移项目的进展进行了评估。BR 是《巴黎协定》规定下，由附件一缔约方，即经济合作与发展组织中的所有发达国家和经济转型国家，提交给 UNFCCC 的报告，其中载有各国减缓行动方面的需求和接收援助的信息，整理规范，数据详实，具有良好的客观性和可信度。而由于 BR 仅由附件一国家提供，无法追踪南南合作式的技术转移。因此本指标目前仅追踪附件一国家主导的国际技术转移，未来在更多数据的支撑下将考虑扩大追踪范围。

【指标发现】

本年度更新的碳中和相关项目的领域占比如图 4-1 所示。其中能源领域依旧是主要领域，约占 52.1%；其次是林业，约占 10.4%；农业、第二产业、基础设施相关项目占比相近，分别占 7.1%，7.6%和 5.7%。这些领域的项目保持了和上一年相近的占比，依旧是国际技术转移的热点。

① UNFCCC. What is technology development and transfer? [OL] <https://unfccc.int/topics/what-is-technology-development-and-transfer> 2023-1-4

② EIA (US), Energy Outlook Report [R]. 2022.

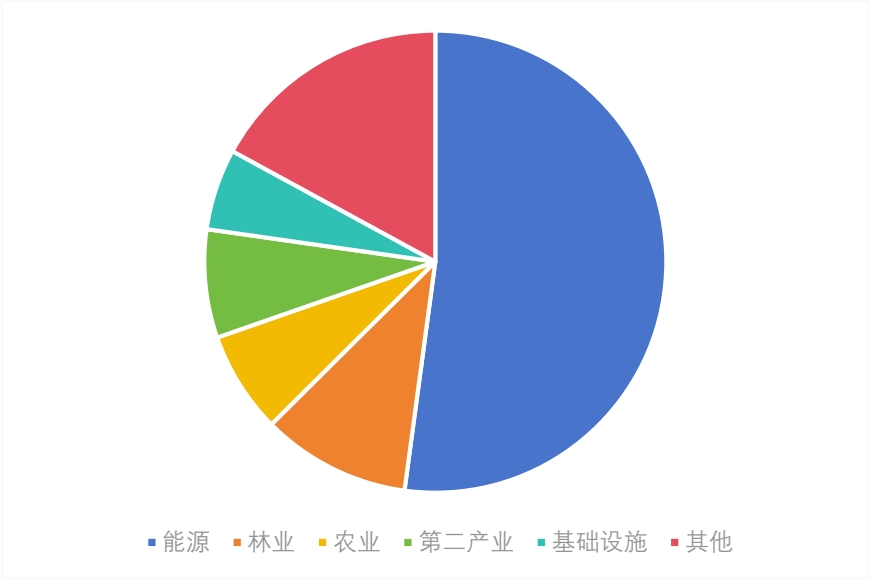


图 4-1 更新的碳中和相关项目的领域占比饼状图

同时，本年度中出现了一些不以具体领域为导向的国际技术转移项目，比如德国、荷兰披露有帮助发展中国家评估、制定各自自主减排目标的资金援助或派遣专家的项目；荷兰、冰岛披露有帮助发展中国家的女性在气候谈判等场合更好发声的培训项目等等。

从项目的支持类型来看，软性支持占到了 80.1% 的绝大多数（见图 4-2），各类领域内的软性支持占比也大都维持在 70% 以上的高占比，这均比上一年有了一定的提高。以项目数量最多的能源领域为例，软性支持的占比由去年的 47.8% 上升至 77.3%。由此可见，更新的项目大多倾向于提供技术帮助或发展建议，而非援助资金或设备。

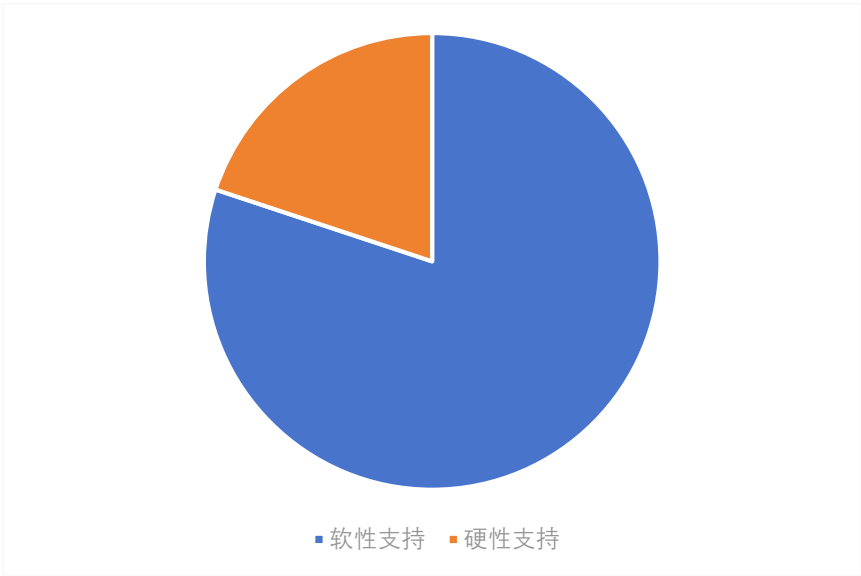


图 4-2 更新的碳中和相关项目的支持类型饼状图

此外,更新的碳中和相关项目可以反映出不同国家对双年报有较大的态度差异。从项目数量来看(见图 4-3),有 33.3%的国家没有披露任何项目,11.1%的国家披露的项目中没有和碳中和相关的;与此同时,有 18.5%的国家披露超过 20 条碳中和相关的项目,二者之间差异明显。碳中和相关项目的数量差异可以大体反映项目总数的差异,进而反映出各个国家对于更新双年报的态度差异。

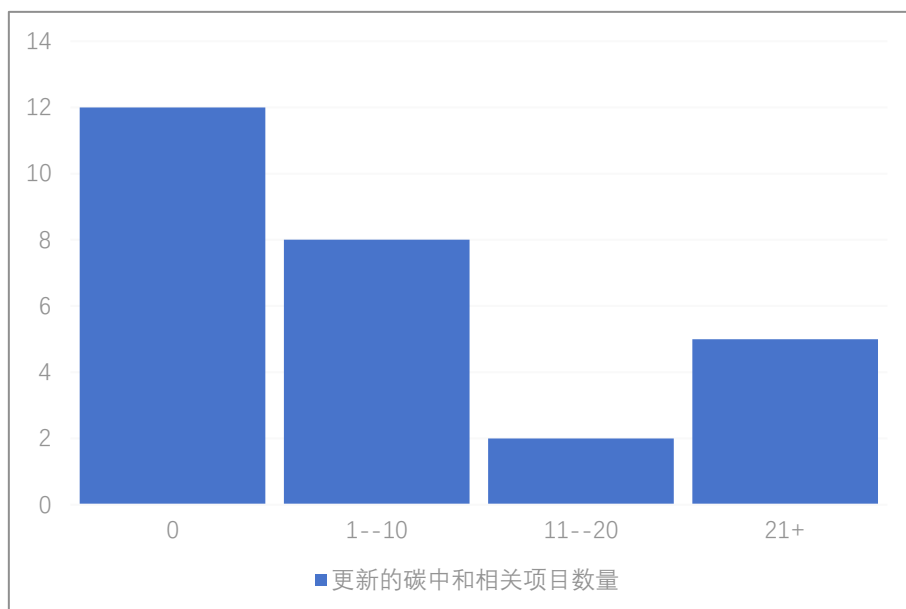


图 4-3 更新的碳中和相关项目数量的分布直方图

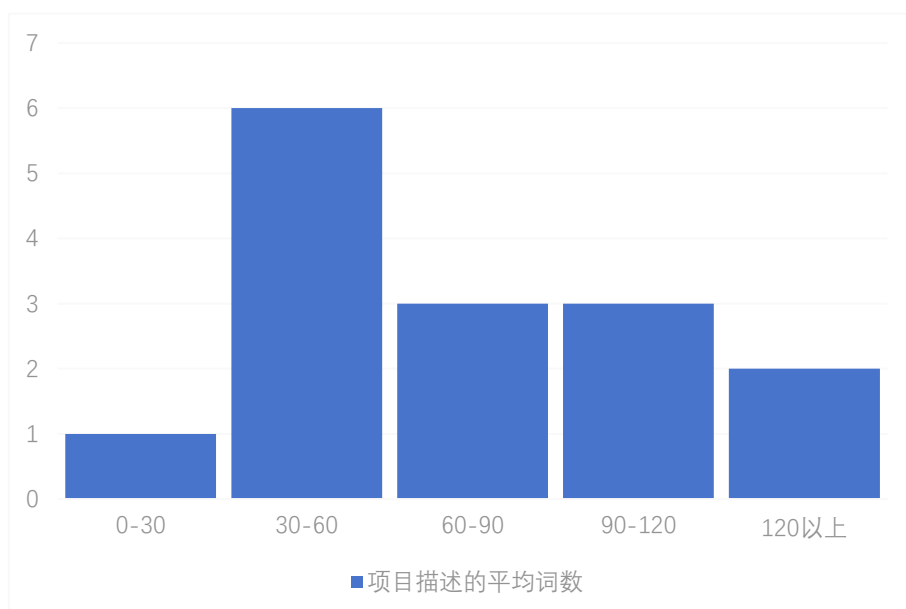


图 4-4 更新的碳中和相关项目描述的平均词数的分布直方图

从项目描述的长度来看(见图 4-4),在有碳中和相关项目更新的国家中,46.7%的国家对于项目的描述相对简单,只有不超过 60 个词;还有 13.3%的国家

对于项目有超过 120 个词的详细描述。描述的长度可以体现国家对于项目描述的详细程度。有的国家的项目描述仅包含简单的主题概括，而部分国家有分阶段多维度的项目计划或记录。详细程度的差异不但在项目落实的过程中产生影响，还会影响对于国际技术转移的量化评估。

【指标结论】

总而言之，能源领域依旧是国际技术转移项目的主要领域；软性支持依旧是本年度国际技术转移项目的主要支持类型。而且软性支持的比例在上升。另一方面，不同国家在双年报中披露国际技术转移项目的数量与质量有显著差异。

面对《联合国气候变化框架公约》所述的“共同但有区别的责任”，双年报中出现了关于帮助发展中国家制定其自主减排目标的项目，说明发达国家正在努力引导发展中国家在发展过程中考虑应对气候变化的议题，发展中国家正在努力承担共同应对全球气候变化的责任。但是双年报中更新的碳中和相关项目中软性支持的比例上升、部分国家过少的披露和过于简单的项目描述，也使国际技术转移项目的评估和监督受到一定阻碍。

4.2 国际技术转移阻碍

【简介】

本指标统计了与碳中和相关技术有关的贸易政策，主要分为欧盟政策和美国政策两类进行整理和分析，如表 4-5 所示。欧盟主要的碳中和技术贸易壁垒政策中，《净零工业法案》关注可再生能源、生物燃料、电池和电网等产业，目标是 2030 年至少 40% 的战略净零产品为本土制造；《关键原材料法案》通过增强欧盟冶炼制造行业、提高回收比例和质量、投资相关领域研究保证可再生能源等领域原材料供应安全；可持续钢铝全球安排旨在解决欧盟和美国之间的钢铝贸易争端，促进钢铝贸易碳排放关税的谈判；新《电池法》规定自 2024 年 7 月起，出口到欧洲的大部分电池必须提供碳足迹声明和标签。美国主要的碳中和技术贸易壁垒政策中，《通胀削减法案》从光伏、电动汽车、电池等行业着手，通过产业补贴、税收减免、刺激消费端，激励本土制造和消费；《基础设施投资和就业法案》结合税收抵免政策、关键原材料采购限制、先进电池本土生产等政策，力图重构新能源汽车产业链；《执行规定》增加政府不作为的补贴方式，针对东南亚光伏产业开展新一轮“双反”调查。

表 4-2 欧盟和美国主要碳中和技术贸易壁垒政策

经济体	政策	时间	涉及产业
欧盟	《净零工业法案》	2023 年 3 月 16 日颁布 2023 年 11 月 12 日通过	可再生能源、生物燃料、 电池、CCUS、电力传输
	《关键原材料法案》	2023 年 3 月 16 日颁布 2023 年 9 月 14 日通过	原材料开采和冶炼、原材 料贸易、可再生能源、航 空航天等
	可持续钢铝全球安排	2021 年 10 月 31 日提出	钢铁和铝开采、冶炼、贸 易、回收
	《电池与废电池法 规》（新《电池法》）	2020 年 12 月 10 日颁布 2023 年 6 月 14 日通过	电池制造、电动汽车、可 再生能源、再生材料制造 和回收等
	《通胀削减法案》	2022 年 8 月 16 日颁布 2022 年 9 月正式立法	电动汽车、电池、可再生 能源等
美国	《基础设施投资和就 业法案》	2021 年 7 月 1 日颁布 2021 年 11 月 6 日通过	电动汽车、交通基础设 施、可再生能源、环境修 复、互联网设备等
	《通过管理反倾销和 反补贴税法完善和加 强贸易救济执行规 定》（《执行规定》）	2024 年 3 月 25 日通过 2024 年 4 月 24 日生效	东南亚光伏产业

【进展评估】

欧盟和美国的碳中和技术贸易壁垒政策整体上呈现传统贸易壁垒逐渐回归，各类反补贴调查重新启动的趋势。其中欧盟委员会于 2024 年 2 月 16 日对保加利亚电动机车公共采购投标项目的“中车青岛”发起有关外国补贴的进一步审查，4 月 3 日对参与罗马尼亚光伏园区公共采购招标项目的隆基太阳能科技公司、上海电气英国公司、上海电气香港国际工程公司发起有关外国补贴的进一步审查，4 月 9 日宣布将对中国风力涡轮机供应商展开调查，其理由是认为中国政府为企业提供廉价涡轮机和宽松融资条件破坏了欧盟市场的公平竞争，美国也于 4 月 24 日增加政府不作为的补贴方式，取消跨境补贴原有限制，对东南亚光伏产业开启新一轮“双反”调查。

然而这些“卷土重来”的贸易壁垒政策，其具体内容却呈现新的变化，将 2013 年至 2024 年欧盟碳中和技术贸易壁垒政策和“双反”政策涉及的要求进行整理如表 4-6，可以发现对最终产品进行“双反”调查仍然是主要的方式，但是传统的增加最终产品关税等措施逐渐减少，取而代之的是增加一系列限制直接投资、参与竞标、跨境补贴的附加要求，并且逐渐出现对可再生能源、电动汽车等产业

上游和全产业链的调查和规定。

表 4-3 2013 年以来欧盟碳中和技术贸易壁垒和“双反”政策要求

时间	政策	关税	最终产品	附加要求	产业链上游	全产业链
2013 — 2018 年	光伏双反	√	√			
2021 年	可持续钢铝全球安排	√		√	√	
2023 年	生物柴油双反	√	√			
2023 年	电动汽车双反	√	√		√	√
2023 年	净零工业法案		√	√		√
2023 年	关键原材料法案		√	√	√	√
2023 年	新《电池法》		√	√	√	√
2024 年	新“光伏双反”		√	√	√	
2024 年	风电双反	√	√	√		

从产业链的角度看，欧盟和美国的补贴、规范性要求、安全伙伴等碳中和技术贸易壁垒政策逐渐形成政策组合，针对产业链的各环节形成约束。在光伏领域以需求侧为抓手，促进产业链回流，美国首先通过投资税收抵免或生产税收抵免激励建设风光电厂；其次通过额外补贴政策配合本土生产要求推动产业链回流，例如规定制成品中本土制造占比须超 40%，2023 年以后逐年提升 5%至 2025 年的 55%；最后通过对东南亚重新开始“双反”调查，降低从东南亚获取低价组件的可能性。在电动汽车领域规范性要求与生产能力建设并行，首先联合欧盟、加拿大、澳大利亚等 14 个经济体建立“矿产安全伙伴关系”，牵头七国集团发起“可持续关键矿产联盟”和“关键矿产俱乐部”；其次促进本土技术研发，为电池产业提供超过 2450 亿美元的联邦投资，从生产端为电动汽车企业技术开发提供资金，大力发展美国国内清洁能源供应链；最后通过额外补贴政策配合本土生产要求推动产业链回流，规定原材料、组件、最终产品满足一定本土生产条件的车辆可以获得消费侧补贴。

结果显示美国的碳中和技术贸易壁垒政策组合获得了一定的成效，2023 年全球主要光伏厂商晶科能源、隆基绿能、天合光能等以及主要电池厂商宁德时代、AESC、LG、松下等均已在美国直接或合作建厂，并且美国在 2023 年首次成为在电动汽车和电池制造领域吸引国际投资最多的国家。

【政策影响】

尽管欧盟和美国的碳中和技术贸易壁垒政策层层递进，并且在光伏、电池、电动汽车等领域获得了一定的成效，但是也出现了贸易政策的重叠和冲突。可以

认为欧盟政策在资金和技术支持方面受到较大的挑战，主要受美国同类政策影响，产业政策阻力较大，目前实施效果欠佳。在《净零工业法案》实施之后，氢欧洲（Hydrogen Europe）、欧洲地热能源委员会（the European Geothermal Energy Council）、电动汽车平台（Platform for Electromobility）等行业协会欢迎和支持法案的举措，认为其表明了欧盟对工业脱碳的承诺和对可再生能源行业的支持，但是更多的协会和组织表达其担忧：欧洲化工委员会（European Chemical Industry Council）指出美国的能源成本显著低于欧盟，波兰钢铁协会（Hutnicza Izba Przemysłowo-Handlowa）分析发现美国氢气成本为负的优势会极大限制欧盟的氢技术发展；欧洲太阳能业者组织（SolarPower Europe）警告称欧洲可再生能源企业在使用非欧盟制造技术的条款上存在巨大分歧，可能会破坏法案实施的基础。

对于欧盟的《关键原材料法案》，许多企业和协会也担忧资金、技术、配套政策的缺乏导致行业对法案的响应非常有限。德国工业联合会（Bundesverband der Deutschen Industrie）表示该法案设定了正确的目标，但忽视了成功实施的工具，尤其缺少亟需的资金支持；跨国矿业公司斯班-静水（Sibanye-Stillwater）表示，开矿项目许可延期以及当地居民强烈反对等因素导致难以确保电池的关键材料锂的本土供应；欧洲风能行业协会（Europe）指出目前欧洲使用的风机中仅有小部分使用永磁材料，因此短期内将很难建立起永磁材料的回收产业链；T&E、力拓（Rio Tinto）、奥鲁比斯（Aurubis）、诺思沃特（Northvolt AB）等数家电池供应链产业相关企业联合致函欧盟委员会，表达对资金不足的担忧，要求欧盟增加对电池关键原材料产业的专门财政资助。

尽管欧盟和美国的碳中和技术贸易壁垒政策存在冲突和阻力，但是一些政策的新要求还是有效加快了全球碳中和的进程，例如在电池行业，额外环境足迹要求促使行业的全球化步伐加快。全球电池联盟（Global Battery Alliance, GBA）作为首个全球性质的电池协会，于2023年1月18日在达沃斯世界经济论坛上首次发布了“电池护照”概念验证成果；欧盟于2023年6月14日通过的新《电池法》则首次将GBA“电池护照”概念纳入法律条文中，要求自2024年7月起，大部分电池出口到欧盟成员国必须持有符合要求的“电池护照”，披露该电池从矿产、材料到电池生产、回收各环节的碳排放数据，以及电池制造商、电池材料和成分、循环性能、资源效率、耐久性等多种信息。受到“电池护照”概念的引领和新《电池法》规定的助力，目前GBA已吸引UNEP、世界银行、欧亚资源集团、淡水河谷、英国石油、嘉能可、LG、宁德时代、大众、特斯拉等全球150多家企业和机构加入，涵盖电池产业链各个环节，旨在2030年前推动建立整套电池护照认证追踪体系。

第五章 专题研究

5.1 气候立法专题：评估全球气候目标的法律保障体系

5.1.1 引言

制定有效的法律保障体系是确保气候目标顺利实现的关键环节^[1]。近年来，关于气候目标雄心的讨论越来越转变为对这些目标可信度和执行力的讨论^[2]。如果当前的纸面承诺得到全面、及时的实施，那么未来升温可能会被限制在 2° C 或略低^[3]。然而，许多国家的减排现状仍距最新的 NDC 目标相去甚远^[4]，这使得全球气候目标面临着大幅落空的风险^[1]。从全球实践来看，制定有效的气候法律体系是减少目标与行动间实施差距的关键步骤^[5]，对气候法律体系开展深入、量化、科学的评估将有助于为各国气候承诺的可信度与落空风险提供事前参考，明确各国气候法律体系的改进方向，保障全球气候目标的实现。

广义上的气候法律指的是与气候变化缓解、适应、损失和损害直接相关的法律法规。依据不同的法律地位，气候法律可被分为气候变化框架法、一般法和行政法规三类。其中，气候变化框架法地位最高，作为一种综合性的法律或政策工具，主要为其他法律提供底层的法律基础。截至目前，气候变化框架法并无统一定义，但往往具备由立法部门通过、涵盖中长期的发展路径、确立国家层面的气候治理制度以及引入透明度和问责制等特点。一般法由立法部门通过，且具备完全的法律效力。行政法规则往往由行政决策机构通过，具备明确的政策目标与实现路径，具有较强的执行约束力。

深入、量化、科学地评估全球气候目标的法律保障体系依赖于高质量的法律信息数据集。研究使用了格兰瑟姆研究所的全球气候法律数据集及相关的法律定义和分类。为提高评估的深入度，研究进一步应用 ChatGPT4.0 模型对法律文本信息开展深入挖掘，获取了各法律条文提及的涉及部门和内容特点。其中，涉及部门包括能源、工业、交通、建筑、AFOLU（农业、林业及土地利用）和环境（包括固废管理、水管理、污染治理等内容）六大部门。内容特点包括是否涉及信息披露、是否涉及定量目标、是否涉及惩罚机制以及是否明确责任机构等。基于上述数据，研究将全球评估与国别分析相结合，开展了系列定量评估。

5.1.2 核心观点

5.1.2.1 截至 2024 年 6 月，全球已累计颁布了超过 3600 条气候相关法律，每年颁布的法律数量在 2016 年和 2021 年达到了两个高峰

如图 5-1 所示，1990-2010 年间，全球各国陆续颁布了首部气候相关法律。至 2019 年，《联合国气候变化框架公约》的 198 个缔约方均已颁布过气候相关法律。截至 2024 年 6 月，全球累计颁布的气候法已经超过 3600 条。同时，自 2010 年以来，全球主要经济体也开始相继出台气候变化框架法，目前已经有 57 个国家和地区颁布了 65 部框架法。过去 20 年内，每年颁布的气候相关法律数量逐步增长，并在 2016 年和 2021 年达到两个高峰。在《巴黎协定》的影响下，2016 年内颁布的气候相关法律数量超过 220 条，达到第一个高峰，相关增长主要来自行政法规。2020-2021 年间，在中国“双碳”承诺、欧洲绿色新政、美国重返《巴黎协定》等因素的共同推动下，全球气候行动加速，相关法律、行政法规数量显著增长。2021 年内颁布的气候相关法律数量超过 300 条，达到第二个高峰。

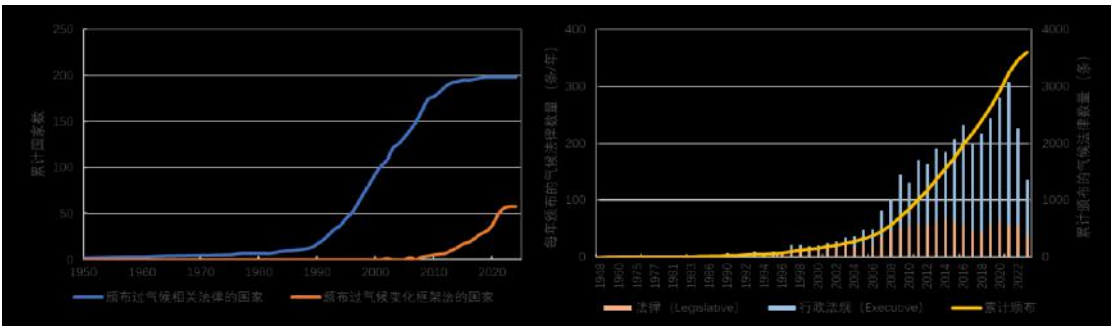


图 5-1 a.颁布过气候相关法律/气候变化框架法的国家累计数 b. 每年/累计颁布的气候相关法律数

整体而言，欧美国家在气候相关立法数量上处于领先地位，非洲和中东国家的相关立法仍然十分有限。如图 5-2 所示，巴西是全球颁布气候相关法律最多的国家，累计已有 122 条。英国、法国、瑞典等西欧国家在 2015-2020 年间以及 2020 年后，气候相关法律的颁布数量均快速增长。这些国家在《巴黎协定》的制定过程中积极参与，并在欧洲绿色新政中表现突出。在中国提出“双碳”承诺和美国重返《巴黎协定》的推动下，中美两国的气候相关立法在 2020-2023 年间大幅增加，期间颁布的法律数量占总数的 60%以上。

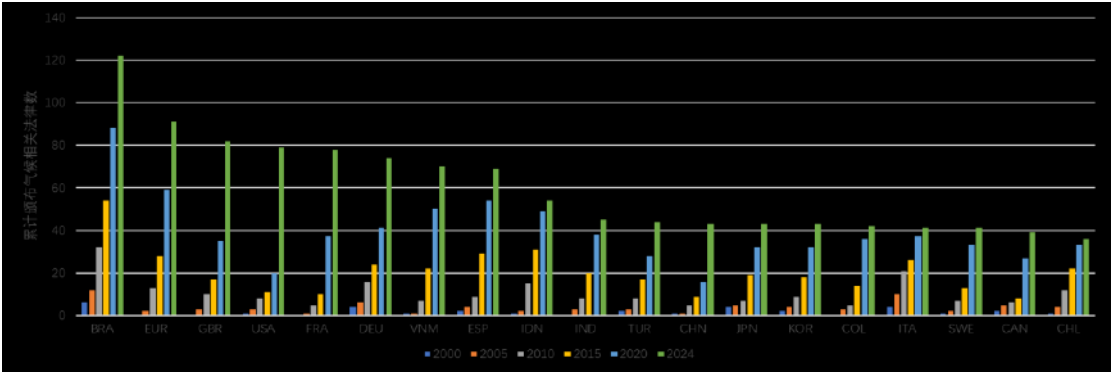


图 5-2 法条数 TOP20 国家累计颁布的气候相关法律数

5.1.2.2 能源部门相关的气候法律数量始终居于首位。《巴黎协定》通过后，每年颁布的交通、工业、建筑相关的法律数量相较往年平均水平增加了 40-60%

如图 5-3a 所示，能源部门相关的法律数量始终在各部门中居于首位。截至 2023 年，全球累计颁布的能源部门相关法律已经超过了 1800 条。在 2015 年前，全球气候行动以“保护”为主，环境和 AFOLU 部门相关的立法数量仅次于能源部门。《巴黎协定》通过后，交通、工业、建筑部门每年颁布的法律数量相较往年平均水平增加了 40-60%。2023 年颁布的法律中，首次出现了交通部门相关法律数量超过 AFOLU 和环境部门的情况。

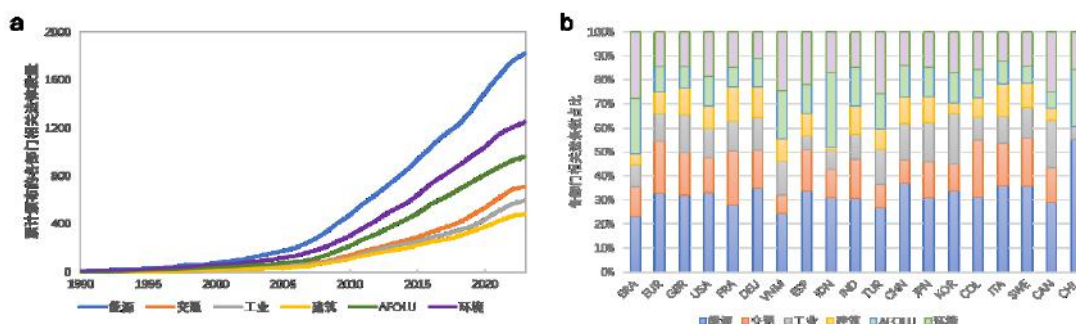


图 5-3 a.各部门已颁布的气候法律数量（累计量）b.法条数 TOP20 国家气候相关法律法规的部门分布

各国气候立法的部门分布具有显著差异。如图 5-3b 所示，英国、德国、瑞典等发达国家颁布的气候法律中，与能源、工业、交通和建筑部门相关的法律占比明显较高，两者合计约占 80%。这与上述国家经济结构相对成熟、立法覆盖面和完善度较高有关。相比之下，巴西、越南、印度等雨林面积较大的热带国家颁布的气候法律中，与 AFOLU、环境部门相关的法律占比明显较高，两者合计约占 50%。

5.1.2.3 《巴黎协定》通过后，各国的气候立法重点迅速转向落实层面。明确量化目标和信息披露要求的法条占比分别从 20%和 10%逐步增长至 40%和 25%

《巴黎协定》通过后，各国的气候立法重点迅速转向落实层面，每年颁布的行政法规数量显著增长。2016 年间颁布的行政法规数量超过 150 条，相较往年平均水平高出 25%。行政法规的加速颁布也导致了明确责任机构的法条占比显著降低。如图 5-4a 所示，2010-2015 年间，每年颁布的气候相关法律中，明确责任机构的法条占比约为 30%。2016 年后，这一比例迅速降低到 15%左右。这是由于行政法规一般由责任机构直接颁布，往往较少在正文中提及责任分配相关内容。我们的统计结果表明，一般法中明确责任机构的法条占比（35%）是行政法规的（17%）接近 2 倍。因此，行政法规占比的迅速提升将使明确责任机构的法条占

比显著下降。尽管占比下降，但每年颁布的气候法律中，明确责任机构的法条总量仍然基本稳定。

目标量化程度方面，立法重点转向具体落实层面的趋势更加明显。2018 年至今，每年颁布的气候相关法律中，明确量化目标的法条占比从 20% 逐步增长至 40-50%。与之类似的，明确信息披露的法条占比也从 2018 年的不足 10% 增长到目前的 25% 左右。相比之下，历年颁布的气候相关法律中，明确惩罚机制的法条占比基本稳定，始终保持在 5% 以下。

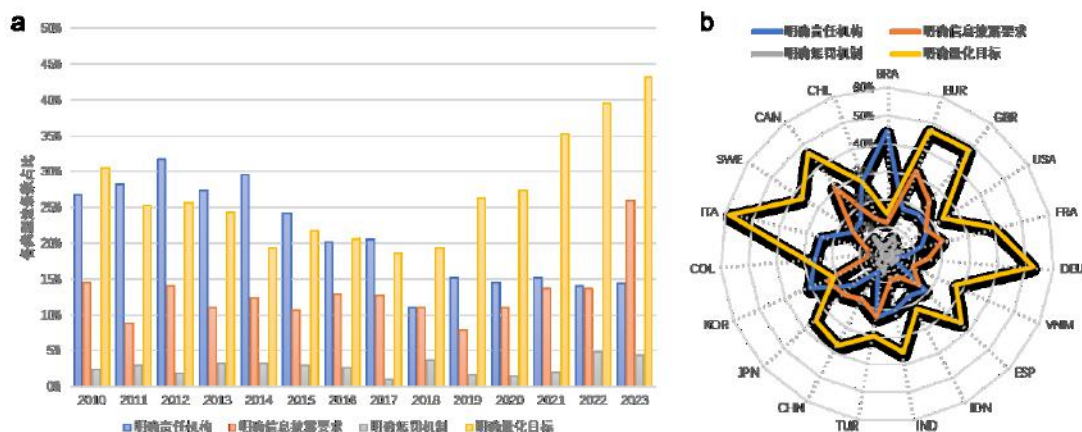


图 5-4 a.2010-2023 年间，各类型法条数与当年颁布的总法条数之比 b.法条数 TOP20 国家的各类型法条占比

多数西欧国家的气候相关法律在目标量化程度上表现突出。如图 5-4b 所示，在已颁布的气候相关法律中，意大利、德国、英国等国家明确量化目标的法条占比均超过了 50%。相比之下，巴西、美国、印度、韩国等国家的上述比例还不足 30%。

巴西、韩国等国家明确责任机构的法条占比较高，超过 40%。此类国家通常较早颁布气候变化框架法，相关法条提及的责任机构通常是框架法中设立的国家层面的执行机构或其下属委员会。中国、越南等国家明确责任机构的法条占比相对较低。这是由于此类国家的气候法律主要以行政法规为主，行政法规占比超过 80%，而其余国家一般在 60% 左右。

欧盟作为区域性联盟，对各成员国相关信息的披露要求较高，明确信息披露要求的法条占比超过 30%。此外，各国明确惩罚机制的法条占比相对较低，大多在 5% 左右。

5.1.2.4 全球已经有 57 个国家颁布了 65 部气候变化框架法。气候变化框架法中，明确责任机构、信息披露要求、惩罚机制和定量目标的法条占比是一般法的 2-3 倍

截至 2024 年 6 月，全球已经有 57 个国家颁布了 65 部气候变化框架法。如图 5-5a 所示，已颁布气候变化框架法的国家主要集中在西欧和美洲地区。在已颁布框架法的 57 个国家中，有 40 个国家的框架法同时涵盖了减缓和适应内容，9 个国家的框架法仅涉及减缓内容，另有 8 个国家的框架法仅包括适应内容。同时，为提高法律体系覆盖范围，多个国家颁布了不止一部框架法。如表 5-1 所示，瑞士和法国各自累计颁布了 3 部气候变化框架法，而哥伦比亚、德国和日本等国则颁布了 2 部框架法。

表 5-1 已颁布多部气候变化框架法的国家及相关法律信息

国家	时间	气候变化框架法	涉及主题
法国	2015	能源绿色转型法	减缓
法国	2019	能源与气候法	减缓&适应
法国	2021	关于应对气候变化与恢复力的法律	减缓&适应
瑞士	2013	二氧化碳法案	减缓&适应
瑞士	2021	二氧化碳条例	减缓&适应
瑞士	2023	关于气候保护目标、创新和加强能源安全的联邦法案	减缓&适应
哥伦比亚	2018	气候变化管理指南	适应
哥伦比亚	2021	促进低碳发展法	减缓&适应
德国	2021	联邦气候保护法	减缓
德国	2023	联邦气候适应法	适应
日本	2016	全球变暖对策推进法	减缓
日本	2018	气候变化适应法案	适应

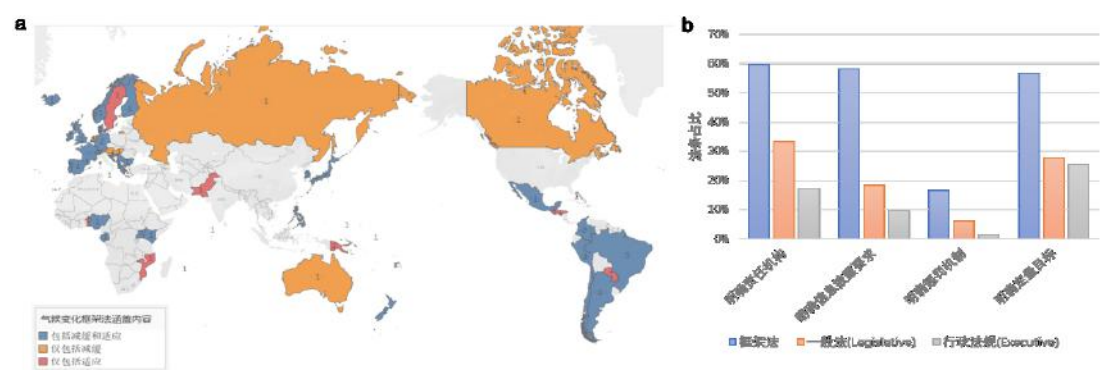


图 5-5 a.各国气候变化框架法的颁布数量及涵盖内容 b.各类型法条在框架法、一般法、行政法规中的占比

气候变化框架法在责任机构、信息披露要求、惩罚机制和定量目标的明确程度上，均显著高于一般法和行政法规。如图 5-5b 所示，50-60%的气候变化框架

法中均明确了责任机构、信息披露要求以及定量目标。相比之下，仅有 10-30% 的一般法和行政法规明确了上述内容。此外，尽管明确了惩罚机制的气候变化框架法占比略低，不足 20%，但这一比例也远高于一般法（5%）和行政法规（3%）。

5.1.2.5 BOX：典型国家的气候法律体系对比

A. 英国：气候变化框架法的先行者，气候法律体系相对完善

- **气候变化框架法：**英国于 2008 年通过了《气候变化法案》，该法案具备广泛的全球影响力。其制度特征包括：以立法形式确定长期和中短期的气候目标、设立了独立的责任机构（气候变化委员会）、要求政府定期报告等。芬兰、法国、德国和爱尔兰等国的气候变化框架法均在不同程度上继承了《气候变化法案》的制度特征
- **一般法与行政法规：**气候法律数量位居全球第二，除了框架法，英国还颁布了 22 部一般法和 59 部行政法规。气候立法数量稳步增长，截至 2015、2020 和 2024 年，英国累计颁布的气候法律数分别为 18、36 和 82 部
- **气候法律体系特点：**覆盖部门较为全面、均衡，与能源相关的法律共有 44 部，与交通、工业、建筑部门相关的法律数量均在 20 部左右。明确量化目标和信息披露要求的法条占比较高，在已颁布的气候相关法律中，明确量化目标和信息披露要求的法条占比分别为 50%和 25%，居于全球前列

B. 澳大利亚：气候法律体系的建设进程相对滞后，覆盖部门不够均衡

- **气候变化框架法：**2022 年，对气候变化保持积极态度的澳大利亚总理 Anthony 上台。同年 9 月，澳大利亚颁布《气候变化框架法》。该法案以法定形式提高了短期减排目标，并确立了长期气候目标
- **一般法与行政法规：**此前，受到选举政治和利益集团的影响，澳大利亚气候法律体系建设进程相对缓慢。气候相关法律数量相对有限，除框架法外，仅颁布了 14 部一般法和 14 部行政法规，在发达国家中处于落后地位。气候立法进程相对滞后，现有法律中，50%以上的法律在 2016 年后颁布，30%的法律在 2020 年后颁布
- **气候法律体系特点：**气候立法主要关注能源部门，与能源部门相关的法律共计 20 部；与交通、工业、建筑等部门相关的法律均小于 5 部；与 AFOLU 部门相关的法律仅有 1 部。相关法律中的量化目标较为有限，现有法律中，明确规定量化目标的法律不超过 30%，在发达国家中处于相对落后地位

C. 美国：气候立法进程较为滞后，明确量化目标和信息披露要求的法条比例较低，但相关法律对各部门的覆盖较为均衡

- **气候变化框架法：**目前，美国尚未颁布气候变化框架法。2022 年，拜登政府颁布《通胀削减法案》。该法案被称为“美国迄今最全面的气候法”，在清洁能源、电动汽车、环境正义等领域投资了数千亿美元
- **一般法与行政法规：**气候法律数量位居全球第三，截至目前，美国已经颁布了 20 部一般法和 59 部行政法规。气候立法进程较为滞后，现有法律中，接近 75% 的法律在 2020 年后颁布；特朗普执政期间，颁布的气候相关法律不超过 10 部
- **气候法律体系特点：**覆盖部门相对均衡，与能源部门相关的法律共有 32 部，与交通、工业、建筑部门相关的法律数量均在 15 部左右；此外，2021 年，美国司法、教育、劳工、财政等多个部门累计颁布了 20 余部适应气候变化的部门法规。明确量化目标和信息披露要求的法条比例较低，在已颁布的法律中，明确量化目标和信息披露要求的法条占比分别仅有 25% 和 15%，在法条数 TOP20 的国家中处于后 1/4 的位置

D. 中国：气候相关法律以行政法规为主，相对侧重能源、工业部门，明确量化目标的法条占比较高

- **气候变化框架法：**目前，中国尚未颁布气候变化框架法，但“十四五规划”明确了中短期内中国气候行动的战略与方向
- **一般法与行政法规：**气候相关法律数量位居全球第 11，以行政法规为主。截至目前，中国已颁布了 7 部一般法和 36 部行政法规。气候立法数量稳步增长，并呈现加速趋势。截至“双碳”承诺宣布时，中国已经颁布 18 部气候相关法律。此后 3 年，中国又陆续颁布 26 部相关法律，占现有法律总数的 60%
- **气候法律体系特点：**相关法律更加侧重能源、工业部门，已颁布的与能源、工业部门相关的法律分别为 34 部和 14 部；与交通、建筑等部门相关的法律基本在 10 部以内。明确量化目标的法条占比较高，已颁布的法律中，明确量化目标的法条占比接近 40%

5.1.3 建议：加快建设气候法律体系，保障全球气候目标实现

5.1.3.1 加快推进气候变化框架法的制定与实施

各国应尽快推动气候变化框架法的立法进程，明确中长期气候行动目标，确保气候政策的持续性与稳定性。框架法应包括气候变化的减缓与适应两大方面，进一步细化法律条款，确保各类气候行动的量化目标、信息披露要求及问责机制

切实可行。对于已制定框架法的国家，应加强法律执行力度，确保气候目标按期实现。

5.1.3.2 强化跨部门协同，扩大立法覆盖范围

应推动各部门积极参与气候立法工作，加强能源、交通、工业、农业等重点领域的政策协调，形成部门间的合力。各国应根据本国实际情况，科学制定并细化不同部门的减排目标和应对措施，提升气候法律对经济结构、产业发展等各领域的覆盖面，确保减排措施全面且具体。相关立法应充分考虑区域特点，因地制宜，形成差异化的气候法律体系。

5.1.3.3 健全法律执行与监督机制，确保法律有效落地

进一步完善气候法律的执行监督机制，明确相关责任主体，确保各级政府及有关部门有效落实气候法律要求。应通过设立独立的监督审查机构，建立健全信息公开制度，定期对各国气候法律的执行情况进行审查，确保气候目标的落实进度。各国还应积极参与国际合作，支持全球范围内的气候法律监督机制，确保全球气候目标的协同推进与落地实施。

5.1.4 参考文献

- [1] ROGELJ J, FRANSEN T, DEN ELZEN M G J, 等. Credibility gap in net-zero climate targets leaves world at high risk[J/OL]. Science, 2023, 380(6649): 1014-1016. DOI:10.1126/science.adg6248.
- [2] VICTOR D G, LUMKOWSKY M, DANNENBERG A. Determining the credibility of commitments in international climate policy[J/OL]. Nature Climate Change, 2022, 12(9): 793-800. DOI:10.1038/s41558-022-01454-x.
- [3] MEINSHAUSEN M, LEWIS J, MCGLADE C, 等. Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C[J/OL]. Nature, 2022, 604(7905): 304-309. DOI:10.1038/s41586-022-04553-z.
- [4] LI S, MENG J, HUBACEK K, 等. Revisiting Copenhagen climate mitigation targets[J/OL]. Nature Climate Change, 2024: 1-8. DOI:10.1038/s41558-024-01977-5.
- [5] ESKANDER S M S U, FANKHAUSER S. Reduction in greenhouse gas emissions from national climate legislation[J/OL]. Nature Climate Change, 2020, 10(8): 750-756. DOI:10.1038/s41558-020-0831-z.

5.2 可再生能源专题

5.2.1 基于目前发展趋势，全球可再生能源装机量无法达到 2030 年三倍目标

5.2.1.1 引言

为确保实现巴黎协定提出的全球 1.5°C 目标，国际可再生能源署（IRENA）预测，到 2030 年，全球可再生能源的装机容量需要达到 2022 年底的三倍，即至少达到 11000GW。光伏和风电将是这一增长的主要动力。近年来，风光发电的加速增长主要归因于以下几个因素：

1. 技术进步和规模效应：光伏和风电技术的迅速发展以及生产规模的扩大导致其成本显著下降。在 2023 年，约 96% 的新安装太阳能光伏和陆上风电的发电成本低于新建燃煤和天然气发电厂。

2. 政策激励：超过 130 个国家通过补贴和税收优惠等方式积极支持光伏和风电的发展。

3. 能源安全考虑：全球能源危机促使许多国家加大可再生能源的投资部署。

4. 储能技术进步：更好的储能技术提升了可再生能源的可靠性和效率，并提高了其并网能力。

研究表明，光伏和风电的装机容量增长通常遵循 S 型曲线，从技术推广初期到市场成熟，经历早期缓慢增长、加速阶段，最终趋于饱和。然而，目前针对 2030 年可再生能源目标的基于 S 型曲线的科学预测仍然不足。

本研究使用 IRENA 2000-2023 年的全球可再生能源装机数据，基于 Richardz 模型（广义 Logistic 模型）和 MCMC 贝叶斯推断方法，预测了各国和地区的风电和光伏装机容量。相比传统的 Logistic 和 Gompertz 模型，Richardz 模型可以更灵活地调整曲线形状，从而更准确地拟合不同增长特征的数据。

5.2.1.2 核心观点

（一）2030 年全球可再生能源装机量达到 7295GW，无法达到三倍目标

预测结果表明，全球可再生能源装机量将达 7295GW，即 2022 年的 2.15 倍，低于三倍目标。统计学计算结果表明，95% 置信区间情况下全球可再生能源装机能够达到 5783-9191GW，约为 2022 年的 1.7-2.7 倍。只有 0.25% 的概率全球可再生能源装机量会超过 10000GW，超过 11000GW 的概率为 0.0%。光伏呈现出最快的增长，其次是风电，它们的增速还在增加。水力和生物质已经达到了增长的拐点并且正在成熟。到 2030 年，光伏将占可再生能源装机量的一半以上，风光将占到 77%，水电的占比将降低到 19%。见图 5-6。

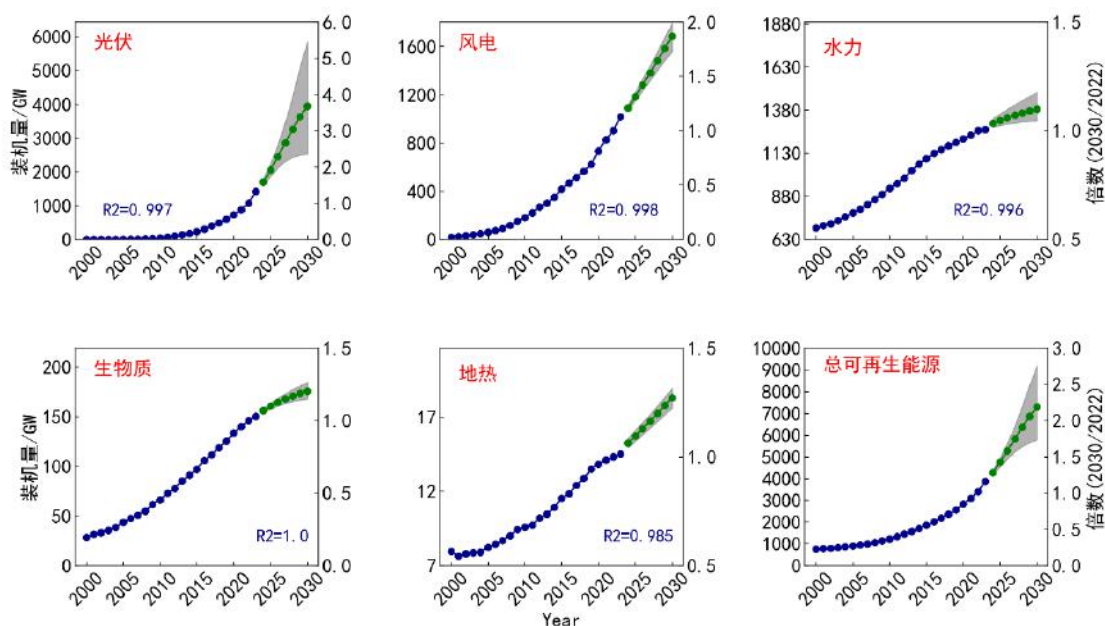


图 5-6 全球可再生能源装机量历史数据（2000-2023）与预测结果（2024-2030），依次为光伏、风电、水力、生物质、地热、总可再生能源。左右纵轴分别为装机量和倍数，灰色区域为 95%置信区间

（二）中国、美国的光伏增长迅速，德国的光伏、西班牙的风电呈现出再增长趋势，各国风电增长相对缓慢

光伏方面，中国的光伏装机量增长迅速，到 2030 年将达到 2017GW，即 2022 年的 5.14 倍。美国光伏增长也较为稳定和迅速，2030 年将达到 312GW，约为 2022 年的 2.76 倍。除中国、美国外，其他 2023 年光伏装机量排名前六的国家：澳大利亚、印度、德国、日本都只表现出稳定或者微弱的增长，2030 年的倍数小于 3。根据是否到达拐点可以看出，中国、美国和德国的增长还在加速，澳大利亚和日本的增长在减速，德国表现出二次增长，即在 2014 年达到第一次 S 型增长的最大值平台后又开始第二次增长。见图 5-7。

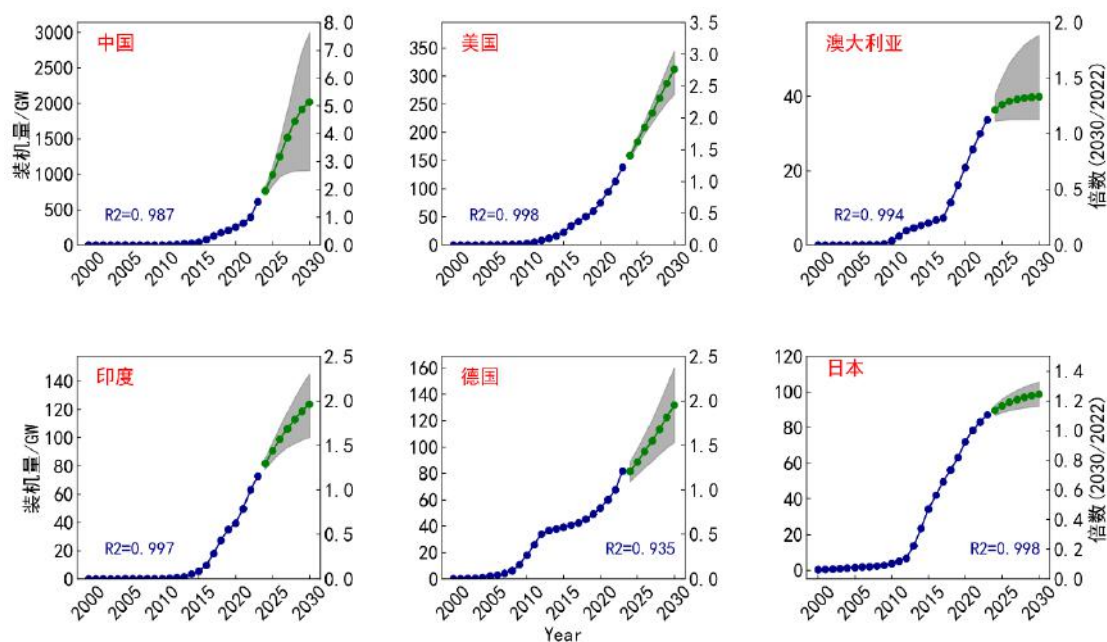


图 5-7 全球光伏装机前六国家增长曲线，依次为中国、美国、澳大利亚、印度、德国、日本

风电方面，对于 2023 年装机量前六的国家：中国、美国、英国、印度、德国、西班牙，只有中国的装机量将超过 2 倍，并且只有中国目前还在加速增长。到 2030 年，中国的风电装机量将达到 843GW，占全球的一半。英国、印度、德国的风电装机量逐渐达到成熟，其倍数都低于 1.5。西班牙表现出二次增长的趋势，即在 2014 年前完成了一次 S 型增长，又在之后重新开始加速增长。见图 5-8。

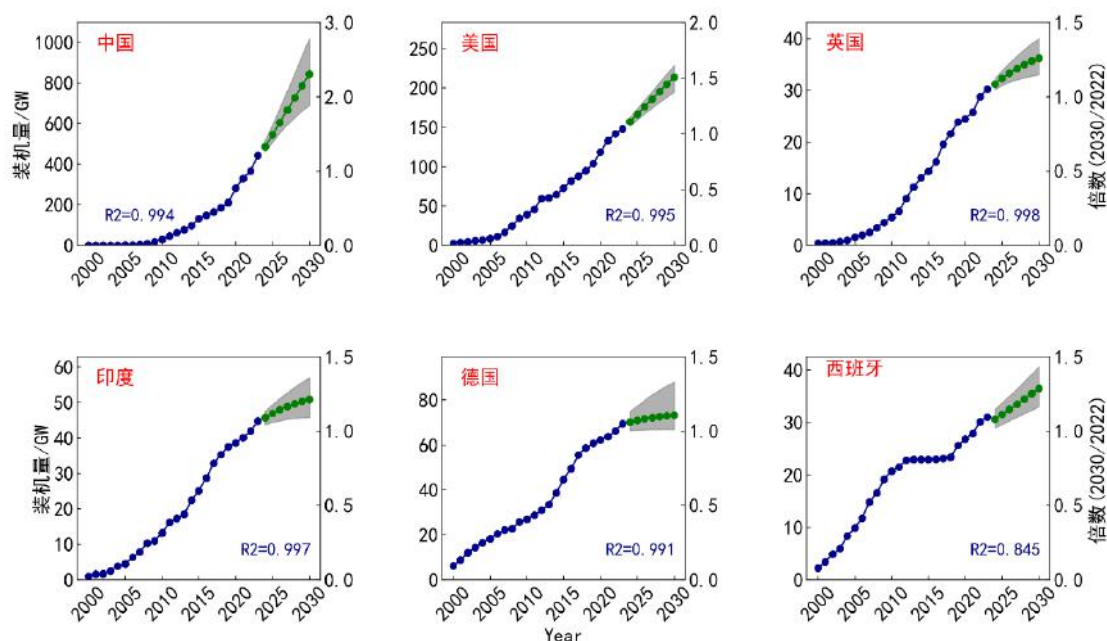


图 5-8 全球风电装机前六国家增长曲线，依次为中国、美国、英国、印度、德国、西班牙

（三）若按目前趋势，只有少部分国家风光装机 2030 年能够达到 3 倍，约 21% 的国家光伏能够达到三倍，5% 的国家风电能够达到三倍，部分国家呈现出再增长趋势

多数国家的风光增长仍然表现出稳定的趋势。从 2030 相对 2022 的装机倍数上看，对于光伏，有大约 21% 的国家 2030 年的倍数达到 3 倍，包括中国、奥地利、丹麦、芬兰、印度尼西亚等；对于风电，只有约 5% 的国家能够达到三倍。风光再次增长的国家比例都大约为 10%，对于光伏，包括德国、希腊、意大利等，对于风电，基本为发达国家，包括奥地利、加拿大、厄瓜多尔、爱沙尼亚、意大利、拉脱维亚、立陶宛、新喀里多尼亚、新西兰、波兰、西班牙。由此可以看出，许多发达国家的风电曾经历过一次或多次 S 型增长，同时近几年又进入了一个新的快速发展阶段。而近年来，部分发达国家，主要是欧洲国家的风电、光伏迎来了新的高速增长阶段。

这些欧洲国家的再增长趋势主要是由于其产业政策的影响，也受到了近年来全球风光技术升级与成本下降的推动作用。这些国家在早期通过有力的产业政策实现了可再生能源的快速发展。例如，欧盟在 2001 年通过了 2001/77/EC 指令，促进可再生能源在电力市场的发展。德国于 2000 年实施了《可再生能源法》（EEG），大幅提升了风光装机量。然而 2012 年后，由于政策补贴削减和市场饱和，增长速度有所放缓，部分国家甚至出现停滞。近几年，随着可再生能源成本的进一步降低和新的政策激励，这些国家的新能源发展再次提速，德国在 2020-2023 年光伏装机年均增长率达到了 14.6%，西班牙的风电在 2012-2018 年增长停滞于 2019 年开始稳步增长。欧盟在 2022 年通过了“REPowerEU”能源计划，旨在大幅提高风光发电。《欧盟可再生能源指令》（Renewable Energy Directive, RED）首次颁布于 2009 年，先后在 2018 年和 2023 年进行了大幅修订，来推动可再生能源发展。德国政府在 2022 年进行了《可再生能源法》修订，加强了对可再生能源的政策支持。再次增长的趋势表明，产业政策的调整和重新投入对可再生能源的发展具有关键作用。

对于光伏和风电，本研究对不同国家的增长按照倍数和在总可再生能源中的渗透率的变化进行了分类。具体结果见图 5-9 和 5-10。

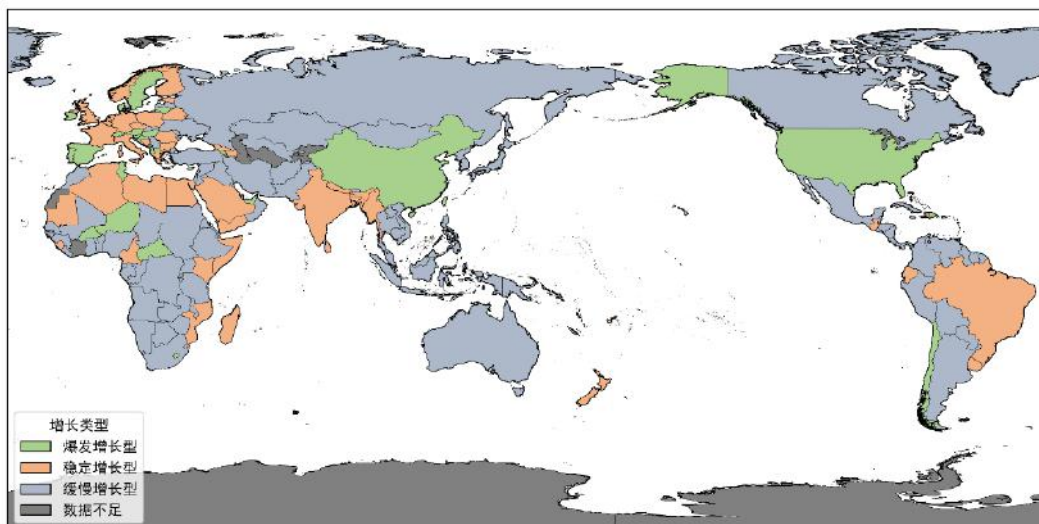


图 5-9 全球国家光伏装机增长分类。分类通过 Ratio: 2030 年与 2022 年的装机数比值、Penetration growth: (2030 年光伏装机量-2023 年光伏装机量)/2023 年总发电装机量, 两个参数来进行。若 Ratio 大于 2.5 且 Penetration growth 大于 5%, 为爆发增长型; 若 Ratio 小于 1.5 或 Penetration growth 小于 1%, 为缓慢增长型; 其余为稳定增长型

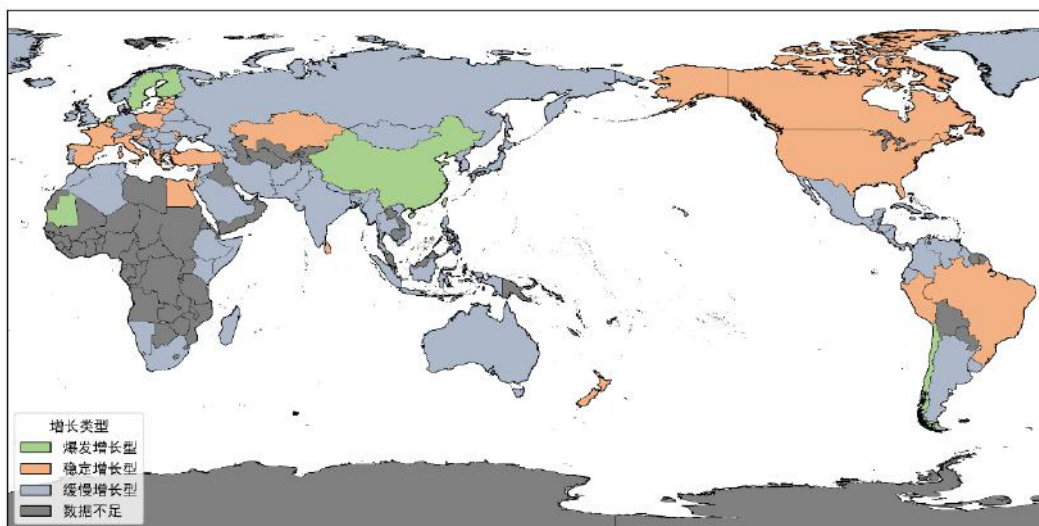


图 5-10 全球国家风电装机增长分类 若 Ratio 大于 2.0 且 Penetration growth 大于 5%, 为爆发增长型; 若 Ratio 小于 1.5 或 Penetration growth 小于 1%, 为缓慢增长型; 其余为稳定增长型

(四) 不同区域的发展存在较大差异, 非洲、大洋洲、美洲大部分国家增长不持续不稳定

光伏方面, 非洲、北美、南美和大洋洲的国家增长非常缓慢; 风能方面, 非洲和大洋洲的国家几乎没有增长。对于亚洲的光伏和风能以及南美的风能, 增长表现出巨大的区域内国家差异。大部分非洲国家, 部分大洋洲、美洲国家, 总装机量小且增长不持续不稳定, 早期增长不符合指数增加的趋势, 无法被 S 型曲线有效拟合。以非洲为例, 截止 2023 年其风电和光伏装机量分别仅为 8.6GW,

13.6GW，南非在 2014-2020 年经历了间断性的光伏装机增长，但在 2020 年后其增长又陷入停滞。

在光伏方面，欧洲表现最佳，半数国家的倍数超过 3。亚洲表现出较大差异，四分之一的国家倍数超过 2.5，而半数国家增长较小，倍数低于 1.4。非洲、北美、南美和大洋洲的增长非常缓慢，这四个地区的半数国家增长微弱，倍数低于 1.3，仅不到 25% 的国家倍数高于 2。见图 5-11。在风能方面，欧洲同样表现最佳，四分之一的国家倍数超过 1.8，四分之一的国家在 1.3-1.8 之间。南美洲表现出较大差异，半数国家倍数超过 2.0，而另一半国家低于 1.3。亚洲的情况相似，半数国家低于 1.3，但三分之一的国家高于 1.5。非洲和大洋洲的国家增长有限，所有国家增长比例低于 1.5，半数国家几乎没有增长。见图 5-12。

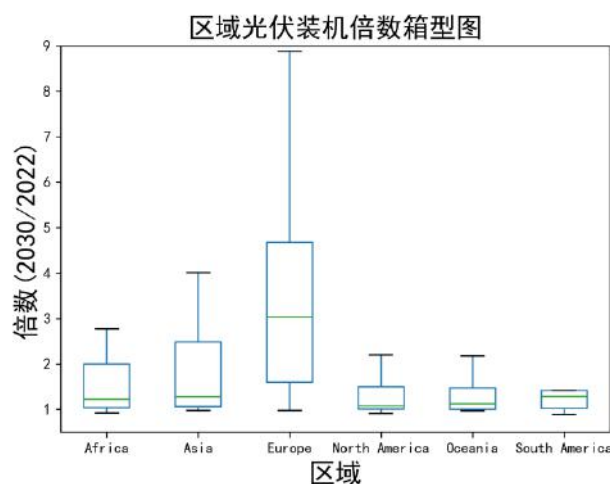


图 5-11 全球各区域光伏倍数（2030/2022 装机量）箱型图。绿线表示该区域装机量倍数的中位数，箱子上下边缘分别表示 75% 和 25% 的数据点，展示了数据的集中分布区间，从箱子延申出的竖线表示数据的整体分布范围

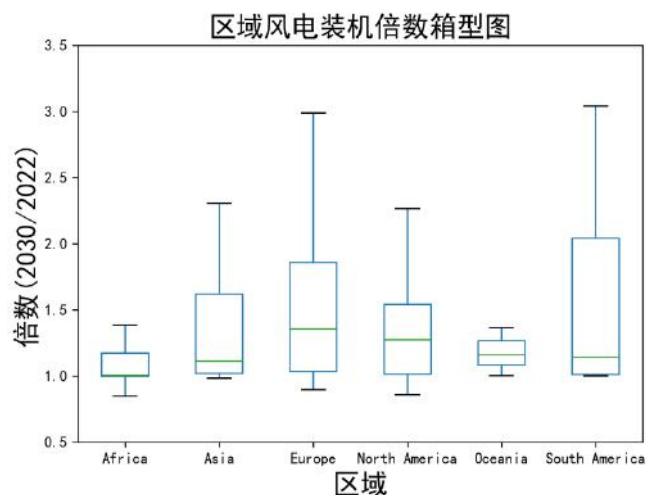


图 5-12 全球各区域风电倍数（2030/2022 装机量）箱型图

5.2.1.3 建议

（一）加强国际合作与政策支持，推动区域内部合作与投资

非洲、大洋洲、美洲的光伏和风电整体装机容量较低，未来发展趋势缓慢。这主要归因于技术限制、投资不足、政策障碍和基础设施薄弱等因素。例如，非洲虽然拥有丰富的太阳能和风能资源，但由于缺乏资金和技术支持，其可再生能源发展受到限制。根据国际可再生能源机构（IRENA）的报告，2020 年非洲的可再生能源投资仅占全球的 2%。

为了解决这一问题，需要加强国际合作和政策支持。发达国家和国际组织可以通过技术转让、资金援助和能力建设，帮助这些地区加速光伏和风电的发展。例如，世界银行的“照亮非洲计划”（Lighting Africa Initiative）致力于通过支持离网太阳能解决方案，提升非洲地区的电力可及性。

亚洲的光伏和风电，以及南美的风电，未来增长速度在区域内国家间存在巨大差异。例如，中国和印度在政策支持和大规模投资的推动下，已成为全球最大的可再生能源市场之一。然而，其他亚洲国家由于资金、技术和政策等限制，发展相对缓慢。为缩小这种差距，需要加强区域内的合作，如通过东盟能源合作计划，促进成员国间的技术交流和项目投资。

（二）推动欧洲国家的多次增长模式并扩大其积极影响

受产业政策激励、全球光伏和风电成本持续下降以及地缘政治动荡引发的能源供应波动等因素影响，欧洲多个主要发达国家再次呈现出可再生能源装机容量的快速增长趋势。例如，德国在 2023 年修订了《可再生能源法》（EEG 2023），大幅提升了对光伏和风电项目的支持力度。修订内容包括提高上网电价补贴、简化审批流程以及加强电网基础设施建设等。在全球能源危机和更加严格的气候政策背景下，德国等欧洲国家重新进入了可再生能源的高速发展期。欧盟近期推出的“REPowerEU”计划，旨在减少对俄罗斯化石燃料的依赖，加速清洁能源转型。这些政策举措推动了区域内光伏和风电项目的快速扩展。

这些成功经验表明，适时调整产业政策、加强政策支持力度以及推动技术升级，对实现可再生能源的多次增长具有关键作用。通过发挥引领作用，欧洲国家不仅可以巩固自身在可再生能源领域的优势，还能带动其他国家和地区共同推进全球能源转型，助力实现全球气候目标。

5.2.1.4 参考文献

- [1] Abril-Pla, O., Andreani, V., Carroll, C., Dong, L., Fonnesbeck, C. J., Kochurov, M., Kumar, R., Lao, J., Luhmann, C. C., Martin, O. A., Osthege, M., Vieira, R., Wiecki, T., & Zinkov, R. (2023). PyMC: A modern, and comprehensive probabilistic programming framework in Python. *PeerJ Computer Science*, 9, e1516. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1516>

- [2] Berkey, C. S. (1982). Bayesian approach for a nonlinear growth model. *Biometrics*, 38(4), 953–961.
- [3] Cherp, A., Vinichenko, V., Tosun, J., Gordon, J. A., & Jewell, J. (2021). National growth dynamics of wind and solar power compared to the growth required for global climate targets. *Nature Energy*, 6(7), 742–754. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00863-0>
- [4] *COP28 Tripling Renewable Capacity Pledge: Tracking countries' ambitions and*. (n.d.).
- Hansen, J. P., Narbel, P. A., & Aksnes, D. L. (2017). Limits to growth in the renewable energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 769–774. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.257>
- [5] Höök, M., Li, J., Oba, N., & Snowden, S. (2011). Descriptive and Predictive Growth Curves in Energy System Analysis. *Natural Resources Research*, 20(2), 103–116. <https://doi.org/10.1007/s11053-011-9139-z>
- [6] *IRENA Call to Triple Renewables by 2030 Becomes a Key Commitment at COP28*. (2023, December 2). <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Dec/IRENA-Call-to-Triple-Renewables-by-2030-Becomes-a-Key-Commitment-at-COP28>
- [7] Jiang, T., He, X., Su, B., Havea, P. H., Wei, K., Kundzewicz, Z. W., & Liu, D. (2024). COP 28: Challenge of coping with climate crisis. *The Innovation*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2023.100559>
- [8] Madsen, D. N., & Hansen, J. P. (2019). Outlook of solar energy in Europe based on economic growth characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109306. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109306>
- [9] Obobisa, E. S. (2022). Achieving 1.5 °C and net-zero emissions target: The role of renewable energy and financial development. *Renewable Energy*, 188, 967–985. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.056>
- [10] *Renewable Energy Sources Act (EEG 2023)*. | UNEP Law and Environment Assistance Platform. (n.d.). Retrieved September 25, 2024, from <https://leap.unep.org/en/countries/de/national-legislation/renewable-energy-sources-act-ee-2023>
- [11] Tjørve, E., & Tjørve, K. M. C. (2010). A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. *Journal of Theoretical Biology*, 267(3), 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.09.008>
- [12] *Tripling renewable power capacity by 2030 is vital to keep the 1.5°C goal within reach – Analysis*. (2023, July 21). IEA. <https://www.iea.org/commentaries/tripling-renewable-power-capacity-by-2030-is-vital-to-keep-the-150c-goal-within-reach>
- [13] Vezzoni, R. (2023). Green growth for whom, how and why? The REPowerEU Plan and the inconsistencies of European Union energy policy. *Energy Research & Social Science*, 101, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103134>
- [14] Yu, H., Wen, B., Zahidi, I., Chow, M. F., Liang, D., & Madsen, D. Ø. (2024). The critical role of energy transition in addressing climate change at COP28. *Results in Engineering*, 22, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102324>

5.2.2 国际可再生能源投资助力发展中国家可持续发展

5.2.2.1 引言

气候变化已成为全球共识，可再生能源的开发和利用已经成为全球共同关注的焦点。尤其对于发展中国家而言，传统能源依赖和环境压力的双重挑战，迫使它们必须转向更可持续的能源解决方案。然而，这些国家在资金、技术、基础设施等方面的短缺，阻碍了它们大规模发展可再生能源的步伐。自 2015 年《巴黎协定》通过以来，全球在可再生能源领域的国际投资显著增长，增长幅度接近两倍。然而，2022 年这一增速有所放缓，并且大部分投资集中在发达国家。报告进一步指出，发展中国家每年需要约 1.7 万亿美元的可再生能源投资，然而 2022 年吸引的外国直接投资仅为 5440 亿美元，远未满足其能源转型需求¹。大幅增加对发展中国家可持续能源系统的投资，对于全球在 2030 年前实现气候目标至关重要。

在这一背景下，国际可再生能源投资为发展中国家提供了宝贵的机遇，不仅帮助其满足日益增长的能源需求，还推动了经济增长、就业创造和环境保护。首先，国际可再生能源投资为发展中国家带来了急需的资金和技术支持。由于财政资源有限，许多发展中国家难以独立承担大规模的可再生能源项目。而国际投资者的资金和技术力量能够填补这一空缺，帮助这些国家建设太阳能、风能、水电等清洁能源项目。例如，世界银行、亚洲开发银行等多边机构，以及中国、美国等国家的私人资本和政府资金，近年来纷纷加大了对发展中国家的可再生能源投资力度。这些投资不仅解决了发展中国家能源基础设施落后的问题，还带来了先进的技术和管理经验，提高了项目的可行性和长期效益。其次，国际可再生能源投资直接推动了发展中国家的经济增长和就业创造。可再生能源项目往往需要大量的劳动力参与，特别是在项目的建设、运营和维护阶段。这为当地提供了大量的就业机会，特别是在劳动力充足但就业机会有限的农村地区。此外，随着能源成本的降低和能源获取的便利，发展中国家的工业和制造业也因此受益，带动了相关产业的扩张与经济的整体增长。国际能源署（IEA）的报告指出，到 2030 年，全球可再生能源产业将创造数百万的工作岗位，其中大部分位于发展中国家²，这一趋势表明国际可再生能源投资不仅是环保举措，还是促进经济发展的有效手段。

在此背景下，本文将分析国际可再生能源投资对发展中国家可持续发展产生的积极效益，以中国在“一带一路”国家的海外能源投资为例，研究对目的地国家经济和就业的拉动作用，并提出相应的政策建议。

5.2.2.2 核心观点：国际可再生能源投资对发展中国家可持续发展的积极效益

（一）促进可再生能源三倍目标实现

国际投资在推动全球能源转型以及实现到 2030 年全球可再生能源装机容量增至三倍的目标中起到了至关重要的作用。作为推动可再生能源发展的核心力量，国际社会通过多边和双边合作，为全球特别是发展中国家提供了急需的技术、资金和管理经验支持。这些投资帮助许多国家克服了初期资金和技术障碍，使其能够更快速地开发和部署可再生能源项目，从而大幅提升了能源自给能力，促进了可持续发展。

在这一过程中，国际投资覆盖了多个领域，从风电、太阳能光伏到水电和地热能项目，并且在许多国家建立了完善的可再生能源产业链。通过提供低成本、高效率的技术解决方案，国际投资为许多国家提供了可行的路径，帮助它们从化石能源转型到清洁能源。特别是在发展中国家，这些资金和技术的输入显著加快了大规模可再生能源项目的实施进程，推动了当地能源基础设施的现代化和绿色化。

此外，国际金融机构通过绿色金融的推广和创新，进一步为全球可再生能源项目的融资提供了新的渠道。这种多元化的资金来源不仅确保了可再生能源项目的顺利启动和长期运行，还促进了全球范围内绿色低碳能源发展模式的推广。国际投资的多方位支持与参与正在加速全球可再生能源装机容量的增长，为实现 2030 年全球能源转型目标奠定了坚实的基础。

（二）拉动经济增长

中国已成为推动全球清洁能源转型的重要力量。2023 年，中国贡献了全球能源转型投资总额的 38%，投资额达到 6760 亿美元³。与此同时，中国的新能源和低碳产品出口持续增长，为全球能源转型提供了强有力的支持和助力。在全球能源转型的浪潮下，中国企业近些年来在其他国家持续、多样、规模可观的海外可再生能源投资也为全球能源转型做出了不可磨灭的贡献。2013 年，我国提出“一带一路”倡议，在此推动下，中国企业在全球范围内的绿色能源投资显著增加，为沿线国家和地区的能源结构转型提供了强有力的支持^{4,5}。2021 年 9 月 21 日，中国在联合国一般性辩论大会上郑重承诺将“大力支持发展中国家能源绿色低碳发展，不再新建境外煤电项目”，这也体现了中国在推动全球能源结构向可再生能源转型中的积极态度和责任担当。

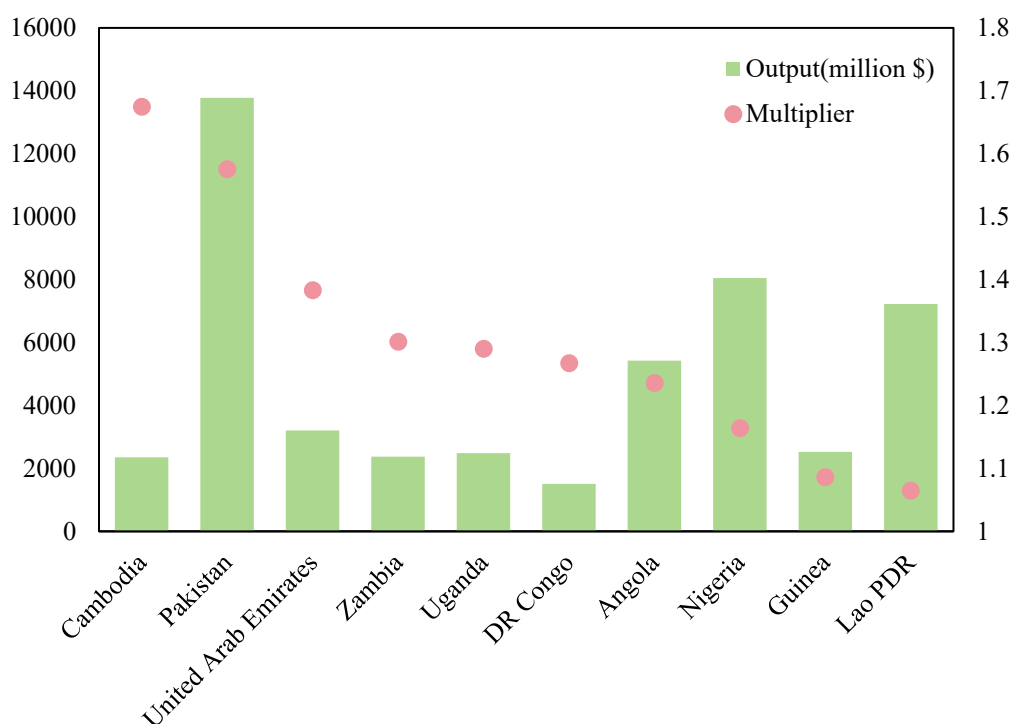


图 5-13 中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家的经济拉动作用

因此本研究以中国海外可再生能源投资为例，选取了加入“一带一路”倡议的 10 个代表性国家（柬埔寨、巴基斯坦、阿联酋、赞比亚、乌干达、刚果（金）、安哥拉、尼日利亚、几内亚和老挝），运用投入产出模型分析了中国的海外能源投资对这些国家经济和就业的拉动作用。

中国的海外能源投资在这十个国家都产生了一定的经济拉动作用，按照拉动乘数的大小，我们可以将分析的 10 个国家分成高乘数效应、中乘数效应和低乘数效应国家三类。其中高乘数效应的国家是柬埔寨，在柬埔寨，中国每投资 1 美元可再生能源可以带来约 1.67 美元的经济产出。可见中国的可再生能源投资在柬埔寨极大地推动了经济增长，可能是由于该国有大量的未开发资源和急需发展的基础设施，而可再生能源的投资促进了技术设施建设、能源的获得和使用以及相关产业的发展。巴基斯坦、阿联酋、赞比亚和乌干达属于中乘数效应范畴，这些国家大部分处于经济发展和基础设施建设的快速增长阶段，可再生能源投资可能带动了能源领域的扩展和经济的多样化，改善了该国的能源供应，推动了相关产业的发展，进一步促进了当地经济的增长。刚果（金）、安哥拉、尼日利亚、几内亚和老挝则属于低乘数效应国家，这可能是由于当地基础设施不足，受到经济结构、市场规模以及相关政策环境的限制，未能充分发挥投资的拉动作用。

接下来，我们对中国的海外可再生能源投资对不同行业的拉动作用进行了分析，结果如图 5-14 所示。可以发现，可再生能源投资对金融中介和商业活动业、采矿及采石业的经济拉动作用最为明显。这得益于可再生能源电力设备对原材料

的大规模需求，比如风力发电机和太阳能电池板的生产需要大量的稀土金属，硅和锂也是太阳能电池板的关键材料，水电和核电项目的建设需要大量的石料和砂石，同时大型可再生能源项目的大规模资金需求和复杂的融资结构增加了对金融产品和服务的需求。同时，中国的可再生能源投资也显著拉动了交通、建筑等行业的产出，这是由于对设备和材料的运输、专业人员的交通以及发电厂和相关配套设施建设等需求的增加。

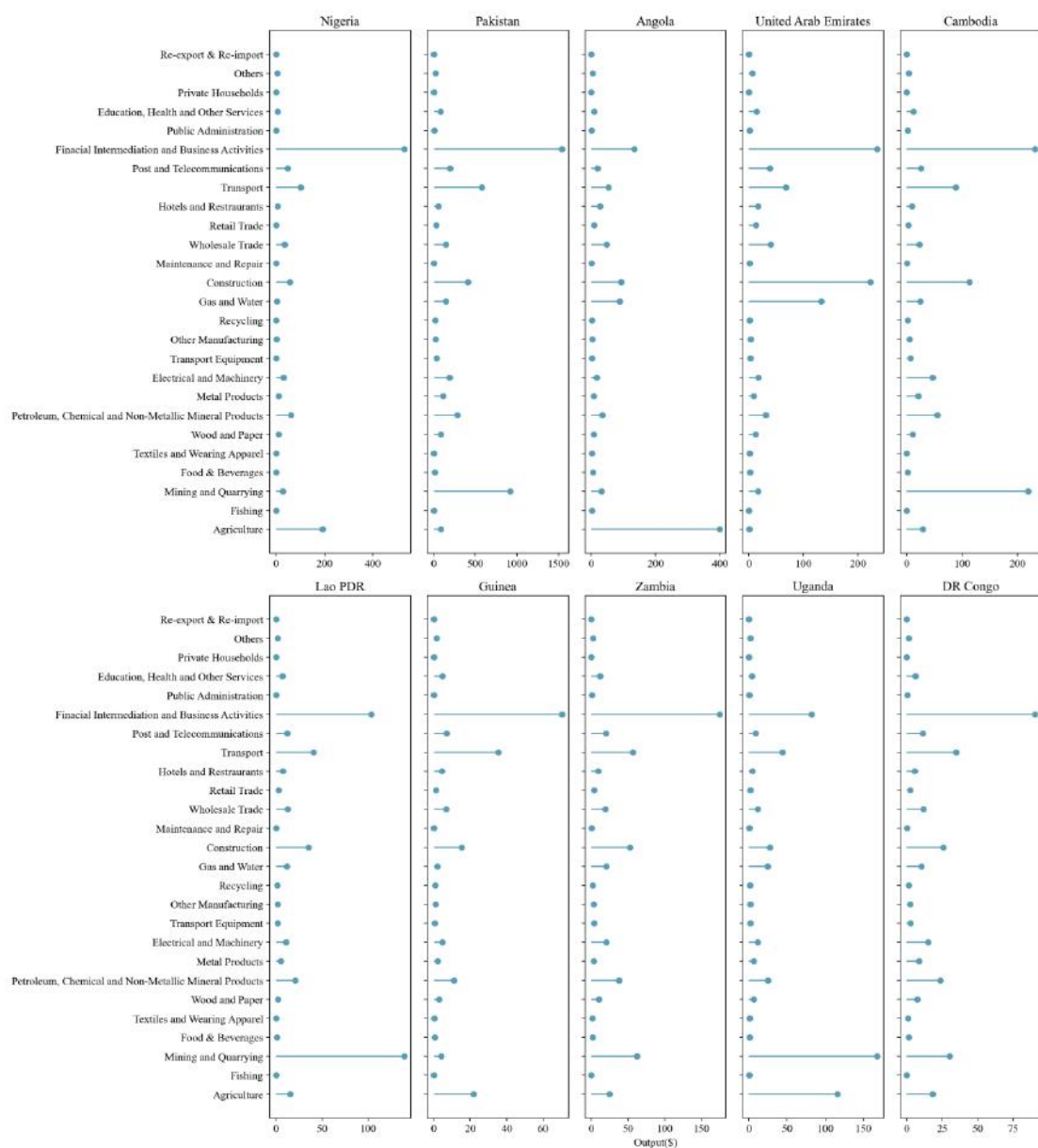


图 5-14 中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家不同行业的经济拉动作用

（三）创造就业岗位

中国的海外可再生能源投资不仅是目的地国家经济增长的推动力，也是就业岗位创造的重要来源。如图 5-15，据计算，中国 2010-2021 年间的可再生能源投

资在这十个国家拉动的就业规模超过了 20 万人。其中，在阿联酋创造的就业岗位最多，超过了 27000 人。

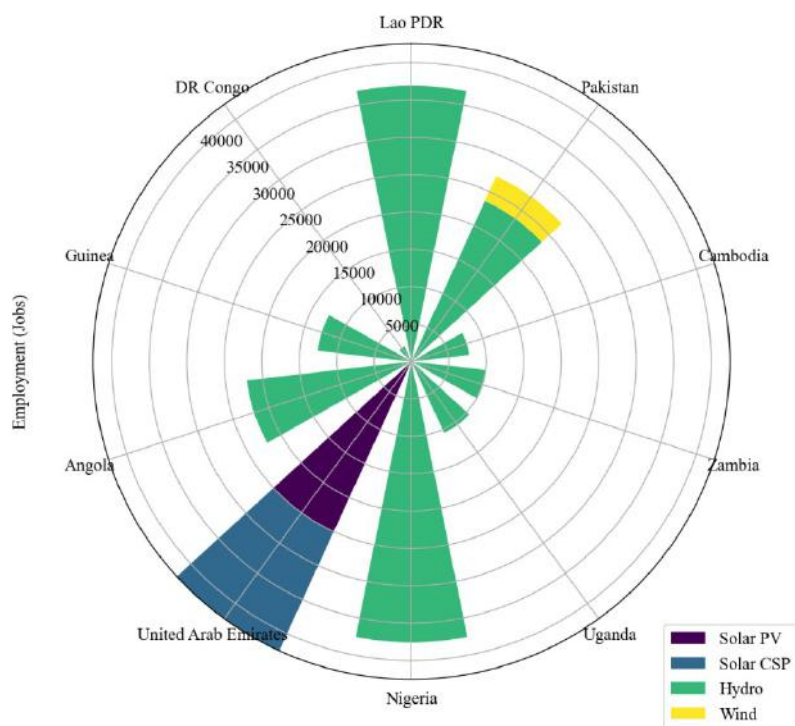


图 5-15 中国海外可再生能源投资对部分“一带一路”国家的就业拉动作用

5.2.2.3 结论与建议

国际能源投资伴随着能源基础设施建设、工作岗位的创造、产业链的延伸拉动以及相关技术支持等，将对发展中国家的经济增长注入巨大动能。研究发现，中国的海外能源投资在“一带一路”的十个代表性国家都产生了一定的经济拉动作用，中国每投资 1 美元可再生能源可以带来约 1.06-1.67 美元的经济产出。中国的海外可再生能源投资不仅推动了目的地国家的经济增长，还成为创造就业机会的重要动力。2010 年至 2021 年期间，中国在十个国家的可再生能源投资带动的就业人数累计超过 20 万。其中，阿联酋受益最多，新增就业岗位超过 27,000 个，显示出这一投资对当地劳动力市场的显著影响。由此可见，国际可再生能源投资对发展中国家经济增长和就业具有显著的拉动作用，需要进一步扩大国际能源投资数额，助力发展中国家的可持续发展进程。

发达国家和国际组织可以通过提供政策指导和法规框架来鼓励和保护外国投资者的利益，从而增加对发展中国家可再生能源项目的投资。也可以提供税收优惠、补贴、贷款担保和优惠融资等财政激励措施，可以降低投资风险，吸引更多的私人资本投入可再生能源领域。与此同时，也要充分利用国际组织和多边机构的平台和资源，为发展中国家的可再生能源项目提供资金、技术和市场支持。

此外，改善发展中国家的市场准入条件和监管环境也十分重要，需要提高透明度和可预测性，吸引更多的国际投资者。

5.2.2.4 参考文献

- (1) UNCTAD. *World Investment Report 2023*; Geneva, 2023.
- (2) IEA. *World Energy Employment 2023*; France, 2023.
- (3) Cheung, A. *Energy Transition Investment Trends 2024*.
- (4) 世界资源研究所. 迈向绿色发展：中国企业海外可再生能源投资的现状、挑战和未来.
<https://wri.org.cn/en/node/511>.
- (5) Wang, D. C. N. *China Belt and Road Initiative (BRI) Investment Report H1 202*. 2021.

5.2.3 光伏贸易全球化促进福利提升与多方共赢

5.2.3.1 引言

加快可再生能源技术部署是减缓气候变化、保障能源安全、推动可持续发展的重要举措。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告（AR6）明确指出，要将全球升温限制在 2℃ 内，到 2050 年，全球 93%—97% 的电力需由低碳能源提供，并且必须立即采取行动^[4]。在众多可再生能源技术中，太阳能光伏因能量丰富、技术成熟、成本优势显著而被视为最具竞争力的选择^[2]。过去十年间，全球光伏成本每年下降约 15%，装机容量每年增长 25% 左右^[3]。

光伏产业的快速发展受益于贸易全球化的发展趋势^[4]。一方面，贸易全球化加剧了光伏市场竞争，伴随着光伏产业企业数量、产品种类和供给量的增加，光伏价格随之下降^[5]；另一方面，贸易全球化使各国专注于具有比较优势的细分市场，促进了资源高效利用，提高了光伏生产效率^[6]。尽管光伏贸易全球化带来了显著积极效应，但市场竞争加剧和全球供应网络的日益复杂化，也引发了一些国家对本土产业竞争力和供应链可持续性的担忧^{[7][8]}。部分国家采取逆全球化措施，对进口光伏产品施加贸易壁垒，以支持本土制造业并减少对外部供应链依赖。

从社会经济影响的角度，全球光伏行业究竟应加速回流还是加强合作？围绕这一问题，课题组耦合 GSIM 模型和投入产出模型，采用反事实推断的方法，量化对比了 2018—2021 年全球光伏自由贸易或实施贸易壁垒措施对多国经济、就业和社会福利的影响，以期为相关决策提供科学依据和实证支持。

5.2.3.2 核心观点

（一）光伏贸易自由化促进全球行业产出、就业和福利整体增长，且多国社会福利显著提升

光伏贸易自由化情景下，全球范围内的行业产出、就业拉动和社会福利都将

显著提升。模拟显示，2018—2021 年，与施加关税的贸易壁垒情景相比，贸易自由化情景下，全球光伏行业产出直接增加 10 亿美元，额外增加就业 4 万人，社会福利提升 37 亿美元。

进一步分析发现，多个国家的社会福利均能在自由贸易情景下得到显著提升。对壁垒施加国而言，尽管自由贸易情景下行业产出有所减少，但本国社会福利显著提升。2018—2021 年，相较于施加关税的贸易壁垒情景，贸易自由化使壁垒施加国社会福利显著提升 34 亿美元（如图 5-16a 所示）。社会福利的显著提升得益于更具价格优势的光伏产品显著提升了本国消费者福利（增幅达 107 亿美元），尽管生产者福利和关税收入呈现小幅下降（分别为-11 亿美元和-62 亿美元），但消费者福利增加足以弥补生产者福利和关税收入损失，整体社会福利实现净增长。对壁垒目标国而言，光伏贸易自由化的反事实情景下，社会福利亦显著为正。模拟显示，2018—2021 年，与施加关税的贸易壁垒情景相比，若光伏实现贸易自由化，壁垒目标国社会福利将提升 3 亿美元（如图 5-16b 所示）。这主要源于贸易自由化增加了当地生产者福利和关税收入（分别约 14 亿美元和 1 亿美元），其福利增幅超出了消费者因国内市场竞争加剧和价格上涨而损失的福利（约 12 亿美元）。

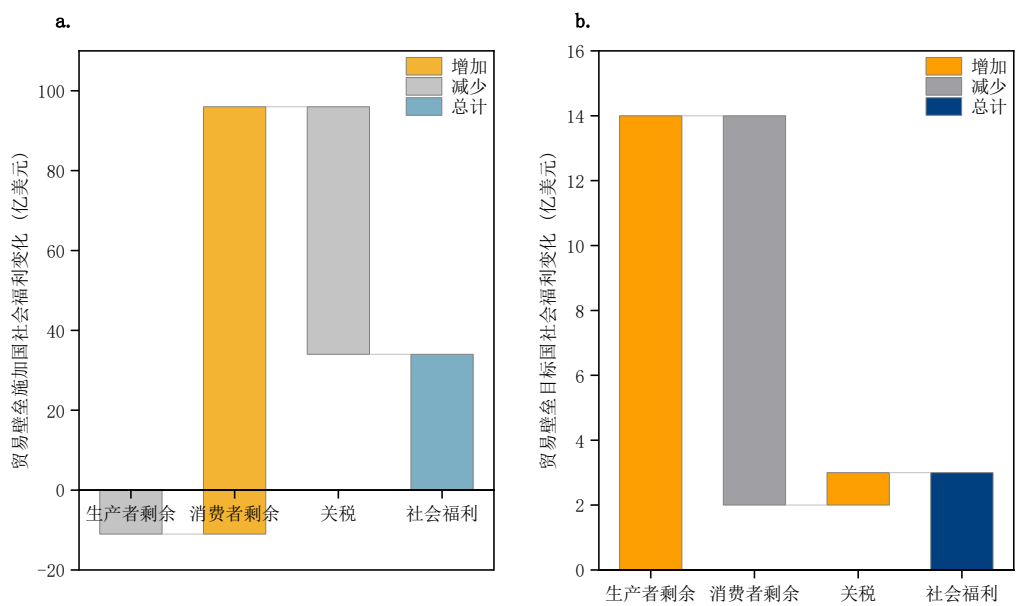


图 5-16 2018—2021 年全球光伏自由贸易对壁垒施加国和目标国的社会福利影响

注：a 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易对壁垒施加国社会福利的影响；b 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易对壁垒目标国社会福利的影响

（二）光伏贸易自由化对经济就业的积极影响延产业链放大，电气机械和设备制造行业、金属开采行业及钢铁和铁合金制造行业显著受益

自由贸易不仅能直接促进光伏行业经济和就业增长，还能通过全球产业链的

深度连接产生更为广泛的积极影响。图 5-17 所示，2018—2021 年，若考虑产业联动的间接拉动效益，光伏贸易自由化能使全球产出和就业额外增长 77 亿美元和 12 万人，分别是直接拉动效益的 8 倍和 3 倍。存在放大效应的主要原因在于生产链条全球化使各国之间形成了“你中有我，我中有你”的高度依存关系，错综复杂的贸易网络下，光伏自由贸易不仅直接增加光伏产品产出，还间接推动上游原材料进口增长及下游安装和运维等相关行业发展。这种间接拉动效应创造更多经济利益的同时，也显著增加了相关就业岗位。

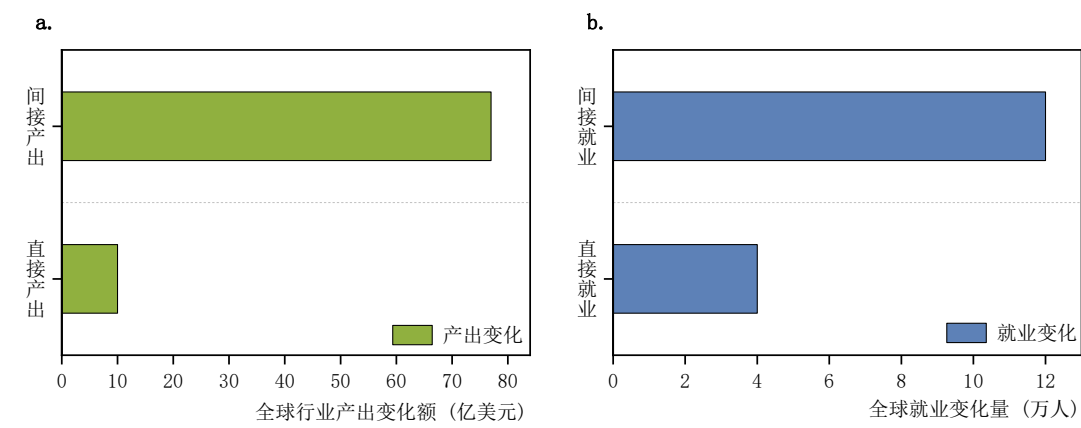


图 5-17 2018—2021 年光伏自由贸易对全球产出和就业的总影响

注：a 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易对行业产出的直接和间接影响；b 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易对行业就业的直接和间接影响

具体而言，显著受益行业包括电气机械和设备制造行业、金属开采行业及钢铁和铁合金制造行业等（如图 5-18 所示）。2018—2021 年，贸易自由化使光伏产品隶属的电气机械和设备制造行业产出增加 27.4 亿美元，并创造约 3.2 万个就业岗位。这为上游原材料行业和下游安装运维行业发展提供了重要支持。铜、铝作为光伏电池板生产的基本金属，其需求上涨分别推动铜生产和铝生产行业的产出增加 4.3 亿美元和 2.7 亿美元，也使铜矿石和精矿开采行业就业人数增加 3.1 万人。与此同时，下游安装需求的提升进一步促进了对支架等钢材的消费，使钢铁和铁合金制造行业产出增加 9.4 亿美元，并新增约 0.7 万个就业机会。

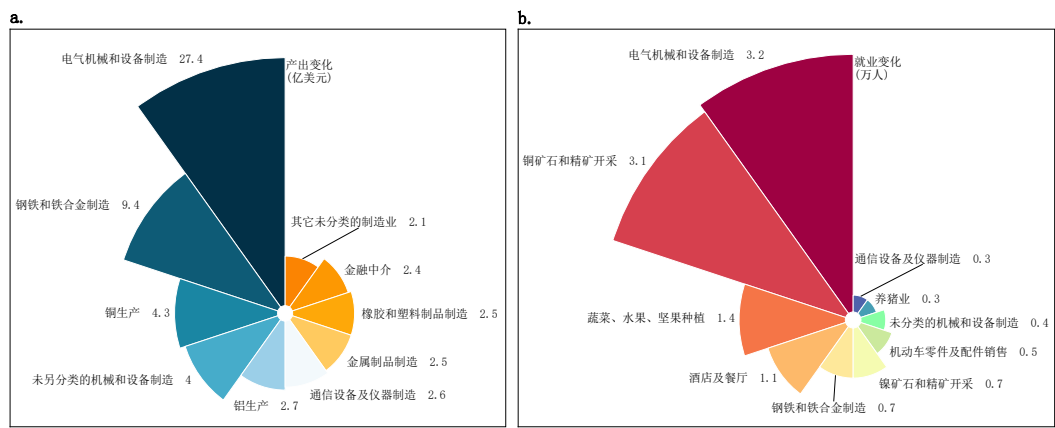


图 5-18 2018—2021 年全球光伏自由贸易对部门产出和就业的总影响

注：a 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易中产出增量排名前十的部门；b 图表示 2018—2021 年全球光伏自由贸易中就业增量排名前十的部门

5.2.3.3 建议

（一）全球经济体应加强光伏产业国际合作，打破贸易壁垒

打破光伏贸易壁垒，不仅能直接促进全球光伏产业经济和就业增长，还能通过产业联动带来更为显著的规模效益。一方面，自由贸易直接推动全球光伏行业产出增长，就业岗位增加；另一方面，自由贸易对经济就业的拉动效益通过光伏产业链进一步放大，带动电气机械和设备制造行业、金属开采行业及钢铁和铁合金制造行业间接受益，从而实现更高水平的经济增长和社会福利提升。因此，各国应积极参与国际组织和多边合作机制，如签署自由贸易协定、区域经济合作协议等，共同推动光伏贸易自由化。同时，也应努力通过对话机制解决贸易争端，增强合作信任，助力光伏产业实现可持续发展。

（二）政策制定者应统筹兼顾多方福利

在全球一体化背景下，政策制定者应意识到，光伏贸易政策应是权衡生产者和消费者等多方福利的综合决策结果。对壁垒施加国而言，虽然光伏贸易壁垒的初衷是保护本土产业，提升当地生产者福利，但施加贸易壁垒带来的产品价格上涨和产品选择范围缩窄损害了本国的消费者福利，二者净效益为负。整体而言，贸易壁垒政策损害了壁垒施加国的社会福利。对壁垒目标国而言，自由贸易能提升本国生产商的整体福利，但同时也需注意出台相关政策缓解消费者福利损失。因此，政策制定者需统筹兼顾多方福利，寻求生产者和消费者之间的平衡，确保产业政策兼具公平性和可持续性。

5.2.3.4 参考文献

- [1] Clarke, L., Wei Y M , De La Vega Navarro A, et al. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change[R]. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Changes. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- [2] Chadly A, Moawad K, Salah K, et al. State of global solar energy market: Overview, China's role, Challenges, and Opportunities[J]. Sustainable Horizons, 2024, 11: 100108.
- [3] Nijssse F J M M, Mercure J F, Ameli N, et al. The momentum of the solar energy transition[J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 6542.
- [4] Helveston J P, He G, Davidson M R. Quantifying the cost savings of global solar photovoltaic supply chains[J]. Nature, 2022, 612(7938): 83-87.
- [5] Hajdukovic I. The impact of international trade on the price of solar photovoltaic modules: empirical evidence[J]. EconomiA, 2022, 23(1): 88-104.
- [6] Ma W, Li C, Kou J, et al. The Sino-US trade friction would exacerbate global inequalities in achieving SDGs[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 446: 141218.
- [7] Goron C. Fighting against climate change and for fair trade: finding the EU's interest in the solar panels dispute with China[J]. China-EU Law Journal, 2018, 6(1): 103-125.
- [8] Erol I, Peker I, Benli T, et al. Exploring the enablers for building resilience in solar photovoltaic Energy supply chains[J]. Operations Management Research, 2024, 17(3): 1100-1125.

5.2.4 一国参与全球供应链如何促进全球光伏和风电部署与经济发展？以中国为例

5.2.4.1 引言

新能源产业的蓬勃发展，源于国家对于绿色低碳转型的持续承诺和在发展过程中累积的规模经济及比较优势。这一进程不仅推动了产业的壮大，而且对全球共同应对气候变化、增进全人类福祉做出了积极贡献。尽管如此，太阳能光伏和风电价格的快速下跌并非没有争议，一些国家采取了贸易保护主义政策，企图保护本国的产业市场和工人福利。然而，如果实行严格的贸易壁垒政策，基于全球供应链的贸易效应、跨境投资以及技术创新外溢效应会被阻碍，这将减缓全球光伏和风电组件的价格下降，从而影响部署的速度。本文分析了一国参与全球供应链对全球光伏和风电部署与经济发展的影响，旨在促进绿色贸易，加速全球可再生能源大规模部署。

5.2.4.2 核心观点

《巴黎协定》中商定的减少温室气体排放（GHG）以将气候变化稳定在远低于 2℃ 的水平需要全球大规模推广低碳能源技术，特别是用于发电的可再生能源技术。与传统化石燃料相比，这些技术传播和部署的主要障碍是投资和系统成本

相对较高^[1]。技术学习，以技术成本下降为标志，有可能减少或消除克服这一障碍，从而促进该技术的更广泛传播和采用。

以光伏为例，光伏发电的核心竞争力来自于光伏产业的研发和制造能力，特别是全产业链整合优势^[2]。光伏产业链包括上游的硅料及硅片生产、中游的光伏电池片制造和组件封装以及下游的光伏系统应用三个主要环节，其中上游和中游环节更具战略意义。上游的硅料和硅片是光伏电池制造过程的基础原料，由于晶硅提纯存在技术壁垒，硅料环节生产仍集中在少数大国。此外，风电的成本下降也与全球产业链上的各类风机组件（包括叶片、发电机组、变速箱和机舱）的价格变动息息相关，而这些组件大多由制造业大国生产。

由于各国可再生能源成本与全球产业链息息相关，量化一国参与全球供应链对全球可再生能源部署与社会经济发展的影响，有助于产生对可再生能源全球供应链和绿色贸易的深刻认识，呼吁全球开展更密切的产业合作。从数量角度，一国新能源产业发展和出口可以拉动全球经济增长、促进就业和可持续能源投资；从价格角度，制造业大国巨大的规模优势带来的低价优质产品，可以从中间品贸易和技术创新外溢两方面降低全球其他地区的可再生能源部署成本。

近年来，**新能源产业成为拉动全球经济增长的主要动力**。Ember^[3]指出，2023年，可再生能源将满足全球30%的电力需求，因此通过能源渠道支持全球经济活动。IEA^[4]提到，2023年，清洁能源供应链将雇用3600万名工人，清洁能源为全球经济贡献了约3200亿美元，这占全球GDP增长的10%。就地区而言，清洁能源贡献美国GDP增长的6%左右，中国的约20%，欧盟的近33%，印度的略低于5%。2023年，清洁能源行业也推动了这些地区经济总投资增长的很大一部分。就中国而言，它贡献了2023年总投资增长的50%，而在美国则贡献了20%。

从价格角度，**全球新能源产业也极大降低了各地区的用能成本**。研究指出，太阳能电池板将为英国普通三居室家庭每年节省483英镑，或平均每年节省73%的电费^[5]。在美国，得益于拟议的清洁电力、电气化和能源效率投资，普通家庭每年将节省500美元的能源成本^[6]。此外，IRENA报告^[7]显示，自2000年以来新增的发电能力使2022年电力行业的燃料费用减少了至少5200亿美元。因此，各国可再生能源部署与产业发展已经为国家、社区和居民带来了切身经济利益。

媒体与现有研究主要关注可再生能源发展对全球经济产生的数量影响，如就业、投资额和GDP增长等。例如，当各部门的可再生能源消费大于一定阈值时，可再生能源有利于部门的经济增长^{[8]-[10]}。这是因为，当规模较大时，可再生能源是成本有效的。此外，可再生能源发展对机械、电子器件制造、研发等上游产业也将产生显著的拉动作用，而这些产业比传统劳动密集型产业更高端，有利于改善产业结构^[11]。从生产要素来看，可再生能源的投资回报比化石能源更高，创造

的就业岗位也比化石能源更多，人均收入更高^[12]。同时，可再生能源本身能满足一定的能源需求，通过提高各产业的电力消费来提高生产效率^[13]。

然而，少有研究关注一国风电和光伏发展为全球其他地区带来的价格效应。有研究^[14]指出，来自全球市场上的竞争对欧洲太阳能创新者进行更多创新产生了积极推动作用。此外，太阳能电池板、制造基地和服务的出口可以开展太阳能光伏技术南南转让^[15]。不管是中间品贸易还是技术创新外溢，这种价格效应有助于**他国及全球加速部署可再生能源**，在促进经济发展的同时实现全球的低碳转型。本文以中国参与全球新能源供应链为例，量化了这一效应。

（一）基于全球供应链的技术创新外溢效应

单位装机成本方面，一国参与全球供应链带来的技术创新外溢效应可以帮全球节省大约 170 美元/kW~223 美元/kW；就风电而言，这种效应可以帮全球节省大约 206 美元/kW~304 美元/kW。这种**跨国技术创新外溢效应可以帮助全球每年节约数百亿美元**。截至 2023 年，光伏装机方面，它帮全球节约 2202 亿美元~3511 亿美元；在风电方面，这一数字为 1123 亿美元~2174 亿美元。从资金数量来看，美国受到的影响最大，其次是巴西、印度、日本、德国和澳大利亚。

基于全球 2011-2023 年实际可再生能源装机容量，利用 Richardz 模型进行 S 型曲线估计，从前瞻性角度计算一国参与对全球光伏和风电装机费用的影响。预计 2024-2030 年间，一国参与全球供应链带来的技术创新外溢效应帮全球光伏装机费用减少 5170~5662 亿美元，风电装机费用减少 1808~2255 亿美元。

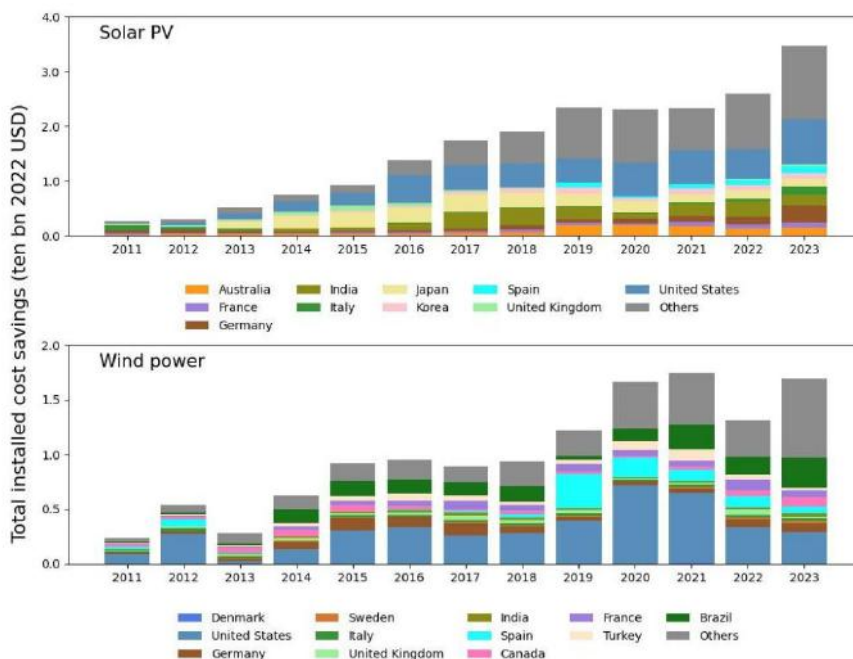


图 5-19 全球供应链带来的各国光伏和风电装机费用节约额

此外，本文还量化了基于全球供应链的风电和光伏产业技术创新外溢对全球平准化发电成本（LCOE）的影响。结果显示：对于光伏 LCOE，这种效应帮全球各地区节省大约 0.01~0.05 美元/kWh；对于风电 LCOE，这种效应帮全球各地区节省大约 0.02~0.04 美元/kWh。

（二）全球供应链为实现可再生能源三倍目标节约资金

在迪拜举行的 COP28 气候变化大会之前，国际能源署（IEA）敦促各地区政府支持到 2030 年的五大行动支柱，其中包括将全球可再生能源发电能力提高三倍的目标。在现有政策和市场条件下，IEA^[16]预计，到 2028 年全球可再生能源装机容量将达到 7300 吉瓦。按照这一增长轨迹，到 2030 年全球装机容量将增至目前水平的 2.5 倍，但仍达不到增幅三倍的目标。

从技术创新外溢带来的价格效应角度，一国参与全球供应链带来的成本降低，到 2030 年，将在光伏领域为全球节省约 5244-8289 亿美元，在风电领域为全球节省约 4589-6709 亿美元。基于 IRENA 预测的可再生能源投资需求^[17]，结合上述效应带来的节约量，本研究估计，全球供应链将使 3 倍目标实现的可能性增加约 10%-14%。

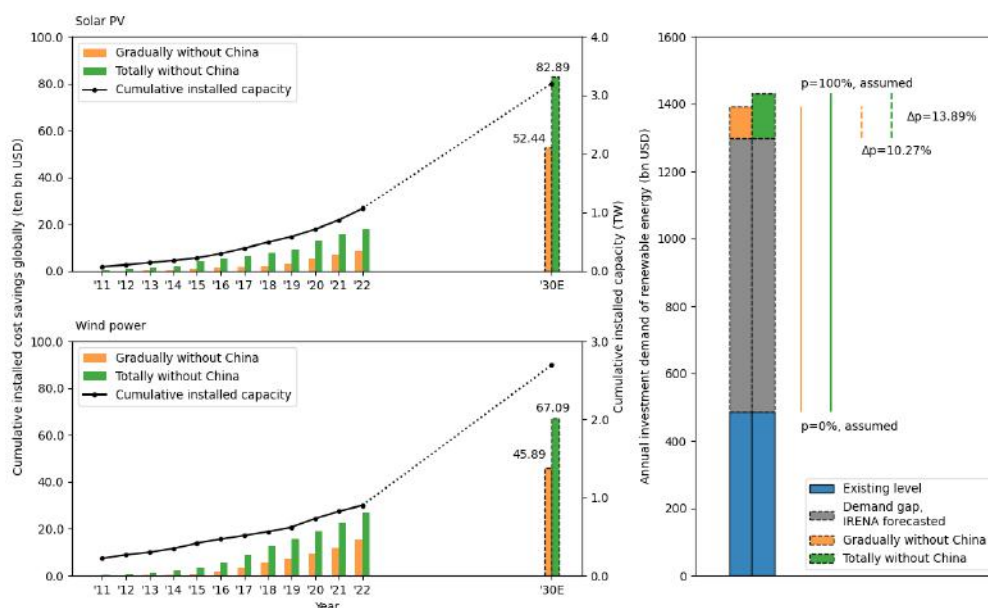


图 5-20 全球供应链的技术创新外溢效应带来的资金节约额

如果没有上述效应，全球将无法实现可再生能源三倍目标。如果一国缺席全球供应链，全球只能实现约 2.6 倍的可再生能源目标。这一差距难以弥补，全球平均碳价（边际减排成本）需要提高大约 57-65 美元/吨二氧化碳。

（三）全球供应链与技术创新外溢会带来大量经济增长

对于能源系统，基于全球供应链的技术创新外溢效应带来的其他地区装机成本的降低，会提高其他地区的风电、光伏发电量，最高可以达到数百万吨标油/年。而如果通过增加碳价实现可再生能源 3 倍目标，几乎无法使其他地区的风光发电量相较基准情景增加。这说明碳价对于风光电力的调控效应不如基于全球供应链的风光发电技术创新的外溢效应。

基于全球供应链的技术创新外溢效应可以带来大量经济（GDP）增长。对于经济系统，风电、光伏成本的降低会使其它地区 GDP 有所增加，最高可达数百亿美元。在实现可再生能源三倍目标的假设下，全球供应链及技术创新外溢效应带来的全球可再生能源部署成本的降低，能够帮助中东地区提高 2% 的 GDP，帮助中东、俄罗斯等地增加 10% 发电量，帮助俄罗斯、南非等地提高 3% 的居民福利，帮助欧洲、澳洲等地降低 1% 的碳排放。如果通过提高碳价实现可再生能源三倍目标，除极少数地区（澳洲），全球将遭受更大的经济损失。此时，实现可再生能源 3 倍目标的成本可能过于沉重。总之，**如果没有基于风光产业全球供应链的技术创新外溢效应，全球会陷入低碳转型和经济发展的权衡困境。**

就全球区域公平性而言，如果一国缺席全球供应链，欠发达地区如巴西、南亚、非洲和中东地区会受到更多影响，不利于全球公平。假设通过碳价手段实现可再生能源三倍目标，上述不公平性的范围和程度都将大幅提高。

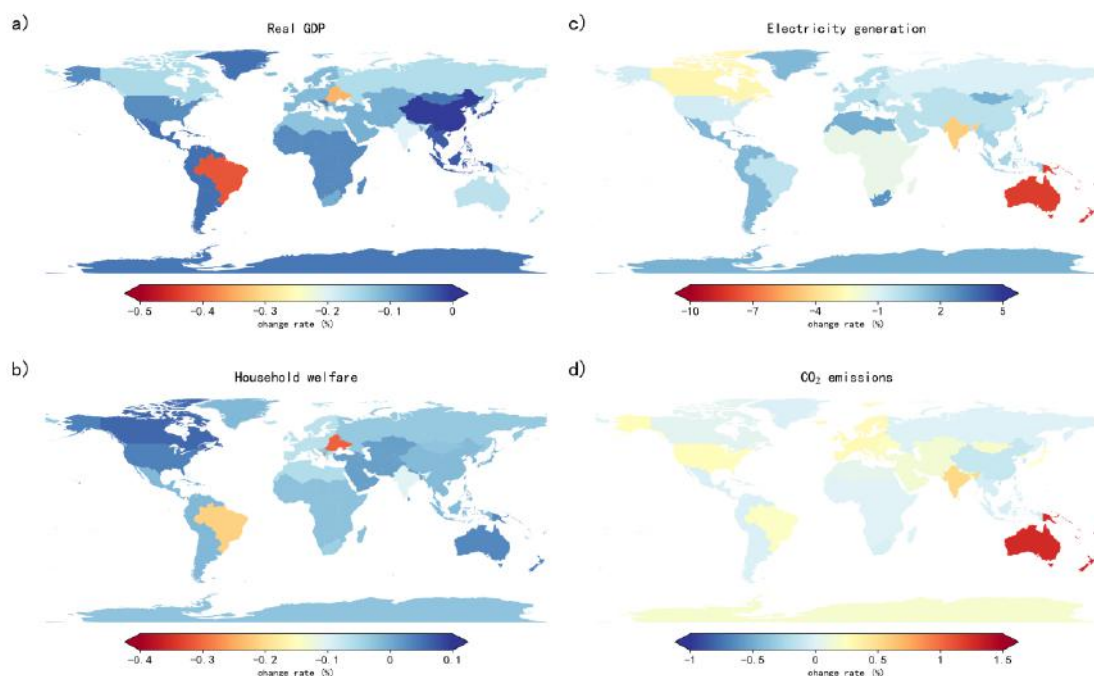


图 5-21 一国缺席新能源全球供应链对全球公平性的影响

对碳排放而言，基于全球新能源供应链的技术创新外溢效应，可以使全球各区域的电力、化石能源使用、服务业和制造业的碳排放显著降低，对农业的影响

较为模糊，交通运输业的碳排放反而增加。如果通过提高碳价实现可再生能源三倍目标，尽管各区域的电力部门碳排放会显著降低，最高超过 50%，但这一减排效果的成本则是其它经济部门产出的严重损失。

产生上述影响的渠道主要是地区的能源消费总量和能源消费结构。基于全球供应链的技术创新外溢效应，可以使全球各区域的煤炭、石油、天然气产出几乎全都减少，电力产出增加，并显著增加制造业、交通运输和其它服务业的经济产出。如果通过提高碳价实现可再生能源三倍目标，各区域的发电量和化石能源使用会减少（因此总能源减少），农业、制造业、运输业等重要部门也会受到经济产出的损失。

5.2.4.3 参考文献

- [1] Zhang S, Bauer N, Yin G 等. Technology learning and diffusion at the global and local scales: A modeling exercise in the REMIND model[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 151: 119765.
- [2] 池志培.美国对华科技遏制的策略选择：以半导体和光伏产业为例[J].美国问题研究,2023,(02):33-54+220.
- [3] Ember. Global Electricity Review 2024 [EB/OL]. (2024-05-08)[2024-06-07].
- [4] IEA, Clean energy is boosting economic growth [EB/OL]. (2024-04-18)[2024-06-07].
- [5] Tamara Birch. How much do solar panels cost in the UK in 2024? [EB/OL]. (2024-03-28)[2024-06-07].
- [6] Trevor Higgins. Clean Energy Will Lower Household Energy Costs [EB/OL]. (2021-10-21)[2024-06-07].
- [7] IRENA. Renewables Competitiveness Accelerates, Despite Cost Inflation [EB/OL]. (2023-8-29)[2024-06-07].
- [8] Chien, T. & Hu, J.-L. Renewable energy: An efficient mechanism to improve GDP. Energy Policy 36, 3045 – 3052 (2008).
- [9] Lin, B. & Moubarak, M. Renewable energy consumption – Economic growth nexus for China. Renewable and Sustainable Energy Reviews 40, 111 – 117 (2014).
- [10] Ohler, A. & Fetters, I. The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources. Energy Economics 43, 125 – 139 (2014).
- [11] Dai, H., Xie, X., Xie, Y., Liu, J. & Masui, T. Green growth: The economic impacts of large-scale renewable energy development in China. Applied Energy 162, 435 – 449 (2016).
- [12] Liu, J., Li, J. & Yao, X. The Economic Effects of the Development of the Renewable Energy Industry in China. Energies 12, 1808 (2019).
- [13] Zhao, Q., Su, C.-W., Qin, M. & Umar, M. Is global renewable energy development a curse or blessing for economic growth? Evidence from China. Energy 285, 129403 (2023).
- [14] Centre for Climate Change Economics and Policy. Was the Trade War Justified? Solar PV Innovation in Europe And the Impact of the ‘China Shock’ [EB/OL]. (2022-10-06)[2024-06-

- 07].
- [15] Jackson M M, Lewis J I, Zhang X. A green expansion: China's role in the global deployment and transfer of solar photovoltaic technology [J]. Energy for Sustainable Development, 2021, 60: 90–101.
- [16] IEA. Renewables 2023 [EB/OL]. (2024-01-01)[2024-06-07].
- [17] IRENA. Tripling renewable power and doubling energy efficiency by 2030: Crucial steps towards 1.5°C [EB/OL]. (2023-06-01)[2024-06-07].

5.3 技术前瞻专题：全球温室气体减排新兴技术发展态势分析

5.3.1 引言

随着全球气候变化问题日益严峻，温室气体排放受到了国际社会的广泛关注。为了实现《巴黎协定》的目标，各国正在积极寻求减少温室气体排放的有效途径。新兴技术突破和发展是解决部分行业如工业、交通行业难减排的重要手段。碳捕集、利用与封存（CCUS 技术）、生物质技术和氢能技术等新兴技术，相较于可再生能源发电技术、电动车技术，技术尚未完全成熟，但展现出巨大的潜力和优势。

不同技术的发展受制于不同国家的政策条件和资源禀赋。此外，各国能源结构、经济发展水平和技术成熟度不同，对技术的适应性和接受度不同。例如，拥有丰富生物质资源的国家可能在生物质技术领域具有更大的发展潜力；而拥有先进技术和雄厚资金实力的国家，则可能在 CCUS 技术的研发和应用方面取得领先。因此，新型技术在不同国家的应用潜力以及发展路径存在差异。

本研究的目标是提供一个全面的分析框架，对 CCUS 技术、生物质技术和氢能技术进行国别和动态分析，评价其不同国家的政策、实施现状与研究态势。旨在揭示这些技术在全球减排努力中的潜在作用和意义，为全球减排策略的制定提供科学依据。

5.3.2 技术动态分析

5.3.2.1 生物燃料技术

（一）全球生物燃料目标与战略规划

生物燃料主要应用地区/国家包括欧盟、印度尼西亚、美国、中国等，其中，欧盟是当前产量和进口双高的全球生物燃料消费大区域；印度尼西亚得益于当地的资源禀赋，是当前全球最积极的生物柴油引领者之一；美国生物柴油产业受政策驱动发展，是自产自销为主的全球生物燃料大市场；中国则积极发展动物油、废弃食用油，紧抓新赛道。表 5-2 描述了部分国家/地区生物燃料技术战略规划

布局。其中，战略部署方面主要包括先进生物燃料在交通领域占比、生物燃料掺杂比例等目标的设定；科技支撑手段主要包括税收补贴、成立基金、设置并调整生物燃料掺杂率、开展试点示范等命令或经济激励措施。

表 5-2 部分国家/地区生物燃料技术战略规划布局

国家/地区	战略部署	科技支撑
欧盟	《欧盟生物燃料战略》(2006)；《可再生能源指令》(2009、2018、2023)；部分成员国规划法令	启动生物基产业联合企业(BBI-JU)(2014)；启动循环生物基欧洲联合企业(CBE JU)(2021)；制定生物柴油调和燃料的 B20/B30 标准
印度尼西亚	《国家能源政策》(PR No. 79/2014)；交通、工业和发电部门的生物燃料混合目标(ESDM No. 12/2015)；长期低碳战略(LTS-LCCR 2050)(2021)	设立国家生物燃料发展小组(PD No.10/2006)；调整生物柴油强制掺杂率(MEMR No.25/2013 等)；成立生物柴油发展基金(2015)
美国	《能源政策法案》(2005)；《可持续航空燃料大挑战路线图》(2021)	对生产生物燃料出台税收补贴政策(2005-2023)；《通货膨胀削减法案》拨款 94 亿美元用于开发生物燃料(2022)
中国	《“十四五”可再生能源规划》(2022)	组织开展生物柴油推广应用试点示范(2023)

(二) 生物燃料实施现状

近年来，全球生物燃料消费稳步增长，掺杂比例不断提升。如图 5-22 所示，2012-2021 年，全球生物汽油、生物柴油产量分别以年均 2.5%、6.7%的速度增长，消费量分别以年均 3.0%、7.6%的速度增长。如图 5-23 所示，主要国家中，美国的生物燃料消费量全球最高，印度、印度尼西亚的生物燃料增长速度全球领先，年均增速均超 20%。



图 5-22 全球生物燃料产量与消费量

主要应用国中，欧盟在 2023 年颁布的《可再生能源指令III》更新了先进生物燃料混杂目标，将 2030 年附件 9 “A 部分”的生物燃料比例目标从 3.5%提升至 5.5%，部分成员国推广先进生物燃料的政策实际更为激进，例如，2023 年，意大利先进生物燃料添加比例为 3.4%，2030 年增加至 8%。印度尼西亚政府分别于 2014 年（PR No. 79/2014）、2015 年（ESDM No. 12/2015）制定了生物柴油掺杂比例于 2016 年、2020 年、2025 年分别达到 20%、30%、30%的目标，印度尼西亚已如期实现 2016 年、2020 年目标，并于 2023 年将生物柴油掺杂比例提升至 35%，提前实现了 2025 年目标。然而，IEA 报告指出当前生物燃料产量增速仍然无法助力 2050 年净零目标的实现。未来随着可再生能源需求不断增加，生物燃料市场规模需要持续扩大。IEA Renewables 2023 预测，如果要做到 2050 年净零排放目标，从现在到 2030 年，全球生物燃料产量需要年均增长 11%；到 2050 年生物燃料在航空、海运和公路领域消费占比需达到 33%、19%和 3%。

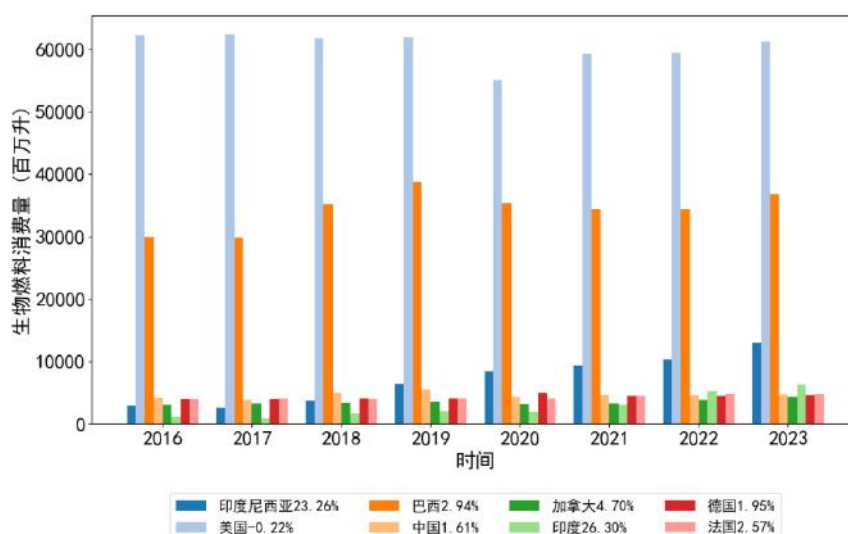


图 5-23 主要国家生物燃料消费量年度变化情况

（三）生物燃料技术研究态势分析

本报告基于 Web of Science 数据库核心集和智慧芽专利数据库，对全球 2014—2023 年生物燃料技术领域的生物天然气、生物燃料电池、生物燃料乙醇、生物柴油、可持续航空燃料、可再生柴油、纤维素乙醇、生物甲醇 8 个方向进行系统分析。如图 5-24 所示，从技术方向上看，生物天然气和生物柴油发文量及专利数最多，但无明显增长情况；可持续航空燃料、可再生柴油、生物甲醇等先进生物燃料技术呈现增长趋势，其中以可持续航空燃料的增长势头最猛。

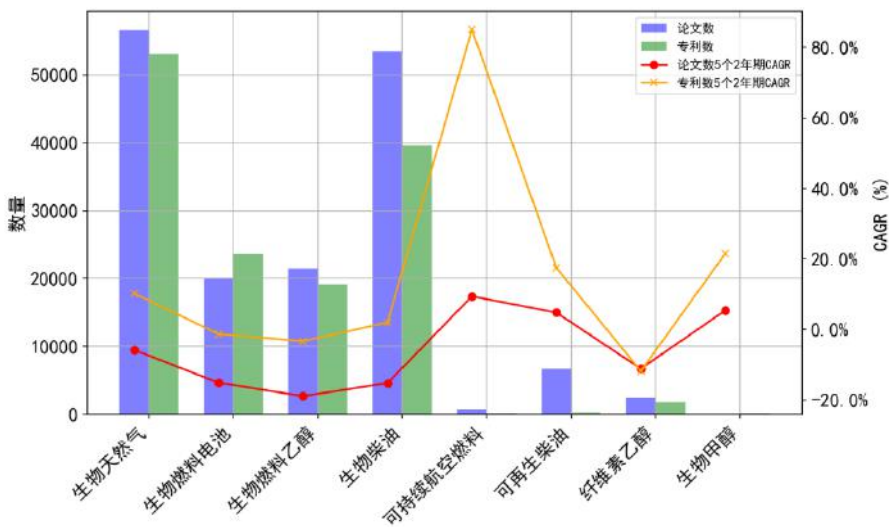


图 5-24 生物燃料各技术方向研究态势

从各国的研究态势上看，全球主要生物燃料应用国正积极推动可持续航空燃料、可再生柴油、纤维素乙醇、生物甲醇等先进生物燃料技术。其中，可持续航空燃料是关注度最高的生物燃料技术方向之一。国际民航组织建立了全球第一个行业减排机制“国际航空碳抵消和减排机制”，当前，已有超过 130 个国家自愿提交国家行动计划以实现 2050 年前国际航空业净零排放的目标，可持续航空燃料在其中发挥着重要的作用。基于此，美国、中国等多个国家正积极推动可持续航空燃料建设，出台了可持续航空燃料发展目标，逐步开展可持续航空燃料的研发与部署。

表 5-3 主要国家可持续航空燃料发展目标及行动案例

国家/地区	发展目标	行动案例
-------	------	------

欧盟	欧盟可再生航空燃料法规要求 2025 年起,所有在欧盟机场加注的航空煤油必须包含 2%的可持续航空燃料,2030 年提高至 6%,2050 年提高至 70%。	芬兰 Neste 公司致力于可持续生物燃料开发,生产能力约为 1.25 亿升/年。
美国	可持续航空燃料年产能要从 2030 年的 30 亿加仑(约合 900 万吨)增加到 2050 年 350 亿加仑(约合 1.05 亿吨)	Diamond Green Diesel 公司的 Port Arthur 项目预计 2024 年年底能生产约 1.5 万桶/日的可持续航空燃料。
中国	力争“十四五”期间可持续航空燃料消费量达到 5 万吨、2025 年当年达到 2 万吨。	2022 年,中石化镇海炼油厂生产了第一批可持续航空燃料产品。
日本	各石油公司自 2030 年起,在日本境内机场起飞或降落的国际航线供应的燃料中,可持续航空燃料不能少于 10%。	2022 年,宣布组建“Act for Sky”联盟,致力于将日本研发、生产的可持续航空燃料推广应用。

5.3.2.2 碳捕集、利用与封存技术

(一) 全球 CCUS 目标与战略规划

为了符合《巴黎协定》将全球变暖限制在 1.5 度内,根据国际能源署(IEA)提出的 2050 年净零排放(NZE)情景,到 2030 年每年需要捕获和储存约 10 亿吨二氧化碳。目前,已有 29 个国家将使用 CCUS 技术纳入《巴黎协定》下的国家自主贡献。

2023 年 1 月,日本经济产业省(METI)发布了 CCS 长期路线图,该路线图设定了到 2050 年每年储存 2.4 亿吨二氧化碳的目标。2023 年 3 月,欧盟委员会推出了《净零工业法案》将 CCUS 确定为八项战略性净零技术之一,提出到 2030 年实现每年 5000 万吨的封存能力。英国政府制定了 CCUS 投资者路线图,计划到 2030 年,英国每年封存 2000 万~3000 万吨的二氧化碳,投资达 200 亿英镑。根据美国宣布的《通货膨胀减少法案》与《基础设施投资与就业法案》,到 2030 年的捕获能力为每年 1.696 亿吨二氧化碳,封存容量为每年 2.232 亿吨二氧化碳。2023 年 11 月 15 日,中美共同发表《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》,明确提出“两国争取到 2030 年各自推进至少 5 个工业和能源等领域碳捕集利用和封存(CCUS)大规模合作项目”的目标。

支持政策上,美国拜登-哈里斯政府通过美国能源部(DOE)在 2023 年先后宣布为碳捕集重点项目提供 25.2 亿、12 亿美元的支持资金。英国政府于 2023 年 3 月在其春季预算中做出了新的 CCUS 资金承诺。并投资 200 亿英镑用于 CCUS

技术的早期开发。日本国会于 2023 年 5 月 12 日通过了《GX 促进法》。要求将 CCS 列为要推广的领域，政府计划在未来 10 年投资 4 万亿日元。

（二）CCUS 实施现状

2023 年，CCS 项目数量显著提升，运行中的项目数量由 30 个提升为 41 个，计划中的数量由 162 个大幅提升为 350 个。

但全球部署情况与目标仍有差距。从全球进展来看，NZE 情景提出到 2030 年每年需要捕获和储存约 10 亿吨二氧化碳。而根据 IEA 的《清洁能源进展跟踪报告》，2023 年，宣布的 2030 年可捕获的二氧化碳总量达到每年约 4.35 亿吨，储存能力达到每年约 6.15 亿吨二氧化碳。根据 GCCSI 的《Global Status of CCS 2023》报告，2023 年已公布的捕获能力约 3.6 亿吨二氧化碳，储存能力约 6.3 亿吨二氧化碳，同样无法实现 NZE 情景的要求。

从国别上看，英国目前已经计划的碳运输与封存容量项目已经达到 87.9 百万吨二氧化碳，且都预计早于 2030 年运行，能够实现 2030 年每年封存 20~30 百万吨二氧化碳目标。美国已公布的项目截止运行时间 2030 年，捕获能力与封存容量分别达到 1.194 亿吨二氧化碳与 1.767 亿吨二氧化碳，有望实现每年 1.696、2.232 亿吨二氧化碳的目标。日本经济产业省设定了到 2050 年每年储存 2.4 亿吨二氧化碳的目标。而目前已计划的项目仅规划了 0.13 亿二氧化碳储存量，距离目标仍有很大差距。

（三）CCUS 技术研究态势分析

碳捕集技术中的直接空气捕获(DAC)与生物质能结合碳捕获与封存(BECCS)受到广泛讨论。碳封存技术则呈现由强化采油技术（EOR）到专用地质封存的转变。以美国为例，正在开发或建设中的 CCS 设施总容量的 78% 已表示将使用专用地质封存，提高石油采收率带来的收入对于 CCS 投资的商业可行性来说普遍变得不那么重要。



图 5-25 碳封存主要技术方向

以论文数来看，CCUS 主要技术的论文数都呈现增长态势，2022-2023 年的论

文占比大。BECCS、玄武岩地层二氧化碳封存增长率高。强化采油技术（EOR）作为主流技术仍有增长，但增长率不如玄武岩地层封存技术。

表 5-4 CCUS 主要技术方向论文数量

技术方向	论文数/篇						2021-2023 年占比/%	5 个 2 年期 CAGR/%
	2014-2023	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2021	2022-2023		
直接空气捕获	25689	4020	4323	4930	5519	6897	38.10%	14.40%
生物质能结合碳捕获与封存	741	47	74	136	245	239	50.90%	50.20%
强化采油技术	28333	3413	4320	5703	6964	7933	40.50%	23.50%
专用地质封存	224	22	32	20	38	112	59.80%	50.20%
咸水层二氧化碳地质封存	1629	330	369	272	265	393	32.80%	4.50%
玄武岩地层二氧化碳封存	134	15	14	22	39	44	48.50%	30.90%

以专利开发来看，DAC 技术专利数量大，在 2018-2019 年达峰，近年有所下降。BECCS 仍处于起步阶段，5 个 2 年期平均复合增长率达 52.3%。强化采油技术在 2022 年以前是主流的碳封存技术，但由于封存潜力有限，呈现下降趋势。咸水层封存、玄武岩封存专利数尚未呈现增长态势，是待开发的地质封存技术。

表 5-5 CCUS 主要技术方向专利数量

技术方向	专利数/个						2021-2023 年占比/%	5 个 2 年期 CAGR/%
	2014-2023	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2021	2022-2023		
直接空气捕获	970703	190380	207265	219915	211416	141727	25.30%	-7.10%
生物质能结合碳捕获与封存	454	40	46	58	95	215	60.80%	52.30%
强化采油技术	301598	73148	70262	62821	59793	35574	21.50%	-16.50%
专用地质封存	19968	2269	2413	6424	5878	2984	26.00%	7.10%
咸水层二氧化碳地质封存	2054	486	328	413	383	444	31.90%	-2.20%
玄武岩地层二氧化碳封存	4579	1024	946	887	982	740	26.80%	-7.80%

5.3.2.3 氢能

（一）全球氢能目标与战略规划

氢能是零碳能源体系的重要组成部分。根据国际能源署（IEA）提出的 2050 年净零排放（NZE）情景，全球低碳氢产能有望在 2030 年达到 7000 万吨左右。其中，绿氢产能约为 5000-5500 万吨。

2023 年，全球氢能发展目标大幅更新，国家级氢能战略密集出台，发展中国家在其中扮演了重要角色。过去一年，有 15 个国家提出或更新了绿氢产能目标，发展中国家占比超过 70%。截至 2023 年底，已有 34 个国家提出过相关的量化目标。如图 5-26 所示，各国所提目标仍以中短期目标为主。在所有量化目标中，短期目标（2025 年前后）约占 10%，中短期目标（2030 年前后）占 70%以上，长期目标（2040 年后）仅占不到 20%。各国已颁布的 2030 年电解槽装机累计目标达 160GW 左右，大约可实现 2670 万吨绿氢产能，仅为 IEA NZE 情景要求的绿氢产能的一半。

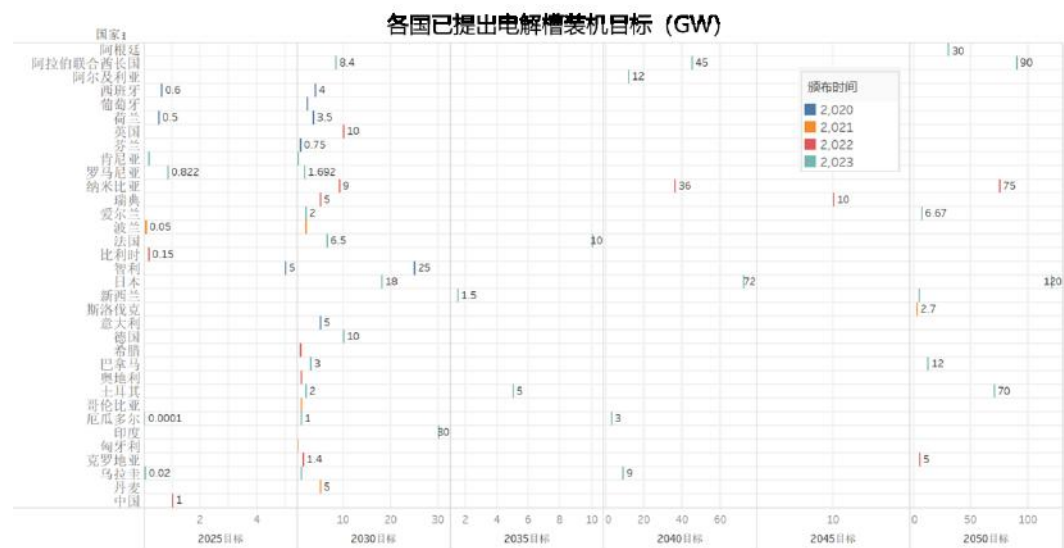


图 5-26 各国已提出的电解槽装机目标

2023 年，22 个国家提出或更新了国家级氢能发展战略，发展中国家占比超过 70%。截至目前，提出过相关战略的国家已接近 70 个。表 5-6 展示了典型国家的氢能技术发展战略。整体上，日、韩、美等国的氢能政策支持力度较高，侧重于生产补贴、技术研发、基础设施建设等方面。

表 5-6 典型国家氢能技术发展战略

国家	战略	目标	措施
----	----	----	----

美国	美国国家清洁氢能战略路线图；通胀削减法案	到 2030,2040 和 2050 年，美国将每年生产 1000,2000 和 5000 万 t 清洁氢	1.制定高达 95 亿美元的清洁氢投资方案。2. 在十年内对低碳氧提供最多 3 美元/kg 的税收抵免
印度	国家绿色氢使命	到 2030 年将生产至少 500-1000 万吨绿氢，创造 60 万个就业岗位	初始支出为 1974.4 亿卢比（167 亿人民币），涵盖需求创造、生产、研发、基础设施、监管框架、国际伙伴关系等领域
中国	《氢能产业发展规划（2021-2035 年）》	到 2025 年拥有燃料电池汽车 5 万辆左右，利用可再生能源生产的氢气量达到 10 万 t/a 至 20 万 t/a	充分发挥统筹协调机制作用，加快构建“1+N”政策体系，积极推动试点示范，强化财政金融支持
德国	国家氢战略 v1&v2	2030 年建立 10GW 的绿氢产能；到 2027/2028 年，拥有超过 1800km 氢气管网	1.运输相关的项目将获得约 80 亿欧元的资金，其中 34 亿欧元将用于支持基础设施建设。2.将 7 亿欧元用于促进建筑部门中燃料电池供暖系统的使用。3.提供 20 亿欧元的资金加强氢能方面的国际合作

（二）氢能实施现状

2023 年全球绿氢产能迅速增长，未来 3-5 年风电制氢（尤其是海上风电制氢）或将迎来加速扩张。过去一年，全球低碳氢项目数量增长了 36%（达到 1974 个），超过 90%是绿氢项目。2023 年绿氢产能迅速增长。如图 5-27a 所示，全球范围内，以光伏制氢为代表的绿氢产能是 2022 年的 4 倍，总量在 20 万吨左右。其中，光伏制氢处于主导地位，占比达 70%。未来 3 年，光伏制氢增长存在放缓趋势，风电（尤其是海风）制氢将迎来加速扩张。当前，光伏制氢预部署产能的完成比超过 30%。相比之下，风电制氢的完成比却在 2%左右，海风制氢的完成比甚至低于 0.5%。

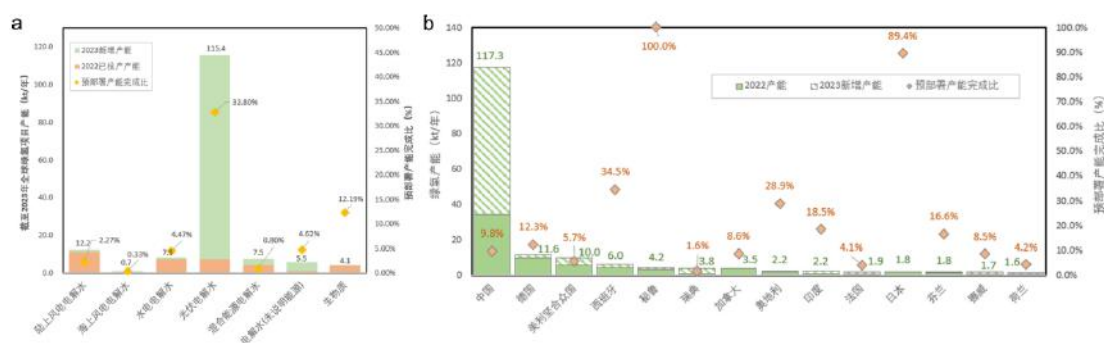


图 5-27 a.全球各类绿氢项目产能与完成情况（仅含声明能源种类的项目） b.各国累计绿氢项目产能与完成情况

在全球绿氢产能前 14 的国家中，中国拥有最高的绿氢部署增速。2020 年和 2022 年，中国分别拥有全球绿氢总产能的 10%和 30%。但截至 2023 年底，如图 5-27b 所示，中国绿氢产能已经超过全球总产能的一半，达到 117kt 左右。未来 3 年，中国拥有全球最高的绿氢增长潜力。目前，中国绿氢的预部署产能完成比仅为 9.8%。这意味着未来 3-5 年绿氢产能增幅可能达到 10 倍以上。美国、德国等国家预部署产能完成比也相对较低，未来 3 年绿氢产能的增幅可能分别达到 10 倍和 20 倍以上。相比之下，日本、西班牙、秘鲁等国的绿氢增长潜力不足，其现存的预部署产能相当有限。

2023 年，绿氢的应用场景逐步多元。相比 2022 年，低碳氢在交通和工业领域的应用规模进一步扩张。德国、西班牙等欧洲国家绿氢应用的多元性更高。如图 5-28 所示，德国已投产和获得 FID 的绿氢项目数达 78 个，位于全球第一。相关项目往往规模较小，应用较为多元，几乎涉及到氢能应用的所有领域。

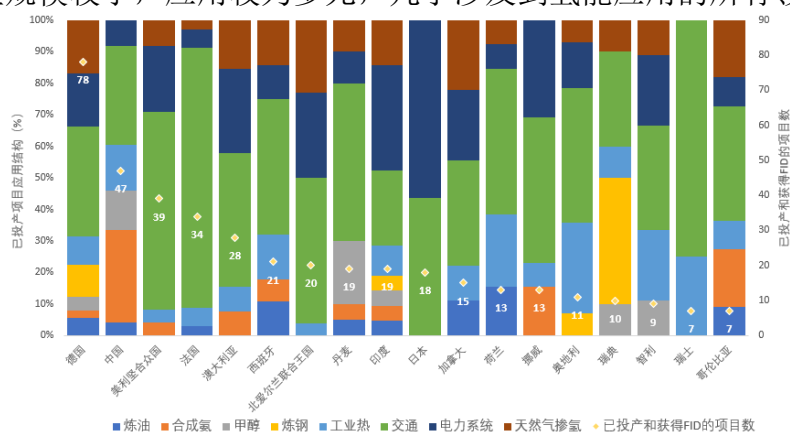


图 5-28 已投产和获得 FID 的绿氢项目的应用结构

对比 IEA NZE 情景测算的 2030 年 5000-5500 万吨的绿氢产能目标，当前的绿氢产能也仅完成了该目标的不足 1%。倘若当前已公布的项目全部实现落地，预计 2030 年全球绿氢的实际产能将达到 2700 万吨/年，将满足 NZE 目标对应需求的 40-50%。尽管如此，由于仅有不足 15% 的项目获得了最终投资决定，上述潜在产能仍然具有高度不确定性。全球各国需要加速相关项目部署，提升项目的实际落地率。

（三）氢能技术研究态势分析

关注氢能生产、储存、运输领域的研究占比约为 3: 1.1: 1。图 5-29a 梳理了氢能生产和储运领域的研究数。氢能生产领域的研究主要集中在生物质制氢和 SOEC 电解槽技术方面，氢能储运领域的研究主要集中在固态材料储氢、有机液体储氢等方面。相关技术均成熟度较低、经济性不足。

氢能生产技术方面，自 2013 年起，生物质制氢和 SOEC 电解槽技术就一直是

热点。图 5-29b 梳理了各研究方向 5 个两年期的 CAGR (%)。但由于技术突破相对困难，过去十年内相关研究的增长率较为有限。2021 年至今，SOEC 电解槽相关研究迅速增长，年增幅达到 30-40%。自 2019 年起，随着阴离子交换膜技术的突破，AEM 电解槽成为了新兴的研究热点，相关研究的平均复合增长率达到 80%/2 年。

氢能储运技术方面，高压气态储氢技术相对成熟，相关研究数量、增长率均较低。过去 10 年，液氢储运技术始终保持着较高的研究数量和研究增速，近年来相关技术逐步步入工业示范。此外，尽管固氢储运技术一致是相关研究热点，但近年取得的技术突破较为有限，相关研究的增速一直较低，甚至低于气态氢气储运技术。

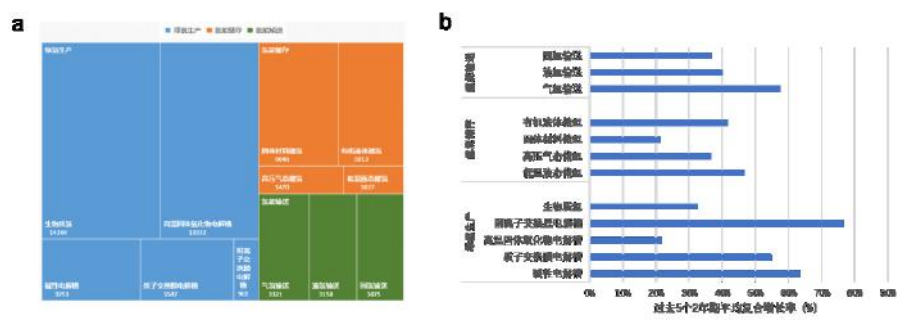


图 5-29 a.氢能生产和储运领域的研究数 b. 各研究方向 5 个两年期的 CAGR (%)

5.3.3 小结

全球气候变化问题日益严峻，各国正积极寻求减少温室气体排放的有效途径。新兴技术如碳捕集、利用与封存（CCUS）、生物燃料技术和氢能技术，展现出巨大的潜力和优势。这些技术的发展受制于不同国家的政策条件和资源禀赋，不同技术在不同国家的应用潜力以及发展路径存在差异。本报告提供了一个全面的分析框架，评估了这些技术在不同国家的发展现状和未来趋势。

全球范围内生物燃料技术稳步增长，欧盟、印度尼西亚、美国和中国等地区和国家通过政策支持和战略规划，设定了明确的生物燃料掺杂比例和消费目标，尽管如此，生物燃料消费的增长速度仍未达到 2050 年净零排放目标的要求。同时，CCUS 技术作为实现《巴黎协定》目标的关键手段，虽然多个国家已设定了碳捕集和储存目标，但全球部署情况与目标之间存在差距，技术研究显示直接空气捕获（DAC）和生物质能结合碳捕获与封存（BECCS）受到关注，而碳封存技术正逐步从强化采油技术转向专用地质封存。此外，氢能作为零碳能源体系的重要组成部分，全球多个国家更新了氢能发展目标，2023 年全球绿氢产能迅速增长，特别是风电制氢领域预计将加速扩张，研究集中在生物质制氢、SOEC 电解槽技术、固态材料储氢、有机液体储氢等方面，但要实现《巴黎协定》的减排目标，仍需

加大技术创新力度和政策支持。

尽管全球在生物燃料、CCUS 和氢能技术方面取得了一定的进展，但要实现《巴黎协定》的减排目标，仍需加大技术创新力度和政策支持，以促进这些技术的快速发展和广泛应用。

第六章 指标体系与度量方法

6.1 指标体系系统评估框架

为破除碳中和进展盘点的“惟目标论”，需要将各国碳中和目标与行动置于系统、一致和客观的评价指标体系中进行实时追踪盘点。为此，本报告在引入发展中国家公平视角评估各国碳中和目标的力度的基础上，系统评估支撑碳中和目标实现的技术、资金和国际合作支撑体系的进展，形成包含全球碳中和目标、技术、资金和国际合作四大专题的指标体系。为全面、系统、一致、客观地对各指标加以定量评价，本项目确定如下系统性评估框架开展碳中和进展评估，包括指标体系建立、度量方案确定、多源数据筛选、数据质量控制以及行动力指数的评价，如图 6-1 所示。

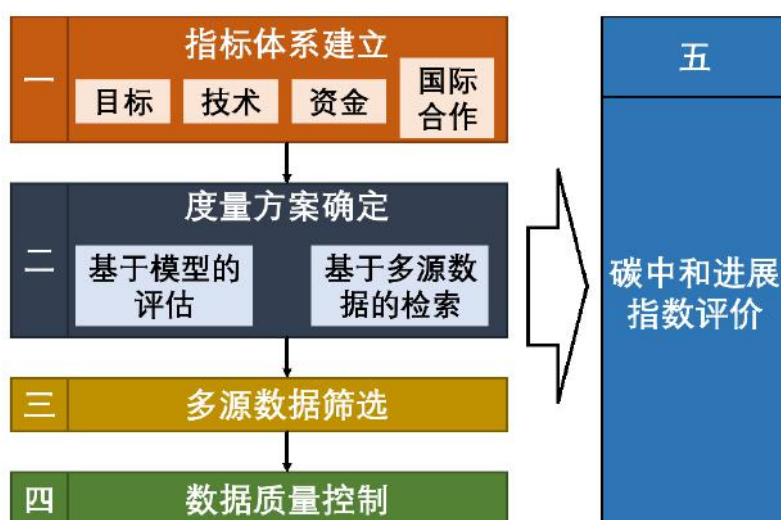


图 6-1 指标体系系统评估流程图

首先，建立指标体系环节通过结合碳中和各专题进展的关键组成，形成多层次金字塔式的指标体系，尽可能保证各指标间的独立性和指标体系的完整性，以综合反映各国碳中和进展状况。其次，确定度量方案环节用来明确测量各类指标的技术方法和各类数据源。指标需要确定数据度量方案才能用来进行进展评价，在此阶段，研究人员广泛检索各类数据源，根据数据源的完整性和可得性明确指标的度量方案；部分指标需要基于模型进行量化评估，研究人员明确模型量化评估的技术路线和应用过程。在这一过程中，各组次级指标可被具体表征为文本、0-1 变量、整数和浮点数等，最大程度满足指标需求和数据源可用性。再次，多源数据筛选过程用于确定各指标最佳度量方案，研究人员针对各指标，根据不同

数据源质量进行筛选，部分指标可能会融合各类数据源形成新的次一级指标，以实现各指标最佳和全面度量手段。最后，数据质量控制过程用于最大程度保证指标体系数据质量的可靠性和严谨性，基于数据收集专题工作组各人员、数据库工作组人员和外部人员进行多级审查，以提升数据质量并避免错误遗漏，并跨专题进行数据比对校准，防止专题间数据潜在冲突，保证数据库的准确度和内部一致性。

完成碳中和进展数据整理汇总后，我们基于多准则决策分析方法开展碳中和进展综合指数评价，详见报告正文。

6.2 指标体系

碳中和目标进展具体区分了目标性质、范围、具体路线、监管体系以及公平性与一致性五类一级指标；碳中和技术进展在识别排放源和技术体系基础上，本报告确定了可再生能源技术、电动汽车技术、节能技术、可再生氢能技术、生物燃料技术、CCUS 技术和碳汇技术等七项技术及各自在目标雄心、部署进展、政策支持、创新能力四个维度上的进展，形成一级和二级指标体系；碳中和资金进展则以政策和行动作为一级指标，用于识别了各国在气候投融资政策与行动的多类绩效表现；碳中和国际合作进展以阻碍国际合作和促进国际合作两方面行动作为一级指标，用于识别各国在碳中和国际合作的进展情况。在此基础上，各组次级指标体系同样根据进展评估需求被建立，服务于一级指标不同层次的需求。

表 6-1 碳中和目标专题指标体系

专题	一级指标	二级指标
目标	1.1 碳中和/净零排放目标	1.1.1 碳中和目标类型
		1.1.2 碳中和目标年份
		1.2.1 碳中和目标的行业覆盖度
		1.2.2 碳中和目标的温室气体覆盖度
		1.2.3 碳中和目标的消费侧排放覆盖度
	1.2 碳中和目标的覆盖范围	1.2.4 碳中和目标的领土排放覆盖度
		1.2.5 碳中和目标的有效性和可靠性
		1.3.1 碳中和目标的法律完备性
	1.3 碳中和目标的监管体系	1.3.2 碳中和目标的监管机制
		1.4.1 碳中和的阶段性目标
	1.4 碳中和目标的具体路线图	1.4.2 国家级碳中和路线图

		1.4.3 区域级别碳中和目标
		1.4.4 行业层面碳中和目标
	1.5 碳中和目标的公平性与一致性	1.5.1 碳中和目标的公平性
		1.5.2 碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性
		2.1.1 目标雄心
	2.1 可再生能源发电技术	2.1.2 部署进展
		2.1.3 政策支持
		2.1.4 创新能力
		2.2.1 目标雄心
	2.2 电动汽车技术	2.2.2 部署进展
		2.2.3 政策支持
		2.2.4 创新能力
		2.3.1 目标雄心
	2.3 节能技术	2.3.2 部署进展
		2.3.3 政策支持
		2.3.4 创新能力
		2.4.1 目标雄心
技术	2.4 可再生氢能技术	2.4.2 部署进展
		2.4.3 政策支持
		2.4.4 创新能力
		2.5.1 目标雄心
	2.5 生物燃料技术	2.5.2 部署进展
		2.5.3 政策支持
		2.5.4 创新能力
		2.6.1 目标雄心
	2.6 CCUS 技术	2.6.2 部署进展
		2.6.3 政策支持
		2.6.4 创新能力
		2.7.1 目标雄心
	2.7 碳汇技术	2.7.2 部署进展
		2.7.3 政策支持
		2.7.4 创新能力

资金	3.1 政策进展	3.1.1 各国在其国际气候承诺中提及气候投融资的情况
		3.1.2 各国可持续金融政策进展
		3.1.3 各国气候行动相关财政预算
		3.1.4 各国气候相关金融风险监管进展
		3.1.5 各国碳定价机制进展
国际合 作	3.2 行动进展	3.2.1 国际气候资金落实情况与发达国家出资目标
		3.2.2 各国绿色债券发行规模
		3.2.3 各国在 GEF 和 GCF 的气候融资贡献
		4.1 对外援助
		4.2 技术转移合作壁 垒
		4.1.1 对外技术转让项目情况
		4.2.1 国际技术转移阻碍

6.3 指标度量方案

6.3.1 各项指标度量方案

本报告绝大多数指标基于网上资料进行收集整理，见表 6-2 所示，具体汇总了不同指标的详细数据来源、处理过程和数据特征。其中，部分指标基于 Google 等搜索引擎分别检索各国信息源，为此尽可能注明了检索方式。

6.3.2 碳中和目标一致性的计算

第一章的“碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性”指标基于全球碳排放权分配模型计算而来。从碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性、碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性这两方面，使用分类变量“是-否-无目标”进行衡量。使用的数据集来源如下：（1）二氧化碳排放。二氧化碳历史和未来基准情景 BaU 排放都是来自于 MATCH 数据库。（2）人口。人口的历史和未来预测数据都是来自于联合国发布的《世界人口展望 2017》，采用标准预测中人口总量的中位值。（3）GDP。GDP 历史数据来自于世界银行。预测数据来自于 Ifs 数据库中的 ForecastGDPP2011OECDSSP2 版本预测，这一版本采用 OECD 模型在 SSP2 情景下进行预测。涉及 GDP 的全部数据均采用购买力平价（Purchasing Power Parity，简称 PPP）转换系数版本。（4）实现巴黎温升控制目标的全球排放路径。研究采用 Robiou du Pont 等人（2017）发布的 2°C 和 1.5°C 两种温升情景下全球成本最优的排放路径，这两套路径也是基于 IPCC AR5 数据库经筛选构建的。（5）国土面积。采用世界银行数据库中各国国土面积 2018 年数据。

全球碳排放权分配模型构建方法简述如下：根据气候谈判及国家环境法，分配模型考虑了 4 类公平原则：历史责任与减排能力原则、人均主义原则、国家主义原则及多原则混合。分配模型充分考虑这四类公平原则，并考虑关键参数的不同选择，最终生成由多套全球碳排放公平分配方案组成的全球碳排放分配模型。

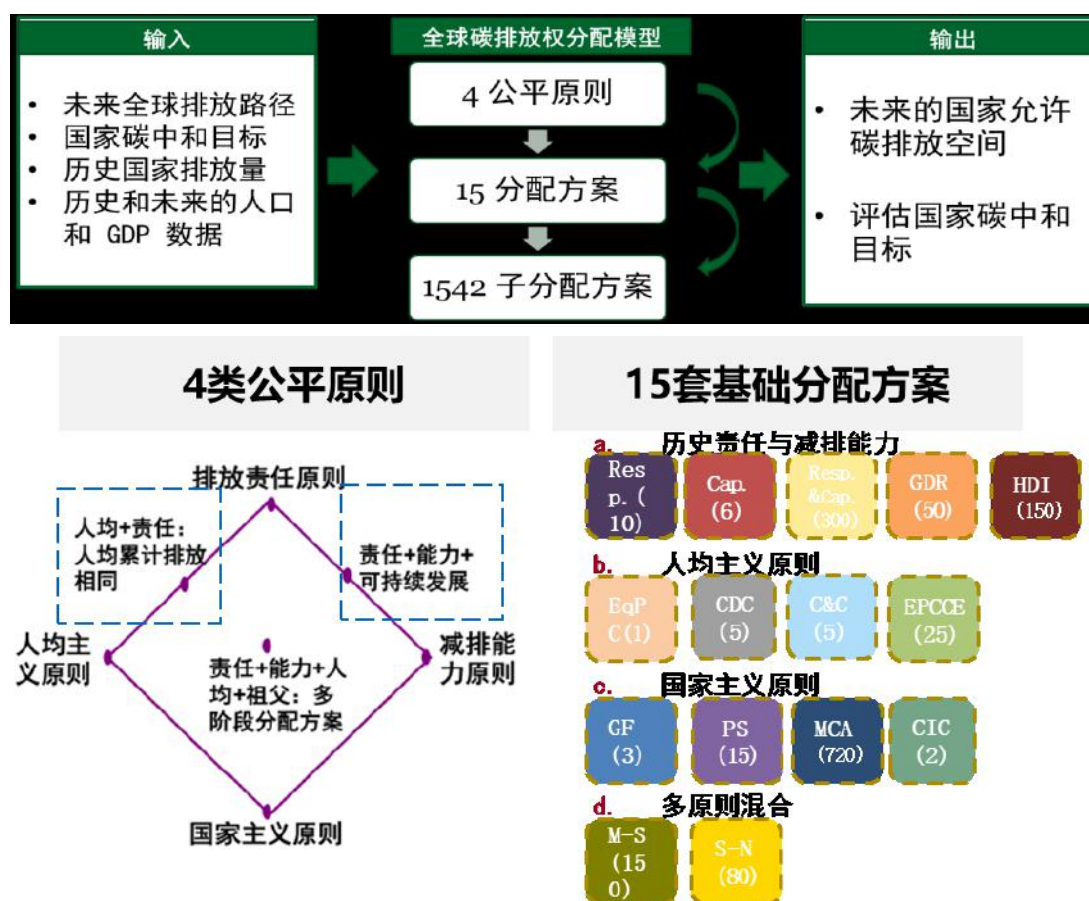


图 6-2 全球碳排放权分配模型的搭建方法

6.4 数据来源

表 6-2 和表 6-3 汇总了各指标的详细数据来源，部分数据通过 Google 和 Bing 搜索引擎检索公开信息整理得到。

表 6-2 各指标数据来源度量方法汇总

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
1.1.1 碳中和目标类型	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，文本描述
1.1.2 碳中和目标年份	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，整数
1.2.1 碳中和目标的行业覆盖度	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
1.2.2 碳中和目标的温室气体覆盖度	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
1.2.3 碳中和目标的消费侧排放覆盖度	/	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间：2022-08-28]	在 Net Zero Tracker 首页下载获取，基于数据来源整理	截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
1.2.4 碳中和目标的领土排放覆盖度	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
1.2.5 碳中和目标的有效性和可靠性	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
1.3.1 碳中和目标的法律完备性	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量。
1.3.2 碳中和目标的监管机制	/			截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量。

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
1.4.1 碳中和的阶段性目标	是否有中短期目标	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间：2022-08-28]	基于数据源整理	截至 2022 年，全球 198 个国家，分类变量
	中短期目标年份	国家 NDC 目标及历史人均碳排放数据， https://www.climate-resource.com/tools/ndcs/countries [获取时间：2023-02-28]		截至 2022 年，133 个提出目标国家，整数
	中短期目标类型			截至 2022 年，133 个提出目标国家，文本
1.4.2 国家级碳中和路线图	是否有详细计划	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间：2022-08-28]	基于数据源整理	截至 2022 年，全球 133 个提出碳中和目标的国家，分类变量。
1.4.3 区域级别碳中和目标	有政策区域占全国人口百分比	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间：2022-08-28]；人口、GDP 及 GHG 数据源详见表 5-3	基于数据源整理、计算	截至 2022 年，全球 25 个最大的排放体所有二级行政区划（地区级）和全球所有人口超过 50 万人的三级行政区（城市级），数值变量（百分比）及分类变量。
	有政策区域占全国 GDP 百分比			
1.4.4 行业层面碳中和目标	可再生能源目标；NDC 目标；建筑业目标；交通目标；能源效率目标；林业目标；工业目标；交通目标	Climate Action Tracker, https://climateactiontracker.org/ , [获取时间：2023-03-07]	基于数据源整理	截至 2022 年，全球 G20 国家，文本描述

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
1.5.1 碳中和目标的公平性	/	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间: 2022-08-28]	基于数据源整理	截至 2022 年, 全球 198 个国家, 分类变量。
1.5.2 碳中和目标与 2°C/1.5°C 目标的一致性	/	Net Zero Tracker, https://zerotracker.net/ , [获取时间: 2022-08-28]	基于数据源整理, 并基于模型进行计算, 见 5.3.1 节	截至 2022 年, 全球 198 个国家, 分类变量。
2.1.1 可再生能源技术目标雄心	可再生能源装机容量和发电量	REN21 现状报告及公开信息整理 https://www.ren21.net/reports/global-status-report/	根据信息源整理	截止 2020 年, 数值
2.1.2 可再生能源技术部署进展	可再生能源发电装机容量	IRENA 可再生能源统计数据 https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022	根据信息源整理	数值数据
	可再生能源发电占比	REN21 现状报告 https://www.ren21.net/reports/global-status-report/	根据信息源整理	数值数据
2.1.3 可再生能源技术支持政策	可再生能源发电技术支持政策	REN21 现状报告 https://www.ren21.net/reports/global-status-report/	根据信息源整理	分类数据
2.1.4 可再生能源技术创新能力	专利数目-光伏、风电、水电、生物质发电、地	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词,	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量, 分国别

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
	热能、潮汐能		统计相应技术发明人所在国家的数量	
2.2.1 电动汽车技术目标雄心	电动汽车销量和保有量目标	Global EV Policy Explorer, https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-policy-explorer , [获取时间: 2022-8-15]	基于数据源整理, 依据文本描述提取目标年份、车辆类型、目标数值	截止 2022 年底, 53 个有目标国家, 文本
	充电桩数量目标			截止 2022 年底, 23 个有目标国家, 文本
2.2.2 电动汽车技术部署进展	电动汽车销量和保有量	Global EV Data Explorer, https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer , [获取时间: 2022-9-20]	基于数据源整理	截止 2022 年底, 31 个国家和地区有进展数据, 数值
2.2.3 电动汽车技术政策支持		IEA Policies database, https://www.iea.org/policies	基于数据源检索道路交通政策	截止 2022 年底, 文本
2.2.4 电动汽车技术创新能力	专利数目-电动汽车	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词, 统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量, 分国别
	总体能效提升目标	欧盟国家能源与气候计划 (National energy and climate plans),	根据数据源材料整理; 于 Google 检索“国家	截至 2022 年底, 文本

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
2.3.1 节能技术目标 雄心		https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en , https://www.climate-laws.org/ ,	名”+“能效提升/节能目标”进行网上公开资料收集整理	
	各细分领域能效目标	/	Google 中英文检索“国家名”+“能效提升/能效目标”+“领域”(如工业)	截至 2022 年底, 文本进行网上公开资料收集整理
2.3.2 节能技术部署进展	低排放汽车销售份额	https://www.indicators.odysseemure.eu/market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html#market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html	根据数据源整理	2020 年数据, 数值
	低排放货车销售份额	https://www.indicators.odysseemure.eu/market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html#market-diffusion/vans-low-emission-CO2-in-sales.html	根据数据源整理	2020 年数据, 数值
	热泵市场份额	https://www.indicators.odysseemure.eu/market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html	根据数据源整理	2019 年数据, 数值

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
		mure.eu/market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html#market-diffusion/share-of-buildings-with-heat-pump-stock.html		
	人均太阳能热水器安装面积	https://www.indicators.odyssee-mure.eu/market-diffusion/cars-low-emission-CO2-in-sales.html#market-diffusion/installed-solar-water-heaters.html	根据数据源整理	2020 年数据，数值，单位 m ² /hab
2.3.3 节能技术支持政策	等级、标准、法规、计划、财政支持（投资、资金、税收、补贴）	IEA 政策数据库， https://www.iea.org/policies	根据数据源整理	截至 2022 年底，文本
2.3.4 节能技术创新能力	专利数目-节能技术	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词，统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量，分国别
2.4.1 可再生氢技术目标雄心	可持续氢产能目标	IEA2021 年氢能报告 https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021	基于数据源整理，缺失数据基于网上公开资料收集整理	文本+数字
	氢能生产		基于数据源整理	截至 2021 年，数字
	氢能应用行业		基于数据源整理	截至 2021 年，文本描述
	氢能项目数	IEA Hydrogen Projects Database 2021	基于数据源整理	截至 2021 年，数字

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
2.4.2 可再生氢技术部署进展	氢能标准化产量	IEA Hydrogen Projects Database 2021	基于数据源整理	截至 2021 年，数字
2.4.3 可再生氢技术支持政策		IEA2021 年 氢 能 报 告 , https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021 CMS https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen	基于数据源整理，缺失数据基于网上公开资料收集整理	文本+文本
2.4.4 可再生氢技术创新能力	专利数目-可再生氢技术	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词，统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量，分国别
2.5.1 生物燃料技术目标雄心	生物燃料混杂目标	USDA 系列报告（分别为：USDA-EU Biofuels Annual 、 USDA-Indonesia Biofuels Annual 、 USDA-Brazil Biofuels Annual 、 USDA-Thailand Biofuels Annual、USDA-China Biofuels Annual 、 USDA-Argentina Biofuels Annual 、 USDA-Colombia Biofuels Annual 、 USDA-Canada Biofuels Annual、USDA-India Biofuels Annual、USDA-Philippines Biofuels Annual 、 USDA-Peru Biofuels Annual、USDA-Australia Biofuels Annual 、 USDA-	基于数据源整理	截至 2021 年，文本

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
2.5.2 生物燃料技术部署进展	燃料乙醇生产量、消费量、进出口数量	Japan Biofuels Annual 、 USDA-Malaysia Biofuels Annual) https://www.usda.gov/	基于数据源整理	2013-2021 年，以图和文本形式在报告中呈现
	生物柴油生产量、消费量、进出口数量	USDA 系列报告（分别为：USDA-EU Biofuels Annual 、 USDA-Indonesia Biofuels Annual 、 USDA-Brazil Biofuels Annual 、 USDA-Thailand Biofuels Annual、USDA-China Biofuels Annual 、 USDA-Argentina Biofuels Annual 、 USDA-Colombia Biofuels Annual 、 USDA-Canada Biofuels Annual、USDA-India Biofuels Annual、USDA-Philippines Biofuels Annual 、 USDA-Peru Biofuels Annual、USDA-Australia Biofuels Annual 、 USDA-Japan Biofuels Annual 、 USDA-Malaysia Biofuels Annual) https://www.usda.gov/ 以及 EIA 网站 (https://www.eia.gov/)		
2.5.3 生物燃料技术支持	强制掺混要求	REN21 Renewables 2022 Global Status Report https://www.ren21.net/gsr-2022/	基于数据源整理	截至 2021 年，以图、表、文本形式在报告中呈现

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
	税收减免，税收保护，生产补贴，环境可持续性认证	USDA 系列报告（分别为：USDA-EU Biofuels Annual、USDA-Indonesia Biofuels Annual、USDA-Brazil Biofuels Annual、USDA-Thailand Biofuels Annual、USDA-China Biofuels Annual、USDA-Argentina Biofuels Annual、USDA-Colombia Biofuels Annual、USDA-Canada Biofuels Annual、USDA-India Biofuels Annual、USDA-Philippines Biofuels Annual、USDA-Peru Biofuels Annual、USDA-Australia Biofuels Annual、USDA-Japan Biofuels Annual、USDA-Malaysia Biofuels Annual） https://www.usda.gov/ 以及 EIA 网站 (https://www.eia.gov/)	基于数据源整理	截至 2021 年，以表、文本形式在报告中呈现
2.5.4 生物燃料技术创新能力	专利数目-生物燃料	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词，统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量，分国别
2.6.1 CCUS 技术目标雄心	战略目标	Global CCS Institute. Global Status of CCS 2022[R/OL]. (2022)[2022-11-10].	基于数据源整理，缺失数据基于网上公开资料收集整理	截至 2022 年底，文本

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
		https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-of-ccs-2022/ .		
2.6.2 CCUS 技术部署进展	运行中的项目数量 计划中的项目数量 各国 CCUS 项目所覆盖行业	Global CCS Institute. CCS Facilities Database[EB/OL]. [2022-09-19]. https://www.globalccsinstitute.com/co2re/ .	基于数据源整理	截至 2022 年 9 月，整数 截至 2022 年 9 月，以图表和案例分析形式在报告中呈现
2.6.3 CCUS 技术支持政策	支持政策	Global CCS Institute. Global Status of CCS 2022[R/OL]. (2022)[2022-11-10]. https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-of-ccs-2022/ .	基于数据源整理，缺失数据基于网上公开资料收集整理	截至 2022 年底，以图表、文本形式在报告中呈现
2.6.4 CCUS 技术创新能力	专利数目-CCS 技术	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词，统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量，分国别
2.7.1 碳汇技术目标雄心	种植目标 造林面积目标 森林恢复和保护指标	The Global Forest Goals 2021	梳理报告文本信息	2020 年，文本数据
2.7.2 碳汇技术部署进展	森林碳汇量	FAO	根据 FAP 披露的森林面积和单位面积蓄积量数据计算	2020 年数据，数值

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
2.7.3 碳汇技术支持政策	/	The Global Forest Goals 2021	梳理报告文本信息，分类	2020 年，分类数据
2.7.4 碳汇技术创新能力	专利数目-碳汇	incoPat 专利检索平台	通过在 incoPat 平台输入技术对应的关键词，统计相应技术发明人所在国家的数量	截止 2023 年 4 月的累积专利申请数量，分国别
3.1.1 各国在其国际气候承诺中提及气候投融资的情况	国家 NDC 是否提及气候融资	UN Climate Change Secretariat, https://unfccc.int/NDCREG [获取时间: 2023-01-10]	基于各国提交的最新 NDC 文本，整理融资（finance）相关信息	截止 2023 年 1 月 10 日 194 个国家缔约方，文本
	国家 LT-LEDS 是否提及气候融资	UNFCCC, https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies [获取时间: 2023-02-11]	基于各国提交的最新 LTS 文本，整理融资（finance）相关信息	截止 2023 年 2 月 11 日 58 个国家缔约方，文本
	3.1.2 各国可持续金融政策进展	PRI, https://www.unpri.org/policy/regulation-database	基于该网站对各国可持续金融政策的类别和内容的统计，整理各国每种可持续金融政策的数量	截至到 2022 年 1 月 98 个国家及地区的数据统计
3.1.3 各国气候相关行动财政预算			基于各国预算文件和相关新闻报道，整理各国 2021-2023 年国家财政总预算和用于环境和气	截至 2023 年 1 月 10 日 37 个国家的预算文件，相关报道

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
			候行动的相关预算，算的气候预算占总预算的比例	
3.1.4 各国气候相关金融风险评估与披露进展			基于各国政府相关文件和新闻报道，判断各国是否有气候相关金融风险评估与披露政策	截至到 2023 年 3 月 195 个国家及地区的数据统计
		[1] What Does It Mean to Put a Price on Carbon? [EB/OL]. 2014[2023-02-15]. https://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/06/11/what-does-it-mean-to-put-a-price-on-carbon .		
3.1.5 各国碳定价机制进展		[2] World Bank Group. State and Trends of Carbon Pricing 2021[R]. 2021. [3] International Monetary Fund. More Countries Are Pricing Carbon, but Emissions Are Still Too Cheap[EB/OL]. <2022-07-11> [2023-03-06]. https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2022/07/21/blog-more-countries-are-pricing-carbon-but-emissions-are-still-	主要基于世界银行全球碳定价数据库进行分类和识别	50 个国家碳定价机制类型信息

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
		too-cheap [4] International Monetary Fund. A Proposal to Scale Up Global Carbon Pricing[EB/OL]. <2021-06-18> [2023-03-06]. https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2021/06/18/blog-a-proposal-to-scale-up-global-carbon-pricing		
3.2.1 国际气候资金落实情况与发达国家出资目标	发达国家出资规模	UNFCCC BR, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/54307_1%20-%20UNFCCC%20BA%202020%20-%20Report%20-%20V4.pdf UNFCCC, https://unfccc.int/reports [获取时间: 2023-03-20]	2017~2018 年数据从 BA 报告的附件 H 中直接记录获取, 2019~2020 年数据从 UNFCCC report 检索中检索各个国家的 BR-CTF 报告或 BR 报告, 查阅得到	2017~2020 年, BR 报告中发达国家通报每年给发展中国家的出资金额
	发展中国家获得资金规模	UNFCCC BA 报告, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/54307_1%20-%20UNFCCC%20BA%202020%20-%20Report%20-%20V4.pdf [获取时间: 2023-03-20]	从附件 F 中直接记录获取	2017~2018 年, BUR 报告中发展中国家通报在 2017 和 2018 年开始的项目收到的金额
	发达国家出资目标	COP26 Presidency Compilation of	获取各个国家出资承	截止 2023 年 2 月, 共 20 个国

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
		2021-2025 Climate Finance Commitments, https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/Table-of-climate-finance-commitments-November-2021.pdf [获取时间: 2023-04-01]	诺, 承诺目标年份在 2025 年之前的国家经线性外推得到 2025 年数据	家, 浮点数
3.2.2 各国绿色债券发行规模		Climate Bonds Initiative, https://www.climatebonds.net/market/data/ [获取时间: 2023-04-01]	直接获取不同年份不同国家的绿色债券发行规模数据	75 个国家 2014-2021 年的发行量数据, 整数
3.2.3 各国在多边气候基金的气候融资贡献	各国在 GEF 的注资贡献	GEF, https://www.thegef.org/who-we-are/funding/gef-8-replenishment [获取时间: 2023-01-03]	基于各国注资承诺数据整理	截止 GEF-8 增资结束 29 个国家, 浮点数
	各国在 GCF 的注资贡献	GCF, https://www.greenclimate.fund/about/resource-mobilisation/gcf-1 [获取时间: 2023-01-03]	基于各国注资承诺数据整理	截止 GCF-1 增资结束 32 个国家, 浮点数
	发展中国家在 GEF 的共同融资规模	GEF, https://www.thegef.org/projects-operations/database?f%5B0%5D=focal_areas%3A2207 [获取时间: 2023-01-10]	筛选气候变化相关项目, 对项目的 PIF 或 CEO Endorsement 文件进行爬取, 提取文件中	截止 2023 年 1 月 10 日, 共 76 个国家共同融资信息, 整数

二级指标	三级指标	数据来源	处理过程	数据信息
	发展中国家在 GCF 的共同融资规模	GCF, https://www.greenclimate.fund/projects [获取时间: 2023-01-10]	共同融资信息 对项目的 Approved funding proposal 进行爬取, 提取文件中共同融资信息	截止 2023 年 1 月 10 日, 共 139 个国家共同融资信息, 浮点数
3.2.4 各国参与国际气候金融合作倡议的情况	各国参与 UN PRI 的情况	UN PRI, www.unpri.org [获取时间: 2023-03-22]	直接获取 UN PRI 官网中 signatories 按地区分类的数据	截至 2023 年 1 月 10 日, 共 96 个国家, 整数
	各国参与 GFANZ 的情况	GFANZ, https://www.gfanzero.com/membership /[获取时间: 2023-03-22]	从 GFANZ 官网【Our members】中获取成员信息	截止 2023 年 1 月 10 日, 共 46 个国家, 整数
4.1.1 对外技术转让项目情况	项目编号、项目名称、援助国、东道国、援助时间、援助领域	https://unfccc.int/reports?f%5B0%5D=document_type%3A4146 [获取时间: 2022-11-21]		截止 2022 年底, 共 26 个国家上传数据

表 6-3 全球及区域级别碳中和目标计算中使用的人口、GDP 及 GHG 数据源

指标	数据来源	处理过程	数据信息
人口	(1)simple maps, https://simplemaps.com/data/world-cities , [2022-10-21] (2)world city populations 2022, https://worldpopulationreview.com/world-cities , [2022-10-21] (3)kaggle, https://www.kaggle.com/datasets/juanmah/world-cities?resource=download , [2022-10-21] (4)our world in data, https://ourworldindata.org/grapher/city-populations-to-2035?tab=table&time=earliest..2015 , [2022-10-21] (5)population stat(urban area), https://populationstat.com/cities/ , [2022-10-21] (6)world population review, https://worldpopulationreview.com/world-cities/dubai-population , [2022-10-21] (7)macrotrends, https://www.macrotrends.net/cities/22635/dubai/population , [2022-10-21] (8)grammarly, https://www.australian-population.com/states/new-south-wales-population/ , [2022-10-21] 以及 Google 和 Bing 检索	基于数据源整理	截止 2022 年底 142 个国家, 数值
GDP	(1)USA 2020 gdp, [2023-2-22] (2)DetailedPedia, https://www.detailedpedia.com/wiki-List_of_cities_by_GDP#Cities_(metropolitan_areas)_by_percentage_of_national_GDP , [2023-2-22] 以及 Google 和 Bing 检索	基于数据源整理; 基于 google 查得的当日汇率	截止 2023 年初 142 个国家, 数值
GHG	(1) Global Carbon Budget, https://globalcarbonbudget.org/ [2023-2-23] (2) World Bank Open Data, https://data.worldbank.org.cn/ [2023-2-23] (3) 蔡博峰, https://www.doc88.com/p-5127844773711.html , [2023-2-23] (4) CEADS, https://www.ceads.net.cn , [2023-2-23] 以及 Google 和 Bing 检索	基于数据源整理	截止 2023 年初各国, 数值

