

海南省低碳转型中长期展望 ——基于 EPS 模型探索“双碳”路径



2025 年 10 月

关于绿色创新发展研究院（iGDP）

绿色创新发展研究院（Institute for Global Decarbonization Progress，简称“研究院”，缩写（iGDP）是专注绿色低碳发展的战略咨询平台，于 2014 年成立于北京，旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。成立以来，根植我国地方绿色低碳实践，面向全球应对气候变化进程，为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案和公益性知识产品。

报告编写团队

绿色创新发展研究院（iGDP）：宋曼娇、杨鹂、李鑫迪、袁雅婷

海南大学：吴丹、张明、徐扬

联系方式

绿色创新发展研究院（iGDP）：igdpooffice@igdp.cn

致 谢

非常感谢能源创新公司对本研究提供的技术支持。

免责声明

本报告编写及建模所需要数据和信息均基于公开、可得的数据源，报告内容是对所研究领域的初步探索，旨在加强相关领域的讨论交流，如有不足之处，敬请谅解并指正。报告中主要结论及观点仅代表作者迄今为止的认识，不反映作者所属机构以及研究支持方的立场。

引用建议

宋曼娇, 吴丹, 杨鹂, 李鑫迪, 袁雅婷, 张明, 徐扬. (2025). 海南低碳转型中长期展望——基于 EPS 模型探索“双碳”路径. 北京: 绿色创新发展研究院.

目 录

研究背景与目标	1
海南省低碳转型进程	2
低碳转型现状	2
低碳转型目标	3
模型工具和情景分析	5
海南省“双碳”路径	6
能耗双控与碳排放双控	6
碳中和重点减排政策	7
投资需求及对 GDP 和就业的影响	11
结论及政策建议	12
综合发展趋势和禀赋条件制定双碳目标	12
结合地方需求识别低碳转型方向	12
分阶段分部门制定低碳转型中长期路径	13
参考文献	14

研究背景与目标

随着全球气候影响加剧，《2024 年排放差距报告》指出，守住 1.5°C 目标需要全球在 2030 年前相对于 2019 年减少 42% 的温室气体排放^[1]。面对日益迫切的减排需求，我国作为最大碳排放经济体明确提出“2030 年前碳达峰，2060 年前碳中和”的双碳目标。各省结合资源禀赋、减排潜力与产业结构科学制定分部门低碳发展路径，并按照发展目标推进相关工作，是全国碳排放目标完成的基本、前提和关键^[2]。

海南省非化石资源丰富，借助海上风电、光伏发电和气电等清洁能源，大幅提高新能源比重，加速落实“清洁能源岛”规划^[3]，此外海南还计划建立零碳能源支撑体系，全面谋划打造零碳能源岛^[4]、“低碳岛”^[5]，高效控制碳排放，积极应对气候变化。为了打造优先发展清洁能源的低碳转型示范区，海南省需要尽快编制出台面向碳中和的长期战略规划，分阶段分部门锚定重点措施，政府、社会与市场合力保障经济社会的低碳发展与平稳转型。

本研究构建海南能源政策模拟模型（Energy Policy Stimulator, EPS），量化不同政策组合下的能源消费、温室气体排放、投资需求和经济社会影响，为海南省低碳转型路径研究提供科学评估工具。

本报告系统回顾了海南省低碳转型的进展与成效，运用情景分析方法，分部门预测能源消费与温室气体排放的长期趋势，并分阶段梳理实现“碳中和”目标的关键政策措施。同时，报告全面评估了政策组合对经济发展、就业以及投资需求的潜在影响，提出了切实可行的政策建议，旨在为海南的低碳发展路径提供科学依据与决策参考。



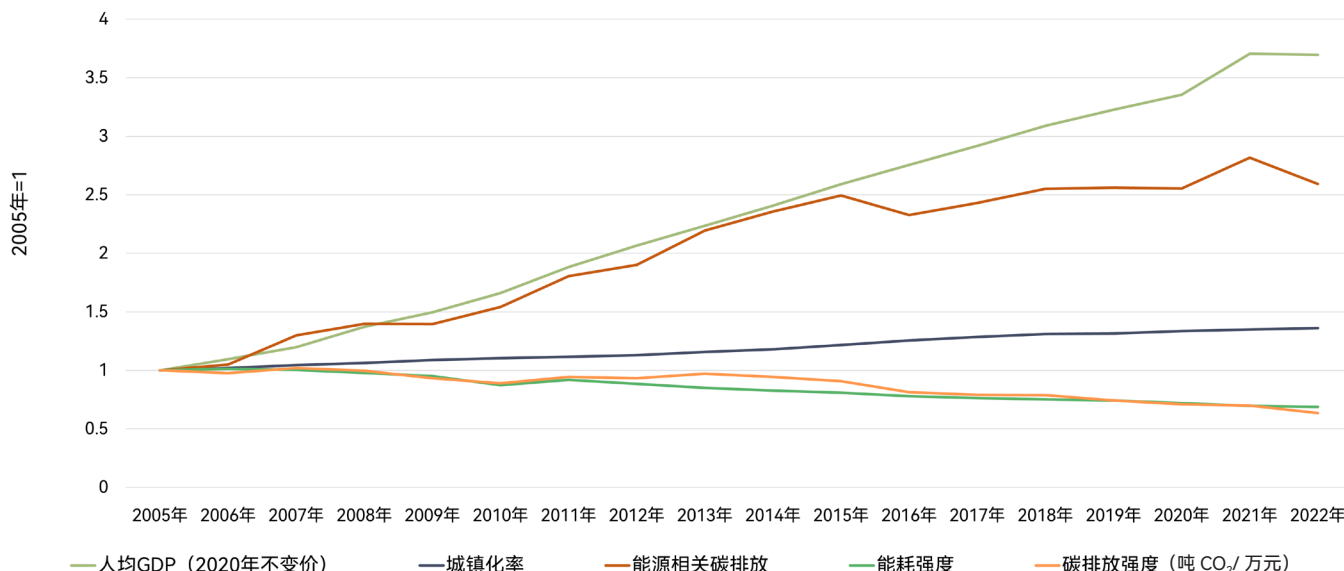
第一章

海南省低碳转型进程

低碳转型现状

海南经济体量较小，2023 年，全省 GDP 为 7551.18 亿元（现价，下同），相当于全国总量的 0.6%；人均 GDP 为 72958 元^[6]，低于全国人均水平。海南省“第三产业主导，第一、二产业相当”，2023 年海南省第三产业占比为 60.8%，位列全国第四。海南省正处于社会经济高速发展与转型窗口期，“旅游业、现代服务业、高新技术产业和热带特色高效农业”并驾齐驱的产业体系^[7]将带来经济发展的契机和转型减排的独特挑战。

图 1 海南省社会经济发展与碳排放水平（2005-2022 年）¹



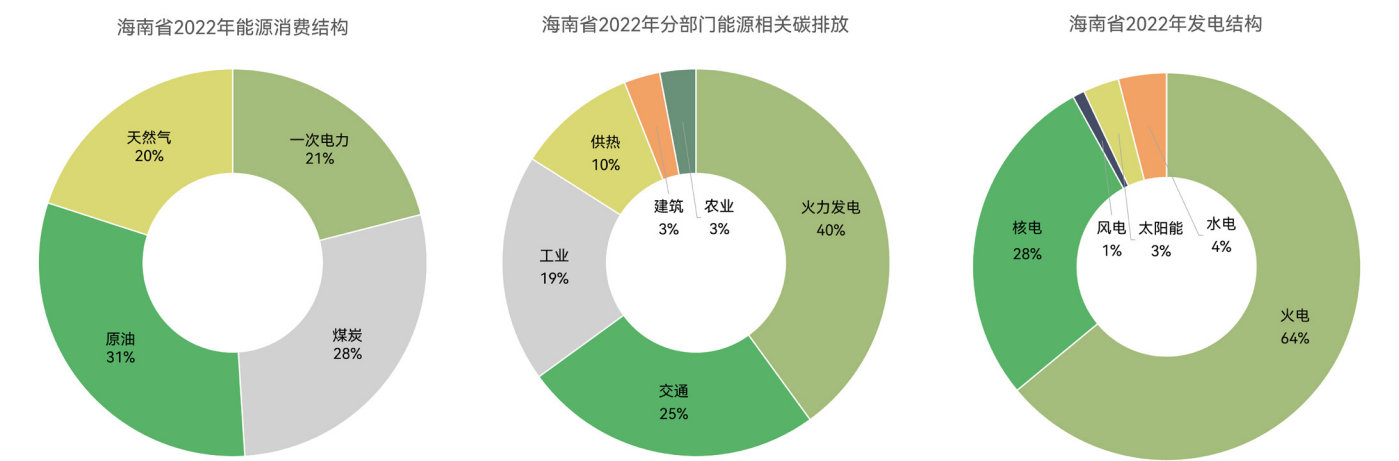
2005 年以来，海南省人均 GDP 稳定增长，能源消费波动上升，能耗强度和碳排放强度稳定下降（图 1）。近年来，海南省经济增长与碳排放呈现弱脱钩趋势，在人均 GDP 保持增长的情况下，碳排放从 2021 年开始明显减少。

2022 年海南省能源消费总量为 2424 万吨标准煤，仅占全国总量的 0.45%，煤炭、原油、天然气和一次电力消费占比较为接近，分别为 28%、31%、20% 和 21%，能源多样化程度较高，对煤炭的依赖度远低于全国平均水平（56%），可再生能源消费占比略高于全国平均水平。从 2022 年分部门碳排放来看，交通是除火力发电外的第二大碳排放部门（图 2），占比 25%，明显高于占比 19% 的工业部门。

海南省发电结构清洁程度略优于全国水平。2022 年，海南全省统调装机总容量为 1164.8 万千瓦，清洁能源装机占比（含气电）76.3%^[8]，能源转型走在全国前列，但可再生发电占比仍有较大的提升空间。2022 年，海南省本地发电量 380 亿千瓦时，火电占比 64%，非化石能源发电主要依赖发电量占比全国最高（28%）的核电，而水风光发电占比合计仅为 8%。

¹ 数据来源：iGDP 零碳录 . <https://ccnt.igdp.cn/zh/actions-tracker/details/hainan>

图 2 海南省能源消费、能源相关碳排放和发电结构（2022 年）



数据来源：能源消费结构来自海南省统计年鉴（2023）；碳排放结构基于 iGDP 方法学对海南省能源平衡表进行拆分计算；发电结构来自《电力工业统计资料汇编》。

低碳转型目标

海南省致力于建设绿色低碳的自由贸易港，争当美丽中国示范样板。基于此目标，海南省在“十四五”期间发布了《海南省碳达峰实施方案》，将“双碳”目标纳入全省生态文明建设整体布局，并通过《海南省“十四五”交通运输（公路水路）发展规划》和《海南省“十四五”节能减排综合工作方案》等政策提出分部门、分阶段目标，压实各行业的主体责任。

海南省兼顾自由贸易港、国家生态文明试验区发展和绿色低碳转型的重点在于高比例发展非化石能源、加强高耗能行业电能替代以及加快交通运输和公共建筑领域节能降碳。表 1 和表 2 分别总结了全省整体及分部门低碳发展目标。

表 1 海南省低碳发展综合目标

指标	2025 年	2030 年
碳达峰阶段性目标	打牢基础	实现
单位地区生产总值能耗下降率	国家下达目标	持续下降
单位地区生产总值二氧化碳排放下降率	国家下达目标	相比 2005 年下降 65% 以上
森林覆盖率	62.1%	/
重点行业能源利用效率	国际先进水平	/
电能占终端能源消费比重		39%

数据来源：《海南省碳达峰实施方案》《谱写新征程美丽海南新篇章争当美丽中国示范样板实施方案》

表 2 海南省重点行业和领域目标

类别	指标	2025 年	2027 年	2030 年	政策文件
电力					
非化石能源	消费比重	>22%	~34%	~43%	《谱写新征程美丽海南新篇章争当美丽中国示范样板实施方案》
	发电装机比重	55%		75%	《海南省碳达峰实施方案》
可再生能源	消费比重	>10%			
	新增装机（万千瓦）	400			
清洁能源 (含气电和储能)	消费比重	~50%			
	发电装机比重	85%		92%	
天然气	占一次能源消费比重	~30%			《海南省碳达峰实施方案》
光伏发电	新增装机（万千瓦）	400			
风电	投产装机（万千瓦）	200			
能源体系	能源自给率	24%		54%	
工业					
	单位生产总值碳排放下降率	完成国家 下达目标		完成国家 下达目标	《海南省碳达峰实施方案》
	单位生产总值能耗下降率	完成国家 下达目标			《海南省碳达峰实施方案》
	规模以上工业单位增加值能耗下降	13.5%			《海南省“十四五”节能减排综合工作方案》
建筑					
	绿色建筑占新建建筑比例	80%		100%	《海南省碳达峰实施方案》
	星级绿色建筑占比	>30%			《海南省“十四五”节能减排综合工作方案》
交通					
公共服务和社会运营	新增和更换车辆使用清洁能源比例	100%			《海南省碳达峰实施方案》
	清洁能源化			除特殊用途外全面实现	
私人用车	新增和更换车辆使用清洁能源比例			100%	
新能源汽车	保有量（万辆）	50			《海南省“十四五”节能减排综合工作方案》
	保有量占比	20%		>45%	
		新增汽车中占比		≥ 70%	
碳强度	营运交通工具换算周转量碳排放强度	较 2020 年下降约 6%			《海南省“十四五”节能减排综合工作方案》

数据来源：《海南省碳达峰实施方案》《谱写新征程美丽海南新篇章争当美丽中国示范样板实施方案》

第二章

模型工具和情景分析

海南“双碳”路径的量化分析主要借助 EPS 模型，该模型是一个基于系统动力学的免费和开源分析工具，用于模拟和评估能源与气候政策对能源消费、温室气体排放、污染物排放、投资需求及相关宏观社会经济指标的影响。海南 EPS 模型（EPS Hainan 2024）是由 iGDP 在 EPS China-iGDP 2024^[9] 基础上开发的免费开源工具，旨在帮助决策者、研究者及相关从业人员采用情景分析方法，评估不同能源和低碳相关宏观社会经济指标的影响。

EPS 模型主体由 5 大行业模块构成，分别是交通、电力供应、建筑运行、工业、土地利用和林业。其中，交通模块包含道路交通、航空、水运、铁路和摩托，建筑建造业和农业被划入工业模块。

本研究选择基年为 2020 年，预测年份为 2021-2060 年，并设置了三个情景模拟海南在不同政策参数设置下的能源消费和碳排放路径（表 3）。

表 3 情景说明

情景	开始年份	结束年份	定义	功能
2020 政策冻结情景	2020	2060	仅考虑 2020 年及之前发布的政策	基准情景（用于基准比较）
政策情景			强化 NDC，双碳“1+N”政策体系	评估现有政策减排效果
双碳情景			2030 年前：政策情景 2031-2060 年：实现 2060 年碳中和的政策力度（国内外最佳实践）	识别实现碳中和的政策差距



©Unsplash

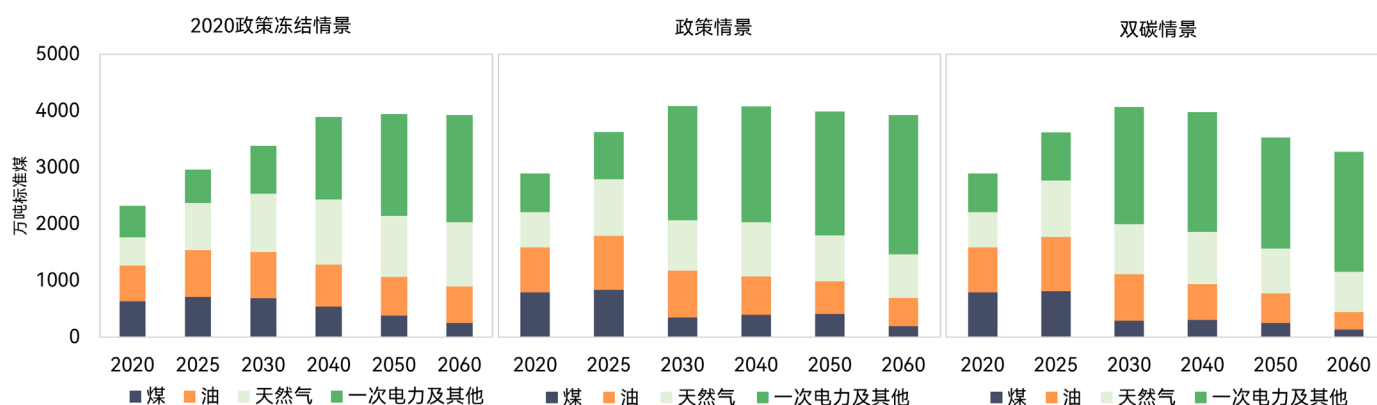
第三章

海南省“双碳”路径

能耗双控与碳排放双控

双碳“1+N”政策将助力海南省一次能源消费总量提前达峰以及峰值下降。2020 政策冻结情景下，海南省一次能源消费预计在 2055 年达峰；政策情景下，一次能源消费在 2035 年达峰并进入平台期；双碳情景下，全省排放同样在 2035 年达到峰值后缓慢下降。煤炭和石油加速淘汰，2060 年，一次电力及其他占比达到 63%。

图 3 海南省一次能源消费结构

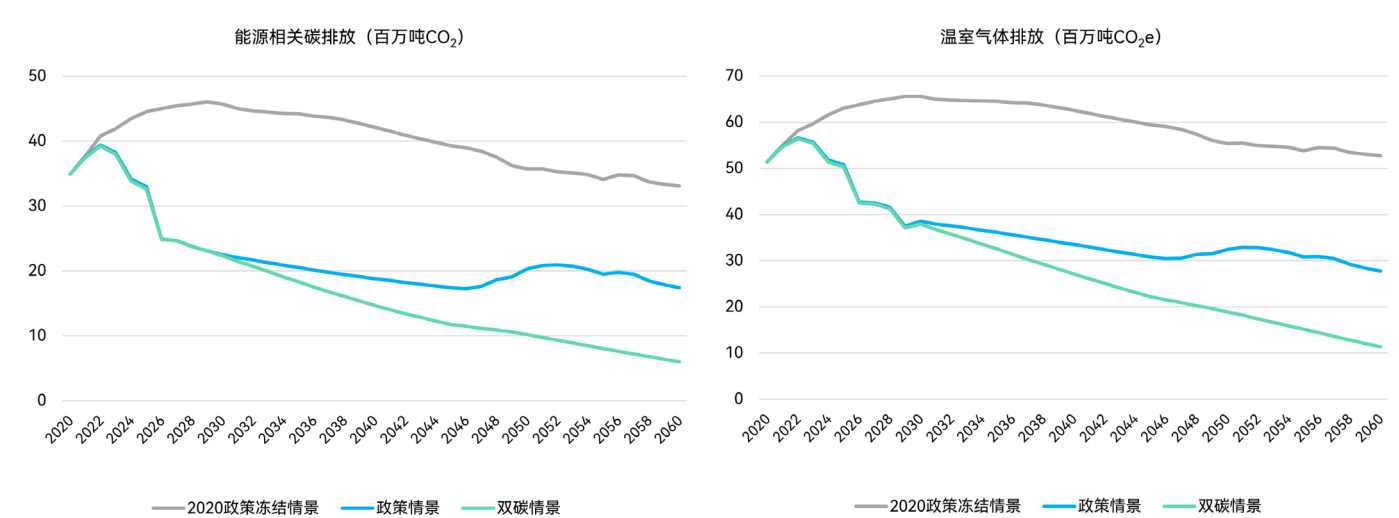


海南省政策情景的能源相关碳排在 2030 年前后略有反弹，即现有政策力度难以在 2030 年前实现碳排放总量达峰后平稳下降，而实现“碳中和”更需要 2030 年后进一步加强低碳措施。政策情景下，海南省 2025 年达到能源相关二氧化碳排放和温室气体排放峰值（图 4），但直到 2055 年仍有个别年份排放反弹，这是因为核电项目的投产退役将显著影响排放。2060 年仍余 1730 万吨能源相关碳排放，而双碳情景下，2060 年余约 560 万吨能源相关碳排放，相当于峰值水平的 14%。

政策情景下，“十四五”期间，海南省单位 GDP 能耗²和碳排放下降率分别为 11% 和 17%。海南应提高能源利用效率，发展低碳技术，评估省内实际情况后明确“十五五”单位 GDP 能耗下降目标和实施路径，以确保有序推动双碳进程。

² 除特别说明外，本报告中所涉及的地区生产总值均为 2020 年不变价。

图 4 海南省能源相关二氧化碳和温室气体排放路径



注：不含 LULUCF；随着昌江核电 2、4 号机组计划分别于 2026 年 3 月和 2027 年 1 月投产商运，2026 年后电力部门排放骤降。

碳中和重点减排政策

海南经济高质量发展，各行业加速电气化促使终端电力需求持续增长，电力部门碳中和需要终端部门在推动电气化的同时减少能耗、加速发展非化石能源发电，同时加强电网消纳可再生电力的能力。工业部门的深度减排需要工业低碳节能推广和电网清洁化双管齐下，水泥和化工行业都应加速推进电能替代，并研发和推广氢能替代技术以实现深度减排。建筑部门脱碳基本依赖于电力的清洁化。此外，用能需求增长主要体现在公共建筑部分，海南省应落实绿色公共建筑的新建和升级改造，大力推行公共建筑绿色制冷、绿色照明和节能家电。海南省交通部门在道路电动化进程上领先全国，但 2020 年船运和航空碳排放占比约 44%。自贸港展使船运、航空周转量需求持续强劲增长，而落实推广低碳燃料替代，对海南研发能力和经济发展挑战较大。因此，海南省交通部门近期仍应聚焦道路交通的电能 / 氢能替代。海南省约 80% 的甲烷排放来自于农业，剩余 20% 来自于污水处理^[10]。政府应当明确并量化农业甲烷减排措施，全面提升生活污水收集处理效能和污泥无害化、资源化利用水平。政策和双碳情景重点领域的政策实施目标如表 4 所示。

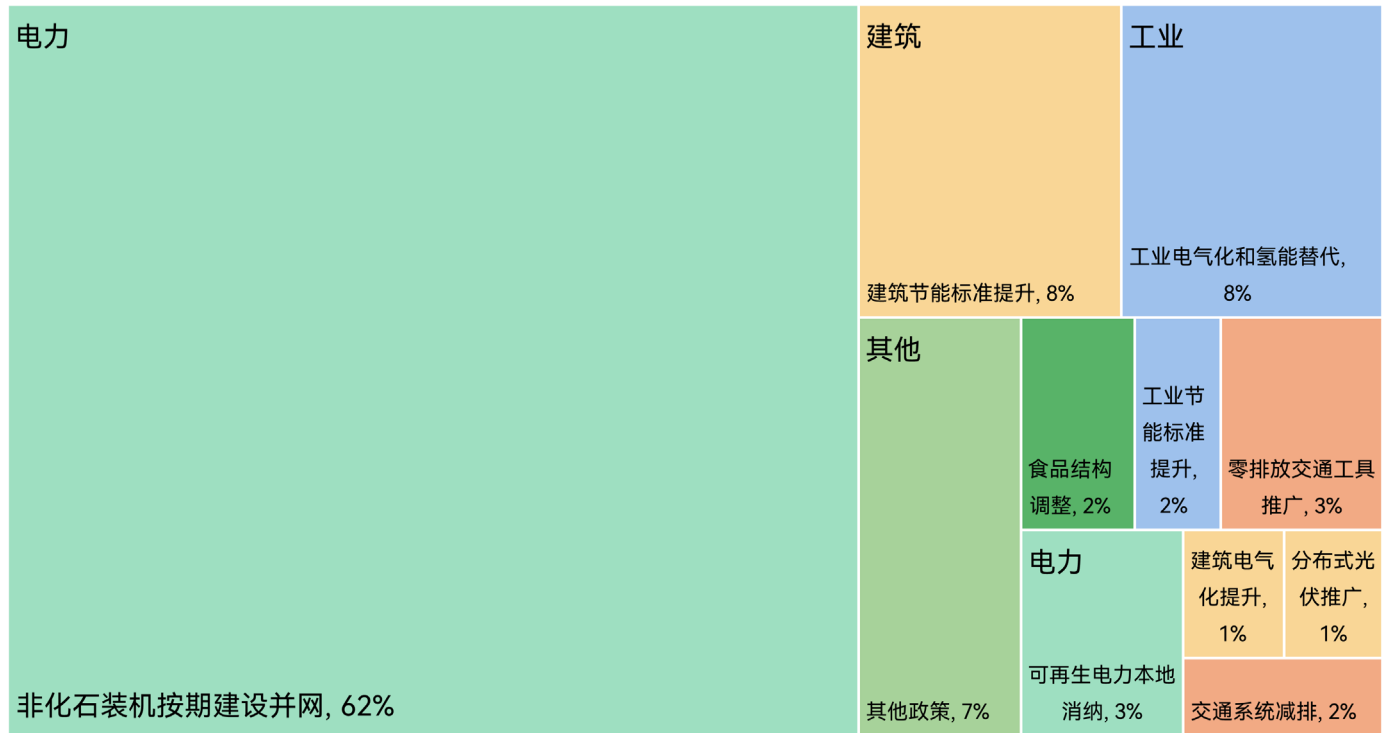


表 4 政策和双碳情景下重点行业及领域关键政策设定

部门	政策	政策情景	双碳情景
交通 ^[11,12]	电动车新车销量占比	LDVs: 客运 – 2025: 74%, 2030: 100% 货运 – 2030: 100% HDVs: 客运 – 2030: 100% 货运 – 2030: 100%	LDVs: 客运 – 2025: 74%, 2030: 100% 货运 – 2030: 100% HDVs: 客运 – 2030: 100% 货运 – 2030: 100%
	提高燃油经济性	LDVs: 相较 BAU 下降 客运 – 2030 年 69%, 2035 年 86% 货运 – 2030 年 42% HDVs: 相较 BAU 下降 货运 – 2030 年 38%	LDVs: 相较 BAU 下降 客运 – 2030 年 69%, 2035 年 86% 货运 – 2030 年 42% HDVs: 相较 BAU 下降 货运 – 2030 年 38%
	优化交通结构	个人出行（小轿车） – 2030 年周转量相较 BAU 减少 8% 道路货运 – 2030 年周转量相较 BAU 减少 10%	个人出行（小轿车） – 2050 年周转量相较 BAU 减少 20% 道路货运 – 2050 年周转量相较 BAU 减少 30%，部分转为铁路或水运
建筑 ^[13-15]	建筑节能	2025 年，新建居民建筑、公共建筑分别执行节能 65%、72% 地方标准，之后保持不变	在政策情景基础上，每 10 年再提升 20%，2045 年后保持不变
	建筑电气化	新建 居民建筑 2030 年 100% 电气化 新建 商业建筑 2060 年 100% 电气化 新建 农村住宅 2060 年 100% 电气化	新建 居民建筑 2030 年 100% 电气化 新建 商业建筑 2030 年 100% 电气化 新建 农村住宅 2030 年 100% 电气化
	既有建筑改造	每年 1%	每年 2%
	分布式光伏推广	2030 年分布式光伏发电提供全社会用电量的 3%，此后为 2.7%	2030 年分布式光伏发电提供全社会用电量的 3%，此后不变
工业 ^[16-19]	工业能效提升	相较 BAU 能耗降低（2030 年） 造纸 5% 化工 4% 水泥 4% 钢铁 7% 其他 3%	相较 BAU 能耗降低（2030 年，2060 年） 造纸 5%，36% 化工 4%，42% 水泥 4%，30% 钢铁 7%，55% 其他行业 3%，29%
	工业电气化	2030 年达到 32% 2060 年达到 50%（不包含原料）	2030 年达到 32% 2060 年达到 71%（不包含原料）
	工业氢能应用	到 2060 年，钢铁行业 81% 的中高温热转为由氢能提供	以下行业部分高温热由氢能提供 水泥：2030:0，2060:73%； 化工、石化和炼焦：2030:0，2060:19%； 钢铁：2030:0，2060:81%； 橡胶和塑料：2030:0，2060:53%
	减少产品需求（循环经济）	/	2050 年相较 BAU 水泥、钢铁需求分别减少 37% 和 20%
	工业过程 CCS	/	从 2030 年起开始实施，化工、水泥及钢铁行业过程 CO ₂ 在 2060 年通过 CCS 减排 95%、90% 和 60%
	水泥熟料替代	水泥熟料替代比例 2030 年 25%，2060 年达到 50%	水泥熟料替代比例 2030 年 30%，2060 年达到 100%
非二 ^[20-24]	含氟气体减排措施	2050 年通过替代及销毁减少含氟气体排放潜力达到 100%	2050 年通过替代及销毁减少含氟气体排放潜力达到 100%
	农业畜禽管理	2025 年畜禽粪污利用率达 89% 以上	2025 年畜禽粪污利用率达 89% 以上
	膳食结构调整	2060 年肉制品占比减少 42%	2060 年肉制品占比减少 69%
	氧化亚氮减排措施	工业 – 通过安装减排设施，2060 年减少 50% 的氧化亚氮排放	工业 – 通过安装减排设施，2060 年 100% 消除氧化亚氮排放
电力 ^[17,25-27]	可再生能源发电量占本地发电量比重	2030 年达到 19% 左右	2030 年达到 19% 左右，2060 年 77% 左右
	发展储能	2060 年达到 0.8 吉瓦	2060 年达到 0.8 吉瓦
	需求响应	2060 年大于 800 兆瓦	2060 年大于 800 兆瓦
	电厂配备 CCS	/	2030 年起实施，到 2045 年所有化石燃料火电厂 100% 配置 CCS

为顺利实现“碳中和”目标，海南省应该根据每个阶段的减排重点政策及时调整政策重点和实施路径。“十五五”期间，双碳情景下，海南省温室气体减排贡献排名前三的政策分别是非化石装机按期建设并网³、建筑节能标准提升和工业电气化及氢能替代，减排量分别占“十五五”期间总减排量的 62%、8% 和 8%（图 5）。交通部门 2022 年碳排放约占全省 1/4，但零排放交通工具（纯电动车和氢燃料电池汽车）推广带来的减排贡献仅为 3%。主要原因在于：1）“十五五”末期非化石发电量占比仍较低（约 40%），道路交通电动化难以实现大幅减排；2）航空和船运排放占比超一半，其低碳燃料替代受限于现有技术和经济水平。

图 5 “十五五”期间温室气体减排重点政策



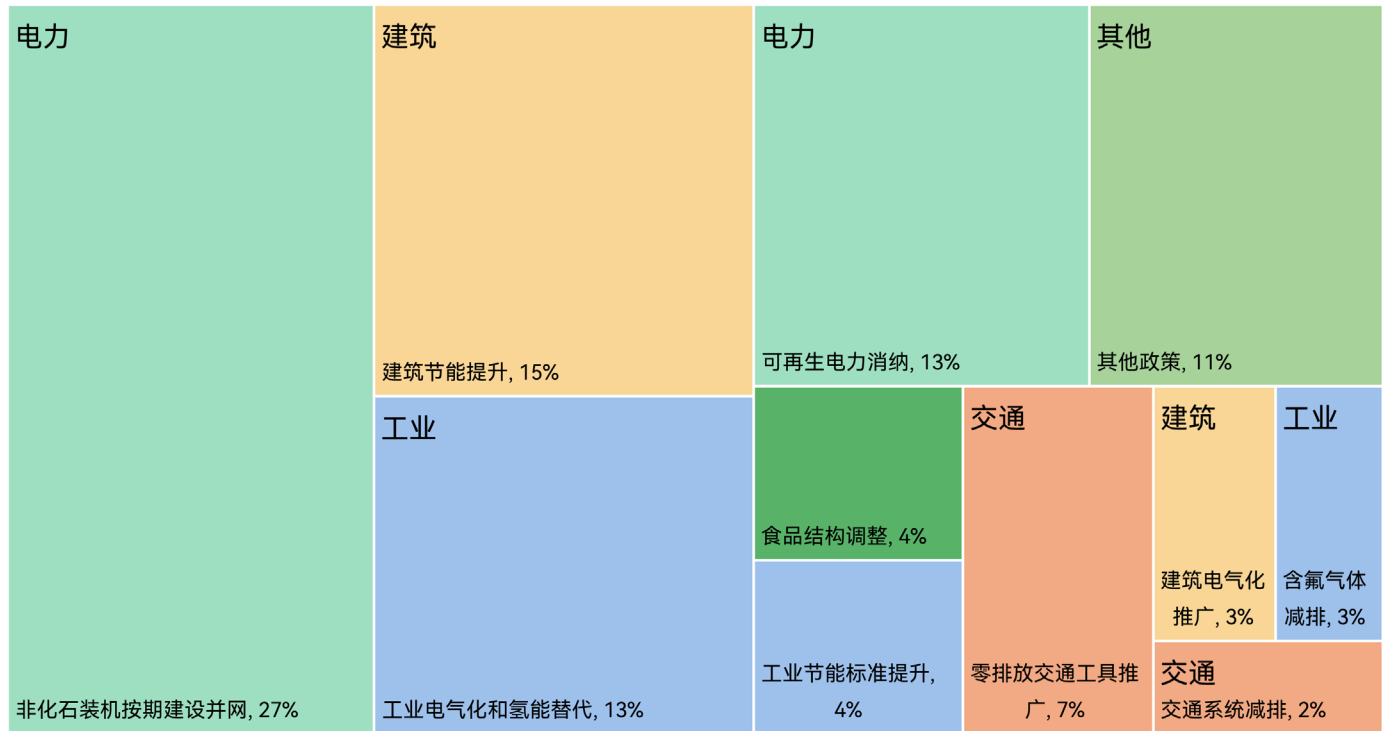
注：百分比为该政策带来的温室气体（CO₂、CH₄、N₂O 和含氟气体）减排量占总减排量的比重，不含碳汇。

“十六五”期间，双碳情景下，海南省需要在推进电力清洁化的同时关注其他部门的政策（图 6）。非化石装机按期建设并网、建筑节能标准提升和工业电气化及氢能替代仍然是温室气体减排贡献前三的碳中和重点政策，本地可再生发电与消费也可以带来 13% 的温室气体减排量。此外，2030 年前禁止销售燃油车等政策有助于新能源汽车快速渗透，愈发清洁的电网加上“公转水”、“公转铁”等优化交通结构的政策有望带来近 10% 的减排贡献。

长期而言，2031-2060 年（图 7），除了通过提高本地可再生电力消纳和稳步推进非化石装机建设并网实现近 40% 的减排以外，工业部门电气化及氢能替代、含氟气体减排和加装 CCS 等措施将贡献 30% 的减排量。此外，建筑电气化推广和节能标准提升也需要进一步落实。

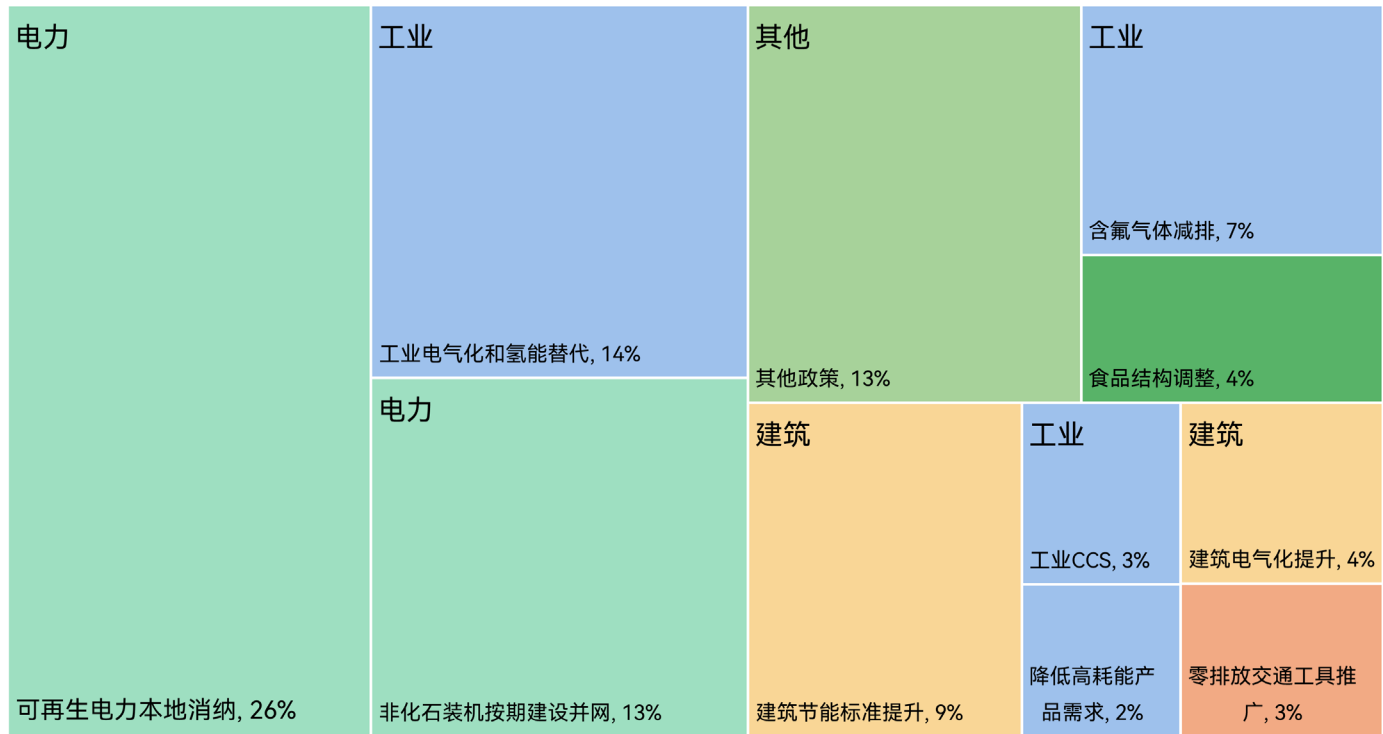
³ 非化石装机按期建设并网指在建、获核准或备案的所有非化石电源按计划建设及并网。

图 6 “十六五”期间温室气体减排重点政策



注：百分比为该政策带来的温室气体（CO₂、CH₄、N₂O 和含氟气体）减排量占总减排量的比重，不含碳汇。

图 7 2031-2060 年温室气体减排重点政策



注：百分比为该政策带来的温室气体（CO₂、CH₄、N₂O 和含氟气体）减排量占总减排量的比重，不含碳汇。

投资需求及对 GDP 和就业的影响

根据模型估算，双碳路径相对于现有政策情景产生的低碳投资需求⁴极少，基本来自于新增非化石装机（风电、天然气调峰电厂和核电）和工业氢能替代。

交通部门：EPS 主要估算交通电气化和氢能替代、燃油经济性提升、交通运输结构优化等政策驱动下以及考虑电池技术条件下所产生的投资需求。双碳情景下，海南在交通运输工具购置和电动充电基础设施等领域 2025-2035 年的投资需求约为 5 千亿元，其中充电桩投资占比不到 10%，而 3/4 左右的投资用于购置轻型客运电动车；2025-2060 年的投资需求约为 2.2 万亿元。

建筑部门：EPS 主要估算新建建筑节能、既有建筑改造、建筑电气化及分布式光伏规模化应用等政策产生的投资需求。双碳情景下，海南省在既有建筑节能改造、高效电气化设备购置、低能效产品淘汰换新和分布式光伏装机等领域 2025-2035 年的投资需求约为 900 亿元，其中分布式光伏装机占比不到 5%，近半的投资用于满足公共建筑日益增长的制冷与通风需求；2025-2060 年的投资需求约为 4 千亿元。

电力部门：EPS 主要估算增强电网储能、电源结构优化和 CCS/CCUS 低碳技术配置等政策的投资需求。双碳情景下，海南省在电网储能强化、发电设施安装、CCS 设备购置安装等领域 2025-2035 年的投资需求约为 1600 亿元，基本用于新增风电和电力 CCS；2025-2060 年的投资需求约为 2500 亿元。

工业部门：EPS 主要估算工业提升能效和燃料替代、过程排放控制、CCS 低碳技术配置、氢能利用等政策的投资需求。双碳情景下，海南省在过程排放控制设备、CCS 设备、工业设备、氢能生产设备购置和工艺节能改造等领域 2025-2035 年的投资需求约为 32 亿元，其中一半用于过程排放控制，1/3 用于 CCS 低碳技术部署；2025-2060 年的投资需求约为 320 亿元。

各情景下，海南省的 GDP 和就业人数均呈稳定增长趋势。双碳情景下，全省 2020 年至 2060 年 GDP 将累计增加约 6000 亿元（2020 年不变价），相当于 2020 年全省 GDP，年均增长率为 6.4%。双碳情景下，就业岗位增长也更为显著。2060 年，第一产业和第三产业就业岗位数量相对于 2020 年分别累计增加了 53 万和 102 万，第三产业就业主要由批发业、住宿业和居民服务业拉动。上述分析结果说明，海南省全面实行深度减排政策导致的额外投资较少，也能在保障经济稳健发展的同时实现就业岗位正增长。

⁴ 本报告所指低碳投资为有望促进减排的资产购置和基建建设活动，具体范围为：交通部门包含电动车充电设施固定投资成本、道路、航空、铁路、水运和摩托车交通工具购置成本；电力部门包含电网储能、输配电网建设和电源建设投资；建筑部门包含建筑用能设施购置和分布式光伏建设成本；工业部门则包含工业 CCS、工业过程排放控制和工业能耗提升投资成本。

第四章

结论及政策建议

海南省能耗和排放体量小、非化石资源禀赋突出、终端部门现有电气化水平高，但存在自身独特的挑战。自贸港的建设拉动经济发展和科技进步，但也加剧了用能和排放，各领域的深度减排均需政府、社会和市场形成合力。为了巩固低碳转型成果，顺利实现“双碳”目标，报告建议海南省重点从以下三个方面着手。

综合发展趋势和禀赋条件制定双碳目标

海南省应调整政策力度确保单位 GDP 能耗和碳排放下降目标的实现。现有政策力度下，海南省能耗强度和碳排放强度的下降率可能无法完成国家下达目标。基于现状和潜力，建议到“十五五”末，单位 GDP 能耗和碳排放相对于 2020 年应分别下降 25% 和 56% 左右，以确保有序推动双碳进程。

海南省应注重碳排放峰值水平的下降。海南省碳排放将随着昌江核电二期机组运行投产大幅下降。因此，相比于关注碳达峰的峰值水平，建议以二氧化碳排放量较峰值水平的下降目标作为指导性指标：如 2035 年的二氧化碳年排放量比峰值期下降 40%；2045 年的二氧化碳年排放量比峰值期下降 70%^[5]。

海南省应注重协同效益的获取。海南有生态立省的地区定位，2016 年被列为国家生态文明试验区之一，目前正在通过争做双碳优等生为国家双碳和生态目标实现贡献自身力量。因此，海南在制定能源转型和双碳目标时，应充分考虑二氧化碳减排之外的多重目标，包括：大气污染物减排及其健康效益、生态服务价值实现等。海南省应该开展综合的成本效益分析，通过纳入协同效益来支撑目标制定。

结合地方需求识别低碳转型方向

海南省双碳目标实现的过程应和现代产业体系构建和长期经济发展相结合，力求发挥后发优势，通过绿色低碳转型来摆脱“先发展、后治理”的路径依赖，实现发展阶段的跃升。

大力谋划和推进海上风电建设，加快光伏发电的建设和消纳^[28]。风电方面，建议推进《海南省海上风电场工程规划》和《海南省风电装备产业发展规划（2022-2025 年）》的落实，依托海上风电资源大力推进海上风电建设，并推动海上风电制氢制醇及加注一体化示范工程。光伏发电方面，开展建筑分布式光伏建设，合理布局集中式光伏电站。进一步地，通过上下游产业整合以壮大可再生能源产业集群。

发展绿氢，助力禁售燃油车目标实现和绿色航运发展。2030 年全岛全面禁售燃油车政策，为氢燃料电池汽车发展提供广阔市场空间，道路交通深度减排也有望加速推进。另一方面，自由贸易港强劲的航运需求使得发展绿色低碳航运愈发迫切。海南省有得天独厚的绿氢生产优势，随着海上风电、核电等清洁能源制氢逐步成型，到 2025 年，海南绿氢产量将超过 10 万吨 / 年^[29]。基于这种优势，海南省可以大力发展氢燃料电池核心技术，逐步建立氢燃料电池汽车和纯电动汽车同步替代燃油汽车的模式，在重点地区先行推广，和龙头企业合作打造示范生产线。对于绿色船舶燃料，开展“氢能 + 船舶”示范应用，打造绿色甲醇（绿氢）加注示范基地，进而在远洋航船、渔船等领域分阶段进行绿色燃料替代。

以交通电动化引领全省电气化进程。海南省是中国首个提出在较短时间内全面普及交通电动化的地区，计划到 2030 年全岛禁售燃油汽车，建立以新能源汽车为主体的交通体系。在这一目标推动下，海南省的电动车保有量占比和渗透率均位居全国前列，交通电动化覆盖的车辆类型和进程也在全球范围内处于领先地位。另外，电动

车辆具有储能功能，发展车网互动可以发挥削峰填谷和可再生能源消纳等作用，从而提高能源系统韧性。在极端天气频发的趋势下，通过车网互动增强应急响应的灵活性也显得尤为紧迫。2025 年，海口已被列入首批车网互动规模化应用试点城市^[30]。因此，建议海南省在中短期内通过推进重型卡车电动化、车网互动规模化应用、新能源车路权优惠等措施推进道路交通电动化，助力实现 2030 年禁售燃油车目标，引领全省其它领域的电气化进程。

创建多场景零碳示范项目。海南省可以依托丰富的风光资源、昌江核电和独特的电气化优势建立零碳能源消纳体系^[4]。建议海南省借助成功经验和资源禀赋，从绿电供应、终端部门降碳改造和资源循环利用等方面探索零碳示范改造，着力发展农光互补、光储直柔、CCUS 等低碳技术，科学谋划零碳园区、零碳景区和零碳海岛村庄等多应用场景零碳试点的创建。2023 年，海南省已创建了中国首个国家级零碳示范区——琼海博鳌东屿岛零碳示范区，提供了宝贵的先行经验，并计划在国内外复制和推广高水平“博鳌标准”体系^[31]。

推广可持续航空燃料（SAF）。自贸港的建设需要通过建设西部陆海新通道国际航空枢纽以实施高度自由便利开放的运输政策^[7]，这意味着航空的减排压力日益增加。生物燃料与传统燃料相比可以减少 60%-94% 的温室气体排放^[32]，SAF 被认为是航空低碳发展的中长期有效路径。海南省早在 2009 年就率先实行 B5 生物柴油市场封闭运行^[33]，禁止普通石化柴油销售，期间积累了标准起草备案和生产装置改造扩建等宝贵经验。生物燃料初尝试以失败告终主要是因为产品无法进入成品油销售主渠道、行业技术标准亟待完善以及成品油供过于求^[34]。SAF 的发展离不开针对生产、消费和使用的补贴规则以及统一的技术标准。各政府部门与市场需合力推进绿色燃料有序进入市场，打开通道并保障质量。在政策层面，建议海南省制定 SAF 的消费总量目标，推动其商业应用的逐步突破。

分阶段分部门制定低碳转型中长期路径

为实现碳中和目标，海南省需要分阶段识别并收紧重点政策。海南省终端电力需求持续增长，“十五五”期间除了保证核电如期投产外，还应落实建筑节能和推进工业电气化。“十六五”期间则需要进一步促进本地可再生能源，尤其是风电的消纳。2031-2060 年则需要重点落实含氟气体减排并加装工业 CCS。

电力部门应提高电网灵活性、合理规划和建设调峰电源和储能设施并升级智能电网以保障可再生能源电力的消纳。建议海南省电力部门脱碳聚焦于非化石能源发电占比，“十五五”末本地非化石能源发电占比应达到 80%。

工业部门深度减排需要重点关注水泥和化工等高耗能行业实现电气化的路径和政策体系，探索高温热泵、电锅炉等技术设备的应用案例和商业模式。建议 2030 年水泥行业、化工行业和工业部门整体电气化率（含原料）目标不应低于 26%、4% 和 17%；若不含原料消费，电气化率应分别不低于 26%、19% 和 32%。

建筑部门电气化推广基础较好，脱碳基本依靠建筑节能标准提升和电网深度脱碳。“大力发展旅游业、现代服务业和高新技术产业”的现代产业体系需要大量公共建筑的投产运行。建议海南省出台行动方案以落实绿色公共建筑的新建和升级改造，在现有政策基础上进一步提高节能标准，到 2030 年新建公共建筑均实行 78% 的节能标准。同时，推动超低 / 近零 / 净零能耗建筑等规模化发展。建议海南省借助用于支持消费品以旧换新的国债资金^[35]，落实推广公共建筑绿色制冷、绿色照明和节能家电升级换新。

交通部门应通过道路快速电气化和低碳燃料替代实现深度减排。建议海南落实“到 2030 年，全岛全面禁止销售燃油汽车”的目标，交通部门（含道路和非道路）电气化率 2030 年达到 15% 左右，2035 年上升至 23% 左右。此外，建议海南省加速研发、生产和应用航空和船舶低碳燃料。

针对非二氧化碳气体，建议海南省基于全生命周期监测、控制并减少农业甲烷、污废水处理甲烷和化工含氟气体的排放。海南省应当在发展热带特色高效农业的同时落实农业甲烷减排措施并量化全生命周期减排效果。全面提升城镇生活污水收集处理效能、污泥无害化处理和资源化利用水平，有效控制污废水工艺中的甲烷逸散。对于化工行业的含氟气体排放，有关企业应加强对源头减排、过程控制、末端处理和综合利用等全过程减排技术的开发研究。

参考文献

- [1] UNEP. Emissions Gap Report 2024[R/OL]. (2024)[2024-12-20]. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>.
- [2] 国务院办公厅. 加快构建碳排放双控制度体系工作方案: 国办发〔2024〕39号[A/OL]. (2024-07-30)[2025-05-06]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202408/content_6966079.htm.
- [3] 国家发展和改革委员会. 海南: 扎实推进绿色低碳发展[EB/OL]. (2022-06-14)[2025-05-28]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztzl/2022qgjncz/dfjnsj/202206/t20220614_1327256.html.
- [4] 海南省发展和改革委员会. 《海南零碳岛建设行动方案及配套项目谋划》公开招标公告[EB/OL]. (2024-07-26)[2025-05-28]. <https://plan.hainan.gov.cn/sfgw/0400/202407/2cfe0ddefc6f43bfacd4daeba977ebe2.shtml?ddtab=true>.
- [5] 海南省人民政府. 海南低碳岛建设方案[EB/OL]. (2025-07)[2025-07-25]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/szfwj/202507/5b8fc216682c4195988d61e4198e3420.shtml>.
- [6] 海南省统计局, 国家统计局海南调查总队. 2023年海南省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2024-02)[2025-05-29]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/tjgb/202402/240285520f9148fca830eb426f8d046e.shtml?ddtab=true>.
- [7] 新华社. 海南自由贸易港建设总体方案[EB/OL]. (2020-06-01)[2024-12-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2020-06/01/content_5516608.htm.
- [8] 经济日报. 海南: 2022年实现新能源电力全额消纳[EB/OL]. [2024-12-17]. <https://www.desn.com.cn/news/show-1598932.html>.
- [9] 绿色创新发展研究院. 报告摘要: 支持碳中和实现的能源转型之路[R/OL]. (2024). <https://www.igdp.cn/wp-content/uploads/2024/11/2024-11-22-Energy-Transition-Pathways-Supporting-Chinas-Carbon-Neutrality-CN.pdf>.
- [10] 金维钰, 白雪, 史怡, 等. 中国城镇污水处理厂温室气体排放趋势及驱动因子识别[J/OL]. 环境科学研究, 2024, 37(3): 650-660. DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2024.01.16.
- [11] 中国汽车工程学会, 中国汽车技术研究中心有限公司. 汽车产业绿色低碳发展路线图 1.0[Z/OL]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbyss/qcgy/art/2023/art_d81533fcc5aa4748a68c7e232bf12a5e.html.
- [12] 国家发展和改革委员会能源研究所课题组. “十三五”及 2030 年交通部门节能目标研究[R/OL]. (2017). <https://www.efchina.org/Reports-zh/report-20170301-1-zh>.
- [13] 住建部科技与产业化发展中心. 建筑领域碳达峰碳中和实施路径研究[M]. 中国建筑工业出版社, 2021.
- [14] 住建部. 城乡建设领域碳达峰实施方案[Z/OL]. (2022)[2024-06-24]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/13/content_5700752.htm.
- [15] 住建部. “十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划[Z/OL]. (2022). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/12/content_5678698.htm.
- [16] 清华大学气候变化与可持续发展研究院等. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2021.
- [17] 科技部等. 科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)[Z/OL]. (2022-06). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/18/content_5705865.htm.

-
- [18] 工业和信息化部等 . 工业能效提升行动计划 [Z/OL]. (2022). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/29/content_5698410.htm.
- [19] LYNN PRICE, NINA KHANNA, NAN ZHOU, 等 . Reinventing Fire: China – the Role of Energy Efficiency in China’s Roadmap to 2050[R]. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [20] 国家发展和改革委员会 . 关于推进污水资源化利用的指导意见 [Z/OL]. (2021-01-11). https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202101/t20210111_1264795.html.
- [21] 中国营养学会 . 中国居民膳食指南 2022[M]. 人民卫生出版社 , 2022.
- [22] YAO BO, KATERINE ROSS, JINGJING ZHU, 等 . Opportunities to Enhance Non-CO2 GHG mitigation in China[R/OL]. World Resources Institute, 2022. <https://wri.org.cn/sites/default/files/2022-01/opportunities-enhance-non-co2-ghg-mitigation-china-EN.pdf>.
- [23] 中华人民共和国国务院新闻办公室 . 中国的粮食安全 [M]. 人民出版社 , 2019.
- [24] 煤层气 (煤矿瓦斯) 开发利用“十三五”规划 [Z/OL]. (2016-12-04). https://www.gov.cn/xinwen/2016-12/04/content_5142853.htm.
- [25] 国家能源局 . 国家能源局关于征求 2021 年可再生能源电力消纳责任权重和 2022—2030 年预期目标建议的函 [Z]. 2021.
- [26] 国家发展与改革委员会 , 能源局 . 关于加快推动新型储能发展的指导意见 [Z/OL]. (2021). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/24/content_5627088.htm.
- [27] 国务院 . 2030 年前碳达峰行动方案 [Z]. 2021.
- [28] 海南省人民政府办公厅 . 关于印发《海南省加快构建具有特色和优势现代化产业体系三年行动方案 (2025-2027 年) 》的通知 [EB/OL]. (2025-04)[2025-09-03]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/szfbgtwj/202508/a15999332a89400b812a837d8e7dbe19.shtml>.
- [29] 海南省发展和改革委员会 . 海南省氢能产业发展中长期规划 (2023-2025 年) [Z/OL]. (2024-01). <https://www.hnftp.gov.cn/zczdtx/cyzc/202401/P020240109624188622735.pdf>.
- [30] 国家发展和改革委员会 . 关于公布首批车网互动规模化应用试点的通知 (发改办能源〔2025〕241 号)[EB/OL]. (2025-04)[2025-08-06]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202504/t20250402_1396958.html.
- [31] 海南省新闻办公室 . 博鳌近零碳示范区创建情况新闻发布会 [EB/OL]. (2024-03-19)[2025-05-29]. <https://www.hainan.gov.cn/hainan/zmgxwfb/202403/d04448693efd4afbb610c09d6eb85abb.shtml>.
- [32] YOGESHWARI S, LOGANATHAN N, HASSAN A A G. Biofuels in environmental security[M/OL]. Elsevier, 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323911597000011>. DOI:10.1016/B978-0-323-91159-7.00001-1.
- [33] 海南省人民政府办公厅 . 关于印发海南省生物柴油市场推广使用工作方案的通知 [EB/OL]. (2009-04-02)[2024-12-20]. <https://www.hainan.gov.cn/data/zfgb/2009/05/1653/>.
- [34] 海南省人民政府办公厅 . 关于在海南全岛封闭运行生物柴油的建议 [EB/OL]. (2021-06-29)[2024-12-20]. <https://www.hainan.gov.cn/rdjydata-7799.html>.
- [35] 国家发展改革委 , 财政部 . 关于 2025 年加力扩围实施大规模设备更新和消费品以旧换新政策的通知 : 发改环资〔2025〕13 号 [A/OL]. (2025-01-05)[2025-08-06]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202501/content_6997129.htm.

关于绿色创新发展研究院

绿色创新发展研究院（Institute for Global Decarbonization Progress），简称：研究院（iGDP），是专注绿色低碳发展的战略咨询平台，2014 年成立于北京，旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。研究院根植我国地方绿色低碳实践，面向全球应对气候变化进程，为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案及公益性知识产品。

联系方式：

电话：86-10-8532 3096

邮箱：igdpoffice@igdp.cn

网站：www.igdp.cn

地址：中国北京市朝阳区秀水街 1 号建外外交公寓 6-2-62

