

深圳实现“双碳”目标的机制比较与优化选择*

田启波¹ 王沛尧² 刘 畅²

(1.深圳大学生态文明与绿色发展研究中心, 广东 深圳 518060;

2.深圳市汉仑绿色发展研究院, 广东 深圳 518038)

[摘要]在全球应对气候变化与中国推进“双碳”目标的背景下, 深圳作为改革开放前沿城市, 承担着“双碳”实现机制先行探索的重要使命。现有研究对于区域实现“双碳”目标的机制作用多侧重孤立分析或单一机制的效果评估, 难以支撑区域“双碳”优先机制选择。基于此, 构建涵盖绿色技术升级、市场需求、政策支持、绿色金融、强制管控、公众参与、能源结构优化、碳汇建设八大机制及21个量化指标框架, 结合2021—2023年统计数据, 采用熵权-灰色关联分析量化测算八大机制作用。研究发现, 深圳实现“双碳”目标的机制呈现第一梯队领跑, 碳汇建设、市场需求、公众参与构成核心驱动机制; 第二三梯队跟进, 产业绿色技术升级、能源结构优化、政策支持与绿色金融为潜力培育机制; 第四梯队待突破, 强制管控属于弱支撑机制的结构特征。对此, 建议未来1~2年内深化碳汇建设机制、激活绿色消费与产业升级、提升公众参与渗透; 3~5年内引导产业绿色技术升级、能源结构优化机制与政策支持、绿色金融机制形成“技术—资本—政策”闭环; 6~8年内推动强制管控向激励型治理转型的分阶段推进路径。同时, 从政策契合性、基础禀赋、协同创新、利润生成、发展潜力五个方面论证三大核心机制的优先性, 进一步提出完善碳汇交易体系、深化绿色场景建设、数据赋能公众参与、探索建立“湾区碳普惠联盟”与碳账户跨境结算路径、设计分行业碳预算动态调整机制以及构建“数字—能源—碳汇”三元协同模式等推行策略。

[关键词]“双碳”目标 机制选择 熵权-灰色关联分析 碳汇建设 市场需求 公众参与

[中图分类号] X321; F124.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X (2025) 06-0059-10

一、引言

在全球应对气候变化的背景下, 实现“双碳”目标已成为各国的共同使命。深圳作为中国改革开放的前沿城市, 其在“双碳”目标实现机制方面承担重要的先行先试探索任务。在实现

“双碳”目标的过程中, 机制选择推进顺序对于系统性推进、资源优化配置和风险规避具有关键作用。结合深圳的实践与相关学者研究, 机制选择的优先级需基于技术基础性、政策引导性、市场驱动性等逻辑展开。方焯^[1]认为绿色技术创新的产业化需要政策先行以降低市场不确定

收稿日期: 2025-04-28; 修回日期: 2025-09-02

*基金项目: 深圳市哲学社会科学规划 2024 年度重点课题“习近平生态文明思想的深圳实践研究”(SZ2024A002)

作者简介: 田启波, 主任, 教授, 博士研究生导师, 主要从事生态哲学、生态经济与可持续发展研究; 王沛尧, 项目研究员, 主要从事绿色低碳产业、政策效果与区域发展评估研究; 刘畅, 经济学博士, 主任研究员, 深圳大学博士后, 主要从事经济绿色转型与环境规制研究。

性, 优先建立政策框架后引入市场机制, 避免了企业因政策模糊导致的投资滞后。基于此, 测算各类机制对区域实现“双碳”目标作用力大小, 探究应当选择哪些机制率先发力以助力区域实现“双碳”目标, 是亟需关注的关键问题。从理论层面看, 通过解构绿色技术升级、市场需求、政策支持、绿色金融、强制管控、公众参与、能源结构优化、碳汇建设等多维机制对深圳“双碳”目标实现的推动作用, 为区域低碳治理理论提供机制作用视角的范式创新, 丰富生态管理领域关于政策工具组合与制度设计的研究理论框架。从现实价值看, 量化评估八大机制对深圳“双碳”目标实现的推动作用, 有助于精准识别当前各个机制的作用边界, 为深圳优化“双碳”建设提供最有效的路径选择。

随着全球对气候变化问题的关注度不断提高, 学术界围绕降碳减排的技术创新、市场激励、政策导引、金融赋能等进行了持续的探讨与深入细化的研究。技术创新是产业绿色转型的有效选项。姜玲等^[2]提出, 优先布局绿色技术升级与能源结构优化, 能够为后续机制提供坚实的基础支撑。Acemoglu^[3]的研究表明, 实现绿色转型的核心在于低碳转型, 绿色技术进步对于经济环境的协调发展具有重要促进作用, 产业结构低碳化可有效提升产业国际竞争力。市场激励与政策导引“双向发力”加速城市降碳减排。市场在资源配置中起着决定性作用, 通过价格信号引导绿色低碳资源流向更有效率的领域。夏昕鸣等^[4]的实证研究显示, 市场需求通过消费侧偏好和碳定价机制引导资源向低碳领域配置, 价值链消费侧需求每提升10%, 企业绿色发明专利数量增加7.3%。政策工具与环境规制相辅相成, 倒逼效应正在加速形成。Meckling^[5]指出, 单一政策易陷入“政治死角”, 而通过政策组合优化可实现环境、经济和能源系统的协同去碳化, 这为关于政策支持机制的分析提供理论支持。绿色金融也是促进可持续

发展的重要手段。Flammer^[6]发现, 发行绿色债券能够显著提升市场价值, 尤其在能源、制造业等环境敏感行业中, 绿色债券募集资金支持的可再生能源项目可降低长期碳排放强度。

总体而言, 目前我国围绕各类机制对实现“双碳”目标的推动作用已有深入研究, 涉猎范围较广, 涵盖技术、市场、政策、管控手段、生态环境基础等方面, 但对区域实现“双碳”目标的机制作用缺乏综合比较分析, 多侧重孤立分析或单一机制的效果评估, 导致较少研究可为区域实现“双碳”目标的优先机制选择提供策略建议。本文在上述研究基础上, 从机制作用的比较分析角度出发, 综合比对不同机制对于深圳实现“双碳”目标的作用, 甄别深圳“双碳”目标实现机制的“优先级”, 为深圳下一阶段“双碳”发展锚定重点路径方向。

二、深圳实现“双碳”目标的机制框架构建

国内外学者在研究区域“双碳”目标实现机制时, 基于多维视角构建了丰富的机制框架体系。蒋明等^[7]选取了优化升级产业结构、控制碳排放总量和强度、降低能源资源消耗、优化城市空间布局、提高城市基础设施运行效率、推动绿色交通、推广绿色建筑和创建绿色社区等涉及城市低碳发展的8个主要机制, 构建了低碳城市发展的指标体系; 周成^[8]基于“政策机制—政策类型—政策路径”理论框架, 形成区域“双碳”目标实现的能源转型、产业升级、碳交易市场、生态碳汇、人工固碳五类机制路径。

基于上述区域实现“双碳”目标的机制选择研究基础, 结合我国已构建碳达峰碳中和“1+N”政策体系^①的目标要素, 本文设置的深圳“双碳”目标实现机制框架指标体系包括绿色技术升级、市场需求、政策支持、绿色金融、强制管控、公众参与、能源结构优化、碳汇建

① “1”为2021年9月22日发布的《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》; “N”包括科技支撑、碳汇能力、统计核算、督察考核等支撑措施和财政、金融、价格等保障政策。

设八大机制以及21个量化指标。其中,技术创新推动产业绿色升级,满足环保要求并创造经济效益;市场机制通过需求拉动促进绿色技术扩散;政策工具通过财政、税收等手段激励企业绿色转型;绿色金融为绿色产业提供资金支持,降低转型成本;环境规制约束企业行为,确保碳减排责任落实;社会参与突出绿色共识,形成舆论压力和公众行动,促进各方履行减排责任;能源经济学强调优化能源结构,发展清洁能源,降低碳排放;生态系统服务通过碳汇建设改善生态环境,实现生态与经济的双赢。

表1 深圳“双碳”目标实现机制的理论基础与创新实践概览		
机制类型	核心理论基础	深圳创新实践案例
产业绿色技术创新	技术创新理论:绿色技术进步推动产业低碳转型	1.布局CCUS全链条商业化项目 2.培育134家国家级绿色工厂 3.设立新材料领域基础研究规划
市场需求驱动	市场机制理论:消费侧偏好引导资源低碳配置	1.建成超300座公用超充站; 2.2023年绿色建筑面积达3279万平方米 3.新能源汽车保有量97.1万辆
政策支持引导	政策工具理论:政策组合优化协同去碳化	1.发布《碳达峰实施方案》 2.构建“1+N”政策矩阵 3.分领域制定能源、交通等行动计划
绿色金融支撑	绿色金融理论:金融资源引导绿色产业发展	1.全国首部绿色金融条例立法 2.福田区气候投融资试点对接项目123个 3.绿色贷款余额超9114亿元
强制管控约束	环境规制理论:强制性政策倒逼企业减排	1.试点“碳排放强度与总量双控”制度 2.制造业重点行业配额管理 3.从能耗双控向碳排放双控转型
公众参与协同	社会参与理论:公众行为形成低碳社会共识	1.碳普惠体系实现个人减碳变现 2.注册环保志愿者超52万人 3.“碳惠梅沙”低碳消费场景建设
能源结构优化	能源经济学理论:清洁能源替代降低碳排放	1.虚拟电厂调节能力达100万千瓦 2.“光储直柔”建筑试点 3.非化石能源占比持续提升
碳汇建设支撑	生态系统服务理论:自然碳汇抵消人为排放	1.全国首创红树林碳汇全链条交易机制,实现全国首单红树林保护碳汇交易(485元/吨) 2.颁发碳汇凭证和办理自然资源碳汇登记,创新产权登记方式

图表来源:作者自制。

根据深圳实现“双碳”目标机制作用21个量化指标设置情况,选取时间2021年、2022年、2023年为评价期。

表2 2021—2023年深圳实现“双碳”目标机制设计与相关数据一览表				
影响机制	量化指标	2021年	2022年	2023年
产业绿色技术创新机制	绿色低碳产业增加值占战略性新兴产业增加值比重	11.42%	12.99%	15.28%
	绿色低碳产业就业人口(万人)	97.86	96.5	95.17
	国家级绿色工厂(家)	45	79	134
市场需求机制	公共汽(电)车营运车(辆)	37379	35533	35979
	新能源汽车保有量(万辆)	54.4	74	97.1
	新增绿色建筑面积(万平方米)	1886.56	1816	3279
政策支持机制	绿色低碳产业专项扶持资金(万元)	8121.06	7972.8	14249.06
绿色金融机制	绿色金融贷款余额(亿元)	4485	5751	9114.1
	经认定的绿色金融机构数量(家)	11	22	23
强制管控机制	实际碳排放签发配额(万吨)	2500	2600	2600
公众参与机制	深圳市绿色单位创建数量(家)	777	1243	3030
	全年受理环境信访投诉量(宗)	63000	48463	36005
	注册环保志愿者人数(万人)	3.6	13.7	52

(续表)				
影响机制	量化指标	2021年	2022年	2023年
能源结构优化机制	能源消费弹性系数	1.11	-0.79	0.88
	单位GDP电耗(千瓦时/万元)	359.83	331.55	326.11
	单位GDP水耗(立方米/万元)	6.25	5.69	5.41
碳汇建设机制	森林生态系统面积占比	44%	44%	44%
	建成区绿化覆盖率	45.10%	43.1%,	43.56%
	陆域自然保护地面积占比	24.75%	24%	24%
	碳配额成交量(万吨)	5828	6570	7792.35
	国家核证自愿减排量(CCER)成交量(万吨)	2023.36	2871	2958.80
实现“双碳”目标	碳排放强度增速	-2.00%	-2.00%	-5%

数据来源:2021—2023年《深圳统计年鉴》《深圳市国民经济和社会发展统计公报》《深圳市生态环境状况公报》。

三、深圳实现“双碳”目标机制作用的量化测算与比较分析

在“双碳”目标机制作用的量化测算方面,现有研究多采用传统计量模型,存在明显局限。冯新惠等^[9]采用Kaya恒等式模型,仅能解释碳排放量存量变化,无法反映流量变化;谌莹等^[10]采用ImPACT模型,虽扩展了IPAT模型的因素考量,但参数估计复杂、依赖大量数据,且因素间相互作用难以精确量化;刘定平等^[11]采用空间杜宾模型(Spatial Durbin Model, SDM),虽能解决空间自相关性问题,却因模型复杂对数据和计算能力要求高,且对空间权重矩阵设定敏感,易导致结果偏差。上述模型虽然在一定程度上能够分析不同因素对碳排放的影响,但存在一些共性问题:一是依赖大样本数据,难以适应数据量有限或数据异构化的复杂情况;二是忽略了指标之间的非线性关联,导致结果的片面性;三是模型复杂度较高,对数据和计算能力要求严格,且存在参数估计复杂、空间权重矩阵设定敏感等问题,影响结果的稳定性和可靠性。基于此,本文采用熵权—灰色关联分析组合模型对深圳实现“双碳”目标的机制作用进行计量测算。鉴于深圳“双碳”目标的复杂性、多维度指标特性以及数据特征,通过指标数据的离散程度计算权重,数据变异程度越大,权重越高,避免人为赋权的主观偏差(如层次分析法的专家打分依赖);以客观赋权解决主观权重偏差,利

用关联分析适应数据特性,精准适配深圳“双碳”目标的多维度、动态化、数据异构化特征,弥补面板数据模型依赖大样本、忽略指标非线性关联等传统计量模型的不足。

通过SPSSAU软件完成测算,测评结果主要为2021—2023年产业绿色技术升级机制、市场需求机制、政策支持机制、绿色金融机制、强制管控机制、公众参与机制、能源结构优化机制、碳汇建设机制对深圳实现“双碳”目标的作用评价得分。

(一) 标准化处理原始数据

现有的指标体系中存在正、负两种类型的指标,且各类数据的量纲并不相同。基于此,对原始数据值进行极差标准化处理,使得数据指标方向性及量纲具有一致性,处理后数据如表3所示。

$$\text{对于正向指标} Z_{ij}: \frac{X_i - \min}{\max - \min} \quad (1)$$

$$\text{对于负向指标} Z_{ij}: \frac{\max - X_i}{\max - \min} \quad (2)$$

表3 相关指标标准化处理数据表

影响机制	量化指标	2021年	2022年	2023年	方向
产业绿色技术升级机制	绿色低碳产业增加值占战略性新兴产业增加值比重	0.000	0.407	1.000	正向
	绿色低碳产业就业人口	1.000	0.494	0.000	正向
	国家级绿色工厂	0.000	0.382	1.000	正向
市场需求机制	公共汽(电)车营运车	1.000	0.000	0.242	正向
	新能源汽车保有量	0.000	0.459	1.000	正向
	新增绿色建筑面积	0.048	0.000	1.000	正向
政策支持机制	绿色低碳产业专项扶持资金	0.024	0.000	1.000	正向
绿色金融机制	绿色金融贷款余额	0.000	0.273	1.000	正向
	经认定的绿色金融机构数量	0.000	0.917	1.000	正向
强制管控机制	实际碳排放签发配额	1.000	0.000	0.000	负向
公众参与机制	深圳市绿色单位创建数量	0.000	0.207	1.000	正向
	全年受理环境信访投诉量	0.000	0.539	1.000	负向
	注册环保志愿者人数	0.000	0.209	1.000	正向
能源结构优化机制	能源消费弹性系数	0.000	1.000	0.121	负向
	单位GDP电耗	0.000	0.839	1.000	负向
	单位GDP水耗	0.000	0.667	1.000	负向
碳汇建设机制	森林生态系统面积占比	0.000	0.000	0.000	正向
	建成区绿化覆盖率	1.000	0.000	0.230	正向
	陆域自然保护地面积占比	1.000	0.000	0.107	正向
	碳配额成交量	0.000	0.378	1.000	正向
	国家核证自愿减排量(CCER)成交量	0.000	0.906	1.000	正向

(二) 信息熵与权重计算

计算比重 P_{ij} :

$$\text{比重} P_{i1} = Z_{i1} \div (Z_{i1} + Z_{i2} + Z_{i3}) \quad (3)$$

$$\text{比重} P_{i2} = Z_{i2} \div (Z_{i1} + Z_{i2} + Z_{i3}) \quad (4)$$

$$\text{比重} P_{i3} = Z_{i3} \div (Z_{i1} + Z_{i2} + Z_{i3}) \quad (5)$$

计算信息熵 e_i :

$$e_i = -\frac{1}{\ln(3)} (P_{i1} \times \ln P_{i1} + P_{i2} \times \ln P_{i2} + P_{i3} \times \ln P_{i3}) \quad (6)$$

计算差异系数 d_i :

$$d_i = 1 - e_i \quad (7)$$

计算权重 w_i :

$$w_i = d_i \div (\sum_{i=1}^3 d_i) \quad (8)$$

表4 量化指标权重计算结果

影响机制	量化指标	信息熵 e_i	差异系数 d_i	权重 w_i
产业绿色技术升级机制	绿色低碳产业增加值占战略性新兴产业增加值比重	0.548	0.452	0.037
	绿色低碳产业就业人口	0.579	0.421	0.035
	国家级绿色工厂	0.537	0.463	0.038
市场需求机制	公共汽(电)车营运车	0.449	0.551	0.046
	新能源汽车保有量	0.568	0.432	0.036
	新增绿色建筑面积	0.171	0.829	0.069
政策支持机制	绿色低碳产业专项扶持资金	0.101	0.899	0.075
绿色金融机制	绿色金融贷款余额	0.474	0.526	0.044
	经认定的绿色金融机构数量	0.631	0.369	0.031
强制管控机制	实际碳排放签发配额	0.002	0.998	0.083
公众参与机制	深圳市绿色单位创建数量	0.418	0.582	0.048
	全年受理环境信访投诉量	0.590	0.410	0.034
	注册环保志愿者人数	0.420	0.580	0.048
能源结构优化机制	能源消费弹性系数	0.312	0.688	0.057
	单位GDP电耗	0.628	0.372	0.031
	单位GDP水耗	0.613	0.387	0.032
碳汇建设机制	森林生态系统面积占比	0.003	0.997	0.083
	建成区绿化覆盖率	0.439	0.561	0.046
	陆域自然保护地面积占比	0.290	0.710	0.059
	碳配额成交量	0.535	0.465	0.039
	国家核证自愿减排量(CCER)成交量	0.631	0.369	0.031

(三) 灰色关联度计算

1. 参考序列(碳排放强度增速)

碳排放强度增速原始数据:2021年为-0.02, 2022年为-0.02, 2023年为-0.05(负向指标)。

碳排放强度增速标准化数据 N_j : 2021年为0, 2022年为0, 2023年为1.0。

2. 计算量化指标的关联度

绝对差 $\Delta_j = Z_{ij} - N_j$

关联系数(分辨系数 $\rho=0.5$):

$$\gamma_{2021} = \frac{\min(\Delta_j) + \rho \times \max(\Delta_j)}{\Delta_1 + \rho \times \max(\Delta_j)} \quad (10)$$

$$\gamma_{2022} = \frac{\min(\Delta_j) + \rho \times \max(\Delta_j)}{\Delta_2 + \rho \times \max(\Delta_j)} \quad (11)$$

$$\gamma_{2023} = \frac{\min(\Delta_j) + \rho \times \max(\Delta_j)}{\Delta_3 + \rho \times \max(\Delta_j)} \quad (12)$$

$$\text{灰色关联度 } g_i = \frac{1}{3} (\gamma_{2021} + \gamma_{2022} + \gamma_{2023}) \quad (13)$$

表5 深圳实现“双碳”目标机制量化指标灰色关联度

影响机制	量化指标	灰色关联度 g_i
产业绿色技术升级机制	绿色低碳产业增加值占战略性新兴产业增加值比重	0.778
	绿色低碳产业就业人口	0.775
	国家级绿色工厂	0.778
市场需求机制	公共汽(电)车营运车	0.577
	新能源汽车保有量	0.778
	新增绿色建筑面积	0.778
政策支持机制	绿色低碳产业专项扶持资金	0.778
绿色金融机制	绿色金融贷款余额	0.778
	经认定的绿色金融机构数量	0.778
强制管控机制	实际碳排放签发配额	0.556
公众参与机制	深圳市绿色单位创建数量	0.778
	全年受理环境信访投诉量	0.778
	注册环保志愿者人数	0.778
能源结构优化机制	能源消费弹性系数	0.565
	单位GDP电耗	0.778
	单位GDP水耗	0.778
碳汇建设机制	森林生态系统面积占比	0.778
	建成区绿化覆盖率	0.576
	陆域自然保护地面积占比	0.564
	碳配额成交量	0.778
	国家核证自愿减排量(CCER)成交量	0.778

(四) 综合得分计算及结果分析

产业绿色技术升级机制综合得分:

$$S_1 = w_1 \times g_1 + w_2 \times g_2 + w_3 \times g_3 \tag{14}$$

市场需求机制综合得分:

$$S_2 = w_4 \times g_4 + w_5 \times g_5 + w_6 \times g_6 \tag{15}$$

政策支持机制综合得分:

$$S_3 = w_7 \times g_7 \tag{16}$$

绿色金融机制综合得分:

$$S_4 = w_8 \times g_8 + w_9 \times g_9 \tag{17}$$

强制管控机制综合得分:

$$S_5 = w_{10} \times g_{10} \tag{18}$$

公众参与机制综合得分:

$$S_6 = w_{11} \times g_{11} + w_{12} \times g_{12} + w_{13} \times g_{13} \tag{19}$$

能源结构优化机制综合得分:

$$S_7 = w_{14} \times g_{14} + w_{15} \times g_{15} + w_{16} \times g_{16} \tag{20}$$

碳汇建设机制综合得分:

$$S_8 = w_{17} \times g_{17} + w_{18} \times g_{18} + w_{19} \times g_{19} + w_{20} \times g_{20} + w_{21} \times g_{21} \tag{21}$$

根据深圳实现“双碳”目标机制作用综合评分结果,深圳在“双碳”目标实现的八大机制中呈现“第一梯队领跑、第二三梯队跟进、第四梯队待突破”的整体结构特征,当前的机制优势反映其作为市场化改革前沿的独特路径——通过

碳汇生态筑牢底线、市场需求激活动能、公众参与凝聚共识,形成了区别于行政主导型城市的低碳转型模式。未来需破解强制管控模式不完善的问题,从依赖单一机制优势转向“制度创新+技术突破+生态协同”的系统升级。

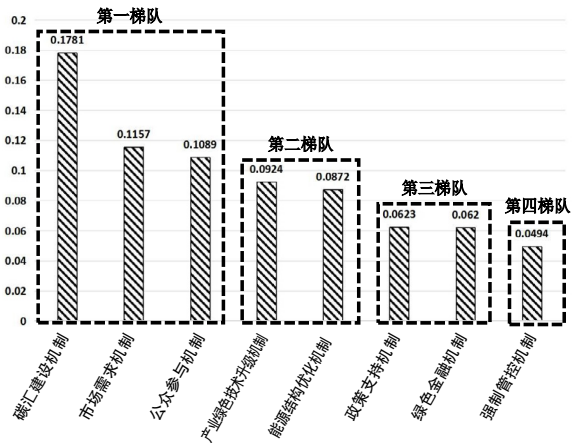


图1 深圳实现“双碳”目标机制作用综合评分与梯队分布情况

第一梯队(0.10分以上):核心驱动机制。碳汇建设机制(0.1781分)、市场需求机制(0.1157分)、公众参与机制(0.1089分)形成“三驾马车”,是深圳低碳转型的核心动能,得分显著高于其他机制(超出第二梯队均值45%),体现了深圳在生态本底、市场活力和社会共识上的先发优势。

第二三梯队(0.06-0.09分):潜力培育机制。产业绿色技术升级机制(0.0924分)、能源结构优化机制(0.0872分)、政策支持机制(0.0623分)、绿色金融机制(0.0620分)处于中间水平,虽未形成绝对优势,但作为支撑“双碳”目标的关键硬件基础,具备快速提升空间,需强化技术转化与能源结构调整。

第四梯队(0.05分以下):弱支撑机制。强制管控机制(0.0494分)处于末位第四梯队,反映出制度创新与行政效能存在短板,需解决政策协同性及部分领域管控效率低的现实问题。

(五) 制定机制发展时序优先推进等级

以机制效能为核心,分阶段激活机制潜力,基于八大机制的得分差异与功能定位,构建“巩固第一梯队优势、强化第二三梯队动能、补齐四梯队短板”的时间轴策略,通过政策链、

产业链、创新链的深度耦合,形成“优势机制引领、潜力机制跟进、弱支撑机制转型”的协同发展格局。未来1~2年为巩固优势发展期,充分发挥第一梯队碳汇建设机制、市场需求机制、公众参与机制的引领带动作用,深化碳汇建设机制,打造全球蓝碳交易标杆,激活绿色消费与产业升级,提升公众参与渗透率,构建全民低碳行为网络。未来3~5年为潜力机制加速期,加速释放第二三梯队产业绿色技术升级机制、能源结构优化机制、政策支持机制、绿色金融机制的协同推动作用,引导产业绿色技术升级、能源结构优化等第二梯队机制与政策支持、绿色金融等第三梯队机制形成“技术—资本—政策”闭环,设立“双碳”技术攻关基金,建设国家级绿色技术创新中心,重点突破碳捕集利用封存、零碳工业流程等“卡脖子”技术;未来6~8年为弱支撑机制转型期,再度激活强制管控机制的激励导引作用,从强制管控转向激励管控转变,构建全要素协同的长效治理体系,实现“管控+碳汇”联动,运用区块链技术实现碳排放数据实时溯源,对重点企业实施“碳账户红黄绿”分级管理,倒逼高碳企业转型。该路径计划既尊重机制发展的现实基础,又通过制度创新打破要素流动壁垒,为应对气候危机提供了“分层推进、动态优化”的深圳方案,其核心在于以时间轴解构机制演进逻辑,以协同性重构治理生态,最终形成可持续的内生增长动力。

(六) 熵权法权重的计量合理性检验

根据信息熵理论,熵值越大表示信息的无序化程度越高,相对应的信息有效性越低。^[12]通常认为,当指标的信息熵值 e_i 低于0.9时,认为权重数值较为可靠。此时,数据变异程度较高,指标能够有效区分评价对象,提供的信息量充足,权重分配具有实际意义。根据前文中各项量化指标的信息熵计量数据,本文中所有量化指标的信息熵值均低于0.9(详见表4),落入可靠性阈值范围,通过熵权法权重合理性检验,从计量分析角度看可认为本次深圳实现“双碳”目标机制作用综合评分结果具有有效性及合理性。

四、深圳实现“双碳”目标机制选择的依据与合理性分析

根据前文机制作用量化测算结果,碳汇建设、市场需求、公众参与是当前对深圳实现“双碳”目标推动作用最强的三类机制,加之在现实情况下,该三类机制符合深圳政策导向,具备发展资源基础优势禀赋,打造了良好创新生态,形成自主利润生成模式以及未来广阔的发展前景,故将该三类机制作为现阶段深圳优先重点发力的机制路径方向。

(一) 契合政府政策导向

碳汇建设、市场需求、公众参与三类机制高度契合深圳战略导向,通过政策工具精准化设计,依托碳汇建设提供生态价值转化范式,市场需求牵引产业技术变革,公众参与重塑社会治理逻辑,为实现“双碳”目标提供了可复制的政策样本。深圳通过顶层设计整合,于2023年9月印发《深圳市碳达峰实施方案》,制定“生态系统碳汇提升行动”“市场助力碳达峰行动”“城乡建设绿色低碳行动”以及“绿色低碳全民行动”,有针对性地引导碳汇建设、市场需求、公众参与三类机制对深圳实现“双碳”目标发挥推动作用,使碳汇建设、市场需求和公众参与三大机制形成政策闭环。

表6 碳汇建设、市场需求、公众参与三类机制与深圳政策匹配情况

专项行动	政策主要内容	支撑机制
生态系统碳汇提升行动	深入践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念,推动“山海连城绿美深圳”生态建设,保护修复城乡生态系统,稳步提升生态系统碳汇能力,为碳达峰碳中和贡献生态资源力量。	碳汇建设机制
交通运输碳达峰行动	持续优化交通运输结构,大力推进交通工具清洁能源替代,加快绿色交通基础设施布局建设,提升清洁能源基础设施供给服务水平,推动交通运输领域整体有序达峰。	市场需求机制
城乡建设绿色低碳行动	坚持将绿色低碳要求贯穿城乡规划建设管理各环节,全面推广超低能耗建筑技术,实施既有建筑规模化节能改造,建立建筑能耗和碳排放约束机制,系统推进城乡建设全面绿色低碳发展。	
绿色低碳全民行动	充分发挥志愿者之城优势,开展生态文明宣传教育,倡导绿色生产生活方式,把绿色低碳理念转化为全社会自觉行动。	公众参与机制

资料来源:根据2023年9月深圳市人民政府印发的《深圳市碳达峰实施方案》整理所得。

(二) 拥有发展基础禀赋优势

深圳在碳汇建设、市场需求、公众参与三大机制上的发展基础优势,源于其独特的生态禀赋、产业基因、社会结构与制度创新的深度耦合,形成了低碳转型的差异化竞争优势,这

种独特的发展基础,使深圳在“双碳”实践中能够快速聚合资源、突破瓶颈,形成“生态资源价值化、产业需求绿色化、公众参与常态化”的可持续发展路径,为国内外低碳转型城市提供了“资源禀赋与制度创新双轮驱动”的典范。

机制	发展基础
碳汇建设	森林覆盖率44%,湿地总面积347.88平方公里,深汕特别合作区的红树林碳储量已达2031.27吨。深圳湾滨海红树林修复、茅洲河综合整治等项目成为全国生态修复示范。
市场需求	全市新能源汽车保有量达97.1万辆,占全国7.4%;绿色建筑总面积2.1亿平方米,32个近零碳建筑试点形成示范。
公众参与	286家环保社会组织构成全国最活跃的公益网络,注册环保志愿者超52万人,垃圾分类参与率98%,市民环保意识居全国前列。

资料来源:根据2021—2023年《深圳市国民经济和社会发展统计公报》《深圳市生态环境状况公报》公布数据信息整理所得。

(三) 呈现协同创新生态

“技术—市场—社会”的协同创新,使深圳成为国内外城市低碳转型的创新系统,其经验可复制性正在大湾区乃至全国范围内产生示范效应,为全球城市实现“双碳”目标提供科技引领的深圳方案。碳汇建设体现了生态与技术的高度融合,深圳的红树林碳汇项目实现了全国首单交易,证明了技术赋能下生态产品的市场化可行性;市场需求机制展示了创新驱动的绿色经济发展模式,通过绿色消费市场的扩张带动了相关产业的协同发展,形成了经济增长新动能;公众参与机制构建了全社会共同参与的低碳转型模式,通过区块链等技术手段增强了透明度与可信度。

机制	协同创新
碳汇建设	碳汇数字孪生技术保持领先,整合6个高精度、22个中精度及3个海洋碳汇自动监测点位,碳源汇智慧感知能力全国领先。
市场需求	绿色科技产业集群持续突破,2023年全市绿色低碳产业增加值2213.58亿元,占战略性新兴产业增加值比重15.28%。
公众参与	碳普惠平台与数字技术深度融合,推动“低碳星球”小程序融合区块链技术实现碳积分确权,开发气候影视大会等文化传播载体。

资料来源:根据2021—2023年《深圳市国民经济和社会发展统计公报》《深圳市生态环境状况公报》公布数据信息整理所得。

(四) 形成低碳转型利润生成模式

深圳推动三大机制形成利润协同效应,碳汇建设提供底层资产、市场需求创造流动性溢价、公众参与扩大市场规模,共同支撑起千亿级绿色经济生态,形成独特的区域低碳转型利润

生成模式。碳汇建设通过市场化手段将碳汇的正外部性内部化,使得生态系统的服务价值能够在市场中得到体现。市场需求机制通过政策引导和市场设计,矫正了绿色技术市场中的信息不对称和风险溢价过高的问题,降低了市场失灵的可能性。公众参与机制则通过激励相容的设计,提高了公共物品供给的效率,使得低碳转型成为全社会的共同行动。

机制	利润生成
碳汇建设	红树林碳汇拍卖单价达106元/吨,预计2030年海洋碳汇年交易额超5亿元;深圳碳排放权交易市场累计成交额超50亿元。
市场需求	绿色消费市场规模超5000亿元,比亚迪等企业通过碳积分交易年增收超10亿元。
公众参与	碳普惠平台年交易额突破2亿元,带动共享出行、二手交易等绿色消费增长30%,用户ARPU值提升至40元/年。

资料来源:根据2021—2023年《深圳市国民经济和社会发展统计公报》《深圳市生态环境状况公报》公布数据信息整理所得。

(五) 具备宽广未来发展潜力

深圳在碳汇建设、市场需求和公众参与三大机制呈现出“技术迭代加速、市场深度激活、社会协同升级”的鲜明发展特征。下一阶段,深圳将以生态资本激活市场潜力,将红树林等生态系统的服务价值纳入市场交易体系,实现生态与经济的良性互动;以技术创新突破制度瓶颈,利用区块链技术提高碳交易的透明度和效率;以数字工具重构社会参与,通过智能平台促进公众与企业 and 政府之间的信息共享和协同行动,最终实现经济增长与生态保护的深度融合。

机制	未来发展潜力
碳汇建设	整合空天地一体化监测网络,计划到2030年新增红树林面积50公顷,碳汇价值核算体系完善后,预计年碳汇量可达50万吨。
市场需求	“1.5小时产业配套圈”缩短新能源汽车研发量产周期至3周,未来将扩展至储能、光伏等领域。虚拟电厂调节能力计划从150万千瓦提升至300万千瓦。
公众参与	优化“深环AI”小程序,具备智能垃圾分类识别、污染举报“一键直连”、碳足迹测算等功能,提升市民环保参与效率。

资料来源:根据2021—2023年《深圳市国民经济和社会发展统计公报》《深圳市生态环境状况公报》公布数据信息整理所得。

五、深圳实现“双碳”目标优先机制的推行策略

优先巩固优势机制,夯实机制作用力第一

梯队引领地位,继续发挥碳汇建设、市场需求、公众参与三大机制对深圳实现“双碳”目标的核心引擎作用,形成全国示范效应。

(一)完善碳汇市场交易体系与碳汇技术能力提升

构建市场化碳汇交易体系,推动生态价值显性化。多元化碳汇产品开发,扩展森林、湿地、海洋等碳汇类型,建立异地碳汇补偿机制。鼓励对口帮扶地区开发林业碳汇项目,探索跨区域碳汇交易与生态补偿联动。此外,推动“零碳公园”“负碳公园”建设,构建公园城市碳汇网络。

完善红树林碳汇三维监测体系,融合高光谱遥感与激光雷达技术,建立空天地一体化碳汇数据平台。推动《红树林保护项目碳汇方法学》升级为国际标准,联合粤港澳大湾区构建蓝碳交易联盟,探索与国际红树林中心成员国共建碳汇定价权。试点海洋碳汇与CCUS技术协同应用,依托南海百万吨级封存示范工程,探索“红树林固碳+海底封存”的负碳技术商业化路径。

(二)深化绿色建筑与零碳交通场景基础设施建设

打造示范性应用场景,建设“零碳物流走廊”,整合盐田港智慧航运、氢能重卡与多式联运体系,形成“港口—产业—城市”的闭环减碳网络。在建筑领域,以深圳国际低碳城为核心,推广近零碳社区试点,通过数字化碳管理平台实现楼宇能耗实时监测与动态优化。

完善绿色交通与建筑标准,建立覆盖全生命周期的碳排放核算标准,将绿色建筑星级认证、交通碳足迹标识与碳普惠体系挂钩(如深圳已试点碳普惠核证减排量交易),推动企业主动披露ESG信息并纳入深港两地互认框架。建议深圳借鉴香港联交所ESG指引,制定差异化补贴政策,对达到超低能耗建筑标准或零碳交通场景的项目给予容积率奖励、税收减免等激励。

建立绿色消费认证体系,推行“深圳绿色认证”标识,对获得认证的新能源汽车、绿色建材

给予政府采购倾斜;对消费者购买认证产品,给予购置税减免。

(三)加强数据赋能与公众参与

建设“双碳”智慧管理平台,整合交通与建筑领域能耗数据,构建“双碳云网”信息系统,实现能源消费、碳排放与碳汇数据的动态追踪与可视化分析。通过AI算法优化公交线路与建筑光热系统联动,提升系统能效。同时,依托平台建立“问题发现—专业处置—效果评估”的自治链条,推广公众诉求反映的数字化技术渠道,构建市民建议转化政策落地的快速通道,降低政府生态治理成本。

激发公众低碳行为转化,设计碳积分与绿色消费关联机制,将个人骑行公共自行车、购买绿色建材等行为量化并兑换为公共服务优惠,同时依托社区试点开展碳普惠教育,培育低碳生活方式共识。

(四)探索建立“湾区碳普惠联盟”与碳账户跨境结算路径

设立“湾区碳普惠联盟”,整合粤港澳大湾区内“9+2”城市群的碳普惠资源与平台,构建统一的碳普惠合作框架,促进大湾区碳普惠制的协同共进。在此基础上,着力推动深港碳积分互认,搭建碳积分互认的标准化体系,明确互认的项目类型、核算方法与认证流程等关键要素,确保两地碳积分在兑换及使用上实现无缝对接。重点针对公共交通、节能减排等具有显著碳减排成效的通用场景,率先实施碳积分双向互认,拓宽居民获取碳积分的渠道,提升碳积分的使用价值与灵活性。

探索碳账户跨境结算路径,借助以区块链技术为核心的金融科技手段,建立安全、高效的跨境碳账户结算系统,实现碳账户资金的便捷流通与结算。同时,制定相关的激励政策和优惠措施,鼓励企业和居民积极参与跨境碳交易与碳减排活动,激发大湾区碳市场跨境结算的整体活力,推动区域碳减排事业向更深层次、更广领域发展,将大湾区打造成为全国乃至全球碳账户跨境结算合作的典范区域。

(五) 设计分行业碳预算动态调整机制

定制行业碳预算分配方案。建立分行业碳预算动态调整机制,综合考量宏观经济形势、行业技术进步、市场需求变化以及政策导向等多重要素,定期对各行业的碳预算进行评估与调整。对于高新技术产业等低碳转型潜力大的行业,适当增加碳预算分配,鼓励企业加大在节能减排技术研发和应用方面的投入,推动产业升级与绿色转型;对于传统高耗能行业,则相应调减碳预算,促使企业加快技术改造和结构优化步伐,淘汰落后产能。在此过程中,充分运用大数据、人工智能等先进技术手段,对各行业的碳排放数据进行实时监测和精准分析,为碳预算的动态调整提供科学依据,确保深圳在实现“双碳”目标的进程中,既能保障经济的持续稳定增长,又能有效控制碳排放总量,实现经济社会发展与生态环境保护的协调共进。

(六) 构建“数字—能源—碳汇”三元协同模式

结合深圳在数字技术、能源管理以及碳汇建设等方面的实践创新,构建“数字—能源—碳汇”三元协同模型,强调通过数字技术赋能能源结构优化与碳汇能力提升,实现三者间协同。一是数字赋能能源管理与碳汇监测。建立数字化管理平台,整合深圳全市能源生产、消费、传输等环节的数据,通过大数据分析和人工智能算法,优化能源配置,提高能源利用效率,降低能源消耗和碳排放。二是能源结构优化与碳汇能力提升协同推进。结合深圳的生态系统特点,实施森林碳汇、湿地碳汇、海洋碳汇等提升工程。通过植树造林、湿地修复、红树林保护等措施,增加生态系统的碳汇能力。三是打造并推广“深圳范式”。总结深圳在“数字—能源—碳汇”三元协同方面的实践经验,形成具有深圳特色的“深圳范式”,通过举办国际论坛、研讨会等活动,推广深圳在“双碳”目标实现方面的先进理念和技术,分享“深圳范式”的成功经验。

参考文献:

[1]方烨. 双碳目标下绿色技术创新转型路径研究[J].

湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2024, 21(5): 32-37.

[2]姜玲, 胡佳霖, 张子略. 数字经济的“降碳增效”效应及其实现路径: 来自88个国家的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(6): 1-15.

[3]ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN, L, et al. The environment and directed technical change[J]. American Economic Review, 2012, 102(1): 131-166.

[4]夏昕鸣, 王清纯, 高宇宁. 价值链消费侧需求与企业绿色创新低碳转型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2025, 27(11): 1-15.

[5]MECKLING J, Sterner T, WAGNER G. Policy sequencing toward decarbonization[J]. Nature Energy, 2017, 2(12): 918-922.

[6]FLAMMER C. Corporate green bonds[J]. Social Science Electronic Publishing, 2018, 23(11): 1-21.

[7]蒋明, 朱宁. “双碳”目标下低碳城市发展和指标体系构建[J]. 浙江经济, 2022(11): 42-44.

[8]周成. “双碳”政策的知识图谱、研究热点与理论框架[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2023, 25(4): 94-112.

[9]冯新惠, 李艳, 王诗逸, 等. “双碳”目标下城市形态对碳排放的影响: 以长江经济带为例[J]. 环境科学, 2024, 45(6): 3389-3401.

[10]湛莹, 石柳. 中国双碳目标达成的区域差异预测及其影响因素研究[J]. 生态学报, 2025(10): 1-14.

[11]刘定平, 施雨. 中国“双碳”目标背景下数字经济赋能区域绿色发展的碳减排效应研究[J]. 区域经济评论, 2024(3): 151-160.

[12]罗进. 利用信息熵计算评价指标权重原理及实例[J]. 武汉纺织大学学报, 2014, 27(6): 86-89.

[13]吴朝霞, 潘小丹. “双碳”目标下我国制造业绿色技术创新升级路径研究[J]. 湖南财政经济学院学报, 2022, 38(5): 5-13.

[14]何凡, 张静堃, 范子英. 公众参与的减排效应——来自环保热线开通的证据[J]. 经济学(季刊), 2024, 24(3): 897-913.

[15]JACOBSON M Z, DELUCCHI M A, BAZOUIN G, et al. 100% clean and renewable wind, water, and sunlight (WWS) all-sector energy roadmaps for the 50 United States[J]. Energy & Environmental Science, 2017, 8(7): 2093-2117.

[16]付岚, 叶有华, 张原, 等. 大气资源资产价值核算技术研究初探——以深圳为例[J]. 中国环境管理, 2018, 10(1): 32-37.

[17]张志涛, 戴广翠, 郭晔, 等. 森林资源资产负债表编

制基本框架研究[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 929-935.
[18]叶有华, 曾社祥, 张泉. 自然资源资产核算的生态学思考 I: 马克思主义劳动价值理论的时代拓展与

生态延伸[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2018, 18(3): 58-66.

【责任编辑 邱佛梅】

Mechanism Comparison and Optimal Selection for Shenzhen's Achievement of the “Dual Carbon” Goals

TIAN Qibo, WANG Peiyao & LIU Chang

Abstract: Against the backdrop of global climate change response and China's advancement of its Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals, Shenzhen, as a pioneering city in China's reform and opening-up, bears the significant mission of exploring implementation mechanisms for these goals. Existing research often focuses on isolated analyses or assessments of single mechanisms' effectiveness regarding regional “dual carbon” target achievement, which falls short of supporting the selection of prioritized mechanisms for regions. Addressing this gap, this paper constructs a framework encompassing eight mechanisms—Green Technology Upgrading, Market Demand, Policy Support, Green Finance, Mandatory Control, Public Participation, Energy Structure Optimization, and Carbon Sink Construction—along with 21 quantitative indicators. Utilizing statistical data from 2021 to 2023 and employing Entropy Weight-Grey Relational Analysis, this study quantitatively measures the effects of these eight mechanisms. The findings reveal that Shenzhen's mechanisms for achieving the “dual carbon” target exhibit a structured characteristic: the first echelon, comprising Carbon Sink Construction, Market Demand, and Public Participation, acts as the core driving force; the second and third echelons, involving Industrial Green Technology Upgrading, Energy Structure Optimization, Policy Support, and Green Finance, serve as potential cultivation mechanisms; while the fourth echelon, represented by Mandatory Control, remains a weak supporting mechanism awaiting breakthrough. Accordingly, this paper proposes a phased advancement path: deepening the Carbon Sink Construction mechanism, activating green consumption and industrial upgrading, and enhancing the penetration of Public Participation within the next 1-2 years; guiding Industrial Green Technology Upgrading, Energy Structure Optimization, Policy Support, and Green Finance to form a “Technology-Capital-Policy” closed loop within 3-5 years; and promoting the transformation of Mandatory Control towards incentive-based governance within 6-8 years. Furthermore, the priority of the three core mechanisms is justified from five aspects: policy alignment, foundational endowment, collaborative innovation, profit generation, and development potential. The paper further proposes implementation strategies such as improving the carbon sink trading system, deepening the construction of green scenarios, empowering public participation with data, exploring the establishment of a “Bay Area Carbon Inclusion Alliance” and pathways for cross-border carbon account settlement, designing dynamically adjusted carbon budget mechanisms by sector, and constructing a tripartite synergistic model of “Digital-Energy-Carbon Sink”.

Keywords: Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals; mechanism selection; Entropy Weight-Grey Relational Analysis; carbon-sink construction; market demand; public participation