

低碳导向下土地资源综合利用的绿色转型路径研究

兰永康

广西壮族自治区平果市凤梧镇综合行政执法队 广西壮族自治区 百色 533000

摘要：低碳发展背景下，土地利用作为碳排放与碳汇的核心载体，其结构优化与利用转型是实现区域碳中和的关键抓手。不同土地利用类型的碳收支差异显著，碳排放呈现明显空间分异特征，受人口、经济、技术等多因素驱动。本文从土地利用碳排放的空间分异与驱动机理出发，探析碳约束下土地利用结构优化方向，梳理低碳转型的技术支撑体系，提出产业、城乡、区域协同的转型路径，为土地资源综合利用绿色转型提供实践指引，助力破解用地与低碳发展的矛盾，推动国土空间可持续利用。

关键词：低碳导向；土地资源利用；绿色转型；碳排放；碳汇

引言：全球气候变暖背景下，低碳发展已成为各国共识，土地资源作为碳循环的重要载体，其利用方式直接影响碳排放总量与碳汇能力。当前，我国土地利用面临建设用地扩张、农用地碳汇衰减、区域利用不均衡等问题，不合理的用地模式加剧了碳排放压力，制约低碳发展目标实现。土地资源综合利用的绿色转型，是统筹生态保护、经济发展与碳减排的重要途径，需厘清碳排放空间分异规律与驱动机制，优化用地结构，强化技术支撑，构建协同转型体系，破解发展与减排的双重困境。

1 土地利用碳排放的空间分异与驱动机理

1.1 土地利用方式与碳源碳汇的关联结构

不同土地利用类型在碳收支两端呈现出显著分化态势。农用地凭借作物光合固碳与土壤有机质积累，长期扮演净碳汇角色，但高强度耕作会加速土壤呼吸释放，使得碳汇功能面临衰减压力^[1]。建设用地由于地表硬化阻隔了碳的自然循环路径，碳吸收能力近乎丧失，反而成为集中的碳源区域。未利用地则因植被覆盖稀疏、微生物活动微弱，碳交换总量较低，但一旦遭遇人为扰动便可能迅速转化为碳排放源。土壤有机碳库的周转速率受利用强度直接调控，频繁翻耕与施肥改变了微生物群落结构，促使原本稳定封存的有机碳加速矿化。植被净初级生产力与土地覆盖类型之间存在明确的映射关系，森林与草地的固碳效率远高于裸地和耕地，这一差异从根本上决定了区域碳收支的基本格局。城市化推进过程中，地表碳通量经历了从自然平衡向人为主导的转变，不透水面扩张压低了生态系统碳吸收能力，而人为能源消耗则持续推高碳排放水平，两者叠加导致城市区域碳净通量由负转正。

1.2 土地利用碳排放的空间聚集效应

碳排放强度在空间上并非均匀分布，城市群因建设

用地高度密集、能源消耗强度大，碳排放水平显著高于周边农业主产区，形成由中心向外围递减的梯度格局。土地利用格局的破碎化切断了碳汇斑块之间的生态连通性，边缘效应增强了土壤碳的散失速率，从而削弱了区域整体碳汇效能。交通廊道沿线因物流频繁、车辆尾气集中排放，叠加产业集聚带来的工业碳输出，形成了条带状的碳排放热点区域。城乡交错带作为土地利用转换最为活跃的地带，耕地与建设用地的反复交替释放了大量土壤有机碳，这种转换过程中的碳释放具有突发性与持续性并存的特征，成为区域碳排放中不容忽视的组成部分。此外，碳排放热点区域与冷点区域的空间分异的稳定性较弱，受城市规划调整、产业布局优化等人为因素影响较大，需通过动态监测及时掌握其变化规律。

1.3 碳排放驱动因子的多维解构

人口密度与经济强度是拉动建设用地扩张的两大核心引擎，人口集聚带来居住与公共服务用地需求，经济增长则驱动工业与商业用地扩张，二者共同推高了区域碳排放总量。农业集约化水平与面源碳排放之间存在紧密的耦合关系，化肥与农药的过量投入不仅增加了氧化亚氮等温室气体排放，还通过改变土壤理化性质间接影响碳循环过程。能源消费结构对工业用地碳强度的传导路径十分清晰，以化石能源为主导的能源体系直接推高了单位工业用地的碳排放水平，清洁能源可有效降低这一强度。技术进步在降低单位面积碳排放方面发挥着抑制作用，节能工艺的推广与碳捕集技术的应用从供给端压缩了碳排放空间，成为缓解土地利用碳压力的重要手段^[2]。

2 碳约束下土地利用结构的优化方向

2.1 土地利用类型转换的碳收支差量分析

不同用地类型之间的转换伴随着碳的释放与截获过程，二者的差值直接决定了土地利用结构调整的净碳效

应。不同转换类型的碳收支特征存在显著差异，具体表现如表1所示。

表1不同土地利用转换类型的碳收支及相关特征

土地利用转换类型	碳收支核心特征	碳库变化规律	关键影响因素
农用地→建设用地	以碳释放为主，无明显碳截获	碳库损失显著，转换初期达到峰值，后续逐渐平缓	土壤有机碳密度、转换面积、地表硬化程度
建设用地→复绿用地	碳截获逐步提升，抵消部分前期碳损失	碳储量逐年回升，数年内可回收相当比例碳排放	植被类型、种植密度、养护管理水平
闲置用地→复垦农用地	碳截获稳步增长，碳库缓慢恢复	依托土壤自我修复能力，碳储量逐步提升	土壤肥力、复垦技术、耕作管理制度

2.2 农用地碳固持能力的提升方向

秸秆还田与有机肥替代构成了提升土壤碳库容量的两条核心路径，前者通过向土壤持续输入外源有机质增强碳的固定，后者则通过改善土壤团粒结构降低有机碳的矿化速率。轮作休耕制度为土壤呼吸与碳封存之间的平衡提供了弹性空间，休耕期植被恢复降低了人为扰动对土壤碳的消耗，轮作带来的根系多样性则有助于提升深层土壤碳的稳定性。农田水利设施通过调节地下水位与土壤含水量，维持了稻田等人工湿地的厌氧环境，从而保障了湿地碳汇功能的持续运转。农业面源污染控制与碳排放削减之间存在天然的协同效应，减少化肥施用量既能降低氧化亚氮排放，又能减缓土壤有机碳的分解速率，两个目标可在同一套技术方案中获得兼顾。

2.3 城镇建设用地的碳密度控制方向

容积率提升与碳排放强度之间呈现出非线性的关联特征，在一定阈值内，容积率提高能够通过土地集约利用摊薄人均碳排放，但超过临界点后，建筑能耗与交通拥堵的叠加效应会使碳强度出现反弹。绿色基础设施为建设用地嵌入了额外的碳汇功能，屋顶绿化、垂直绿化与城市林地通过植被光合作用直接截获大气中的二氧化碳，部分抵消了不透水面扩张带来的碳损失。棕地再开发过程中，原有工业用地积累的污染土壤与废弃建筑材料中的隐含碳面临转移与消解的双重任务，通过土壤修复与建材回收可将碳排放控制在较低水平。紧凑型城市形态通过缩短居住与就业之间的空间距离，有效降低了居民通勤产生的交通碳排放，这一抑制逻辑在人口密度较高的城市中心区表现得尤为突出。

3 低碳导向的土地绿色转型技术支撑

3.1 土地利用碳足迹的精准核算技术

土地利用碳足迹的精准核算依赖于多源数据的深度融合^[1]。遥感反演提供了大尺度碳储量空间分布的连续信息，地面实测则为遥感反演结果提供了关键的地面真值校准，二者耦合后能够实现碳储量的动态监测与持续追踪。土壤碳循环过程在微观层面涉及微生物代谢与有

机质转化，将这一机理向宏观尺度外推需要借助过程模型与统计模型的联合校正，以确保从样地到区域的尺度转换具有可靠性。土地利用变化引发的碳排放包含直接排放与间接排放两个部分，前者源于地表生物物理过程的改变，后者来自社会经济系统对土地利用变化的响应，将二者分离需要构建完整的排放清单框架。全生命周期视角要求将用地碳足迹的边界从单一时段扩展至整个使用周期，涵盖建设、运营与废弃各阶段的碳收支，为碳排放核算提供完整的时间维度。

3.2 国土空间碳汇增强的工程技术路径

退化土地的生态修复为植被碳汇的快速构建创造了条件，通过优选高固碳速率的先锋物种与合理的种植密度，可在较短周期内实现地上与地下碳库的双重积累。人工湿地与生态廊道凭借独特的水文与植被组合，在碳截获与长期储存方面展现出显著优势，湿地厌氧环境有效抑制了有机碳分解，廊道连通性则促进了碳在空间上的均衡分布。矿区土地复垦面临土壤结构破坏与有机质极度匮乏的双重困境，碳库重建需要从客土改良与微生物接种入手，逐步恢复土壤碳循环的基本功能。沿海滩涂与红树林构成了蓝碳增汇的重要载体，红树林因生物量大、沉积物碳密度高而具备卓越的固碳能力，将蓝碳技术与滩涂整治工程相集成，可实现海岸带碳汇能力的系统性提升。不同区域的自然条件差异较大，需结合地域特征优化碳汇增强技术方案，确保技术的适用性与可行性，最大化发挥生态修复的碳汇效益。

3.3 数字化赋能的低碳用地管理技术

碳排放时空大数据平台的架构设计需要兼顾数据采集、存储与分析三个层级，多源异构数据的高效流通构成了平台运行的核心支撑。人工智能驱动的土地利用碳排放预测技术通过深度学习算法捕捉碳排放与驱动因子之间的非线性关系，在海量历史数据训练下实现对未来碳排放趋势的精准预判。区块链技术凭借去中心化与不可篡改的特性，为碳汇交易与用地确权提供了可信的数据底座，交易双方可在链上完成碳汇份额的确权与流转。

数字孪生技术通过构建与物理空间高度一致的虚拟模型,为低碳用地场景提供了可反复推演的试验场,管理者可在虚拟环境中预演不同规划方案的碳排放效果,从而优选出低碳导向的土地利用方案。

4 土地资源绿色转型的多维协同路径

4.1 产业用地的低碳重构路径

高碳产业用地的退出并非简单的空间腾退,而是遵循产业生命周期与碳排放强度双重标准的动态过程^[4]。退出机制以碳排放强度为刚性门槛,将高耗能产业从城市核心区逐步引导至外围承接区,腾出的空间则优先配置给低碳产业,形成以碳约束为导向的空间置换逻辑。清洁能源产业对用地条件有特定需求,光伏电站适合干旱半干旱区域,风电基地偏好风力资源丰富的开阔地带,低碳用地的空间匹配需要将产业特征与资源禀赋进行深度叠加。产业园区循环化改造通过企业间物质流与能量流的共享,大幅提升了单位面积土地的产出效率,土地集约利用方式从平面扩张转向立体复合与功能叠加。生产性服务业用地以较低的能源消耗支撑着较高的经济产出,对制造业用地形成了有效替代,这一替代效应在降低区域碳排放总量的同时,也推动了产业用地结构向低碳化方向演进。

4.2 城乡融合下的用地碳均衡路径

农村集体经营性建设用地入市过程中,碳排放约束成为筛选入市项目的重要标尺,高碳项目在审批环节即被拦截,确保新增建设用地不会加重区域碳负荷。城乡建设用地增减挂钩在实现耕地面积占补平衡的基础上,引入了碳汇补偿机制,复垦耕地所产生的碳汇增量可作为建设用地扩张的碳排放抵消额度,使挂钩政策具备了碳中和维度的调节功能。乡村生态用地承担着为城市提供碳汇支撑的功能,城市碳中和目标的实现离不开乡村林地、草地与湿地的持续固碳贡献,二者在空间上构成了互补关系。农业碳汇向城市碳交易市场的价值传导需要搭建规范化的交易通道,通过碳汇计量、确权登记与市场化定价,将乡村的生态价值转化为可量化的经济收益,为城乡碳均衡提供持续的内生动力。

4.3 区域协同的低碳用地治理路径

跨行政区碳排放责任的分摊需要建立一套兼顾公平

性与效率性的核算框架,用地指标的区域协调则以碳排放总量控制为约束条件,避免碳排放向管控薄弱区域转移。流域上下游在土地利用碳汇方面存在天然的互补关系,上游水源涵养区的生态保护为下游提供了碳汇服务,横向补偿机制将这种服务转化为可量化的经济补偿,激励上游地区持续维护碳汇功能。城市群内部通过用地功能的差异化分工,将高碳排放环节集中布局在环境承载力较强的边缘区域,核心城市则以低碳服务功能为主,形成碳排放梯度配置格局^[5]。区域土地利用碳预算的动态分配需要根据各区域的发展阶段与减排潜力进行定期调整,预算盈余区域可向赤字区域出售碳排放配额,调剂逻辑以市场化手段促进区域间碳排放的均衡化。

结束语

土地资源综合利用的绿色转型是一项系统性工程,涉及用地结构、技术应用、产业发展、城乡协同等多个维度。通过解析土地利用碳排放的空间特征与驱动因素,明确用地结构优化方向,依托精准核算、生态修复、数字化管理等技术,构建产业、城乡、区域多维协同路径,可有效平衡土地利用与低碳发展的关系。破解转型过程中的技术瓶颈、协同壁垒等问题,整合各类资源,推动土地利用从传统模式向低碳高效模式转变,能够充分发挥土地碳汇潜力,助力碳减排目标落地,实现土地资源可持续利用与生态环境协同发展。

参考文献

- [1]黄贤金,张秀英,卢学鹤,等.面向碳中和的中国低碳国土开发利用[J].自然资源学报,2021,36(12):2995-3006.
- [2]冯新惠,李艳,林心乐,等.低碳导向的浙江省新增建成区土地利用效率空间格局与分区调控[J].农业工程学报,2025,41(17):280-290.
- [3]刘芹.低碳经济背景下农村土地资源开发与利用研究[J].江西农业,2025(3):54-56.
- [4]王展祥,叶宇平.低碳城市试点政策对地方政府重污染行业土地出让的影响[J].中国人口·资源与环境,2023,33(3):125-136.
- [5]姜旭,侯娇,卢新海.低碳试点政策对城市土地绿色利用的影响——基于双重差分模型的实证研究[J].中国土地科学,2023,37(3):80-89.