

“碳平衡、碳循环”下国外城乡融合典型案例分析及中国经验模式探讨

Analysis of Typical Foreign Cases of Urban-rural Integration Under “Carbon Balance and Carbon Cycle” and Discussion of China’s Experience Model

邵继中* 郭文娟 李坤洋 林润泽 罗丹 万文韬
SHAO Jizhong* GUO Wenjuan LI Kunyang LIN Runze LUO Dan WAN Wentao

(华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)
(College of Horticultural & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, China, 430070)

文章编号: 1000-0283(2023)08-0004-09
DOI: 10.12193/j.laing.2023.08.0004.001
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-05-06
修回日期: 2023-06-18

摘要

中国式现代化建设的新要求下,以“碳平衡、碳循环”为目标的城乡融合发展已然成为实现高质量城乡融合和推动“双碳”目标实现的重要探索。以中国城乡融合类型与“碳平衡、碳循环”的关系探析为理论基础,通过分析国外城乡融合典型案例,结合国内实践经验和新时代现代化发展要求,总结出适用于城市化地区的低碳单元集约布局模式、适用于农产品主产区的绿色高效产废循环模式和适用于生态功能区的蓝绿协同生态增汇模式等三种“碳平衡、碳循环”下的城乡融合发展模式,以期“双碳”目标下中国城乡融合发展和实践探索提供参考。

关键词

碳平衡; 碳循环; 城乡融合; 国际经验; 发展模式

Abstract

Under the new requirements of Chinese modernization, urban-rural integration development with the goal of “carbon balance and carbon cycle” has become an important exploration to realize high-quality urban-rural integration and promote the realization of China’s carbon peaking and carbon neutrality goal. Based on the theoretical analysis of the relationship between urban-rural integration and “carbon balance and carbon cycle”, this paper analyzes typical cases of urban-rural integration in foreign countries. And three models of integrated urban-rural development under “carbon balance and carbon cycle” are summarized, including the intensive layout model of low-carbon units applicable to urbanized areas, the production-waste cycle model of cleanliness and high efficiency applicable to the main production areas of agricultural products, and the ecological enhancement model of synergy between blue and green spaces applicable to ecological functional areas, to provide reference for China’s integrated urban-rural development and practical exploration under the carbon peaking and carbon neutrality goal.

Keywords

carbon balance; carbon cycle; urban-rural integration; international experience; development model

邵继中

1979年生/男/江苏南京人/博士/教授、
博士生导师/研究方向为城乡规划

郭文娟

1999年生/女/湖北黄冈人/在读硕士研究生/
研究方向为风景园林规划与设计

李坤洋

1996年生/女/河南漯河人/在读博士研究生/
研究方向为风景园林规划与设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: shao.j.z@hotmail.com

全球碳排放量持续增长,气候变化形势严峻,以缓解气候变化影响为目标,探究如何实现“碳平衡、碳循环”已成为共识。城乡系统作为人类活动的基本经济地域单元,碳流动的主要载体,是实现碳平衡、碳循环目标的关键对象。同时,为顺应城乡关系转

基金项目:

国家自然科学基金面上项目“城镇型遗址片区地下空间的多维价值评价及耦合设计优化研究”(编号:51878339);江苏省高校哲学社会科学重大项目“古城区遗址保护与地下空间利用的耦合机制研究”(编号:2019SJZDA020);住房和城乡建设部国际科技合作项目“城乡融合发展目标下长江中游城市群碳代谢效率评估及情景模拟”(编号:2022-H-001);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“基于乡村振兴战略的乡镇级国土空间规划编制体系、技术方法与实践应用研究”(编号:2662021JC009)

型发展需求, 实现国家现代化, 城乡融合已成为社会发展的必然趋势, 是城乡发展的终极目标^[1]。而城乡融合过程中多元的要素流动及多系统间的交互能够显著改变城乡区域的碳“源”“汇”格局, 从而对城乡规划建设产生的碳排放形成长期有效的影响^[2]。因此, 国际上已经开始探索如何利用城乡融合手段实现“碳平衡、碳循环”目标, 并制定与实施了多项具有针对性的低碳发展战略, 以缓解和应对全球气候变化, 推进城乡系统可持续发展。

现阶段, 积极参与应对气候变化全球治理已成为中国高度重视的长期性目标。2020年9月, 习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上向国际社会作出“碳达峰、碳中和”的承诺, “双碳”目标下的城乡融合发展已然成为中国式现代化的新要求^[3]。经过几十年的探索, 中国城乡融合发展呈现阶段性、区域性特征, 区域性差异明显, 城乡融合发展水平不均衡^[4]。现有研究和实践缺乏对于融合过程中“碳平衡、碳循环”的机理探析, 以城乡融合为途径的低碳发展模式尚未形成体系, 而随着气候变化带来的影响愈加频繁和严重, 亟需吸取国外优秀案例与发展经验, 兼顾“碳平衡、碳循环”目标与城乡融合战略, 实现高质量城乡融合和“双碳”目标稳步推进的目标。

本研究剖析美国和以英国、德国为代表的欧洲以及日本等国际城乡融合典型案例, 总结实践经验, 综合中国国情, 提出符合中国式现代化新要求的“碳平衡、碳循环”下城乡融合的发展模式。

1 相关概念及政策

1.1 “碳平衡、碳循环”理论内涵

碳循环作为影响大气CO₂浓度的重要过程, 是全球气候变化研究的重要切入点, 碳平衡是其中的核心问题。早在19世纪, 科学家们就对碳在大气圈、海洋和地壳内的数量与分布展开了研究, 1934年V. M. 戈尔斯施米特提出了碳循环图。为探究碳在生态系统中的循环流动过程, 学者们开展了对森林、湿地、草地等陆地生态系统和海洋生态系统等自然生态系统的碳循环研究, 并对影响各类生态系统碳循环的因素进行了归纳和分析, 揭示了各类生态系统的碳循环机制。随着对大气中碳的监测技术越来越准确和完善, 碳循环的研究视角逐渐从生物学科、生态学科延伸到人居环境学科, 以城市生态系统为对象的碳循环研究逐步开展, 碳循环的概念从自然向城市“自然—社会”二元碳循环转变。作为影响碳循环过程的重要因素, 城市生态系统这个具有典型人工特征的陆地生态系统的加入, 弥补了既有研究仅关注自然碳循环

的不足, 使得碳循环过程的研究更为科学, 基于此得出的减碳举措也更为有效。国内外学者已从区域碳平衡、碳循环等角度对城市空间形态及其变化等对碳排放、碳代谢的影响进行了量化研究^[5-6], 并已证实土地、产业、能源、人口、交通、建筑等多重要素的调整能够直接或间接影响碳源、碳汇的空间分布, 从而影响区域的碳平衡和碳循环。

广义的碳循环是指碳元素在地球的生物圈、岩石圈、水圈及大气圈中交换, 并随地球运动循环往复的现象, 包括碳固定和碳释放两个阶段。而碳平衡强调碳源和碳汇在数量和质量上相等的状态。参考赵荣钦^[7]等对城市系统碳循环的分类, 本文将城乡系统碳循环分为碳储量和碳通量(包括输入和输出)两部分, 并基于自然和人为以及水平和垂直两个分类对其进行讨论(表1)。因此, 本文中的城乡系统碳循环是指由于自然、人工导致的物质和能量循环, 碳在大气圈、水圈、土壤、生物圈以及岩石圈中以不同碳储量形式存在并通过水平和垂直碳通量发生相互转化和流通, 产生源和汇的过程。而城乡系统中的能源、原料和各种含碳产品的流通和消费带来的碳排放以及林地、草地、湿地和农地碳汇等的碳固存构成了城乡系统碳循环的主体。碳平衡强调城乡区域内实现碳吸收与碳排放中和, 达到平衡状态。

表1 城乡系统碳循环的构成
Tab. 1 The composition of carbon cycle in urban and rural systems

碳储量(碳库) Carbon storage		碳输入通量 Carbon input flux		碳输出通量 Carbon output flux	
自然碳库	人为碳库	水平碳通量 (以碳水化合物形式进行流通)	垂直碳通量 (以气态形式进行流通)	水平碳通量 (以碳水化合物形式进行流通)	垂直碳通量 (以气态形式进行流通)
城乡土壤碳库、城乡水域碳库和乡村植被碳库等	城市植被碳库、城乡建筑物碳库、家具和图书碳库、人体和动物碳库以及城乡垃圾碳库等	煤、石油和天然气等化石能源、工业及建筑木材、建筑材料无机碳、食物碳、其他含碳产品和有机肥投入等	植物光合作用、水域碳吸收和河流(或地下输水管网)的碳输入等	能源制品、含碳产品和废弃物的输出、地下排水管的碳输出和运移等	植被呼吸、土壤呼吸、人类和动物呼吸作用、水域碳挥发; 化石燃料燃烧、产业生产活动等

1.2 城乡融合的研究动态与现实问题

城乡融合的思想最早由恩格斯提出，他认为城乡融合是城乡关系发展的最后阶段。此后国内外大量学者对城乡融合的理论内涵、影响关系和指标体系等进行了研究。国外学者从城乡关系演变出发，探究影响城乡融合发展的重要因素，随着研究的深入，国外学者开始关注城市边界，认为城市边缘区才是城乡格局形成与发展的重点地带^[6]。如“德萨克塔”模式^[9]：城乡结合区快速发展带动当地城乡融合的新型城乡格局互动关系在当时的东南亚国家应运而生。随着城市化进程的加快，城乡不平衡问题越来越明显，国外学者对于城乡融合的研究逐渐由理论探析向实践探索转变。欧美等发达国家的城乡一体化实践开始较早，已经积累了一些实践经验，各国的城乡融合发展也逐渐显现出不同的格局特征。国内的城乡关系及其理论研究主要基于马克思主义城乡关系理论展开，形成了具有中国特色的城乡关系思想^[10]。国内城乡融合研究始见于20世纪80年代初期，城乡融合发展的正式提出是在党的十九大报告中，此后，学术界对城乡融合发展的理论内涵进行了研究，认为城乡融合强调城乡作为一个系统，在其经济发展、基础设施、公共服务等方面实现融合^[11]。随着理论研究的丰富，学术界研究视角拓宽并开始与实践结合，在城乡融合发展水平评估、城乡融合发展综合评价指标构建以及城乡融合发展影响因素探析等形成了一定的研究成果。总体来看，国内外关于城乡融合思想形成与发展研究的成果众多。全球气候变化的大背景下，城乡发展与低碳的交叉研究虽已取得一定进展，但关注内容偏重空间要素变化与碳排放的定量估算，且研究对象多为城市和县域城乡空间，缺乏对于城乡融合的系统考虑。而

城乡融合过程中，多系统交互和各类要素的流动会改变城乡碳库的大小和碳通量的效率从而影响整个区域的碳循环过程，目前对于城乡系统“碳平衡、碳循环”的机制探索仍较为缺乏。

中国城乡关系经历了从城乡二元发展、城乡统筹发展、城乡发展一体化到城乡融合发展的演进过程^[12]。城乡融合发展政策也经历了从十六大报告中的“统筹城乡发展”、十七大报告中的“统筹城乡发展，推进社会主义新农村建设”到十八大报告中“推动城乡发展一体化”“形成以工促农、以城带乡、工农互惠、城乡一体的新型工农、城乡关系”，再到十九大报告中正式提出“建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系，加快推进农业农村现代化”的战略思想的完善。自城乡融合概念正式提出，2019年《关于建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系》发布，11个国家试点陆续开展；2020年《国家新型城镇化建设和城乡融合发展重点任务》发布，“城乡融合”与新型城镇化并行；2022年，党的二十大持续强调“着力推进城乡融合和区域协调发展”。城乡融合发展已然成为当前我国全面实现现代化和“两个一百年”奋斗目标的关键。随着城乡融合体制机制的建立健全，国内城乡融合探索已取得一定的研究成果，一批国家城乡融合发展试验区试点建设也逐步开展。但仍面临城乡差异大、城乡生产要素流动不畅、城乡基本公共服务均等化程度较低、城乡融合水平区域性差异明显以及城乡发展战略与政策分离分治等问题^[13-14]。尤其是在全球气候变化形势严峻、中国提出“双碳”目标的大背景下，如何平衡城乡融合与低碳发展是未来城乡融合发展进程中亟需思考的问题。

2 国外典型案例分析

2.1 美国：自上而下的全民参与式减碳增汇探索

美国与中国同属于全球最大的经济体和碳排放国，其工业化和城市化较早，20世纪50年代就已实现城乡一体化格局，并于2007年实现碳达峰，故相应探索开展较早。因此分析其城乡融合实践中减碳增汇措施的实施经验与先进理念，大胆借鉴与创新将为研究国内现阶段的“碳平衡、碳循环”目标下城乡融合问题提供更广阔的思路和全新的突破口。

21世纪初期，美国节能减排工作体系发生转向，规划界意识到以污染治理、节能增效政策制定为核心，以低碳经济为导向，并不能合理调控多元复杂要素流动城乡系统引导其低碳可持续发展，应对未来严峻气候变化的干扰^[15]。为弥补城乡系统低碳建设法规的缺陷，多个大型都市发布趋向自下而上地实施政策应对气候变化。2008年，芝加哥市颁布《芝加哥气候行动规划：我们的城市，我们的未来》，成为基于规划控制的大型城乡系统的低碳建设模式代表，提升建筑能源使用效率、使用清洁和可再生的能源、改进交通系统、减少废弃物处理和工业污染、积极适应和应对气候变化5项规划策略，并定量评估了规划策略的减少碳输出量效果。之后《纽约交通战略规划：安全、绿色、智慧、公平》《芝加哥大都市区迈向2050区域综合规划》《2019波士顿气候行动计划》等政策均着眼于区域系统，提出应从城乡系统的社区、繁荣、环境、治理、交通5大要素规范规划策略，实现量化评估与未来碳输出量模拟预测。

依托传统的小城镇为主、多中心的城市区域发展模式，美国将小型城镇乡村纳入

都市发展系统，将空间规划和综合交通规划作为城乡系统控制碳输出的重要手段，借助城乡联动使乡村同样获得绿色配套基础、生活服务设施与高便捷性的公共交通系统，鼓励城乡居民以家庭为单位积极参与能源效率、废弃物排放、可持续交通、气候变化志愿者服务等，搭建“区域—城市—社区/乡村—家庭—个人”的低碳实施政策。同时以地质调查局为主开展碳固存机制的研究和模拟工作，对城乡系统中碳固存过程、主要生态系统（包括森林、农田、草地和湿地）中自然和人为驱动因素的长期平衡进行综合评估。此外美国城市边缘区处于蔓延式推移状态，不断吞噬自然环境与优质耕地导致城乡系统碳固存能力减弱。针对此问题建立绿图战略指导增长计划^[16]，从多学科角度提出城乡结合部绿色空间保护策略，控制重要环境区土地和水资源区周边的城市增长。在综合多类型土地利用类型与碳固存关系的研究基础上，列出不同生态区宜栽植的树种清单。

2.2 欧洲：“城乡等值化”理念下的低碳社区营造与乡村激活

以英国为代表的欧洲是世界低碳理念发源地，其经济发达程度与区域通达性都处于较高水平。欧洲各国城乡融合发展探索开始较早，已经出台了多项举措。在政策的推动和引导下，英国、德国等国家的低碳实践相继开展，已经形成了自身独特的发展模式。

英国于20世纪初基本完成工业化和城镇化进程，是第一个建立完整的城乡规划体系的 国家，面对气候变化挑战和能源危机，率先迈出探索低碳发展的步伐。从提出低碳发展目标，到逐步建立比较完善的政策法律体系，其在节能发展、交通引导和绿色

基础设施等方面的经验对我国“碳平衡、碳循环”目标下的城乡融合发展具有重要的借鉴意义。英国在城乡节能方面构建了全覆盖的可再生能源系统，以低碳社区为基础分区域展开，并针对区域制定社区能源发展的中远期规划方案和确定能源规划组合资源配置方式^[17]。英国政府在节能发展层面十分重视建筑能耗，为降低建筑碳排放，对现有住房及基础设施进行大规模改造升级，大力发展可持续建筑，基于选址、用料、建造、环境等多方面建立可持续建筑的评价标准。交通方面，英国大力推崇功能混合社区的建设，尤其是职住混合，同时推广“零驾驶”出行方式，鼓励公共交通出行，提高步行、自行车和公交出行的比例，建设有利于自行车出行、限制车流的城市道路布局，社区内配备共享单车站点及其他相应的配套设施，修建高速公交线路，提高城乡间交通便利程度。绿色基础设施对于城乡实现“减排增汇”十分关键，英国于2009年出台《绿色基础设施导则》，强调绿色开放空间的数量、质量、连接度，主张建设高质量的绿色开放空间网络，保证绿色空间面积大于40%，保证公共绿地的经济与生态效益^[18]。对于新建城乡区域，英国米尔顿·凯恩斯给予了较好的示范。该镇采用居住区、就业区、消费区相耦合的空间布局，棋盘式的城乡道路，将城乡中心点状均匀分布有效减少中心功能过度集中产生的交通压力和通勤距离。该镇重视环境整治和保护，合理布局蓝绿空间，将人工湖、森林公园和绿带贯穿全域，既发挥蓝绿空间的蓄水排洪作用和景观价值，又有固碳效益。

作为欧洲最大的经济体，德国是城乡融合发展的典范。第二次世界大战后，德国城市大规模重建，乡村人口大量流失，向乡村

地区迁移的工厂不断挤压乡村用地，城乡差距拉大。在此背景下，1950年德国赛德尔基金会首次提出“城乡等值化”发展理念，将城市与乡村视为空间结构中的有机统一整体，强调二者在空间物质与社会维度上实现均衡发展^[19]。该理念带动了乡村地区的发展，推进了城乡融合进程。1960年，德国巴伐利亚州意识到城乡发展不平衡的严重性，将“城乡等值化”作为空间规划的发展理念，以打造等值的城乡空间为目标进行建设活动。城乡“不同类但等值”的发展理念在承认城乡的形态差异和基底差异的基础上，通过资本投入的合理分配，大力推动乡村经济发展和基础设施完善，激活了落后的乡村地区，对于缩小城乡差距，推进城乡融合具有重要意义。基于城乡融合发展中乡村独特风貌逐渐流失等社会问题，德国政府实施了具有“公众参与制定乡村规划”特色的“乡村振兴”战略，以公众参与来保障乡村规划的本土化，并通过一系列的法律制度对乡村规划的具体内容予以明确。《德国空间规划法》和《农业结构预规划》等法律作为乡村振兴规划的基础，体现了德国对空间和自然秩序构建的重视，通过合理的空间规划，逐步实现生产区、生活区、生态区的分离和乡村经济、社会、生态的发展平衡。空间均衡发展将城乡功能中心分散，三生空间及其相应配套在城乡中均衡布局，降低了交通运输能耗，从而减少碳输出。同时，德国非常注重乡村生态的修复和保护，基于法律法规在乡村规划中明确了坚持基本农业和生态资源保护的原则，要求乡村规划要保护自然资源和乡村自然风景，因地制宜、按需激活或打造新的乡村风貌，并开启了以土地整治为核心的耕地保护活动，减少了城乡融合发展中生态资源的流失和破坏，保障城乡系统的重要碳库。

2.3 日本：“碳”法律法规建设的完善

日本与中国都具有东亚小农的社会特征，面临着城乡资源分配不均衡等问题。深入剖析日本城乡融合进程中的低碳转型思路可为我国探索低碳与城乡融合发展提供参考。

与美国、欧洲的经验类似，日本低碳城乡建设的基本思路为产业结构调整，开发新能源和再生能源；消费结构调整，实现民生、产业和运输等的温室气体减排；城市结构优化，增加蓝绿空间规模面积以提高吸收CO₂的能力^[20]。除此之外，日本出台了一系列法律法规来限制能源消耗以及CO₂排放，如2003年发布《可再生能源标准法》、2004年出台《面向2050年的日本低碳社会情景研究计划》、2008年发布《能源合理利用法》《推进地球温暖化对策法》等。此外，日本还注重通过法律保障技术与专利，以此来提升民众对低碳技术与开发的积极性。法律制度通过限制和引导人们在满足生产、生活的基本需要下，自然环境可承受的范围之内对能源消耗的权利，从而影响碳输出量。同时，法律制度规定的主体义务和责任能够在法律和道德两个层面对人破坏生态环境行为的限制，从而保证城乡系统的重要碳固存空间，有效达到区域低碳发展。

3 中国式现代化建设的新要求与城乡融合实践

城镇化与工业化改变了社会的城乡形态和产业结构，是世界历史上现代化的核心内容。中国式现代化同样以城镇化和工业化为核心内容之一，但呈现出与世界各国不同的中国特色。城乡融合是中国式现代化建设的重要内容，不同发展阶段和社会制度下，其特点、机制、阶段、规律、模式和政策各不相同^[21]。新形势要求中国城乡融合发展以满

足国家新型城镇化和乡村振兴两大战略需求为宗旨，以国家城乡融合发展战略任务为前提，以平衡“双碳”目标实现和城乡融合发展为目标，重新分析城乡融合发展新特点、新机制和新规律，提出城乡融合发展新格局、新模式和新路径。

国内各地已逐步开展城乡融合的低碳实践。上海崇明岛低碳示范区通过崇明碳中和岛、长兴低碳岛和横沙零碳岛的建设来探索低碳社区营造、绿色出行引导、低碳行为信息化和清洁能源主导的绿色产业发展模式；浙江湖州市南浔区基于城市未来社区和乡村联建项目对绿色建筑材料和技术应用、高品质生活空间打造、可再生能源普及和数字都市农业发展等进行了探索；广东惠州大亚湾石化区在城乡融合发展的推进中，将“碳”数据作为重要参考进行国民经济和社会发展规划、城乡规划和土地利用总体规划的制定，加强了规划建设中基于碳排放数据监测的空间布局科学调控。可见国内已积累了一定的实践成果和优秀经验，但仅局限于部分城乡融合水平较高的区域，未在全国各地展开，尚未形成具有城乡融合特征的发展体系。因此，亟需吸取国际优秀成果，总结国内实践经验，探寻具有中国特色的“碳平衡、碳循环”下城乡融合分区区域发展模式。

4 “碳平衡、碳循环”下中国经验模式探讨

4.1 中国城乡融合类型及其与“碳平衡、碳循环”的关系探讨

国内城乡融合发展水平总体上呈现“东高西低、中部居中”^[4]，南北差距日益增大的区域分异格局^[22]。面向国内区域发展的差异性，中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》突出强调了分类引导县城发展的思

路，强调分阶段、分梯次而不是全国同步的过程。已有研究基于人地关系特点和城乡融合发展阶段将国内城乡融合模式概括为三个区域类型，分别是城市化地区、农产品主产区和生态功能区^[23]。而城乡系统碳循环中碳储量的大小和碳通量的强度、范围以及速率由城乡发展模式、城乡功能、产业组成、经济能源结构及其使用效率等决定，具有较大的空间异质性。因此，本文基于城市化地区、农产品主产区和生态功能区三种城乡融合类型的城乡融合特征探讨其与“碳平衡、碳循环”的关系，为处于不同融合类型城乡系统的低碳实践提供理论参考。

城市化地区的经济社会发展已进入城镇化的较高阶段，“高密度、高承载力”的人地关系特征显现。该类型地区城乡融合发展主要面临的问题是城乡空间交错冲突、经历了人口融合的进城农民市民化权益保障不足、乡村人居环境品质和功能更新滞后，总体呈现以城带乡实现整体转型的发展模式^[24]。未来发展要点是在经济、产业、交通、功能和治理上充分融入大都市地区的区域格局，形成以紧凑密集组团为主导的城镇空间与以自然开敞为特色的乡村空间的有机融合。基于城市化地区的发展特征和城乡碳储量、碳通量的影响关系，未来该地区的城乡融合发展有望通过修复和保护城乡水域、植被等自然碳库和提升建筑物、图书和家具以及城乡垃圾等人工碳库，提高城乡交通运输、建筑建造、工业生产和生活消费过程碳通量的效率来实现区域“碳平衡”，提高“碳循环”效率（图1）。

农产品主产区具有提供农产品为主体功能，落实国家粮食安全战略的区域特征。大多数农产品主产区仍处于快速城镇化发展阶段，人地关系呈“高密度、低承载力”特

征。该类型地区城乡融合发展主要面临人地关系紧张、资源约束突出、本地吸引力不足、人口流失严重、农村公共事业建设滞后等挑战^[25]，多为有传统农区基底特征的区域。未来发展要点是立足农业优势，以农业现代化为动力加快工业化进程和服务业发展推进区域经济一体化，注重技术提升实现三产协调，发展新型农村社区建设，改善人居环境。基于农产品主产区的发展特征和城乡碳储量、碳通量的影响关系，未来该地区城乡融合发展有望通过优化农业发展之外的城乡水域、植被等自然碳库以及建筑物、图书和家具等人工碳库，提高城乡农业生产、交通运输、建筑建造和垃圾处理等过程碳通量的效率来实现区域“碳平衡、碳循环”（图2）。

生态功能区承载国家生态安全的重要使命，人地关系矛盾特殊，其城乡融合发展面临人类活动与本地生态承载力相互制约，公共服务和基础设施建设成本高、效益低等矛盾。未来发展要点是以生态安全为底线，推动城乡生态资源资产化、提升生态空间价值^[26]，从而提供城乡融合发展的价值潜能和发展动力。在空间规划上严控开发强度，保障生态系统的稳定性，尊重居民意愿，通过人口适度的易地集聚和生态补偿机制，逐步实现乡村地区的精明收缩和整体的城乡融合水平提升。基于生态功能区的发展特征和城乡碳储量、碳通量的影响关系，未来该地区城乡融合发展有望通过保有储备丰富的城乡水域、植被等自然碳库，提高城乡交通运输和社区建造等过程碳通量的效率来实现区域“碳平衡、碳循环”（图3）。

4.2 未来发展模式探讨

城市化地区、农产品主产区和生态功能区类型的城乡融合区域虽处于不同的发展阶

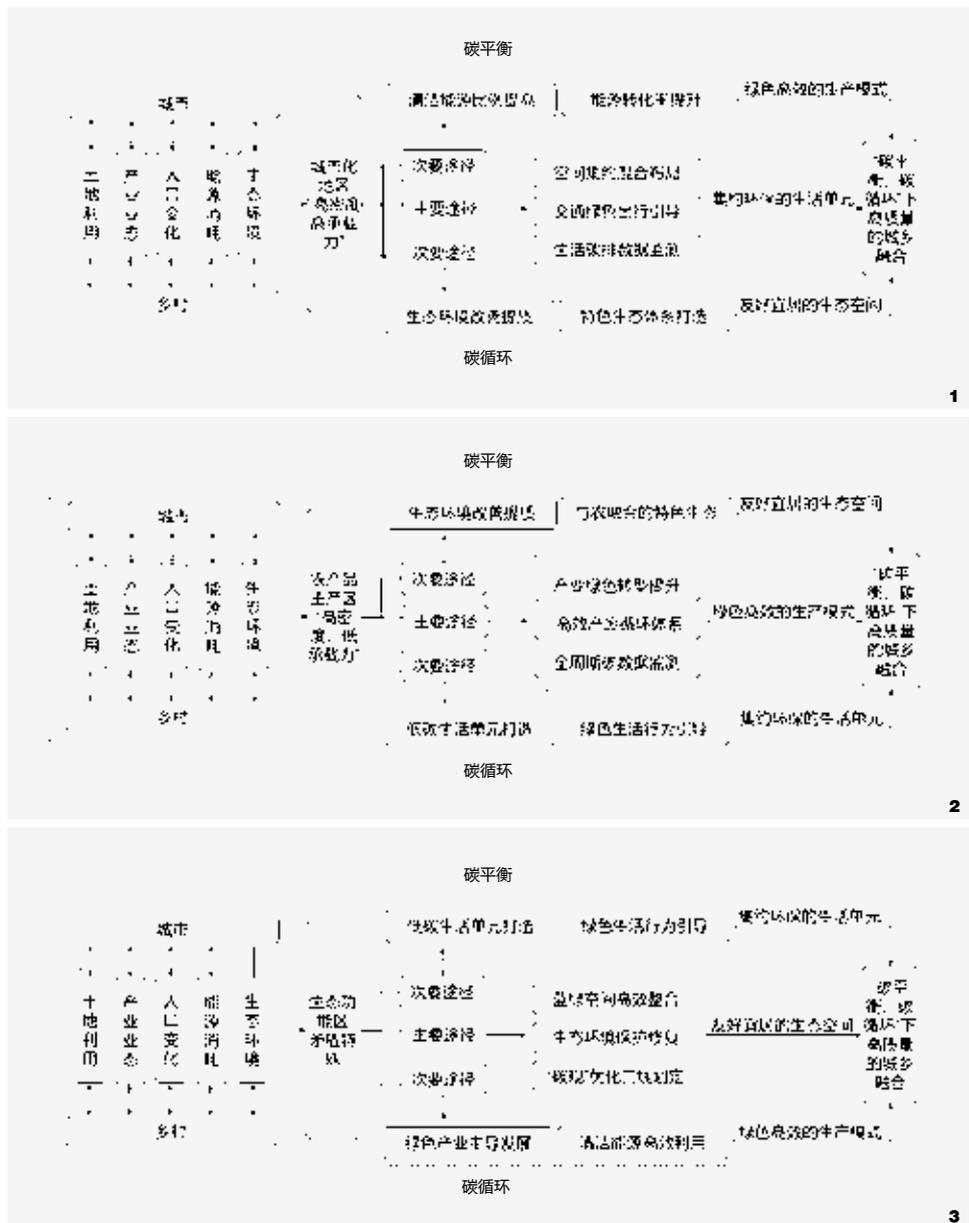


图1 城市化地区“碳平衡、碳循环”实现途径
Fig. 1 Ways to achieve "carbon balance and carbon cycle" in urbanized areas

图2 农产品主产区“碳平衡、碳循环”实现途径
Fig. 2 Ways to achieve "carbon balance and carbon cycle" in the main production areas of agricultural products

图3 生态功能区“碳平衡、碳循环”实现途径
Fig. 3 Ways to achieve "carbon balance and carbon cycle" in ecological functional areas

段，拥有不同的城乡基底且在中国式现代化建设的的要求下发展要点不同，但在“碳平衡、碳循环”目标下促进三个类型的城乡融合发展也存在一些共性的发展要求，主要体现在

三生空间的科学集约布局、清洁能源和技术的推广使用、绿色高效交通体系的编织、碳的全生命周期监测智慧平台的构建及相应法律法规标准的制定。

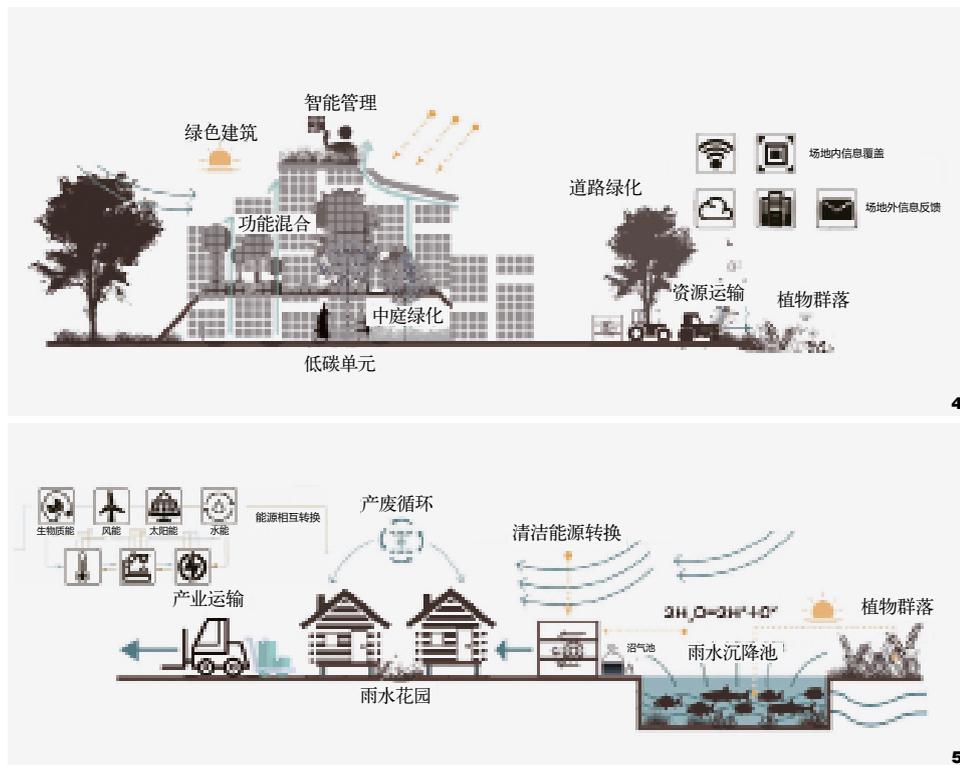


图4 低碳单元集约布局模式
Fig. 4 Intensive layout model of low-carbon units

图5 绿色高效产废循环模式
Fig. 5 Production-waste cycle model of cleanliness and high efficiency

4.2.1 城市化地区：低碳单元集约布局模式

集约布局模式通过以低碳品质空间为网格单元，以绿色出行导向的交通为网格线编织城乡三生空间来实现，主要在交通运输、建筑建造和生活消费等方面减少碳输出量以实现区域“碳平衡”，提高“碳循环”效率（图4）。

通过推广使用低碳绿色建筑技术、提高用地混合度、增强功能空间的职住平衡性等形成紧凑多孔的集约布局形态，打造高效率高品质的生活圈来构建低碳品质单元。注重单元内建筑能耗的降低，大力发展可持续建筑，并建立全方位全建造过程的可持续建筑的评价标准。绿色出行导向的交通网络主要是通过紧凑集约、混合高效的城乡布局，便

捷通达的公共交通系统以及舒适宜人的慢行系统来实现。同时，通过布局调整和数据监测对居民行为进行引导，通过调整控制建筑朝向、建筑布局以及建筑建设强度来优化生活单元的整体布局，提高自然采光、通风和太阳热能，影响单元内的微气候从而降低建筑照明、制冷取暖等设施的使用率，减少建筑物的碳输出；通过科学布局三生空间，提高公共交通的便捷性和效率，合理设置公共交通枢纽有机连接宜人的慢行系统并潜移默化改善居民的出行方式，引导居民绿色出行，从而减少交通运输上的碳输出。在数据监测方面，公开透明化生活单元的生活碳排、产业集群的生产碳排以及蓝绿空间的生态碳汇数据，并制定相应的法律法规，对各单元组

团以及城乡系统的居民生活、建筑、交通、产业运作等活动进行监测与管控，从而引导绿色低碳行为。

4.2.2 农产品主产区：绿色高效产废循环模式

产废循环模式通过农业主导城乡产业结构、绿色产业比重提高和绿色高效的产废循环体系来实现。主要在产业发展、交通运输和生活消费等方面减少碳输出量，提升碳通量效率，实现区域“碳平衡”，推动“碳循环”（图5）。

都市农业是城市化快速发展的必然产物，是现代农业与都市完美结合的重要成果^[27]。都市农业发展不仅能够促进城乡交融，还能充分利用城市闲置空间资源满足生活单元的自给自足，实现就近产销从而降低运输成本和储存消耗。农业发展主导的城乡结构下可以通过提升城乡系统中的都市农业占比、推进农业发展现代化和低碳化，提高清洁能源的使用比例、优化和创新绿色技术，科学调整三产布局以减少交通运输的碳输出量以及打造绿色高效的产废循环体系等措施来实现减碳效益，推进“碳平衡、碳循环”。在产废循环体系的构建中，注重能源损耗的降低以及废弃垃圾处理，将单线程的能源消耗和废弃物处理系统转化为循环系统，从而提高能源、固体废弃物和水资源的利用效率，减少废弃物的产生以及垃圾处理过程中产生的碳输出量。全方位全过程的云端碳数据监测和相应的法律法规标准建立对城乡产业低碳化发展十分重要，产业集群的生产碳排公开透明化能够及时整改和调整既有高碳、不合理的产业布局和产业模式，法律法规标准能在一定程度上限制产业的生产和排放行为，从而形成低碳态势良好的产业布局和产业模式，推动城乡“碳平衡、碳循环”。

4.2.3 生态功能区：蓝绿协同生态增汇模式

生态增汇模式是基于处于生态功能区类型的城乡融合区域的生态发展需求和生态安全底线提出的低碳发展模式，主要通过保护和提升城乡基底的蓝绿空间规模和固碳效应，提升城乡空间生态环境品质和新建生活单元的低影响、低碳化开发来实现。城乡水域和城乡植被等自然碳库碳固定量的增加和生产、生活等方面碳输出量的减少是生态功能区城乡融合类型促进区域“碳平衡”和“碳循环”的主要措施(图6)。

蓝绿空间是城乡系统重要的碳汇空间^[28]，增加城乡系统中蓝绿空间的规模、连通性以及优化植被类型能够提升其碳固定功能。增加城乡系统的蓝绿空间规模不仅需要综合考虑城乡自身的蓝绿基底、生态文化景观要求、地形地质限制和社会经济状况，还需要结合“碳”数据层的监测平台进行多方规划协调，落实“碳规先行”。“多规合一”下的“碳规先行”是以数据层的监测数据为基础对城乡单元的规划、建设以及运营的全生命周期碳排进行模拟测算，对规划的生态控制线、林业生态红线、土地开发利用红线等进行整合，再通过比对“碳规”进行有效调整。在提升城乡空间生态环境品质和新建生活单元的低影响、低碳化开发方面，通过增加生活单元内宅院空间前院后园的绿化和组团间的景观边界绿化，合理布局绿道、街头绿地以及防护绿地等线状绿地空间，有机整合城乡系统中点状、小面状的零碎绿地空间和中、大面状的城市公园、湿地公园、郊野公园以及林地、草地、湿地、农地等空间，增强蓝绿系统的连通性，从而增加生态的碳固定效益，促进区域“碳平衡”。除此之外，绿地空间中的植被类型也会对其碳固定效益产生影响，已有研究表明，乔木、灌木的固碳效果较为

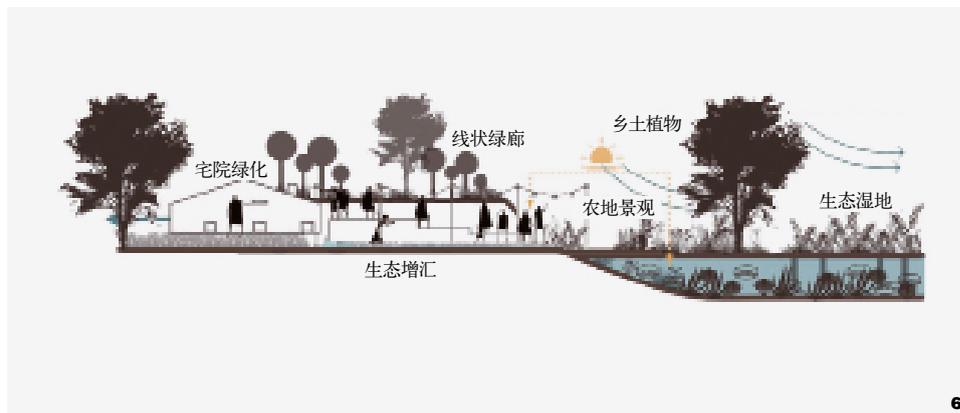


图6 蓝绿协同生态增汇模式
Fig. 6 Ecological enhancement model of synergy between blue and green spaces

高效^[29]，且优先选择乡土植物能够在一定程度上优化植被群落的长势和总体稳定性，从而提高植被群落的固碳效益。

5 结语

本文通过对城乡“碳平衡、碳循环”的理论概念进行梳理，结合对国内不同城乡融合类型发展特点的分析 and 二者关系的讨论，从美国、英国、德国以及日本等国际上较早开展低碳城乡融合研究及实践的国家汲取经验，并基于中国新时代现代化发展要求中对城乡融合发展的目标式指引与实践经验的现实化基础，对城市化地区、农产品主产区、生态功能区等三类主体功能地域的城乡融合模式进行了特征分析和未来发展要点讨论，并基于此提出了三种“碳平衡、碳循环”下的城乡融合发展模式。总体而言，三种模式的构建具有一定的共性，三生空间的科学布局、可再生能源清洁能源等的全覆盖使用、绿色高效公共交通的构建、“碳”数据的全时空监测以及相应法律法规标准的制定等是实现三种发展模式的重要举措，但三种类型由于城乡基底与发展定位的差异，其实施路

径的主次关系不同，在以上重要举措的实施过程中需要面临的问题与挑战不同。

城市化地区在实践中需要面临城市化进程中已形成的较为突出的城乡空间交错冲突与城乡民生差距矛盾，因此需要先对现有的城乡交错空间进行评估分级，基于对其交错特点、发展要求及建设和排放成本的分析，提出针对性优化更新或空间重组方案，并因地制宜制定乡村振兴规划内容带动乡村地区发展，全方位缩小城乡差距；农产品主产区面临的挑战主要是城乡经济、居民生活高质量发展需求与其大范围需要保护的传统农田基底和有限的工业化开发之间的矛盾，可以通过以增强农产品生产能力、创建特色化农产品优势区等为目标开发，最大化农田基底的经济、社会、文化效益，以农业现代化为动力，在有限空间内加快工业化进程与服务发展的创新，从而平衡基本农田保护与区域经济发展的问题；生态功能区因其承载的生态安全使命，在对其进行规划调整时，有可能会通过人口适度的易地集聚和生态补偿机制来保障该区域的生态系统稳定，因此在对该区域进行实践时需同步进行远期预测

与科学规划, 尽可能地减少城乡区域中三生空间的较大布局调整。此外, 本研究仍存在一些内容值得探讨。在经典案例的选取中仍需扩大范围和增加量化数据, 并结合国内的发展要求与发展状态进行动态性调整; 国外的发展策略大多已形成体系, 具有复杂、阶段性、长期化的实施周期, 而国内“碳平衡、碳循环”下的城乡高质量融合发展已较为迫切, 并面临着更加复杂的限制条件与矛盾挑战, 因此如何将国外的优秀经验, 科学合理地转化为适合国内现状的实施策略, 并在更新规划中形成高效高质的操作方法, 还需进一步优化与凝练。

注: 文中图表均由作者自绘。

参考文献

- [1] 韩文龙, 吴丰华. 新时代城乡融合发展的理论内涵与实现路径[J]. 马克思主义与现实, 2020(02): 166-173.
- [2] 闫凤英. “碳中和”与城乡规划研究[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(06): 4.
- [3] 刘秉镰, 袁博. 中国式现代化视域下城市群发展的理论逻辑与路径选择——学习习近平总书记关于城市工作的重要论述[J]. 城市问题, 2023, 332(03): 12-16.
- [4] 周佳宁, 秦富仓, 刘佳, 等. 多维视域下中国城乡融合水平测度、时空演变与影响机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(09): 166-176.
- [5] 吴巍, 宋彦, 洪再生, 等. 国外城市形态对住宅能耗影响研究及对我国的启示[J]. 国际城市规划, 2018, 33(03): 55-61.
- [6] FELICIANO M, PROSPERI D C. Planning for Low Carbon Cities: Reflection on the Case of Broward County, Florida, USA[J]. Cities, 2011, 28(6): 505-516.
- [7] 赵荣钦, 黄贤金. 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架[J]. 生态学报, 2013, 33(02): 358-366.
- [8] LI G D, LI F. Urban Sprawl in China: Differences and Socioeconomic Drivers[J]. Science of the Total Environment, 2019(2): 367-377.
- [9] SEEVARETHNAM M, RUSLI N, LING G H T, et al. A Geo-Spatial Analysis for Characterizing Urban Sprawl Patterns in the Batticaloa Municipal Council, Sri Lanka[J]. Land, 2021, 10(6): 636.
- [10] 杜国明, 刘美. 基于要素视角的城乡关系演化理论分析[J]. 地理科学进展, 2021, 40(08): 1298-1309.
- [11] 周德, 戚佳玲, 钟文钰. 城乡融合评价研究综述: 内涵辨析、理论认知与体系重构[J]. 自然资源学报, 2021, 36(10): 2634-2651.
- [12] 张伟, 闫海, 胡剑双, 等. 新时代省域尺度城乡融合发展路径思考——基于江苏实践案例分析[J]. 城市规划, 2021, 45(12): 17-26.
- [13] 刘彦随, 严斌, 王艳飞. 新时期中国城乡发展的主要问题与转型对策[J]. 经济地理, 2016, 36(07): 1-8.
- [14] 谭雪兰, 于思远, 欧阳巧玲, 等. 快速城市化区域农村空心化测度与影响因素研究——以长株潭地区为例[J]. 地理研究, 2017, 36(04): 684-694.
- [15] The City of New York. New York Master Plan 2008-2030[Z]. 2007.
- [16] West Galveston Island Greenprint for Growth Report[R]. The Trust for Public Land, 2007.
- [17] Mayor of London. The London Plan 2021[EB/OL]. (2021-03-02). https://www.london.gov.uk/sites/default/files/the_london_plan_2021.pdf
- [18] ESPON. Green Infrastructure in Urban Areas[R/OL]. (2020-05-13). <http://www.espon.eu/green-infrastructureurban-cereas>
- [19] LIU Y S, LU S S, CHEN Y F. Spatiotemporal Change of Urban-rural Equalized Development Patterns in China and Its Driving Factors[J]. Journal of Rural Studies, 2013, 32(23): 320-330.
- [20] 日本国土交通省. 低炭素都市づくりガイドライン[EB/OL]. (2011-01-15). https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/teitanso.html
- [21] 方创琳. 城乡融合发展机理与演进规律的理论解析[J]. 地理学报, 2022, 77(04): 759-776.
- [22] 郭海红, 刘新民, 刘录敬. 中国城乡融合发展的区域差距及动态演化[J]. 经济问题探索, 2020, 459(10): 1-14.
- [23] 李雯琪, 张立, 张尚武. 中国城乡融合研究的议题、评述及展望[J]. 城市规划学刊, 2022, 272(06): 36-43.
- [24] 黄瑛, 张伟. 大都市地区县域城乡空间融合发展的理论框架[J]. 现代城市研究, 2010, 25(10): 74-79.
- [25] 张娟, 王玉虎, 刘航. 对平原地区县域城镇化的若干思考——基于山东、河北的县域城镇化调研[J]. 城市发展研究, 2016, 23(09): 1-6.
- [26] 高慧智. 生态资本化: 城乡融合的第三次循环[J]. 城市规划, 2022, 46(07): 35-45.
- [27] 杨其长. 以都市农业为载体, 推动城乡融合发展[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(02): 246-255.
- [28] 熊健, 卢柯, 姜紫莹, 等. “碳达峰、碳中和”目标下国土空间规划编制研究与思考[J]. 城市规划学刊, 2021(04): 74-80.
- [29] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007(06): 804-812.