

国土空间规划中碳中和评估及规划应用 路径研究

□ 陈可欣, 陶韦华, 方晓丽, 魏冀明

[摘要] 国土空间规划是开展国土空间资源保护利用修复的蓝图, 是保障城市实现碳中和目标的重要政策文件。当前, 将碳中和目标纳入国土空间规划缺乏与基础数据相关联的碳定量方法、明确的碳汇和碳减排目标, 以及纳入规划体系的碳中和约束指标与具体落实策略等。研究以山东省威海市为例, 探索与国土空间规划衔接的碳中和评估方法; 围绕“目标—指标—策略”框架, 确立碳中和目标, 建立碳中和指标体系; 探索与开发利用、专项要素等挂钩的实施策略, 有效链接碳中和与国土空间规划, 探析协同推进“双碳”战略和国土空间战略的技术框架与实施路径, 从而促进国土空间的低碳转型。

[关键词] 碳中和; 国土空间规划; 碳汇; 碳排放

[文章编号] 1006-0022(2022)05-0134-08 **[中图分类号]** TU984 **[文献标识码]** B

[引文格式] 陈可欣, 陶韦华, 方晓丽, 等. 国土空间规划中碳中和评估及规划应用路径研究 [J]. 规划师, 2022(5): 134-141.

Carbon Neutrality Assessment and Planning Application Path in Territorial Spatial Planning/Chen Kexin, Tao Weihua, Fang Xiaoli, Wei Jiming

[Abstract] Territorial spatial planning is a blueprint for the preservation, utilization, and restoration of spatial resources, and an important policy document for cities to achieve carbon neutrality visions. At present, the integration of carbon neutrality goal into territorial spatial planning lacks carbon quantification methods directly related to its basic data, clear carbon sink and carbon emission reduction targets, carbon neutrality planning indicators incorporated into the territorial spatial planning system, and effective implementation strategies. With Weihai city as an example, the paper studies the carbon neutrality evaluation method connected with territorial spatial planning, establishes the visions and indices system of carbon neutrality within the general framework, explores implementation strategies connected with utilization and special parameters, promotes the integration of carbon neutrality with territorial spatial planning, and explores the technical framework and implementation path for the coordinated promotion of dual-carbon strategy and territorial spatial strategy, to promote the low-carbon transformation of territorial spatial development.

[Key words] Carbon neutrality, Territorial spatial planning, Carbon sink, Carbon emission

0 引言

2020年9月, 习近平总书记提出要在2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标。2021年3月, 习近平总书记提出要把“双碳”目标纳入生态文明建设整体布局, 强化国土空间规划和用途管控^[1]。2021年9月, 《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》提出“强化绿色低碳发

展规划引领, 强化国家发展规划、国土空间规划、专项规划、区域规划和地方各级规划的支撑保障”。国土空间规划体系的建立是新时期国家生态文明改革的重要举措, 两者的融合至关重要。

2010年7月, 国家发展改革委启动低碳试点工作, 建立低碳城市、低碳县区、低碳社区等多层次的低碳试点示范体系, 规划将绿色低碳理念和技术要求与生态、产业、能源、交通、市政、建筑等方面深度融合,

[基金项目] 广东省城乡规划设计研究院有限责任公司科研课题 (2020-KY-005)

[作者简介] 陈可欣, 硕士, 工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院有限责任公司规划三所。

陶韦华, 硕士, 助理工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院有限责任公司规划三所。

方晓丽, 硕士, 高级工程师, 现任职于威海市国土空间技术中心。

魏冀明, 硕士, 高级工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院有限责任公司低碳生态研究中心。

但更多聚焦于行业减排,通过节能减排的技术进步推动低碳目标实现^[2]。碳中和目标的实现除了考虑碳排放的减法,还涉及碳汇的加法,“一正一负”才能实现碳中和。国土空间是减排增汇的重要场所,国土空间规划通过用地布局调整,协调生产、生活、生态空间要素,实现全域资源配置,从而对城市发展过程中的碳排放和碳汇形成中长期的干预。然而,目前国土空间规划对于碳中和的实现以指导性政策和原则性要求为主,缺乏碳相关变量的量化评估及有效落实的策略,在宏观层面也缺乏两者耦合关系的研究^[1]。

基于此,本文以山东省威海市为例,提出国土空间规划编制中面向碳中和的全流程技术体系框架,一是构建国土空间规划碳计量方法体系,通过以土地调查数据为测算基础的碳排放、碳汇测算,为空间规划增汇减排的动态核算提供具有空间属性的转换系数;二是围绕“目标—指标—策略”的框架,结合国土空间规划的定位目标与空间布局,建立碳中和目标的差异化赋值方案,构建与国土空间规划相衔接的碳中和指标体系,集成与国土空间规划的开发利用和专项要素挂钩的碳中和实施策略。通过碳中和目标与国土空间规划的技术链接,为实现碳中和目标建立便于规模化推广实施的国土空间规划集成技术方法体系。

1 碳中和理论研究

1.1 碳中和的内涵与意义

“碳中和”一词可拆分为“碳”与“中和”两个词进行理解,“碳”即以二氧化碳为代表的温室气体,“中和”即正负相抵。1856年尤尼斯·富特首次提出二氧化碳是导致全球气候变暖的温室气体,但直到1972年的第一次全球环境与发展大会,气候变暖问题才开始进入人们的视野。1988年世界气象组织和联合国环境规划署建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC),先后发布了五次评估报

告^[3]。2014年IPCC发布的第五次评估报告首次正式提及“近零排放”,提出为将全球气温上升幅度控制在2°C,到21世纪末需实现温室气体的排放水平接近或者是低于零。2015年达成的《巴黎协定》第四条提出要实现“温室气体源的人为排放与汇的清除之间的平衡”^[4]。2018年IPCC发布特别报告,指出为将全球气温上升幅度控制在1.5°C,需要在2050年左右实现二氧化碳的净零排放。在我国,中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议公报明确提出2035年要实现温室气体稳中有降。碳中和定义为温室气体净零排放,即不同主体在一定时间内通过森林恢复或碳去除技术,抵消自身产生的温室气体排放量,实现正负相抵,达到相对零排放。根据经济合作与发展组织统计数据,2020年碳排放达峰国家已达到54个。截至2021年11月10日,全球有2个国家实现了碳中和,另外有66个国家制定了碳中和目标。

1.2 碳排放的内涵与评估

“碳排放”是温室气体排放的简称,包含二氧化碳、水蒸气、氧化亚氮、甲烷、臭氧等多种自然或人为产生的气体,其中二氧化碳是最主要的温室气体^[5]。为应对气候变化危机,IPCC制定了《2006年IPCC国家温室气体清单指南》。该指南从“能源”“工业过程和产品使用”“农业、林业和其他土地利用”“废弃物”四大部分自上而下层层分解,提出采用排放因子法,通过采集碳排放活动数据和排放系数进行核算,汇总得到温室气体总量。基于此,我国结合国情于2011年发布了《省级温室气体清单编制指南(试行)》(以下简称《指南》)(图1)。

我国的碳排放测算研究起步较晚,早期研究局限于全国及省市宏观尺度,后期逐渐转向城市中观尺度,采用的碳核算方法主要为排放因子法、KAYA公式及碳排放系数等。例如,李国志、赵荣钦和苏泳娴等人采用碳排放因子法计算

我国各省市碳排放总量,并分析了我国碳排放强度的主要影响因素^[6-8];刘春兰、姜洋、葛汝冰和杨皓然等人测算了北京、厦门、南京等城市的碳排放总量^[9-12]。随着城市碳排放研究的不断深入,碳排放分析方法逐渐运用于不同行业及用地类型。例如,鞠鹏艳构建了城乡碳排放计量框架,自上而下地核算工业、建筑等各排放类别的碳排放量^[13];毋晓蕾等人基于碳排放总量,采用权重系数分配得出河南省淅川县各类建设用地的碳排放强度^[14];夏楚瑜采用排放因子法、碳排放系数法等方法测算杭州市各类用地碳排放量^[15]。同时,碳排放强度的空间分布研究也在不断深入。例如,许盛、刘永伟等人借助夜间灯光、交通、GDP、人口、路网密度等参数,模拟碳排放空间分布^[16-17];舒心等人用脱钩指数来反映碳排放和城市用地增长之间的均衡关系^[18]。

1.3 碳汇的内涵与评估

碳汇是温室气体的自然或人为的存储库,包含土壤、海洋和植物等^[5],可分为蓝碳和绿碳。蓝碳是指由海洋、海岸带、河口、湿地内的生物固碳和储碳增加的碳汇,体现了利用海洋活动及海洋生物吸收大气中的二氧化碳,并将其固定、储存在海洋中的过程、活动和机制。绿碳是指森林、耕地、湿地等陆地植物生境和陆地土壤中固定的碳。当前碳汇的测算方法有碳汇系数法、净生态系统生产力法等多种方法。

碳汇系数法通过参考相关文献确定各类生态用地碳汇系数或固碳速率,进而测算区域碳汇总量,与当前空间规划下土地利用变更调查数据相适应。例如,义白璐、王喜、张赫、王永华、周晨昊和刘慧等人通过跟踪国内外期刊研究成果,确定了林地、草地、水域、未利用地、城市绿地等用地以及红树林、海草床、盐沼、海洋的碳汇系数或固碳速率^[19-24]。

净生态系统生产力法通过构建CASA等模型并进行改进,利用太阳辐射、

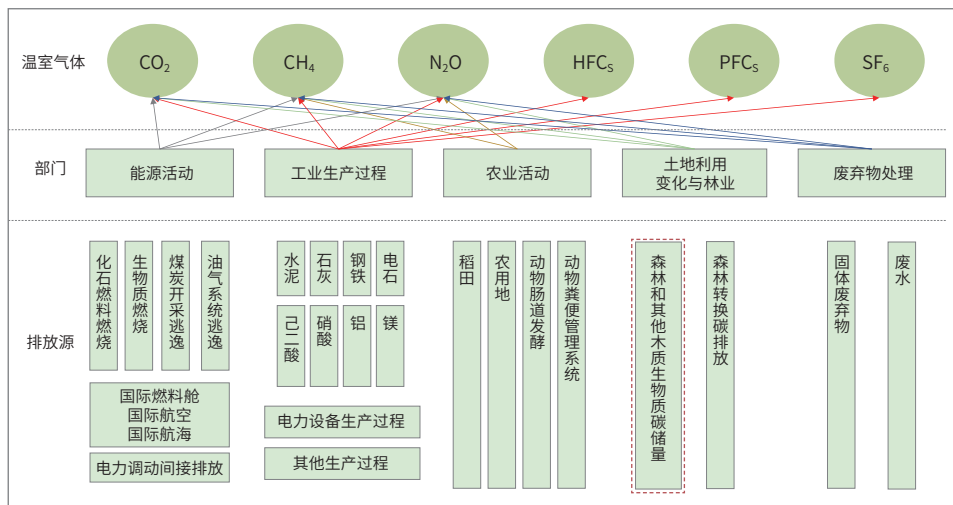


图1 《省级温室气体清单编制指南(试行)》中的五大排放部门及排放源

NDVI、土壤水分、降水量、平均温度等指标来测算植被碳汇。相较于碳汇系数法,其空间分异性更强,但易受数据精度限制。例如,耿迪、刘凤和张筠等人基于改进的CASA模型,估算了徐州市城区、青海高原及山东省植被净生态系统生产力,并评估了气候变化和土地覆盖变化等要素的相对影响^[25-27]。

2 国土空间规划中碳中和研究及其存在问题

2.1 碳中和目标纳入国土空间规划的技术路线待探索

此前城乡规划和土地利用规划对低碳空间规划理论与技术方法均进行了长期的探索,为现行国土空间规划中碳中和目标的实现提供了支撑与借鉴^[28]。两者均侧重于碳排放的研究,其中土地利用规划侧重全域土地利用类型、结构与碳排放之间的相关关系研究,通过平衡生态、农业、城镇空间的土地利用规模,实现低碳规划的量化^[29-32];城乡规划侧重城市内部功能分区、设施布局等与碳排放的关联机制研究,通过定性结论为实现低碳城市、低碳县区等多层次的低碳建设提供规划策略^[33-38]。2019年,《中共中央 国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》明确提出,将

主体功能区规划、土地利用规划、城乡规划等空间规划融合为统一的国土空间规划,实现“多规合一”。国土空间规划体系建立之后,土地利用规划的量化评估和城乡规划的定性策略也应该实现“合一”,综合指导土地利用、城市结构优化、生态资源配置、交通系统优化等,并统筹碳源与碳汇,有效实现碳中和^[39]。

目前,《市级国土空间总体规划编制指南(试行)》提出“探索绿色化的高质量发展新路子”^[1],但碳中和目标并未包含在主要编制内容中,缺少碳中和的现状评估与规划实施评估、对应落实策略和规划编制指导。即使部分省市出台的编制指南中有相应内容,如广东省在生态空间的编制要点中提到“全面增强生态产品供给功能,促进率先实现碳达峰和碳中和”,但这仅限于对生态空间的指导要求,不足以为全域国土空间结构与布局、资源要素配置等提供面向碳中和目标的整体指导。因此,将碳中和目标纳入国土空间规划的技术框架和具体保障措施仍有待探索。

2.2 国土空间规划与碳排放、碳汇耦合存在问题

在碳排放的核算中,需要通过编制温室气体清单^[40]来计算温室气体排放量,从而核算二氧化碳当量,这就需要掌握

活动数据和排放因子^[41]。其中,活动数据来源于国家相关统计年鉴、排放源普查、调查资料等统计数据;排放因子来源于国际数据库及《指南》。在碳汇的核算中,净生态系统生产力法^[42]涉及的净初级生产力(NPP)、土壤呼吸消耗碳量(RS)等来源于多个部门的遥感数据、统计数据和实地调查等。两者的核算方法均无法与国土空间规划基础数据直接关联,难以在规划编制中直接使用。

因此在国土空间规划体系中,需从规划的不同专项,如交通、产业、生态环境等维度,探索与碳排放、碳汇的耦合方式,研究与国土空间规划基础调查数据或不同专项相关联的核算技术框架,从而在规划编制的前、中、后期提供定量分析、优化建议与预测评估。

2.3 国土空间规划助力碳中和的路径不明

低碳规划重点聚焦空间格局、综合交通、能源与资源利用、生态环境四个重点领域^[43]。城市碳达峰规划主要关注土地利用、城市产业、城市能源、交通及物流、社区与建筑、生态环境等10个领域^[2]。上述领域大部分针对碳减排提出相应策略,生态环境领域则是碳汇策略的重点。因此,碳减排多从建筑、交通、工业、其他能源活动、土地利用等维度入手^[44],针对土地利用维度,量化评估建设用地空间结构和规模对碳排放的影响^[34]。碳汇多以陆地生态系统碳汇预测为基础,采用保护自然生态系统的策略,包括增加林地面积、调整耕地和草地比例等^[45]。虽然碳达峰规划、低碳规划等对碳中和目标的实现路径进行了不同空间层次和领域的探索,但是缺乏整体的空间政策设计。同时,国土空间规划编制尚未将碳中和作为基本原则,导致后期全域国土空间的开发利用和保护修复缺乏相应的顶层空间政策指导,无法有效贯彻落实减排增汇任务。由此可见,国土空间规划实现碳中和目标需要

建立各个系统与减排增汇之间的关联框架，空间规划系统要重点关注产业发展系统、人居生活系统、交通出行系统、生态绿化系统、人地规模系统和能源效率系统^[34]，输出与国土空间规划编制内容直接对应的面向碳中和目标的策略库。

3 国土空间规划中碳中和评估方法和规划助力路径

3.1 碳排放核算方法

国土空间规划应基于《指南》及最新土地利用调查数据，构建温室气体排放清单核算门类与土地利用类型关联框架(图2)。一方面，城市碳排放总量需采用自上而下的计算方法，结合各地统计年鉴中的能源平衡表数据，运用排放因子等方法计算，数据公开且具有权威性；另一方面，各类用地温室气体排放量需采用自下而上的计算方法，对KAYA公式进行调整，通过用地规模及各类用地碳排放强度估算碳排放量，并根据城市总排放量进行校正。

3.2 碳汇核算方法

在国土空间规划编制期间，应对国内各类碳汇空间碳汇能力的研究成果进行跟踪^[20-22, 24-25, 46-48]，整理山、水、林、田、湖、草的固碳速率。同时，结合第三次全国国土调查(以下简称“三调”)数据的各地类面积，对当前陆地生态系统空间的现状碳汇能力进行测算(表1)。

3.3 构建“目标—指标—策略”的编制框架，实现碳中和国土空间规划

《纽约2050总规》将实现碳中和纳入目标，建构了四个气候政策指标，并明确了纽约响应气候变化的重点领域，提出了对应的策略与相应的行动，指出衡量每项行动进展的指标。由此可见，纽约通过构建“目标—指标—策略—行动”的框架来响应气候变化^[49]。

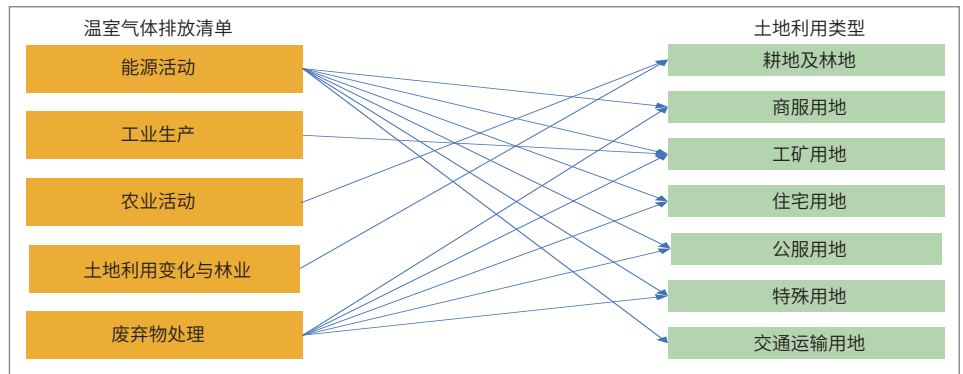


图2 温室气体排放清单核算门类与土地利用类型关联框架

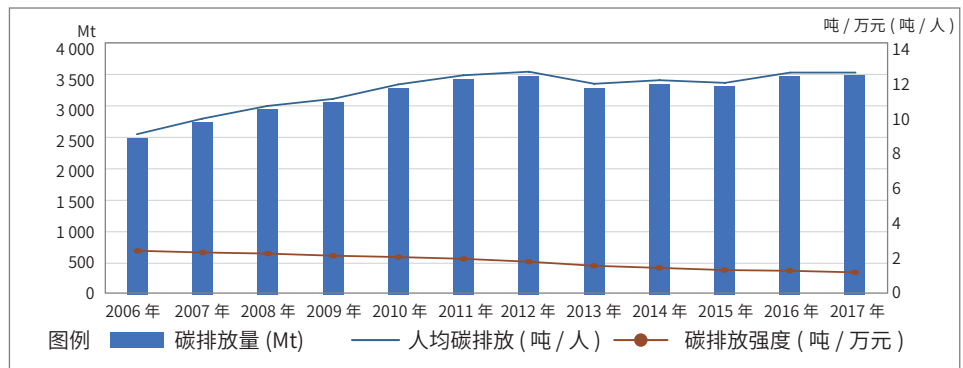


图3 2006年以来威海市碳排放、人均碳排放及碳排放强度

表1 非建设用地碳汇系数一览

三调地类		碳汇系数或固碳速率
湿地	红树林地	4.44 t/(hm ² ·a)
	森林沼泽	1.19 t/(hm ² ·a)
	灌丛沼泽	0.88 t/(hm ² ·a)
	沼泽草地	0.34 t/(hm ² ·a)
	盐田	0.67 t/(hm ² ·a)
	沿海滩涂	2.36 t/(hm ² ·a)
	内陆滩涂	0.67 t/(hm ² ·a)
	沼泽地	0.67 t/(hm ² ·a)
	耕地	
园地		2.10 t/(hm ² ·a)
林地	乔木林地	0.87 t/(hm ² ·a)
	竹林地	0.87 t/(hm ² ·a)
	灌木林地	0.23 t/(hm ² ·a)
	其他林地	0.23 ~ 0.58 t/(hm ² ·a)
	草地	0.02 t/(hm ² ·a)
水域	河流水面	0.67 t/(hm ² ·a)
	湖泊水面	0.30 t/(hm ² ·a)
	水库水面	0.30 t/(hm ² ·a)
	坑塘水面	0.30 t/(hm ² ·a)
	其他土地	盐碱地
沙地		0.000 5 t/(hm ² ·a)
裸土地		0.000 5 t/(hm ² ·a)
裸岩石砾地		0.000 5 t/(hm ² ·a)
海洋		7.04 × 10 ⁵ t/(hm ² ·a)

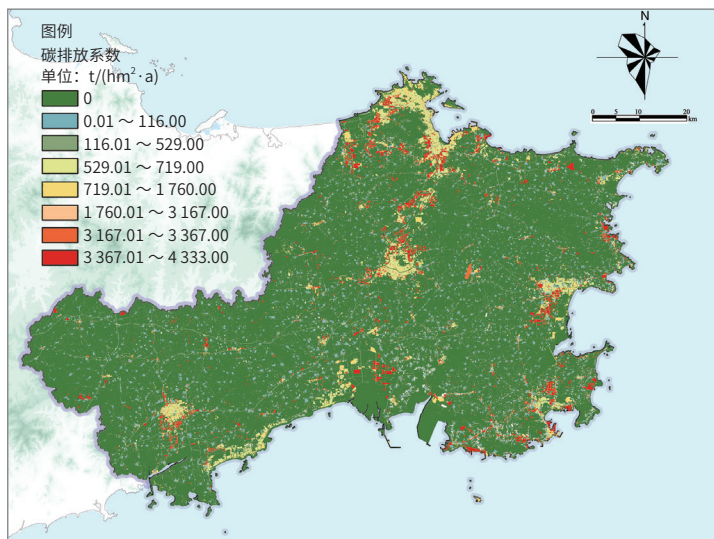


图4 威海市现状碳排放分布

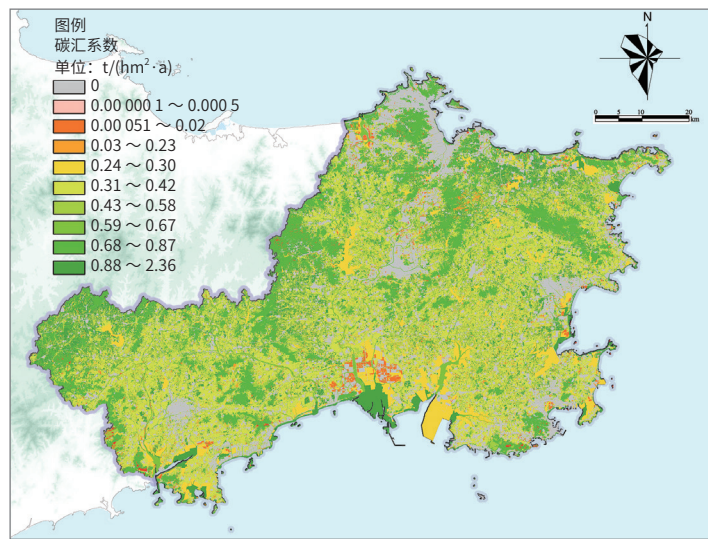


图5 威海市现状碳汇分布

《大伦敦规划 2021》将 2050 年实现零碳城市的目标融入城市发展愿景，提出了包括大伦敦地区交通、环境、经济发展、基础设施在内的多个领域的策略和政策，并提出了一系列关键绩效指标 (KPI)，作为规划落实的重要抓手，最后以每年发布的年度监测报告对规划内容的实施与 KPI 进行考核评估。由此可见，伦敦通过构建“目标—策略—指标—保障”的框架为气候目标的实现提供强有力的保障^[50]。

在碳中和的目标背景下，如何将气候变化目标融入国土空间规划是目前国土空间规划编制面临的重要课题。纽约、伦敦等城市的规划编制经验为我国在规划领域应对气候变化提供了借鉴。国土空间规划应构建碳中和目标下“目标—指标—策略”的规划内容体系，明确总目标和分目标，提出关键的评估指标，并转化为具体策略和行动，最后通过规划实施体检评估和动态修正等实施保障措施确保总目标的实现。

4 威海市碳中和评估及国土空间规划应用路径

4.1 威海市概况

威海市位于山东半岛东端，三面濒临黄海，属起伏缓和、谷宽坡缓的波状

丘陵区。其河流均属独流入海的山溪性河流，海岸类型属港湾海岸。近年来，威海市近岸海域生态保护和开发建设矛盾突出，大量城乡建设和港口工业建设集中在沿海地区，导致岸线人工化、海湾和滨海湿地退缩等一系列问题。同时，随着国土开发利用水平和质量的持续提升，威海市的土地集约节约利用水平还有待提升。低丘缓坡地形使威海市形成了组团式的城市格局，其空间发展重点不集中，中心城区各平台的土地年均增量为 0.5 ~ 1 km²，土地资源分散，难以形成集聚效应。

4.2 威海市国土空间规划中碳中和评估

4.2.1 碳排放核算

威海市国土空间规划基于《指南》及威海市能源平衡表，计算得出威海市历年碳排放。其中，2011 年威海市碳排放已处于平台期，碳排放总量在 3 500 万吨左右波动，有望于近年进入碳排放下降阶段。2006 年以来，威海市人均碳排放量从 8.93 吨/人上升至 12.33 吨/人，碳排放强度从 2.44 吨/万元下降至 1.25 吨/万元，同等碳排放量的经济产出有所提升，人均碳排放量有待进一步降低 (图 3)。结合能源平衡表、威海市三调数据及相关用地碳排放强度^[10]，模拟得到

威海市现状碳排放布局 (图 4)。

4.2.2 碳汇测算

威海市陆地自然生态碳汇空间占陆域国土面积近 85%。根据三调数据核算，威海市陆地自然生态系统年碳汇能力约为 154 万吨二氧化碳当量 (图 5)。其中，湿地碳汇能力约为 12 万吨二氧化碳当量；园地碳汇能力约为 52 万吨二氧化碳当量；林地碳汇能力约为 82 万吨二氧化碳当量；河湖库、坑塘水面等碳汇能力约为 8 万吨二氧化碳当量。耕地与草地以及其他未利用地 (包括盐碱地、沙地等) 的碳汇能力忽略不计。

4.2.3 碳中和评估

根据以上计算结果，威海市碳排放量约为 3 481 万吨，与碳汇的差值约为 3 327 万吨，可见威海市减碳任务艰巨。威海市现状碳汇相较碳排放量很低，且现有技术难以大幅度提升生态碳汇，因此威海市碳中和的调控仍应以碳排放端的控制为重点。

4.3 威海市国土空间规划助力碳中和的路径

面向碳中和目标，规划通过构建“目标—指标—策略”的规划编制总体技术框架，从目标确立、指标体系建立、具体规划策略等方面助力实现碳中和城市建设。一是将碳中和目标全面纳入规划编

制和实施；二是从减排和增汇两方面研究分解的子目标，根据碳排放核算因子和碳汇相关因子确定考核指标，衔接国土空间规划指标体系提出空间约束关键指标；三是分专项转化为具体的国土空间开发利用和专项策略，最后通过关键指标的体检评估来加强规划实施保障。

4.3.1 国土空间规划中碳中和目标确立

威海市国土空间总体规划在编制阶段，对规划年末的减排增汇效果进行定量分析，确定总目标下的碳定量约束，包括规划碳汇目标与规划碳减排任务。

规划碳汇能力的评估需要建立多部门协同机制。在国土空间总体规划编制中，自然资源部门根据森林保有量、湿地面积等指标，以三调和森林资源二类调查为基础，结合不同类型植被的碳汇能力，明确城市碳汇的目标。在此过程中，要对生态空间碳汇极限值进行探索，提升生态功能区的碳汇能力。最终，规划确定威海市规划年末碳汇能力目标值为 191 万吨二氧化碳当量。

规划期末碳排放量评估可采用 KAYA 公式，利用往年碳排放强度、人均 GDP 及人口总量进行推算。2017 年威海市碳排放强度为 1.25 万元/吨，人均 GDP 为 9.90 万元，常住人口为 282.24 万。根据威海市国土空间规划阶段成果，威海市 2035 年常住人口约为 320 万，人均 GDP 约为 22 万元。根据往年数据推算，2035 年威海市碳排放强度约 0.41 万元/吨，从而预测 2035 年威海市碳排放量约 2 917 万吨，相对规划碳汇量仍高出约 2 726 万吨，最终确定规划碳减排任务。

4.3.2 建立国土空间规划体系中碳中和指标体系

国土空间规划通过城市体检评估指标进行城市发展状态和规划实施动态评估，包括城乡融合、生态保护、绿色生产等十二个层面；通过规划指标体系对全域全要素进行空间管控，包括空间底线、空间结构与效率、空间品质三个层面。

面对碳中和目标，国土空间规划结合影响城市碳排放和碳汇的关键因子，包括土地利用结构和形态、城市产业结构和布局、交通体系、城市能源、生态环境等^[2]，衔接国土空间规划相关指标体系，提出相对应的碳中和约束关键指标体系，并根据地区不同发展阶段进行差异化赋值（表 2）。

表 2 国土空间规划中碳中和指标体系

评估层面	评估指标	影响方向	衔接国土空间规划指标			
			城市体检评估指标	指南规划指标体系	城市体检指标体系	
生态环境	生态保护红线面积	正向	A-01	1	—	
	林地保有量	正向	B-23	7	—	
	湿地面积	正向	A-06	9	—	
	森林蓄积量	正向	B-22	—	—	
	森林覆盖率	正向	A-28	—	—	
	人均公园绿地面积	正向	A-53	30	—	
	河湖水面率	正向	A-07	—	—	
	新增生态修复面积	正向	A-29	—	—	
	空间结构	城乡建设用地面积	负向	A-17	6	—
		人均城镇建设用地面积	负向	A-21	17	—
城镇人均住房面积		负向	B-43	26	—	
存量土地供应比例		正向	A-24	—	—	
区域开发强度		负向	—	—	1	
组团规模		负向	—	—	2	
产业发展		每万元 GDP 地耗	负向	A-31	—	—
	单位 GDP 二氧化碳排放降低比例	正向	A-32	—	6	
	高新技术制造业增长率	正向	B-16	—	—	
	产业空间聚集度	正向	—	—	—	
	交通体系	道路网密度	负向	A-41	19	33
轨道交通站点 800 m 半径服务覆盖率		正向	B-46	20	36	
绿色交通出行比例		正向	A-39	31	37	
工作日平均通勤时间		负向	B-49	32	34	
45 分钟通勤时间内居民占比		正向	A-58	—	—	
专用自行车道密度		正向	—	—	38	
能源效率		新能源和可再生能源比例	正向	B-27	13	—
	每万元 GDP 能耗	负向	B-25	—	—	
	社区低碳能源设施覆盖率	正向	—	—	22	
社区生活	城镇生活垃圾回收利用率	正向	A-36	34	15	
	农村生活垃圾处理率	正向	A-37	35	—	
	再生水利用率	正向	A-11	—	14	
	新建建筑中绿色建筑占比	正向	—	—	7	
	城市生活污水集中收集率	正向	—	—	13	

注：指标来源于《国土空间规划城市体检评估规程（试行）》《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》《2021 年城市体检指标体系》；影响方向为该评估指标的数值增加对于实现碳中和目标的正负性（即该指标数值增加对于实现碳中和是负向影响，则影响方向为负）。

4.3.3 国土空间规划中碳中和实现策略

(1) 面向碳中和的国土空间开发利用。

从底线管控、结构引导、紧凑布局三个层面促进开发空间碳减排。在底线管控层面，在威海市划定城镇开发边界，强化城镇开发边界对开发建设行为的刚性约束作用，严格实行建设用地总量与

强度双控。在结构引导层面,加强全域组团布局,实现组团的有序拓展,同时完善路网体系,加强组团的交通联系。在紧凑布局层面,落实紧凑、集聚的轴带组团结构,推进复合化、集约化的空间利用,将居住用地优先布局在轨道车站、大容量公共交通廊道和节点周边;在就业岗位集中的重点地段,鼓励产业空间与人才公寓、消费空间合理混合,发展产业社区,促进产城融合。

从空间保护、生态修复、绿色基础设施建设三个层面促进保护空间增加碳汇。在空间保护层面,从碳中和视角提出碳汇空间布局,划定陆域和海域生态保护红线,统筹生态要素,注重流域的系统性和生态系统的完整性。在生态修复层面,以低碳汇区为支撑,确定生态修复工程选址,重点加强对生态屏障和廊道的管控与修复,控制并逐步清退生态保护红线内的城乡建设项目;海洋空间要加快滨海湿地与围填海工程的修复,以“蓝色海湾行动”统筹近海生态系统修复。在绿色基础设施建设层面,依托绿道、碧道的建设,在城镇密集地区结合沿线存量地区,开展绿色城市更新,修复河流、湿地等自然资源,同时建设滨水经济带,开发具有地方特色的碳中和产品。

(2) 面向碳中和的国土空间规划专项策略。

结合碳排放核算,国土空间规划针对不同专项提出低碳行动,包括产业专项、交通专项、市政专项和政策保障专项等,集成碳中和规划减碳行动库。

在产业专项层面,借鉴先进城市经验,利用第三产业替代工业,实现经济发展与能耗脱钩。同时,考虑威海市的城市发展需要工业带动的实际情况,在初期促进产业转型升级,推动集群发展,提质增效,建设先进制造业产业基地;推进传统工业园区、零散产业用地分级分类升级改造,盘活闲置低效用地,推动工业用地向高集聚、高层级、高强度发展。

在交通专项层面,针对交通碳排放占比高及汽车保有量逐年提升的现实情况,一是构建与城市功能相融合的客运、货运综合枢纽,促进城市客运枢纽、市内公共交通与各类交通方式的便捷转换;二是构建公交优先、慢行友好的城市交通系统,推进公交场站与周边用地一体化建设,发挥公共交通对城市发展的引领和支撑作用,同时以步行和自行车友好为导向,构筑与公共交通无缝衔接的慢行交通系统,倡导绿色出行。

在市政专项层面,保障能源基础设施空间,包括清洁能源用地及长距离基础设施管道,建立以大型能源站点为主、分布式能源为补充的能源供应体系;在城市及农村地区推广太阳能的利用,完善农村沼气服务网络,推进风能开发利用。

在政策保障专项层面,建议制定由碳中和指标、布局、工程、监测组成的组合政策,推进碳汇空间提质增效,并利用约束性指标,评估地级市的碳汇能力;结合国土空间规划“一张图”实施监督信息系统,动态监测碳汇空间边界及碳汇能力。

5 结语

碳中和目标的实现是一项系统工程,需要社会高度认同,通过建立多部门协同、多专业合作的方式,协作、创新共同完成。国土空间规划是保障碳汇空间、减少开发空间碳排放的重要抓手,可以通过规划编制进一步推动碳中和目标的实现。本文对面向碳中和的国土空间规划编制面临的问题进行分析,提出与规划基础数据挂钩的碳定量方法,进行现状核算和确定规划目标,同时根据“目标—指标—策略”的编制框架,将碳中和目标、指标体系纳入全流程管控,做好国土空间开发保护和不同专项的规划减碳策略储备,并在威海市国土空间规划中进行初步实践,以期为我国国土空间

规划助力碳中和目标的实现提供市级样本和启发。□

[参考文献]

- [1] 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(4): 74-80.
- [2] 魏保军, 李迅, 张中秀. 城市碳达峰规划技术策略体系研究[J]. 城市发展研究, 2021(10): 1-9.
- [3] 李俊峰. 做好碳达峰、碳中和工作, 迎接低排放发展的新时代[J]. 世界环境, 2021(1): 16-19.
- [4] Bongaarts J. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Global Warming of 1.5°C Switzerland: IPCC, 2018[J]. Population and Development Review, 2019(1): 251-252.
- [5] IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems[EB/OL]. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summaryfor-policymakers/>, 2019-09-16.
- [6] 李国志, 李宗植. 中国二氧化碳排放的区域差异和影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010(5): 22-27.
- [7] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010(9): 1 639-1 649.
- [8] 苏泳娴, 陈修治, 叶玉瑶, 等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. 地理学报, 2013(11): 1 513-1 526.
- [9] 刘春兰, 陈操操, 陈群, 等. 1997年至2007年北京市二氧化碳排放变化机理研究[J]. 资源科学, 2010(2): 235-241.
- [10] 姜洋, 何永, 毛其智, 等. 基于空间规划视角的城市温室气体清单研究[J]. 城市规划, 2013(4): 50-56, 67.
- [11] 葛汝冰, 吝涛, 刘晓芳, 等. 基于城市功能分区的碳收支平衡时空分异研究[J]. 气候变化研究进展, 2016(2): 101-111.
- [12] 杨皓然, 吴群. 不同政策方案下的南京市土地利用碳排放动态模拟[J]. 地域研究与开发, 2021(3): 121-126.
- [13] 鞠鹏艳. 城市总体规划层面低碳城乡

- 规划方法研究——以北京市延庆县规划实践为例[J]. 城市规划, 2013(8): 9-17.
- [14] 毋晓蕾, 王婧, 汪应宏, 等. 浙川县土地利用结构低碳优化研究[J]. 地域研究与开发, 2013(2): 160-165.
- [15] 夏楚瑜. 基于土地利用视角的多尺度城市碳代谢及“减排”情景模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [16] 许盛. 南京市温室气体排放清单及其空间分布研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [17] 刘永伟, 闫庆武. 基于SLM模型的中国碳排放格网化空间分布模拟[J]. 地理与地理信息科学, 2015(3): 76-80.
- [18] 舒心, 夏楚瑜, 李艳, 等. 长三角城市群碳排放与城市用地增长及形态的关系[J]. 生态学报, 2018(17): 6302-6313.
- [19] 义白璐, 韩骥, 周翔, 等. 区域碳源碳汇的时空格局——以长三角地区为例[J]. 应用生态学报, 2015(4): 973-980.
- [20] 王喜, 鲁丰先, 秦耀辰, 等. 河南省碳源碳汇的时空变化研究[J]. 地理科学进展, 2016(8): 941-951.
- [21] 张赫, 彭千芮, 王睿, 等. 中国县域碳汇时空格局及影响因素[J]. 生态学报, 2020(24): 8988-8998.
- [22] 王永华, 高含笑. 城市绿地碳汇研究进展[J]. 湖北林业科技, 2020(4): 69-76.
- [23] 周晨昊, 毛覃愉, 徐晓, 等. 中国海岸带蓝碳生态系统碳汇潜力的初步分析[J]. 中国科学: 生命科学, 2016(4): 475-486.
- [24] 刘慧, 唐启升. 国际海洋生物碳汇研究进展[J]. 中国水产科学, 2011(3): 695-702.
- [25] 耿笛, 梁亮, 黄婷, 等. 利用改进的CASA模型估算城市尺度NPP——以徐州城区为例[J]. 测绘通报, 2021(1): 78-83, 89.
- [26] 刘凤, 曾永年. 2000—2015年青海高原植被碳源/汇时空格局及变化[J]. 生态学报, 2021(14): 5792-5803.
- [27] 张筠. 基于CASA模型的山东省植被NPP时空格局变化及其驱动因素研究[D]. 烟台: 鲁东大学, 2021.
- [28] 邓洪杰, 王睿, 张赫, 等. 双学科视角下国土空间低碳规划方法研究回溯与编制讨论[J]. 西部人居环境学刊, 2021(6): 31-42.
- [29] 曲福田, 卢娜, 冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(10): 76-83.
- [30] 张苗, 甘臣林, 陈银蓉, 等. 中国城市建设用地开发强度的碳排放效率分析与低碳优化[J]. 资源科学, 2016(2): 265-275.
- [31] 陈珍启, 林雄斌, 李莉, 等. 城市空间形态影响碳排放吗?——基于全国110个地级市数据的分析[J]. 生态经济, 2016(10): 22-26.
- [32] 朱传耿, 张纯敏, 仇方道, 等. 基于低碳经济的徐州都市圈工业结构转型与布局优化[J]. 经济地理, 2017(10): 126-135.
- [33] 张赫, 于丁一, 王睿, 等. 面向低碳生活的县域城镇空间结构优化研究[J]. 规划师, 2020(24): 12-21.
- [34] 黄梅, 段德罡, 黄晶, 等. 甘南低碳生态小城镇规划的适宜性技术与方法[J]. 规划师, 2016(7): 81-86.
- [35] 秦波, 田卉. 社区空间形态类型与居民碳排放——基于北京的问卷调查[J]. 城市发展研究, 2014(6): 15-20.
- [36] 成贝贝, 汪鹏, 赵黛青, 等. 低碳工业园区规划方法和评价指标体系研究[J]. 生态经济, 2013(5): 126-128.
- [37] 魏书威, 魏书精, 文正敏, 等. 城市住区规划设计方案碳效应评价的研究进展[J]. 城市规划, 2014(3): 90-96.
- [38] 颜文涛, 俞诗言, 邹锦. 基于碳排放构成因子的城市住区低碳规划要素体系构建——以重庆主城为例[J]. 现代城市研究, 2017(6): 113-120.
- [39] 徐毅松, 廖志强, 张尚武, 等. 上海市城市空间格局优化的战略思考[J]. 城市规划学刊, 2017(2): 20-30.
- [40] 联合国政府间气候变化专门委员会. 2006年IPCC国家温室气体清单指南[R]. 2006.
- [41] 程豪. 碳排放怎么算——《2006年IPCC国家温室气体清单指南》[J]. 中国统计, 2014(11): 28-30.
- [42] 李凡, 颜晗冰, 吕果, 等. 生态产品价值实现机制的前提研究——以南京市高淳区生态系统生产总值(GEP)核算为例[J]. 环境保护, 2021(12): 51-58.
- [43] 陈飞, 诸大建. 低碳城市研究的内涵、模型与目标策略确定[J]. 城市规划学刊, 2009(4): 7-13.
- [44] 郑德高, 吴浩, 林辰辉, 等. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 43-50.
- [45] 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(12): 2995-3006.
- [46] 生态环境部环境规划院, 中国科学院生态环境研究中心. 陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南[R]. 2020.
- [47] 孔东升, 张灏. 张掖黑河湿地自然保护区生态服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2015(4): 972-983.
- [48] 叶祖达. 建立低碳城市规划工具——城乡生态绿地空间碳汇功能评估模型[J]. 城市规划, 2011(2): 32-38.
- [49] 丁国胜, 付晴. 纽约市城市规划响应气候变化的经验与启示——基于“3个规划”的分析[J]. 现代城市研究, 2021(4): 50-55.
- [50] 戴冀峰, 樊明浩, 魏贺, 等. 城市中心体系与公共交通模式耦合发展——《大伦敦规划》的经验与启示[J]. 城市交通, 2021(5): 82-90.

[收稿日期] 2022-01-26