

“碳达峰、碳中和”目标下国土空间规划编制研究与思考

熊健 卢柯 姜紫莹 张翀 傅庆玲 金昱

提要 实现“碳达峰、碳中和”是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，也对新时代国土空间规划编制提出新要求。通过研究纽约、伦敦、巴黎等应对气候变化的规划实践，发现空间规划作为重要的干预手段被纳入整体路线图，并在交通、建筑、土地利用等关键领域发挥了减碳排、增碳汇的重要作用。在“碳达峰、碳中和”目标背景下，国土空间规划要尽快建立应对逻辑路径，做好碳定量方法、多情景模拟等基础性技术储备，并有效纳入“五级三类四体系”的总体框架统筹考虑。以此，为引领经济社会发展全面绿色转型，推动生态文明体系建设，促进人与自然和谐共生发挥积极作用。

关键词 碳达峰；碳中和；国土空间规划

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.202104011
文章编号 1000-3363(2021)04-0074-07

作者简介

熊健，上海市城市规划设计研究院党委书记，副院长，正高级工程师，ghj_xiongj@qq.com
卢柯，上海市城市规划设计研究院，发展研究中心、《上海城市规划》编辑部副主任（主持工作），高级工程师
姜紫莹，上海市城市规划设计研究院，发展研究中心、《上海城市规划》编辑部，规划师
张翀，上海市城市规划设计研究院，发展研究中心、《上海城市规划》编辑部，规划师
傅庆玲，上海市城市规划设计研究院，市政分院，规划师
金昱，上海市城市规划设计研究院，交通分院，规划总监，高级工程师

Study and Thoughts on Territorial Spatial Planning under the Goal of "Carbon Emissions Peak and Carbon Neutrality"

XIONG Jian, LU Ke, JIANG Ziyang, ZHANG Chong, FU Qingling, JIN Yu

Abstract: To achieve "carbon emissions peak and carbon neutrality" implies a broad and profound transformation of China's economic and social system, and it imposes new requirements on the territorial spatial planning in the new era. Through a study of urban planning practices in New York, London, Paris, and a few other cities which have taken pioneering climate change actions, we finds that spatial planning, as an important area of policy intervention, needs to be incorporated into the overall effort toward carbon neutrality because of its critical role in reducing carbon emissions and increasing carbon sink in the key fronts of transportation, buildings, land use and so on. In order to achieve carbon emissions peak before 2030 and carbon neutrality before 2060, territorial spatial planning should seek to design a rational roadmap by integrating methods of carbon quantification, multi-scenario simulation, and other techniques into the overall framework of "five-levels, three-type, and four-systems". The new planning methods will help lead the green transformation of the society, promote the establishment of the ecological civilization system, and maintain the harmonious coexistence between human and nature.

Keywords: carbon emissions peak; carbon neutrality; territorial spatial planning

根据2021年世界气象组织的报告，“过去六年（2015—2020）是有记录以来最热的六年”（WMO，2021）。如果我们不减缓全球排放，到2100年气温可能上升3℃以上（UNEP，2019），对我们的生态系统造成不可逆转的破坏。气候危机是当今人类共同面临的巨大挑战之一，全球合作至关重要。2020年9月，习近平总书记在第75届联合国大会一般性辩论上提出，中国CO₂排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。这是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。

2021年3月，习总书记在中央财经委员会第九次会议上提出，要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，如期实现目标。国土空间规划在推进生态文明建设、引导城市低碳绿色发展上具有重要意义（庄少勤，等，2020）。本文在充分借鉴国外面向碳中和规划经验的基础上，结合新时代国土空间规划的改革与实践，提出“碳达峰、碳中和”目标下国土空间规划编制技术框架和逻辑初步设想。

1 研究背景

1.1 实现碳中和、控制温升已成为全球应对气候变化的共识

工业革命以来，人类大量消耗化石燃料造成温室气体浓度不断上升，由此引起的

气候变化已对人类系统和自然系统产生了广泛影响。根据联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2014年发布的第五次综合报告, 1901—2010年期间全球平均海平面上升了0.19m, 观测到的热浪、干旱、洪水等与气候相关的极端事件显著增多。如果不做出更大的减缓努力, 到21世纪末将导致很高风险的严重、广泛和不可逆的全球影响 (IPCC, 2014)。尽早实现碳中和、控制升温逐渐成为全球应对气候变化的共识。根据英国能源和气候信息小组2021年数据, 截至2020年, 全球超过120个国家/地区提出碳中和目标 (ECIU, 2021)。很多国家和城市陆续制定减碳目标与路线图, 并通过行动计划予以落实。根据全球碳项目数据, 2018年中国、美国、欧盟和印度等主要国家和地区的碳排放总量超过全球的一半, 中国碳排放总量接近排名第2至第5位的国家 (美国、印度、俄罗斯、日本) 的总和 (Global Carbon Project, 2021)。2020年我国宣布“碳达峰、碳中和”目标, 既是我国彰显大国责任和担当的重要举措, 也是抓住新一轮科技革命和产业变革的历史性机遇, 争取全球低碳绿色新时代话语权的重要路径。

1.2 空间规划被广泛认为是控制温室气体排放的有效手段

“碳达峰、碳中和”目标的实现, 需要在能源、土地、基础设施、交通、建筑和工业等方面进行快速而深远的转型。IPCC2014年第五次综合报告指出, 全球一半以上的初级能源使用和与能源相关的碳排放来自城市地区, 在快速城市化的地区, 空间规划的统筹和高效基础设施的布局能够避免高碳排模式 (顾朝林, 等, 2009; 戴星翼, 等, 2014)。新时代国土空间规划作为国家空间发展的指南、可持续发展的空间蓝图, 是各类开发保护建设活动的基本依据 (徐毅松, 等, 2020; 孙施文, 2020), 直接影响城市结构、土地利用、生态资源、建筑、交通、能源等领域。国土空间规划的编制与实施, 将影响未来国土空间结构与形态, 同时, 自上而下编制与实施各级国土空间规划, 具有多层协调应对气候变化的机制优势。由此, 国土空间规划被广泛认为是可以提供有效及必要的控制温

室气体排放的有力手段, 也是能统筹碳源和碳汇的系统性政策工具之一。

1.3 “碳达峰、碳中和”目标如何纳入国土空间规划有待全面深入探索

2020年9月, 自然资源部出台了《市级国土空间总体规划编制指南 (试行)》 (以下简称《指南》)。《指南》提出将城市作为有机生命体, 探索内涵式、集约型、绿色化的高质量发展新路子, 并明确“优化建设用地结构和布局, 坚持公交引导城市发展, 促进节约集约、高质量发展; 制定能源供需平衡方案, 落实碳排放减量任务, 控制能源消耗总量; 优化能源结构, 推动风、光、水、地热等本地清洁能源利用, 提高可再生能源比例, 鼓励分布式、网络化能源布局, 建设低碳城市; 引导布局都市农业, 提高就近粮食保障能力和蔬菜自给率”等要求。可以看出, 当前国土空间规划编制已经高度重视绿色低碳发展, 但还是以指导性政策、原则性要求为主, 尚缺乏明确的碳减排目标, 缺少有效落实的策略、方法和行动路径, 缺少国土空间规模、结构、布局等与碳汇、碳排放之间的关系研究, 无法量化评估规划编制实施对于碳排放的影响。目前的国土空间规划还不足以成为“碳达峰、碳中和”目标下保障城市低碳发展的重要政策文件。

2 经验借鉴

从美国纽约、英国伦敦、法国巴黎、日本等国家和城市应对气候变化的规划实践中, 可在规划体系、策略落实、技术方法等方面提炼总结出值得借鉴的经验。

2.1 美国纽约: 全面纳入气候变化核心目标并构建“目标——策略——行动——指标”内容框架

纽约政府很早就意识到气候变化与城市未来紧密相关, 并为应对气候变化和实现制定实施了详细的路线图计划。其2007版《更绿色、更美好的纽约》 (A greener, greater New York)、2015版《一个强大和公正的纽约》 (The plan for a strong and just city) 和2019版《纽约2050 建立强大且公平的纽约》 (One

NYC 2050 building a strong and fair city) 总体规划均将气候变化作为规划的核心目标, 其中2015版总规提出成为世界上最大的可持续发展城市以及气候变化的全球领导者。2016年美国签署《巴黎协定》, 纽约制定减碳路线图并于2017年宣布2050年实现碳中和。围绕减碳路线图纽约编制了建筑、能源、交通、废弃物等领域的减碳规划, 依据减碳规划开展监测并发布年度减碳报告。2019版总规纳入碳中和目标以及适应气候变化、减碳路线图的核心内容, 构建了“目标——策略——行动——指标”清晰的内容框架, 并通过建立多情景模型对碳中和路径进行预测。

2.2 英国伦敦: 构建“总体规划+实施导则+监测报告”的规划减碳政策策略体系

2018年伦敦市政府在《伦敦环境战略》 (London environment strategy) 中提出2050年建成零碳城市, 《大伦敦规划2021》 (The London plan 2021) 将此作为城市发展目标之一, 提出系列政策和策略, 并通过制定《“可见”能源监测导则》 ('Be seen' energy monitoring guidance (consultation draft)) 《全生命周期碳评估导则》 (Whole life-cycle carbon assessments guidance (consultation draft)) 《循环经济声明导则》 (Circular economy statement guidance (consultation draft)) 《绿化评估导则》 (Urban greening factor guidance (consultation draft)) 等补充规划导则落实规划减碳策略, 并指导具体规划实施。规划围绕“减缓、适应、循环经济”三个维度构建了涉及建筑物、能源、环境、循环经济等领域的目标、政策和指标体系, 同步开展年度动态监测并以《年度监测报告》 (London plan annual monitoring report) 的形式反馈规划实施效果, 其中重点通过对开发项目能源需求和碳排放进行全面监测, 以实现最小化温室气体排放。

2.3 法国巴黎: 建立低碳战略的“多规”传导机制

2016年法国正式签署巴黎协定并提交《法国国家低碳战略》 (National low carbon strategy), 承诺于2050年实现碳中

和。2018年巴黎大区议会批准颁布《巴黎大区气候与能源规划战略》(The regional climate and energy strategies of Île-de-France), 其目标为2050年全面迈向100%可再生能源和零碳地区。

《法国国家低碳战略》建立了“多规”传导机制, 国家低碳战略纵向传导至大区级、省级气候专项规划, 横向传导至大区总体规划(市级总规层面)、省级区域协调规划(区级总规层面)和地市级城市规划(控规层面)。2018年, 巴黎大区及巴黎省的气候专项规划相继编制出台, 明确了对各层级空间规划应对气候变化的政策要求。总体规划层面, 气候专项规划要求《巴黎大区总体规划》(The master plan of the Île-de-France region)在修订中纳入专项规划的目标策略, 探索建立巴黎3D GIS平台用于能源、资源和碳排放的监测评估; 详细规划层面继续开发优化地方空间规划碳排放测算工具; 探索规划实施监管改革, 自2018年起在规划许可证审批要求中纳入相关要求, 2030年实现巴黎所有新城市开发项目全生命周期碳中和。

2.4 日本: 建立“法律条例——编制导则——规划实施”低碳城市框架体系

全球首份气候协定《京都议定书》体现了日本积极应对气候变化的决心, 尽管其在2020年10月才宣布于2050年实现碳中和, 但是在应对气候变化方面始终坚持依法推进。日本分别于1998年和2019年通过《全球气候变暖对策推进法》和《气候变化适应法》, 从“适应”和“减缓”两个维度应对气候变化。

日本国土交通省很早就开始探索国土空间结构对“减碳排、增碳汇”的积极作用, 建立从“法律条例——编制导则——规划实施”的低碳城市建设框架体系。法律层面, 2012年出台《促进城市低碳化法律实施条例》明确低碳规划与既有规划体系的协同关系; 导则层面, 2013年发布《低碳城市建设规划编制手册》和《低碳城市建设规划实践手册》(日本国土交通省, 2013), 指导全国低碳城市建设规划的编制; 规划实施层面, 已有26个城市编制了低碳城市建设规划并落实到具体举措。同时, 围绕低碳城市规划建设, 手册构建“目标——策

略——指标”传导体系, 从集约城市结构和交通、能源、绿化三大领域提出规划策略, 并落实到具体策略方针和指标; 充分利用交通普查、能源、林业等行业统计数据, 建立规划策略与“减碳排、增碳汇”之间的逻辑关系, 明确核算方法, 并对现状(基准年)、未采取措施时(BAU)目标年以及采取措施时目标年的碳排放削减和吸收量进行多情景预测。

2.5 小结

总体来看, 国际城市应对气候变化的空间规划体现了以下可借鉴的要点: ①将应对气候变化目标全面纳入空间规划全过程和各层级; ②构建应对气候变化的目标、策略、指标和行动体系, 明确总目标和分目标, 并落实为具体策略、指标和行动; ③关注建筑物、交通、能源、资源循环利用等领域的减排增汇; ④注重规划多级传导, 强调从规划编制、实施监测到评估的全过程管理; ⑤采用多情景模拟分析、碳排放核算、动态循环修正等技术方法。

3 国土空间规划理念转变

综合国际经验借鉴与发展趋势分析, 结合我国发展实际和阶段特征, 国土空间规划应在目标认识、价值理念、思维方式、实施路径和工作方法等方面全方位响应“碳达峰、碳中和”的要求。

目标认识上更加突出减碳目标的硬约束。强调减碳目标的量化约束, 将“碳达峰、碳中和”目标全面纳入国土空间规划体系, 低碳韧性理念贯穿空间规划全过程和各层级, 实现对规划编制、用途管制和政策的指引。

价值理念上更加注重城市的绿色增长。强调经济社会发展与生态环境保护动态协调, 引导城市绿色增长, 以更少的能源消耗、更低的环境代价, 实现更高质量、更有效率、更加公平、更可持续、更为安全的发展。

思维方式上更加体现生态绿色规划本源。规划一个低能耗、低碳排的城市, 需要了解影响城市能源和资源使用效率的因素, 同时善于用系统思维统筹各类空间资源, 强调综合思维、系统思维和本源思维。

实施路径上更加强调行动的落实和传导。构建“碳达峰、碳中和”目标下“目标——策略——行动——指标”规划内容体系, 将总体目标转化为具体的政策框架和行动指南, 并加强对行动实施效果的监测、评估和反馈。

技术方法上更加强化定量分析等科学技术手段应用。气候变化具有不确定性和突发性, 应加强气候评估、碳排放核算、多情景模型预测和动态循环调整等科学技术手段应用, 实现更加精准、更有韧性的应对。

4 总体技术框架设想

在“碳达峰、碳中和”目标下, 国土空间规划“五级三类四体系”应将绿色低碳目标和理念全面纳入, 从目标设定、基础性技术、内容框架和政策体系等方面进一步研究完善, 加快推动城市绿色低碳发展。结合国土空间总体规划和详细规划编制(图1), 在基础工作阶段, 开展基于国土空间规划的现状碳排、碳汇研究, 分析空间规划与碳排、碳汇之间的耦合关系; 在规划编制和方案论证阶段, 进行碳排情景预测, 对不同规划方案和策略的减排增汇效果进行定量分析, 并进行动态调整, 最终搭建碳定量约束下的国土空间规划框架。

4.1 将“碳达峰、碳中和”作为国土空间规划重要目标

按照“碳达峰、碳中和”整体路线图计划, 将减碳目标全面纳入国土空间规划全过程和各层级。由于城市碳排放与各地自然条件、资源禀赋、发展阶段紧密相关, 国土空间规划应结合地区碳排放特征和发展趋势, 研究提出分期减碳目标和相关空间约束指标, 在规划中予以明确, 作为统筹安排国土空间的重要依据。

4.2 研究碳排放核算、多情景预测等基础性技术方法

温室气体清单是对一定区域内人类活动排放和吸收的温室气体信息的全面汇总, 计算温室气体排放量的过程也称作编制温室气体清单。因此, 城市温室气体清单是我们掌握城市碳排现状、识

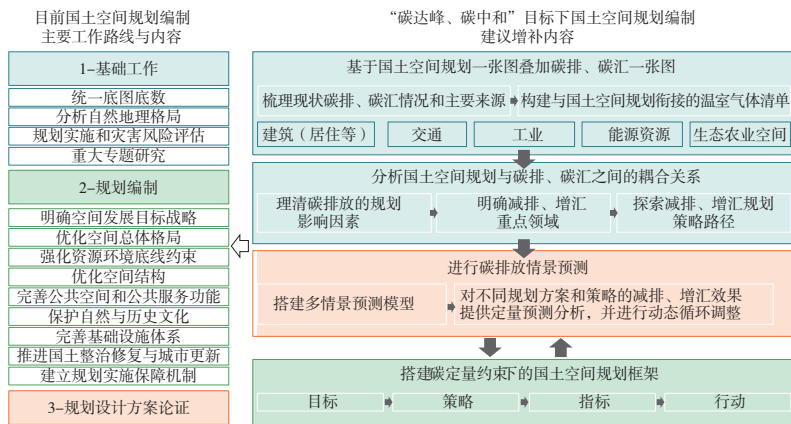


图1 技术框架设想示意图
Fig.1 Schematic diagram of technical framework
资料来源：笔者自绘。

别减排领域、制定减碳策略的重要依据。目前我国主要依据《1996年IPCC国家温室气体清单指南》《2006年IPCC国家温室气体清单指南》和2011年《省级温室气体清单编制指南》编制清单。现有指南主要从能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理等行业部门角度对现状碳排放情况进行核算统计，主要通过活动水平数据和活动因子计算获得。部分计算方法复杂，其中的活动水平数据难以获取且与国土空间关联性不高，活动因子未考虑未来变化，很难在国土空间规划中直接使用。因此，基于国土空间规划视角，衔接温室气体清单体系和方法，从建筑、交通、工业、资源循环利用和生态农业空间等维度，采取城市发展建设相关的活动量值作为基本参数，研究与国土空间规划紧密结合的城市碳核算框架和方法尤为重要。同步结合多情景模拟预测技术方法，对不同规划方案和策略的减排效果进行定量预测分析，并对规划方案提出修正意见。

4.3 构建“目标——策略——指标——行动”编制内容框架

围绕“减碳排、增碳汇”的总体目标，聚焦空间格局、交通、能源、资源利用和生态环境等重点领域，研究如何将目标分解为具体的政策策略，并落实为具体的指标和行动指引。指标方面，衔接国土空间规划指标，增补新的指标项或调整相关指标值。研究增加如城市碳排放总量、目标年碳排放总量较峰值

降低率、单位GDP能耗、单位GDP碳排放量、自行车道长度、非化石能源占一次能源消费比重和生活垃圾源头减量率等指标。

4.4 开展街区、社区等微观层次规划应对研究

将低碳目标全面、深度嵌入国土空间规划编制及后续各层次规划中，开展15分钟社区生活圈和街区尺度等微观层次的规划应对研究。分析不同空间层次规划与碳排、碳汇之间的耦合关系，理清碳排放影响因素，识别减碳增汇重点领域，探索不同层次、不同类型（居住社区、产业社区和商业商务社区）空间的减排增汇策略路径。

4.5 完善国土空间规划政策体系

“碳达峰、碳中和”目标理念应全面融入国土空间规划的政策体系，在编制审批、实施监督、法规政策和技术标准体系中落实相关要求。编制审批体系方面，探索将“碳达峰、碳中和”相关内容纳入规划编制审批要求。实施监督体系方面，研究完善“碳达峰、碳中和”国土空间规划指标体系，加强规划实施监测评估预警的全周期管理，探索将“碳达峰、碳中和”相关指标纳入规划许可审批等项目管理流程。法规政策体系方面，研究形成“碳达峰、碳中和”国土空间规划相关政策建议，支撑低碳韧性等法规政策制定。技术标准体系方面，为《市级国土空间总体规划编制指南》的完善提供意见建议，研究“碳达峰、

碳中和”目标下国土空间专项规划编制、详细规划编制以及其它相关技术导则指南。

5 重点领域策略路径选择

结合国内外国家和城市碳排结构现状和趋势分析，建议国土空间规划可重点聚焦空间格局、综合交通、能源与资源利用以及生态环境四个重点领域（陈飞，等，2009；沈清基，等，2010），研究减排、增汇策略（图2）。

5.1 国土空间格局领域：从“规模、结构、布局”全域视角促进国土空间的绿色低碳转型

国土空间是实现“碳达峰、碳中和”目标的核心载体，产业、建筑、交通等重要排碳部门都离不开空间资源要素的有效配置。研究国外城市经验，较成熟的城市以存量建筑的减排为主，重点通过建筑的节能改造、集中供暖、清洁电力等措施来实现；而对于成长阶段的城市来说，通过规划引导城市空间特别是新增建设用地的集约高效则至关重要。

由此，国土空间规划应通过对国土空间规模、结构、布局的调控（吕斌，等，2011），影响人们向低碳生产生活方式的转变，进而促进空间的绿色低碳转型。规模方面，以碳减排为目标强化建设用地总量管控，避免城市过度蔓延。结构方面，以TOD为导向引导人口和就业向轨道交通站点周边集中，提高绿色出行比例从而较少碳排放。布局方面，研究城市密度、用地多样性等空间要素与低碳绿色发展之间的良性关系（潘海啸，等，2008；王伟强，等，2015），通过紧凑复合的土地利用布局促进职住平衡，缩短居民交通出行距离或减少居民非必要的机动车出行（Wang S H，等，2018）。此外，也应注重对存量建筑的利用，逐步探索建筑全生命周期碳排放评估和循环利用策略路径。

5.2 综合交通体系领域：围绕交通与用地一体化，全面推进客货运交通系统低碳发展

交通运输领域碳排放呈现占比高、增速快、达峰慢等特征。交通碳排放约

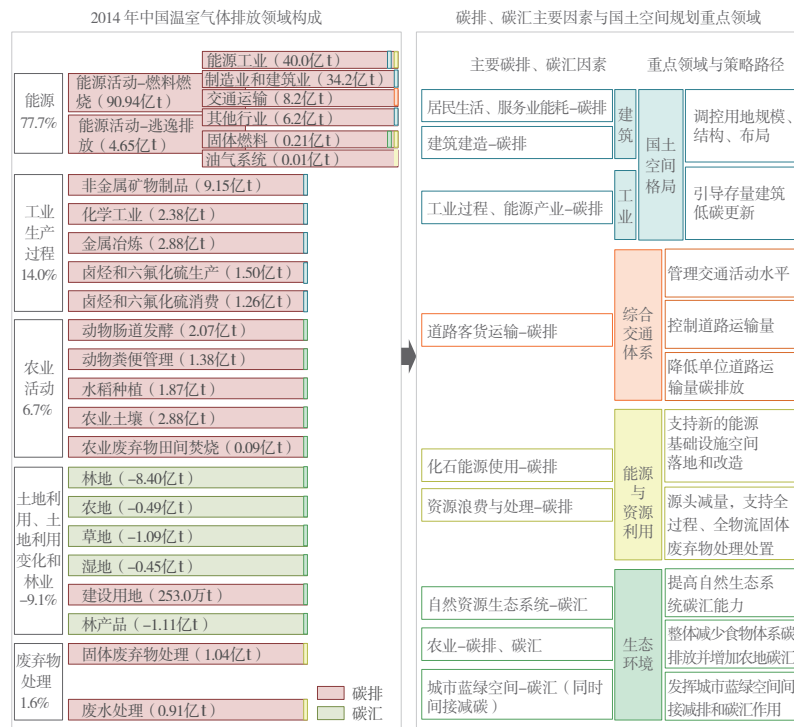


图2 重点领域策略路径示意图

Fig.2 Strategic path of key areas
资料来源：笔者自绘。

占全球碳排放25% (IEA, 2017), 美国交通碳排放占比高达29% (United States Environmental Protection Agency, 2021)。据世界能源组织预测, 全球交通碳排放占比在2030年和2050年将分别达到50%和80% (IEA, 2009)。欧美发展经验表明, 交通碳达峰往往晚于工业、住宅等领域 (王海林, 等, 2018)。纽约、伦敦、东京等城市碳排放量中道路客货运输排放是交通领域第一大排放源, 占比超过70% (The City of New York, 2007; Greater London Authority, 2021; Tokyo Metropolitan Government, 2017)。因此, 亟需在国土空间规划阶段系统研究交通系统低碳规划策略, 通过优化空间布局管理交通活动水平, 通过优化交通方式结构控制道路运输量, 通过提高交通技术和管理水平降低单位道路运输量碳排放。

一是研究提升交通与用地一体化水平, 从源头上管理交通运输需求。研究不同空间圈层内客货运需求的合理平衡方法, 通过优化产业、城镇布局、提升都市圈商品自给率、城区职住平衡度。研究长距离出行和运输短途化的规划方

法, 依托15分钟生活圈和城镇圈建设 (徐毅松, 等, 2017), 合理控制交通碳排放; 二是探索促进交通运输方式结构优化, 在前端上提高低碳交通方式比重。研究面向出行和货运的低碳交通环境提升技术方法, 充分发挥公共交通、慢行交通、水运铁路低碳优势 (姚永胜, 等, 2009)。研究低碳运输体系规划方法, 围绕低碳客运交通廊道布局城镇和城市功能, 提高中短途城际和通勤集约化出行比例, 依托低碳货运廊道锚固枢纽和组织货流, 提高多式联运比例; 三是研究提高交通运输技术和管理水平, 在过程中降低交通碳排放水平。倡导新能源、清洁能源交通工具推广应用, 推动交通工具能效水平提升。推广智慧交通技术及管理方法, 提升运营管理水平, 缓解交通拥堵, 降低拥堵状态高碳排放 (邹德慈, 2011), 减少货车车辆空驶率和绕行距离, 提高货运效率。

5.3 能源与资源利用领域: 提前谋划面向未来能源体系与资源利用方式的国土空间支撑方案

化石能源的使用是温室气体排放的

主要源头, 2019年全球化石能源使用产生的温室气体约占全球温室气体排放总量的64.3% (UNEP, 2020)。能源结构中的高煤炭比例导致我国能源活动产生的温室气体排放占比高于全球整体水平, 约占我国温室气体排放总量的78% (中华人民共和国, 2018)。面向碳中和目标, 不同研究团队对我国能源转型路径开展了多情景分析, 结论显示, 至2060年, 我国的非化石能源占能源消费总量的比重预计从现状的15.3%上升到80%左右, 其中, 可再生能源在能源消费总量中的占比预计高达60%以上 (中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 2021; 国网能源研究院有限公司, 2021)。同时, 碳中和目标也将加快推进我国城乡电气化水平, 深度减排情景下, 至2060年, 电能占终端能源消费比重预计从现状的25.5% (中电联电力发展研究院, 2019) 增长至70%左右 (国网能源研究院有限公司, 2021)。未来我国能源体系将呈现高比例的可再生能源、多种能源互补、高度电气化、高度智能化等典型特征, 应对新的能源体系及格局, 国土空间规划需提前谋划, 做好能源基础设施的支撑落地和空间预留, 并协调好能源基础设施与国土空间各系统的关系。

国家层面, 我国的可再生能源资源富集地带与消费中心呈逆向分布 (卓振宇, 等, 2021), 以太阳能和风能为主的可再生能源富集在我国西北部、北部和东北部等地区 (李柯, 等, 2010), 而能源消费中心沿东部沿海密集分布, 需要深入分析我国国土空间条件, 统筹可再生能源生产、长距离能源输送、大范围能源网络的规划与建设, 支撑能源生产和输送设施在空间上的落地, 同时需兼顾可再生能源所在地区资源开发与生态保护等问题。城市层面, 需要充分评估外来能源接入通道、城市已有能源网络承载力, 对未来能源基础设施空间需求予以充分预留; 同时, 应充分挖潜城市内部清洁能源生产空间, 提高可再生能源在地化生产和消纳比例。此外, 面向多种能源互补、高度电气化、高度智能化的未来能源系统, 城市能源基础设施也将面临全网络的再布局和升级改造, 这对已经高度城市化的地区带来巨大挑

战。未来能源基础设施布局应系统考虑城市地上、地下空间资源条件,加强新的能源体系建设与城市建设各方面的协同,共同推进“碳达峰、碳中和”路线图、施工图的落地。

资源的节约和循环利用对于减少温室气体排放同样意义重大,通过资源的节约和循环再利用可减少生产新产品的投入,同步减少产品生产带来的温室气体排放。伦敦提出至2030年城市废弃物循环再利用率达到65%以上,新加坡在《气候行动规划》(Climate action plan)中提出至2030年城市资源整体循环利用率达到70%。我国在城市层面尚未形成全生命周期评估的资源节约和循环利用模式,源头减量理念尚未深入人心。未来应加强源头减量,强化资源的循环利用,完善全过程、全物流的固体废弃物处理处置体系建设,并加强废弃物的协同处置,减少直接填埋等末端处置方式。同时应减少城市建设中不必要的拆除重建,并对城市建设中产生的建筑垃圾予以充分资源化利用。

5.4 生态环境领域:建设高固碳能力的生态空间和绿色可持续农业空间

森林、草原、湿地是重要的碳汇空间,森林是我国陆地生态系统的固碳主体,但是自然生态系统存在复杂的碳源碳汇双重性,不同的措施可能使生态系统由碳汇转变为碳源;同时,农业部门作为我国重要碳源,1994至2004年间碳排放量增加约37%(能源基金会,2020),随着人口继续增加和膳食结构改变(肉类、乳制品、蛋类增加),如不加强干预我国农业碳排放量将持续增长。因此,生态与农业空间是通过规划提高国土空间碳汇水平的重要载体,减排需求迫切且增汇任务重大,未来须在减少农业碳排的同时增强整体碳储存能力,提高净碳汇量。

国土空间规划应从自然资源综合治理、农业空间和基础设施建设以及城市蓝绿空间规划三个方面,实现增汇和减排。自然资源综合治理方面,以提高碳汇能力为导向,基于对各类自然生态系统碳库构成、碳汇效率以及影响碳汇能力主要因素的认识,将提高碳汇能力作为识别和划定生态修复区以及制定重点

项目的依据,提出相应的生态保护与修复策略。农业空间和基础设施建设方面,以更加系统的思维看待农业与城市的关系,综合考虑生产、加工、配送、零售、消费和后消费各个环节,构建一个与城市紧密联系的可持续和健康的食物体系,探索远郊——近郊——城区的圈层式农业生产空间布局,城区建设多样化的都市农业空间和农业创新园区,提高就近粮食保障能力和蔬菜供给率。城市蓝绿空间规划方面,应充分发挥各类绿化和水体调节局部气候从而间接促进减排以及碳汇能力,制定更加精细化的城市蓝绿空间管控标准,加强国土空间规划管控和引导。

6 结语

实现“碳达峰、碳中和”是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,也对新时代国土空间规划编制提出新要求。从纽约、伦敦、巴黎等应对气候变化的规划实践中,发现空间规划作为重要手段被纳入整体路线图,并在交通、建筑、土地利用等关键领域发挥了减碳排、增碳汇的重要作用。在“碳达峰、碳中和”目标背景下,国土空间规划要将减碳目标纳入全过程和各层级,尽快建立应对逻辑路径,进行碳定量方法、多情景模拟等基础性技术储备,做好重点领域策略路径选择,并全面纳入“五级三类四体系”的总体框架统筹考虑。为此,笔者提出对于国土空间规划理念、技术方法、内容框架和政策体系等方面的建议,以期为我国国土空间规划助力“碳达峰、碳中和”目标提供一些思考和启发。

参考文献 (References)

[1] Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government. Final energy consumption and greenhouse gas emissions in Tokyo (FY 2017)[EB/OL]. 2021-06-01. <https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/climate/index.html>.

[2] 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. (CHEN Fei, ZHU Dajian. Research on the content, models and strategies of low carbon cities[J]. Urban Planning Forum, 2009(4): 7-13.)

[3] 中电联电力发展研究院. 中国电气化发展

报告2019[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020. (China Electric Power Development Research Institute. China electrification development report 2019 [M]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2020.)

[4] 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所“能源转型与能源安全研究”课题组. 中国能源转型: 走向碳中和[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021. (Chinese Academy of Social Sciences, Institute of Quantitative and Technological Economics, Research Group of "Energy Transformation and Energy Security". China's energy transition [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2021.)

[5] 戴星翼, 陈红敏. 基于低碳发展的城市规划[J]. 上海城市规划, 2014(5): 8-12. (DAI Xingyi, CHEN Hongmin. Urban planning for a low carbon future[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2014(5): 8-12.)

[6] 能源基金会. 中国碳中和综合报告2020[R]. 2020. (Energy Foundation. Carbon neutral comprehensive report 2020 of China[R]. 2020.)

[7] 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), 2007, 37(6): 804-812. (FANG Jingyun, GUO Zhaodi, PIAO Shilong, et al. Estimation of terrestrial vegetation carbon sink in China from 1981 to 2000[J]. Science China Press(D), 2007, 37(6): 804-812.)

[8] Global Carbon Project. Annual total CO₂ emissions, by world region [EB/OL]. 2021-05-30. <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co-emissions-by-region>

[9] Greater London Authority. London energy and greenhouse gas inventory(LEGGI)[EB/OL]. 2021-06-01. <https://data.london.gov.uk/dataset/leggi>.

[10] 顾朝林, 谭纵波, 刘宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展[J]. 城市规划学刊, 2009(3): 38-45. (GU Chaolin, TAN Zongbo, LIU Wan, et al. A study on climate change, carbon emissions and low-carbon city planning[J]. Urban Planning Forum, 2009(3): 38-45.)

[11] 联合国政府间气候变化专门委员会. 对2006年IPCC国家温室气体清单指南的增补: 湿地[R]. 2013. (Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013 supplement to the 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories: wetlands(wetlands supplement)[R]. 2013.)

[12] 联合国政府间气候变化专门委员会. IPCC国家温室气体清单指南[R]. 2006. (Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC guidelines for national greenhouse

- gas inventories [R]. 2006.)
- [13] International Energy Agency. Railway handbook 2017 [EB/OL]. 2021-06-01. <https://www.iea.org/reports/railway-handbook-2017>
- [14] [International Energy Agency. Transport, energy and CO₂: moving toward sustainability [M]. IEA Paris, 2009.
- [15] 李柯, 何凡能, 席建超. 中国陆地风能资源开发潜力区域分析[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1672-1678. (LI Ke, HE Fanneng, XI Jianchao. Regional analysis of China's land wind energy resources development potential [J]. Resources Science, 2010, 32(9): 1672-1678.)
- [16] 李柯, 何凡能. 中国陆地太阳能资源开发潜力区域分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1049-1054. (LI Ke, HE Fanneng. Regional analysis of the development potential of terrestrial solar energy resources in China [J]. Progress of Geographical Science, 2010, 29(9): 1049-1054.)
- [17] 吕斌, 刘津玉. 城市空间增长的低碳化路径[J]. 城市规划学刊, 2011(3): 33-38. (LÜ Bin, LIU Jinyu. Toward low-carbon urban spatial growth[J]. Urban Planning Forum, 2011(3): 33-38.)
- [18] 日本国土交通省. 低炭素まちづくり実践ハンドブック [R/OL]. 2013. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan. Low carbon city development guidance outline [R/OL]. 2013. https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi.html
- [19] 潘海啸, 汤謩, 吴锦瑜, 等. 中国“低碳城市”的空间规划策略[J]. 城市规划学刊, 2008(6): 57-64. (PAN Haixiao, TANG Yang, WU Jinyu, et al. Spatial planning strategy for “low carbon cities” in China[J]. Urban Planning Forum, 2008(6): 57-64.)
- [20] 沈清基, 安超, 刘昌寿. 低碳生态城市的内涵、特征及规划建设的基本原理探讨[J]. 城市规划学刊, 2010(5): 54-63. (SHEN Qingji, AN Chao, LIU Changshou. A discussion on the connotation, characteristics, and basic principles of planning/construction of the low carbon Eco-city[J]. Urban Planning Forum, 2010(5): 54-63.)
- [21] 国网能源研究院有限公司. 中国能源电力发展展望2020[M]. 北京: 中国电力出版社, 2021. (State Grid Energy Research Institute Co., Ltd. China energy and power development prospects 2020 [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2021.)
- [22] 孙施文. 从城乡规划到国土空间规划[J]. 城市规划学刊, 2020(4): 11-17. (SUN Shiwen. On the transformation from urban and rural planning to territory development planning[J]. Urban Planning Forum, 2020(4): 11-17.)
- [23] The City of New York. Inventory of New York city greenhouse gas emissions in 2017 [EB/OL]. 2021-06-01. https://www1.nyc.gov/assets/sustainability/downloads/pdf/GHG_Inventory_2017.pdf
- [24] The Energy & Climate Intelligence Unit and Oxford Net Zero. Taking stock: a global assessment of net zero targets[R/OL]. 2021. <https://eciu.net/analysis/reports/2021/taking-stock-assessment-net-zero-targets>
- [25] The Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC). Climate change 2014 synthesis report [R/OL]. 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- [26] 中华人民共和国. 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告[R]. 2018. (The People's Republic of China. Second biennial update report on climate change in the People's Republic of China [R]. 2018.)
- [27] UNEP. Adaptation gap report 2020[R/OL]. 2021. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020>
- [28] UNEP. Emission gap report 2019[R/OL]. 2019. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- [29] United States Environmental Protection Agency. Inventory of U. S. greenhouse gas emissions and sinks [EB/OL]. 2021-06-01. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>.
- [30] 王海林, 何建坤. 交通部门CO₂排放、能源消费和交通服务量达峰规律研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 59-65. (WANG Hailin, HE Jiankun. Study on CO₂ emission peak of energy consumption and traffic service[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(2): 59-65.)
- [31] WANG S H, HUANG S L, HUANG P J, et al. Can spatial planning really mitigate carbon dioxide emissions in urban areas? a case study in Taipei, Taiwan[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 169: 22-36.
- [32] 王伟强, 李建, 岳雨峰. 基于行为特征的住区模式与低碳效应关系研究——以上海曹杨新村为例[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 36-43. (WANG Weiqiang, LI Jian, YUE Yufeng. The relationship between residential pattern and the low-carbon effect based on behavior characteristics—the case of Caoyang Xincun, Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 36-43.)
- [33] World Meteorological Organization(WMO). State of the global climate 2020[R/OL]. 2021. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880#.YM-MOP77ivD5
- [34] 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. (XU Yisong, LIAO Zhiqiang, ZHANG Shangwu, et al. Strategic thinking on Shanghai's urban spatial optimization[J]. Urban Planning Forum, 2017(2): 20-30.)
- [35] 徐毅松, 熊健, 范宇, 等. 关于上海建立国土空间规划体系并监督实施的实践和思考[J]. 城市规划学刊, 2020(3): 57-64. (XU Yisong, XIONG Jian, FAN Yu, et al. Practice and thoughts on the establishment of the territory development planning system and supervision of the implementation in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 57-64.)
- [36] 姚胜永, 潘海啸. 基于交通能耗的城市空间和交通模式宏观分析及对我国城市发展的启示[J]. 城市规划学刊, 2009(3): 46-52. (YAO Shengyong, PAN Haixiao. A macroscopic analysis of transportation energy consumption and implication to China urban planning and development[J]. Urban Planning Forum, 2009(3): 46-52.)
- [37] 邹德慈. 低碳城市与上海未来[J]. 上海城市规划, 2011(1): 1-8. (ZOU Deci. Low-carbon city and future of Shanghai[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2011(1): 1-8.)
- [38] 庄少勤, 赵星烁, 李晨源. 国土空间规划的维度和温度[J]. 城市规划, 2020(1): 9-13+23. (ZHUANG Shaoqin, ZHAO Xingshuo, LI Chenyuan. Dimension and temperature of the spatial planning [J]. City Planning Review, 2020(1): 9-13+23.)
- [39] 卓振宇, 等. 高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(9): 171-191. (ZHUO Zhenyu, et al. Key technologies and development challenges of high proportion renewable energy power system [J]. Power System Automation, 2021, 45(9): 171-191.)