

# 基于国土空间规划体系的 低碳城市评价指标体系及建设研究

■ 吴生伟

国土空间规划和低碳城市在目标、系统和建设路径上具有较强的关联性，低碳城市借助空间规划进行空间布局分解，保证了低碳城市建设的可行性。从碳源头、碳循环和碳监测视角出发，建立国土空间规划体系下的总体框架及评价指标体系，通过低碳城市碳循环和空间布局要素空间转换，转译在空间上为工业、建筑、交通设施、农业、生态和市政工程功能用地类型。通过用地类型建设低碳城市从城市总体层面、详细层面和监督管理三级建立城市减碳、碳汇路径，探索国土空间规划体系下的低碳城市建设应用，以推进低碳城市建设与发展。

## 一、引言

随着新型城市化速率的不断加快，碳排放日益增多，城市面临污染物不断增多、环境质量下降、生活质量受到影响等多方面的不利因素，以低碳经济空间载体为核心的低碳社会、低碳社区、低碳家庭等研究进入学术研究领域。2009年在哥本哈根召开的气候变化会议，标志着遏制全球温室气体排放是全人类遏制全球变暖的关键，中国也随即做出承诺，在2020年单位GDP碳排放量较2005年降低40%—45%，在2015年《巴黎协定》谈判进程中正式宣布了“国家自主贡献行动目标”，我国对于低碳城市研究进入了新的历史研究阶段。习近平总书记2021年4月在气候峰会提出2030年实现碳达峰，在2060年前实现碳中和，并将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局。

低碳城市不仅可以促进城市绿色经济增长，也可以产生空间溢出效应，绿色创新和产业结构升级是低碳城市发展的重要渠道。在低碳城市建设研究领域方面，国内学者主要从提升科技能力、城市建设机制、经济水平、生态环境、大气治理等多方面研究。其中，通过提升科技创新能力，不仅可以提升地区产业结构优化升级，而且可以增加城市科技人才数量，扩大政府科技支出规模；通过环境污染治理力度、增加环境保护投资、增加碳汇、推动创新等方式可以实现碳减排。除此之外，通过促进绿色技术发展、优化产业结构和提升能源利用率的方式促进城市经济发展与生态环境的协调性。因此，经济实力、产业结构、创新知识、政策环境是低碳城市显著影响因素。

在新形势国土空间规划体系下研究低碳城市，以“碳中和”为低碳城市发展目标，按照国土空间规划总体框架进行研究，横向协调各领域的低碳城市建设需求，纵向指引不同层级的低碳城市建设。因此，低碳城市建设是对城市建设和绿色发展的创新融合，目的在于解决能源短缺、污染排放等城市发展阻碍，以提高城市环境承载力，而环境承载力是城市基本的发展基础，建设低碳城市，不仅是提高城市的环境承载力的关键，也是提高城市建设可持续性的关键。

## 二、国土空间规划体系下的低碳城市思路探索

### （一）国土空间规划体系下的低碳城市建设逻辑关系

从低碳城市视角研究国土空间承载碳源活动和碳汇过程，不仅对城市的生产、生活和生态功能产生一定的影响，而且影响空间价值资产的实现过程。厘清国土空间规划与低碳城市的逻辑关系，是进一步在国土空间

中实现低碳绿色发展的重要前提。

### 1. 目标的一致性

国土空间规划和低碳城市具有目标的一致性：其一，国土空间规划是将“统筹发展与安全”作为基本前提，这与低碳城市“全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险”的基本原则基本一致；其二，国土空间规划将“严守资源安全底线、优化国土空间格局、促进绿色低碳发展、维护资源资产权益”作为发展目标，积极推进人与自然和谐共生的现代化建设。低碳城市将“构建绿色低碳循环发展经济体系、提升能源利用效率、提高非化石能源消费比重、降低二氧化碳排放水平、提升生态系统碳汇能力”作为未来发展的主要目标，实现生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。二者都将“生态文明建设、高质量发展”作为未来发展的共同命题，彼此相互包含，因此，实现碳达峰、碳中和需要在国土空间格局下融入低碳城市的理念，需要构建从宏观—中观—微观的碳排放和碳汇的框架体系。

### 2. 系统的关联性

国土空间规划体系是按照五级三类四体系构建的空间规划体系，在碳达峰、碳中和的战略目标下，应发挥五级三类四体系的“双碳”引领作用，将绿色低碳理念融入到生产、生活、生态领域。低碳城市的系统性是从生产生活中的碳源与碳汇视角出发，从产业、人居环境、交通出行、生态绿化和农业五大系统，这些重要的系统都是对国土空间资源的优化配置。因此，国土空间规划与低碳城市的系统性不是孤立的，而是系统相互融合、取长补短，因此，需要进一步发挥城市空间品质效应的提升，强化碳汇和固碳能力。

### 3. 路径的可行性

低碳城市建设离不开碳源和碳汇的实施管控要求，按照国土空间规划的空间管控途径和各类开发保护建设活动为依据，细化碳源和碳汇的主要类型和影响因素，根据空间规划的空间结构、规划用途分区、产业结构、综合交通、绿色基础设施等进行综合调控，可对城市碳排放量和碳汇产生重大影响，这是统筹低碳城市建设的实施工具。低碳城市建设要以空间结构优化、资源统筹和实施监督作为着力点，以碳源与碳汇作为研究目标主体，从资源利用、空间统筹、传导机制、实施监督等方面建立国土空间规划全生命周期的编制、审批、监督体系，并探索国土空间规划体系下低碳城市的应对实施路径。

### （二）国土空间规划体系下低碳城市的总体框架

国土空间规划体系下的低碳城市建设逻辑关系，建立从碳要素为源头，碳循环为抓手和监测体系为监管的总体框架，为国土空间规划区域碳平衡、实现单因子优化和多要素协同治理的理论框架。

#### 1. 碳要素：空间要素管控

建立“目标导向”和“要素保障”传导机制，是强化国土空间规划实施管控的重要措施，国土空间规划体系下的低碳城市，既要兼顾总体规划的管控指引，也要衔接专项规划的补充，还要落实详细规划的建设实施。从空间要素保障评估出发，建立控制性指标体系，将碳源碳汇的约束条件落实到全域全要素的国土空间管制方案中，采用多目标耦合优化模式，探索社会经济发展、自然生态保护与碳中和的平衡关系，提升国土空间规划的效益。

#### 2. 碳循环：构建“双碳”目标要素管控体系

以碳达峰、碳中和作为低碳城市建设的总体目标，从碳源碳汇的源头、结构、空间属性等要素构建“碳循环格局—空间要素”的耦合机制。国土空间格局基本决定了区域内碳循环的主体关系，按照城镇空间、农业空间和生态空间关系进行研究，有助于从碳源—碳汇分类研究。城镇空间作为承载人类生活的主要空间，是区域内碳排放主体，其碳源主要来源于公共交通体系、住房结构、能源结构等方面。自然碳汇过程主要通过植物的光合作用、土壤对有机物的吸收和水域内有机物沉淀分解以达到降低空间环境中的碳，在空间上包括生态空间、农业空间和城镇空间的部分绿地。从碳源碳汇用地属性进行分析，碳源承担了城市发展的社会经济属性，在用途上表现为工业用地、城镇居住用地和公共服务设施类用地；碳汇主要承担着区域空间生态环境属性，用地属性为林地、草地、耕地、园地及绿地等。从空间形态上进行分析，碳源碳汇依托用地类别在空间上呈现面状、线状和点状的空间形态。

因此，需要建立以“碳循环”为基础的双碳空间统筹管理机制，在区域层面，按照双碳目标总体层面的管控要求，做好碳源碳汇城市空间总体格局，做好碳源用途管制分区，并强化碳汇建设支撑体系；在街区单元管控层面，衔接专项规划，做好总体碳源碳汇的指标传导，细化单元层面的微循环体系，强化与总体层面的关系。

在总体层面，以“生态文明建设、高质量发展”作为发展的重要目标，统筹城市总体发展目标及碳汇要求，在自然生态可承载领域范围内进行多层次分析，以国土空间规划底线作为约束条件，强化双碳目标指标分解执行情况，优化区域空间规模、结构、用地和支撑体系。在详细规划层面，以碳管控为指引目标，落实国土空间总体规划中单元低碳发展方向、格局、路径的实际管控，并指导地块双碳管控方案、指标、措施的实现。

#### 3. 碳监测：建立长效管控机制

实施监督体系建设是保障低碳城市建设监管的有力保障，以碳核算为指引，搭建空间规划基础数据库和数字化管理平台，为实现透明化、精细化、智能化的国土空间规划提供底层支撑。通过建立监测体系，不仅监测空间要素的实际碳排放量，而且可以评价碳汇的实现程度，有效管控低碳城市建设情况，并积极作出相应的反馈调节机制。

## 三、基于国土空间规划体系下的低碳城市评价指标体系

基于国土空间规划体系下低碳城市总体框架的引导，建设低碳城市需要对国土空间的碳源与碳汇进行评估，从而有效评估指导低碳城市建设。从国土空间规划体系下的低碳城市框架视角出发，在空间上对碳源和碳汇进行空间分解，实现空间上的碳单元管控，从而有效地在空间上实现低碳城市建设目标。

### （一）碳容量核算：从源头管控

目前国际上成熟的碳排放量以世界气象组织和联合国环境规划署共同建立的政府间气候变化专门委员会发布的温室气体清单IPCC模型为主。课题选取《IPCC2006年国家温室气体清单指南》的碳源作为研究对象，碳源排放主要包括：能源、工业过程和产品使用、农业、林业及土地利用和废弃物管理四大类。根据IPCC排放清单的碳排放计算公式：

$$C_{\text{碳排放量}} = A_{\text{活动数据}} \times F_{\text{排放因子}}$$

其中，

C<sub>碳排放量</sub>：代表某类碳排放总量；

A<sub>活动数据</sub>：代表某类因子碳排放活动数据；

F<sub>排放因子</sub>：量化每单位活动的气体排放量或清除量的系数。

### （二）碳空间要素分配：空间管控

城市空间是不同用地类型在空间上的表征，不同的用地布局在空间上形成独有的城市空间格局，不仅影响城市未来的发展方向，而且影响城市生态环境的品质。从国土空间规划的空间属性出发，根据各用地属性的功能和碳排放情况划分，将用地类型主要划分为工业、建筑、交通、农业、生态和市政用地6类。

### （三）构建双碳空间体系：要素管控

将容量核算中的源头碳源要素转换到国土空间属性中，需要对其碳源要素提取分析，也要对其空间属性进行划分，这是保证在国土空间规划体系下的低碳城市评价指标体系的基本前提。为充分发挥城市的主要职能及空间决策，根据空间用地的属性功能，将碳源的能源、工业过程和产品使用、农业、林业及土地利用和废弃物管理几个方面按照空间落位、空间可管控的原则，建立温室气体清单与生产、生活及生态空间相对应的逻辑关系，转译为工业、建筑、交通设施、农业、生态和市政工程6大类别功能用地类型。

基于双碳空间体系需要从碳源、碳汇端对能源消耗情况进行统计，需要将空间要素纳入碳排放计算公式，间接得到各维度的碳排放情况。

## 四、低碳城市发展路径与策略

国土空间规划担任着引导城市空间统筹发展和空间结构优化的重要职责，是城市调控减碳的重要环节。从研究实践经验出发，深入探讨国土空间规划对低碳城市的建设影响，在市级国土空间规划层面探索减碳、碳汇研究路径，并按照从城市总体层面、详细层面和监督管理三级建立城市碳汇策略，探索国土空间规划体系下的低碳城市建设实践应用，以推进低碳城市建设与发展。

### （一）城市总体层级调控碳汇策略

#### 1. 城市规模：差异化管控，控制开发强度

目前，国际上区域开发强度控制在30%，根据城市生态承载力，适当提高开发强度，以提升资源利用效率。在城市规模管控中，结合城市发展阶段，对不同的区域进行差异化管控，重点区域开发强度控制在50%—

60%，并将建筑规模指标与碳排放量增量相挂钩，设置建筑规模流量红线。

#### 2. 空间结构：合理布局，强化居住功能

城市的高效服务往往体现在城市通勤上，合理的空间布局不仅可以降低碳排放，还可以提高城市居民的生活质量，因此在空间上往往采用交通廊道、功能混合的空格布局模式，构建以大容量的公共交通廊道以及健全的综合交通体系，形成多中心组团，平衡各组团之间的联系功能。

#### 3. 底线约束：加强农业、生态碳汇功能，构建区域蓝绿体系

农业和生态空间是碳汇最重要的空间，需要进一步加强底线约束，以碳汇为导向保护农业和生态空间，建立碳汇强度管控评价体系。在此基础上，加强与城市之间的碳汇联系，构建以河流水系、绿地景观、城市绿道等完善的城市蓝绿体系，以提升城市固碳和碳汇能力。

#### 4. 土地利用：构建区域空间碳平衡体系

土地利用性质是城市开发建设的重要依据，工业用地和城市绿地是碳排放量和碳汇最重要的用地，在城市总体规划层面要对城市进行明确的功能分区，一方面，根据功能分区明确工业用地和城市绿地的占比，可以有效控制不同区域的碳容量；另一方面，加强城市绿地与工业用地的布局关系，在空间上以城市绿地作为工业用地与其他用地的隔离，可以有效缓解碳排放。因此，需要从工业用地和绿地在空间比重和布局上构建平衡体系，有效降低碳排放量。

#### 5. 基础设施：构建多方面的基础支撑体系

完善的基础设施是建设低碳城市的有力支撑，从城市空间结构、生态环境、能源结构、交通体系、污染物处理等多方面完善城市基础设施建设，构建区域、城市、街区不同层面的基础设施体系，从而有效地减少碳排放量。

### （二）城市详细层级调控碳汇策略

城市详细层面对城市总体规划的落实，是对城市土地利用具体做出详细的实施性布局。在详细规划层面根据控规单元、街区、功能集聚等要素科学合理地对碳源碳汇，再通过碳源碳汇实施管控，落实总体层面减碳、碳汇的目的。

#### 1. 碳单元：合理划分碳单元，强化综合监管体系

“邻里单元”和“社区生活圈”，作为城市肌理的最小单元，空间尺度相对稳定，功能相对完善，规模在几平方公里到十几平方公里，按照这样的复合功能对城市进行碳平衡单元划分，从空间尺度上相对容易管理，便于低碳社区的建设；从功能上是对街区居住、商业、文化娱乐等多种活动的有机组合，要从建筑、能源及交通系统进行综合管控。因此，可将城市空间划分为工业、商业、居住、综合服务、交通运输等功能单元，并建立碳单元实施监督管控体系。

#### 2. 街巷布局：提升道路网密度，降低碳排放量

根据不同类型的碳单元进行有针对性的道路网布局，依托功能类型和出行特征预测居民出行的空间分布，以提高道路网的方式提升交通的便捷度，从而降低碳排放量。建议居住单元道路网密度不低于8km/km<sup>2</sup>，商业功能主导的街区与城市中心区域的街区路网密度宜控制在8—10km/km<sup>2</sup>，工业区与物流园区的路网密度宜不低于4km/km<sup>2</sup>。

#### 3. 功能复合：提升土地利用效率，强化碳汇功能

功能复合是提升土地利用效率的有效途径，可以有效降低碳排放量。对于相对简单的工业碳单元也要配备相应的配套设施，满足工业单元生产需要，同时配建一定的绿地，增加碳汇功能；居住单元要均衡居住功能与交往生活功能，以增加绿地的方式提升居住单元的服务功能；商业及公共服务单元通过提升绿化景观面积、建筑立面、建筑空间布局等方式减少碳排放量。

### （三）监督管理层级调控碳汇策略

监督管理体系建立是监督低碳城市建设的关键，加强碳源和碳循环过程的监测，从总体规划—详细规划建立监督指标体系，并将监督体系纳入到城市体检评估中，以达到实施监测的目标。

## 五、结论

通过对国土空间规划和低碳城市进行逻辑关系分析，研究发现二者之间存在目标的一致性、系统的关联性和路径的可行性，这成为了研究国土空间规划体系下低碳城市的必要条件。因此，从碳源头、碳循环和碳监测出发，建立国土空间规划体系下的总体框架及评价指标体系，从碳源、碳汇和空间布局视角出发，以碳排放为源头及碳汇空间管控为目的，将能源、工业过程和产品使用、农业、林业及土地利用和废弃物管理几个方面按照空间落位、空间可管控的原则，建立温室气体清单与生产、生活及生态空间相对应的逻辑关系，转译为工业、建筑、交通设施、农业、生态和市政工程功能用地类型。

基于低碳城市评价体系指导约束条件，建设低碳城市需要从城市总体层面、详细层面和监督管理三级建立城市减碳、碳汇路径。在总体层面，通过城市规模、空间结构、底线约束、土地利用和基础设施提出低碳城市策略，达到碳总体水平可控、低碳建设指导的目的；在详细层面，落实总体层面的碳汇传导机制，根据各类碳单元的空间和用地属性进行街区、功能的优化调整，做到减碳、固碳；在监督管理体系中，将监测碳管控要素纳入到城市体检评估中，做到积极动态调整。

（作者系市自然资源和规划局工程师，研究方向：国土空间规划理论与设计。本文略有删减。）



蕉叶婆娑 彭正海