



基于国土空间规划的碳排放计算框架研究

胡达天

(武汉职业技术学院 建筑工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要 城市是一个复杂的巨系统,涉及要素众多。城市的经济、社会、文化与其自然资源禀赋及空间分布、市民的价值观念、生活方式、消费习惯息息相关,从而直接影响城市碳排放量。在“碳达峰、碳中和”目标背景下,国土空间规划作为自然资源全域全要素管控的中长期规划,通过对山、水、林、田、湖、草布局整理谋划和政策制定,能够有助于实现碳中和目标。通过系统梳理国内外碳排放量化计算思路,从工业、交通、建筑、废弃物、农林及其他和碳汇等六个维度,构建国土空间规划的城市碳排放量化计算框架,为城市国土空间布局的合理性提供科学依据。

关键词 碳达峰与碳中和;国土空间总体规划;量化计算

中图分类号: X799.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2022) 05-0115-06

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2022.05.019

一、背景分析

自十八大以来,国家高度重视生态环境保护,将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局。为构建人类命运共同体,国家将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局,并作为我国基本国策。2020年9月,习近平主席在联合国大会宣布中国将在2030年前实现“碳达峰”,2060年前实现“碳中和”。国务院、国家发改委、生态环境部等相关部门出台了《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》《2030年前碳达峰行动方案》《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南》等一系列文件。

国内城市规划学者对碳达峰、碳中和开展了广泛和深入研究^[1],大多从城市的空间结构出发,进行

低碳城市规划研究,重点包括两个方面:一是多尺度、多维度碳排放量化计算研究。按照宏、中、微观尺度,研究国家、省级、市级、街道、社区等不同尺度的碳排放核算方法。二是注重城市减碳技术方法研究。从城市空间形态、土地利用、产业结构、低碳指标体系等角度提出减碳策略^[2]。总体而言,关于中国城市规划碳排放的研究仍处于起步阶段,在城市碳排放的内涵、核算内容和核算方法等方面尚未形成一致、可比的体系。国内已有研究多是基于城市建设现状的低碳研究,进而提出一系列实施建议。对于城市级国土空间规划碳排放量的核算方法研究不足,无法较为准确地确定不同规划期限的碳排放量,难以预估规划方案是否能实现减排目标、达到减排效果。

本文从工业、交通、建筑、废弃物、农林及其他和

收稿日期:2022-03-03

作者简介:胡达天(1992—),男,湖北武汉人,武汉职业技术学院建筑工程学院讲师,研究方向:城市信息化管理。

碳汇等六个维度,构建国土空间规划的碳达峰与碳中和计算框架,并结合规划预期目标,构建全域全要素的约束目标,满足多尺度、多维度碳排放的量化计算与预测需求。

二、国内外碳排放计算方法

(一)国内外碳排放清单

1. 碳排放清单

目前,国内外对碳排放清单进行了深入的研究,包括《IPCC 国家温室气体清单指南》《ICLEI 城市清单》《城市温室气体核算国际标准》《省级温室气体清单指南》^[3]等清单指南,指明了碳排放计算清单内容和计算方法。碳排放和碳汇核算指标主要包括从能源活动、工业生产、农业、土地利用变化和林业、废弃物处理等方面。

2. 碳排放核算范围

碳排放清单中也明确了碳排放和碳汇的计算范围。总体分为三个部分,范围一:发生在城市边界内的直接温室气体排放;范围二:在城市边界内消耗的电网电力、区域供暖(冷)等二次能源而产生的间接温室气体排放;范围三:由于城市边界内的活动而产生的、但发生在城市边界外的其他所有简介温室气体排放^[4]。

(二)国内外碳排放计算方法

一般而言,计算思路主要有“自上而下”和“自下而上”两种方法。

1.“自上而下”计算方法

“自上而下”计算方法是表观能源消耗量估算法。主要通过统计年鉴里的能源平衡表数据进行碳排放测算。因其数据易获取、较权威,且计算方法简单,从而广泛使用。

2.“自下而上”计算方法

“自下而上”计算方法是利用计量用能部门或用能设备的实际燃料消费量以计算燃料燃烧排放二氧化碳的方法,其计算方法与参考方法类似,只是每个部门按燃料品种单独计算,然后汇总得出总排放量。从碳排放估算的技术方法上看,目前主要包括物料衡算法包括、排放因子法、实测法,以及生命周期法等。

总体而言,上述的各类标准中碳排放和碳汇清单要素非常全面,计算方法详尽,但是与城市建设活动和国土空间规划管控内容的无法做到一一对应,需要将城市建设活动产生的各类碳排放与相应的标

准进行转换。另外,上述的计算方法主要是应对城市的现状碳排放计算,未考虑城市未来的建设影响因素,无法进行城市规划碳排放量化计算。

三、国土空间规划碳排放量化计算框架

本文在理清国内外碳排放清单和计算方法的基础上,引入规划碳排放因子,构建国土空间规划碳排放量化测算框架,指引城市的科学管控。

(一)碳排放清单计算思路

1. 碳排放要素清单

国家发改委、生态环境部门主要从城市碳排放重点领域梳理清单,包括工业、交通、建筑、能源等方面,并明确了城市碳排放和碳汇计算范围。本文在此基础上,结合国土空间规划的内容,完善碳排放碳中和要素清单,增加废弃物、农林碳排放和草地等碳汇清单,并明确碳排放和碳汇核算边界范围(见表1)。

表1 碳排放和碳汇要素清单

门类	要素清单
工业	石灰、水泥、钢铁等工业生产产生的能耗等
交通	市内交通产生的能耗等
建筑	居住、商业、公共设施的空调、供暖、照明等
废弃物	生活垃圾、污水、工业废弃物处理等
农林	化肥、农膜、农药、机械作业等
碳汇	绿地、植被、农林作物、水域等

2. 碳排放计算框架

从国土空间规划管控内容、数据获取的可持续性等角度出发,基于城市碳源与城市活动建立关联关系,构建碳排放量化计算框架,实现国土空间规划与碳排放的关联(见图1)。

3. 碳排放规划约束目标因子

从国土空间规划角度,结合城市规划目标,综合考虑城市建设和发展,增加约束影响碳排放的计算因子,对碳达峰、碳中和与城市发展规律、功能结构等的关系进行拟合与修正,实现国土空间规划碳排放的模拟、预测^[5]。

在工业方面,是碳排放占比较大的要素,考虑工艺生产水平提升、优化产业结构布局等因素;在建筑方面,考虑住宅控制情况,以及绿色节能建筑建设推广情况;在交通方面,一是优化交通运输结构,提升绿色出行或公共交通出行占比。二是加快机动车清

洁燃料普及。三是区域的功能混合度加强,提升职住平衡,降低出行比例;在碳汇方面,增加城市绿化

占比,加强林地、湿地生态保护。

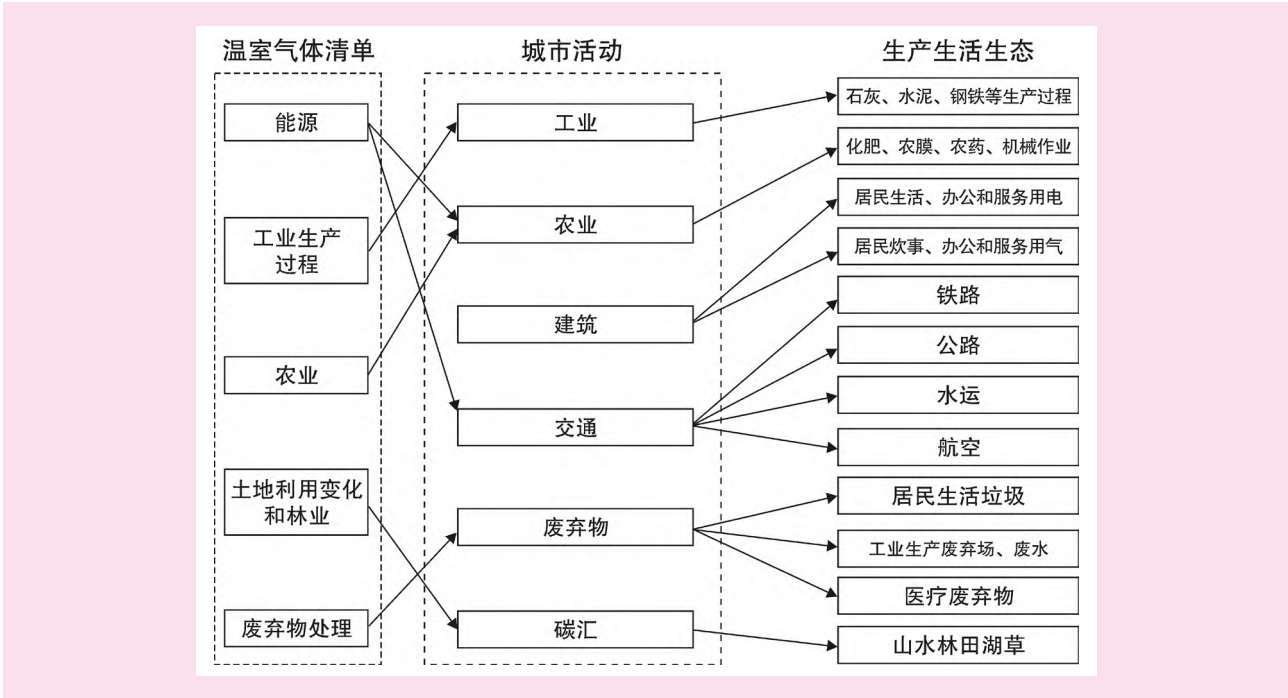


图1 国土空间规划碳排放计算框架

(二)碳排放和碳汇量核算方法

1. 工业碳排放计算

针对工业碳排放,采用基于单位产值能耗法计算碳排放,可以通过获取统计年鉴数据,快速计算现状碳排放量,进行总量核算(见公式1)。

$$Q_{\text{现状工业}} = \text{工业单位 GDP 能耗} \times \text{工业 GDP} \times \text{碳排放因子}$$
 (公式1)

针对规划碳排放,考虑到工业技术革新,根据历年统计年鉴数据单位 GDP 能耗进行趋势预测。

$$Q_{\text{规划工业}} = \text{工业单位 GDP 能耗} \times \text{工业技术革新}$$
 (见表2)。

$$\text{因子} \times \text{工业 GDP} \times \text{碳排放因子}$$
 (公式2)

2. 农林碳排放计算

农林碳排放包括农、林、牧、渔业。通过基于农业生态系统进行测算碳排放量,包括化肥施用(E_f)、农药施用(E_p)、农膜使用(E_m)、农业机械生产使用(E_e)、灌溉过程(E_i)、翻耕(E_g)等农林作业过程(见公式2)。

$$Q_{\text{农林}} = E_f + E_p + E_m + E_e + E_i + E_g$$
 (公式3)

其中,各类农林作业过程碳排放量化计算公式

表2 农林作业过程碳排放量化计算

类别	活动名称	公式	参数含义
E_i	化肥施用	$E_f = \sum_i G_i \times A_i$	G_i 为第 <i>i</i> 种化肥的使用量, A_i 为第 <i>i</i> 种化肥的碳排放系数,氮肥、磷肥、钾肥、复合肥的碳排放系数分别为 857.54、165.09、120.28、380.97 kg/t
	农药施用	$E_p = G_p \times B$	G_p 农药使用量, B 为农药碳排放系数(4937.28 kg/t)
	农膜使用	$E_m = G_m \times C$	G_m 农膜使用量, C 为农膜碳排放系数(5180 kg/t)
	农业机械生产使用	$E_e = (A_e \times D) + (W_e \times F)$	A_e 为农作物播种面积, W_e 为农业机械总动力, D=16.47kg/hm ² , F=0.18 kg/kW
	灌溉过程	$E_i = T_i \times G$	T_i 为农田有效灌溉面积,单位面积有效灌溉系数 20.476 kg/hm ²
	翻耕	$E_g = S_i \times H$	S_i 为农作物播种面积, H=312.6 kg/km ²

胡达天:基于国土空间规划的碳排放计算框架研究

针对农林规划碳排放,通过计算现状单位耕地面积碳排放量,来测算规划农林用地面积碳排放量。

3. 建筑碳排放计算

建筑类型主要包括城住宅、农村住宅和公共建筑。针对现状建筑,参照《建筑碳排放计算标准》(GB/T51366-2019)、《民用建筑能耗标准》(GB/T51161-2016)、《中国建筑能耗研究报告》《综合能耗计算通

则》(GB/T 2589-2020)等相关标准,按照建筑面积进行碳排放量化计算(见公式4)。

$$Q_{\text{现状建筑}} = E_{\text{现状住宅}} + E_{\text{现状公建}} \quad (\text{公式4})$$

其中, $E_{\text{现状住宅}} = \text{现状人口数量} \times \text{现状人均居住建筑面积} \times \text{能耗碳排因子}$, $E_{\text{现状公建}} = \text{现状公共建筑面积} \times \text{能耗碳排因子}$ 。能耗碳排放因子(见表3)。

表3 居住建筑和公共建筑能耗碳排放因子

建筑类型 (大类)	建筑类型 (小类)	综合电耗指标值 (kWh/a)	燃气消耗指标值 (m ³ /a)	备注
居住建筑	城镇住宅	3100	200	1. 以住户数为指标来计算居住建筑能耗。 2. 综合电耗指标值按每户进行核算。(单位住户年综合电耗 kWh/a)
	农村住宅	3100	200	
公共建筑	办公建筑	60/75	按公用建筑使用情况计算	1. 以建筑面积为主要指标计算公用建筑能耗。 2. 综合电耗指标值按单位面积进行核算。(单位建筑面积年综合电耗 kWh/(m ² ·a))
	商场建筑 / 酒店宾馆	110—140	按公用建筑使用情况计算	

针对规划建筑,考虑住宅和公建空置率指标,进行碳排放量化计算(见公式5)。

$$Q_{\text{规划建筑}} = E_{\text{规划住宅}} \times \text{住宅空置率} + E_{\text{规划公建}} \times \text{公建空置率} \quad (\text{公式5})$$

其中, $E_{\text{规划住宅}} = \text{规划人口数量} \times \text{规划人均居住建筑面积} \times \text{能耗碳排因子}$, $E_{\text{规划公建}} = \text{规划公共建筑面积} \times \text{能耗碳排因子}$ 。

4. 交通碳排放计算

交通碳排放主要包括公路、铁路、水运(不含国际远洋运输)产生的碳排放。按照外部交通和内部交通进行碳排放量化测算。外部交通利用周转量和相关参数计算排放,内部交通利用保有量和相关参数计算排放(见公式6)。

$$Q_{\text{现状交通}} = E_{\text{现状外部交通}} + E_{\text{现状内部交通}} \quad (\text{公式6})$$

其中, $E_{\text{现状外部交通}} = \text{现状不同交通类型周转量} \times \text{单位周转量能耗(货运或客运)} \times \text{单位能耗碳排放}$, $E_{\text{现状内部交通}} = \text{现状汽车保有量} \times \text{现状年行驶里程} \times \text{百公里能耗} \times \text{单位能耗碳排放}$ 。

针对规划内部交通,主要是考虑汽车新能源指标,规划外部交通主要考虑能耗效能因子,进行碳排放量化计算(见公式7)。

$$Q_{\text{规划交通}} = E_{\text{规划外部交通}} + E_{\text{规划内部交通}} \quad (\text{公式7})$$

其中, $E_{\text{现状外部交通}} = \text{规划不同交通类型周转量} \times \text{单位周转量能耗(货运或客运)} \times \text{工业技术革新因子} \times \text{单位能耗碳排放}$, $E_{\text{规划内部交通}} = \text{规划汽车保有量} \times \text{规划年行驶里程} \times \text{百公里能耗} \times \text{新能源占比} \times \text{单位能耗碳排放}$ 。

5. 废弃物碳排放计算

废弃物主要是人口活动产生的生活垃圾处置、医疗废弃物处置和工业生产废弃物处置产生的碳排放。废弃物处理方式有很多种,会产生甲烷、二氧化碳和氧化亚氮等温室气体。其中,仅焚烧产生二氧化碳(见公式7)。针对规划管控,仅需要考虑规划人口数量和规划人均废弃物排放量因子。

$$Q_{\text{废弃物}} = \text{人均废弃物排放量} \times \text{碳含量比例} \times \text{人口数量} \times \text{燃烧率} \times 44/12 \quad (\text{公式7})$$

6. 碳汇计算

碳汇主要包括植被光合作用和水域溶解的二氧化碳。按照不同用地性质的用地面积和相应的碳汇因子,直接进行碳汇量测算。规划碳排放和现状碳排放计算方法是一样的,规划管控的重点在于不同面积用地性质产生的碳汇。

针对林地、园地、草地和绿地与开敞空间用地,碳吸收系数以净生态系统生产量计算(见表4),统计

植被通过光合作用最终留在植被中的碳积累量。其中,由于园地植被碳汇过程缺乏相关研究数据,考虑到其植被类型与林地较为接近,计算园地植被碳汇按照森林碳汇参数计算(见公式 8)。

$$S_j=A_j\times EF$$
 (公式 8)

其中, A_j 用地面积(公顷), EF 用地碳吸收系数($tCO_2/$ 公顷)。

表 4 不同用地类型净生态系统生产量^[6]

植被类型	用地类型	植被光合作用吸收量(GPP)		植被自养呼吸(RA)		净生态系统生产量(NEP)		土壤异养呼吸(RH)	
		$t/(hm^2\cdot a)$	%	$t/(hm^2\cdot a)$	%	$t/(hm^2\cdot a)$	%	$t/(hm^2\cdot a)$	%
森林	林地、园地	11.412	100	5.706	50	3.81	33.38	1.9	16.62
草地	草地	1.58	100	0.632	40	0.948	60	0.948	60
城市绿化	绿地与开敞空间用地	10.12	100	5.06	50	3.378	33.38	1.682	16.62

陆地水域和湿地对二氧化碳的溶解吸收和挥发。因湿地需要获取植被覆盖面积、生态系统面积、生物量、土壤密度等相关数据资料(见表 5)。本次模型按照陆地水域的碳排放和碳吸收系数进行简化计算(见公式 9)。

$$S_w=A_w\times(SF_{w1}+SF_{w2}-SF_{w3}-SF_{w4})$$
 (公式 9)

其中, A_w 陆地水域(湿地)面积、 SF_{w1} 陆地水域(湿地)碳吸收系数、 SF_{w2} 陆地水域(湿地)干湿沉降系数、 SF_{w3} 陆地水域(湿地)湖泊挥发、 SF_{w4} 陆地水域(湿地)河流挥发。

表 5 陆地水域和湿地碳吸收系数^[6]

碳吸收 / 排放途径	用地类型	参数值	单位	单位解释
水域固碳速率	陆地水域、 湿地	0.76615	$t/(hm^2\cdot a)$	水域面积
水域干湿沉降		0.07675	$t/(hm^2\cdot a)$	研究区 面积
湖泊挥发		0.00041	$t/(hm^2\cdot a)$	水域面积
河流挥发		0.00026	$t/(hm^2\cdot a)$	河流面积

此外,耕地也有碳汇作用,主要是通过农作物生长发育进行光合作用吸收和固定碳(见公式 10)。

$$S_i=\sum_n Y_n\times SF_n/H_n$$
 (公式 10)
 Y_n 农作物经济产量、 H_n 农作物经济系数、 SF_n

农作物碳吸收系数。

四、结论与展望

城市的生产、生活、生态与碳排放紧密关联,国土空间规划涉及到城市产业结构、自然资源要素空间布局、交通体系、能源系统、人口活动等全域全要素,其调整本身的前瞻性、引导性、综合性和统筹性发挥出不可替代的作用。

一是本文通过系统的梳理国内外碳排放量化研究方法,从工业、交通、建筑、农林、废弃物和碳汇等方面进行了系统的总结。并结合规划管控内容和目标,从数据可获取性和计算可行性等方面出发,提出了碳排放量化计算框架。

二是碳排放量化计算框架基础上,结合城市建设发展目标,从国土空间规划的角度,创新性的从工业、建筑、交通、农林等方面提出了全域全要素的碳排放规划目标约束因子,实现对城市规划碳排放量化计算和预测,可以很好的为城市建设规模、产业布局、交通体系、土地利用、自然资源要素空间布局等方面规划管控政策制定提供参考。

国土空间规划作为一种自然资源要素合理配置的减排手段,是实现“碳达峰、碳中和”目标的核心载体。未来,建议将碳排放量化指标纳入国土空间规划“五级三类四体系”的总体框架,对城市活动进行全生命周期动态监测。

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):7.

- [2] 李毅,任云英.上海市城市总体规划碳排放核算方法研究[C]//活力城乡 美好人居——2019中国城市规划年会论文集(11总体规划),2019:166-175.
- [3] 王克,邹骥.中国城市温室气体清单编制指南[M].北京:中国环境出版社,2014:1-119.
- [4] 顾朝林.城市碳排放清单及其规划应用研究[J].南方建

筑,2013(4):9.

- [5] 叶祖达.碳排放量评估方法在低碳城市规划之应用[J].现代城市研究,2009(11):7.
- [6] 屈宇宏.城市土地利用碳通量测算、碳效应分析及调控机制研究[D].武汉:华中农业大学,2015:1-122.

[责任编辑:陈 竣]

Research on Carbon Emission Calculation Framework Based on Territory Development Plan

HU Da-tian

(School of Architectural Engineering, Wuhan Polytechnic, Hubei Wuhan 430074, China)

Abstract: A city is a complex giant system, involving many elements. The economy, society and culture of a city are closely related to its natural resource endowment and spatial distribution, citizens' values, lifestyles and consumption habits, thus directly affecting the city's carbon emissions. In the context of the goal of Carbon Peaking and Carbon Neutralization, as a medium – and long-term plan for the overall factor management and control of natural resources, territory development plan can help achieve the goal of Carbon Neutralization through the planning and policy formulation of the layout of mountains, water, forests, fields, lakes and grasses. This paper systematically combs the quantitative calculation ideas of carbon emissions at home and abroad, and constructs a quantitative calculation framework of urban carbon emissions for territory development plan from six dimensions, including industry, transportation, construction, waste, agriculture, forestry and others and carbon sinks, to provide scientific basis for the rationality of urban land space layout.

Key words: Carbon Peaking and Carbon Neutralization; territory development plan; quantitative calculation