

湖北省国土空间碳排放格局特征与优化对策

□ 王智勇, 胡纯广, 张毅, 刘合林

[摘要] 土地利用变化作为影响全球气候变化和碳循环的重要因素, 不仅会改变地表的自然碳过程, 还会通过改变人类能源消耗强度来影响碳循环的速率。文章基于湖北省的土地利用测算碳源或碳汇总量, 通过测算碳源经济贡献系数和碳汇生态承载系数, 将省域空间划分为碳排放低碳发展区、碳强度控制区、碳汇功能区和高碳优化区。在分析区域存在的经济贡献度与生态承载度不匹配、经济贡献度与空间结构性不协调、生态产品价值实现的机制不完善、资源配置与区域功能关系不和谐等诸多问题的基础上, 为进一步提高湖北省碳排放治理水平, 文章提出了“依托分区特征, 完善空间碳排放格局; 联接功能结构, 实现资源的有效配置; 强化政府与市场的作用, 完善生态价值机制; 缓和结构矛盾, 协调经济与生态贡献”的碳排放优化策略。

[关键词] 土地利用; 碳循环; 碳排放; 国土空间; 湖北省

[文章编号] 1006-0022(2022)01-0024-08 **[中图分类号]** TU981 **[文献标识码]** A

[引文格式] 王智勇, 胡纯广, 张毅, 等. 湖北省国土空间碳排放格局特征与优化对策 [J]. 规划师, 2022(1): 24-31.

Characteristics of Carbon Emission Pattern in Hubei Territorial Space and Its Improvement Measures/Wang Zhiyong, Hu Chunguang, Zhang Yi, Liu Helin

[Abstract] The change of land use may impact the natural carbon process of earth surface, and also influence carbon circulation based on energy consumption. With a calculation of general carbon source and carbon sink based on land use of Hubei province, and a calculation of carbon sourced economy contribution coefficient and carbon sink ecological carrying capacity coefficient, the author divides the provincial space into low carbon development area, carbon intensity control area, carbon sink area, and high carbon optimization area. Based on an analysis of the regional problems such as mismatch between economic contribution and ecological carrying capacity, structural incompatibility between economic contribution and space, incomplete mechanism in ecological product value realization, discordant relationship between resource configuration and regional function, carbon emission improvement strategies are proposed: integrating carbon emission space pattern based on zoning characters, realizing efficient configuration of resources for functional connection, improving ecological value mechanism by government and market measures, coordinating economic development and ecological contribution by mediation of structural contradiction.

[Key words] Land use, Carbon circulation, Carbon emission, Territorial space, Hubei province

0 引言

人类区域活动会对地表系统产生重大影响, 这种影响会进一步导致温室气体排放增加^[1]。近年来, 越来越多的政府、企业、学者关注到温室气体排放所引起的全球变暖现象^[2], 其中 CO₂ 的排放量约占人为温室气体排放量的 76.7%^[1]。目前针对区域碳减排的相关研究日益受到人们的关注, 已成为研究的热点问题^[3-7]。其中,

土地利用变化作为影响全球气候变化和碳循环的重要因素, 不仅会改变地表的自然碳过程, 还会通过改变人类的能源消耗强度来影响碳循环的速率^[8]。而通过严格管控与调整土地利用结构能够有效减少居民生活的碳排放量, 有关学者的研究证明, 通过合理调控用地结构来缓解气候变化比单纯地减少温室气体排放的效果更显著^[9-12]。

我国是全球最大的 CO₂ 排放国和能源消耗大国,

[基金项目] 国家社科基金重点项目 (21AZD048)、国家自然科学基金项目 (41901390、51408248)、湖北省自然科学基金项目 (2021CFB012)

[作者简介] 王智勇, 博士, 注册城乡规划师, 华中科技大学建筑与城市规划学院副教授、硕士生导师, 湖北省城镇化工程技术研究中心副教授, 美国华盛顿大学访问学者。

胡纯广, 华中科技大学建筑与城市规划学院、湖北省城镇化工程技术研究中心硕士研究生。

张毅, 硕士, 注册城乡规划师, 高级规划师, 现任职于武汉市规划研究院。

刘合林, 通讯作者, 博士, 华中科技大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师, 湖北省城镇化工程技术研究中心教授。

近年来碳排放和能源消耗的指数级增长趋势明显^[13]，在世界发展低碳经济的大势下面临着巨大的碳减排压力，并已向世人展示减碳的坚定立场和大国责任。因此，保障能源安全、减缓气候变化和生态环境治理已成为我国政策关注的重点，而通过国土空间规划指导碳排放的重要性已然提升至国家政策层面。

然而，已有研究主要是从碳排放的时空变化角度出发，对国土空间规划与碳排放之间的关系研究不足。本文以湖北省为例，基于不同土地利用方式的碳源或碳汇，在识别和分析区域层面土地利用碳排放的基础上，通过测算碳源经济贡献系数和碳汇生态承载系数，进一步分析国土空间的碳排放格局特征，为进一步指导湖北省土地利用结构优化、区域碳排放交易、低碳经济发展等提供分区基础与理论依据。

1 湖北省国土空间格局特征及发展要求

1.1 国土空间现状总体特征

位于长江中游地区的湖北省是中部地区的经济中心和交通枢纽，其国土空间格局现状总体特征表现在以下3个方面：

(1) 在城镇空间层面，呈现“一主两副，轴带延展”、城镇空间结构依托综合交通网络轴带延展的格局特征。随着武汉市、襄阳市、宜昌市等各中心城市之间功能联系的加强，城镇沿轴带集聚的态势更为显著，城镇间的联系持续增强，呈现出不同尺度的都市区化态势，形成以武汉市为核心的武汉城市圈、以襄阳市为中心的“襄十随神”城市群、以宜昌市为中心的“宜荆荆恩”城市群的“一主两翼”空间格局。

(2) 在农业空间层面，总体呈现平原集聚、岗地延展、山地分散的特征，其中鄂中江汉平原水网地区农业空间呈现大规模高密度集聚分布特征；鄂东、鄂

北的岗地地区农业空间呈现中等规模沿江延展布局的特征；鄂西、鄂东北、鄂东南的山地地区农业空间呈现小规模分散布局特征。在江汉平原、鄂北岗地、宜昌市周边及武汉市远郊的县域单元农业产值规模较大，并以区域高产值地域为中心向外拓展，鄂西北、鄂西南的山区县域单元农业产值规模较小。

(3) 在生态空间层面，总体呈现山体屏障四周环抱、江湖水网纵横交错及自然景观东西集聚的“三江四屏、千湖一平原”特征。湖北省县域生态空间的集聚效应存在明显的地域差异，生态空间分布整体呈现鄂西山区高度集聚，并由鄂中腹地向东西延展的特征。

湖北省的用地类型中约有55.5%的山地、24.5%的丘陵、20%的平原和湖泊，生态空间内部呈现显著的差异化特征，如何进一步发挥湖北省作为国家“中部崛起”的战略中心地位，更有效地实现“绿水青山就是金山银山”的综合价值，是在我国“双碳”发展大背景下亟待进行深度研究的课题。特别是近年来，湖北省的工业化与城镇化持续深入推进，在提升居民生活质量的同时，也会因为人类活动的干扰影响生态环境系统，土地利用类型也随之改变。因此，基于土

地利用科学分析湖北省碳排放格局具有重要意义。

1.2 国土空间发展要求

新时期，湖北省委提出构建“一主引领、两翼驱动、全域协同”的区域发展格局。“一主引领”，指既要看到武汉市1家“领唱领舞”，又要看到武汉城市圈9家“合唱共舞”；“两翼驱动”，就是推动“襄十随神”城市群和“宜荆荆恩”城市群由点轴式向扇面型发展，打造支撑全省高质量发展的南北列阵，形成“由点及面、连线成片、两翼齐飞”的格局；“全域协同”，就是要大力推进以县城为重要载体的城镇化建设，整体推动县域经济发展，做大做强块状经济。在区域发展格局的要求下，湖北省构建了“一核两极、五廊多组团”的国土空间开发格局(图1)，特别是形成以武汉市中心城区为中心的“1+8”武汉城市圈，城市圈周边广大区域则是湖北省经济发展驱动力最强劲的区域。而北翼的“襄十随神”城市群及南翼的“宜荆荆恩”城市群亟需整合空间特色和自然生态资源要素，实现生态空间“开发、保护、利用、修复”的目标，并立足各地资源环境承载力和发展阶段强化10个联动发展组团。

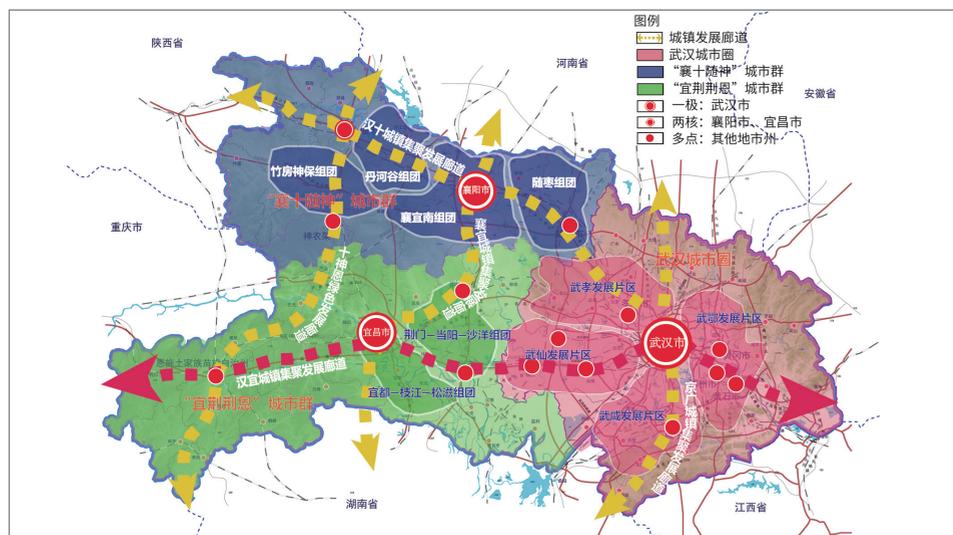


图1 “一核两极、五廊多组团”的国土空间开发格局

2 湖北省碳排放现状分析

2.1 数据来源

本文的土地利用数据(空间分辨率为 30 m 的解译数据)来自中国科学院资源环境科学数据中心,通过重分类工具将湖北省的土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地 6 类,同时将所有地类与全省 17 个地市级行政区边界进行融合分析,提取各地市数据;而测算碳排放的数据源于《中国能源统计年鉴》《湖北省统计年鉴》及各市 2019 年的统计年鉴。

2.2 研究方法

2.2.1 碳排放测算

土地利用碳排放测算可分为直接测算和间接测算两种方法。

(1) 直接测算法测算的是耕地、林地、草地、水域、未利用地等类型所导致的碳排放量,计算公式如下:

$$E_{direct} = \sum L_i = \sum A_i \times F_i \quad \text{公式(1)}$$

式中, E_{direct} 为直接碳排放量; L_i 为第 i 种用地类型的碳排放量; A_i 为第 i 种用地类型的面积; F_i 为第 i 种用地类型的碳排放系数。例如,耕地、林地、草地、水域、未利用地的碳排放系数分别为 0.497、-0.644、-0.02、-0.023、-0.005^[14-16]。

(2) 间接测算法测算的是建设用地中由于人类活动消耗能源所产生的碳排放量。基于建设用地难以直接测算碳排放量,无法反映湖北省的人类活动状况,本文根据能源消耗间接测算碳排放量,计算公式如下:

$$E_{indirect} = \sum E_i \times X_i \times Y_i \quad \text{公式(2)}$$

式中, $E_{indirect}$ 为间接碳排放量; E_i 表示煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力等能源消费量; X_i 表示各能源对应的标准煤折算系数; Y_i 表示各能源对应的碳排放系数。其中,各系数将根据 IPCC 2006 与《中国能源统计年鉴》整理所得,并参考相关的文献研究来测算^[17-18]。

综上所述,碳排放总量取决于碳汇

(碳吸收)与碳源(碳排放)的差值,其中林地、草地、水域和未利用地为主要碳汇,建设用地和耕地为主要碳源。

2.2.2 碳源经济贡献系数

碳源经济贡献系数能够衡量区域碳排放量对经济效益贡献的程度,表现经济发展的生态效率,计算公式如下:

$$ECC = \frac{G_L/G}{CD_L/CD} \quad \text{公式(3)}$$

式中, G_L 、 G 分别表示第 L 个地市和湖北省的地区生产总值; CD_L 、 CD 分别表示第 L 个地市和湖北省的碳源总量。若 $ECC > 1$, 表示碳源的区域经济贡献程度较高,反之则说明较低。

2.2.3 碳汇生态承载系数

碳汇生态承载系数反映区域碳吸收的贡献度,即碳汇量与碳源量的区域排名之比,计算公式如下:

$$ESC = \frac{CA_L/CA}{CD_L/CD} \quad \text{公式(4)}$$

式中, CA_L 、 CA 分别表示第 L 个地市和湖北省的碳汇总量。若 $ESC > 1$, 说明碳汇生态承载系数较高,对湖北省碳排放的吸收具有较高的贡献作用,反之则说明贡献较低。

2.3 土地利用碳排放的空间格局特征

2.3.1 碳源总量东高西低,单位经济生态效率差异较大

2018 年湖北省碳源总量为 14 144.72 万吨,其中能源消耗碳源量为 13 819.81 万吨,占碳源总量的 97.70%,表明在工业化和城镇化进程中产业发展、居民生活的能源消耗巨大,是最大的碳源。湖北省各地市的碳源表现出较大的空间差异特征,碳源总量整体上呈现由东部向西部逐步减少的分布特征(图 2),其中武汉市的碳源总量最高,为 2 141.75 万吨;其次是荆州市和黄冈市,分别为 1 647.71 万吨、1 536.26 万吨;神农架林区和恩施土家族苗族自治州的碳源总量最小,分别为 15.34 万吨、218.47 万吨。总体而言,武汉城市圈、“宜荆荆恩”城市群

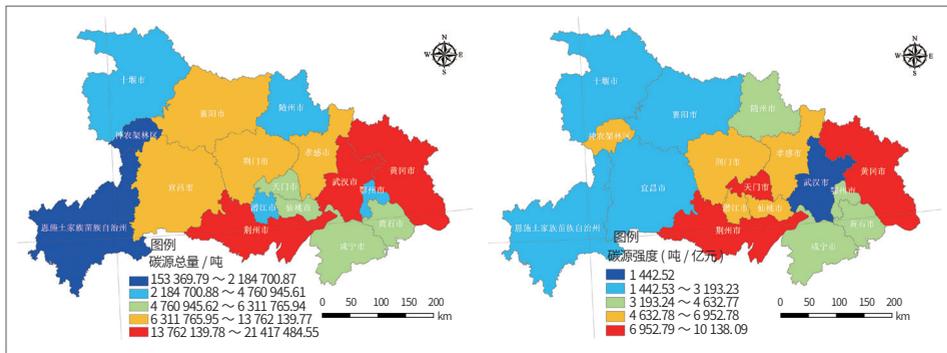


图 2 湖北省地市碳源总量(左)和单位 GDP 碳源强度的空间分布(右)

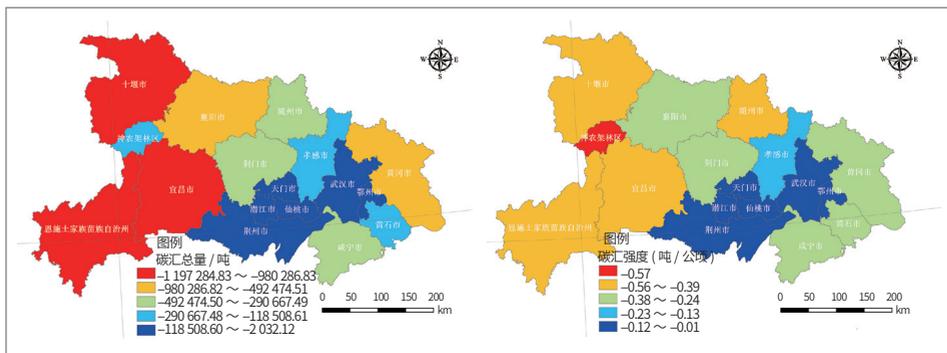


图 3 湖北省地市碳汇总量(左)和单位面积碳汇强度的空间分布(右)

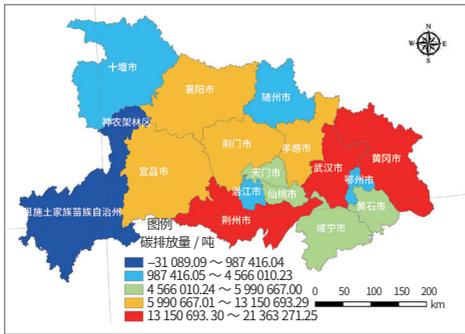


图4 湖北省地市碳排放量的空间分布

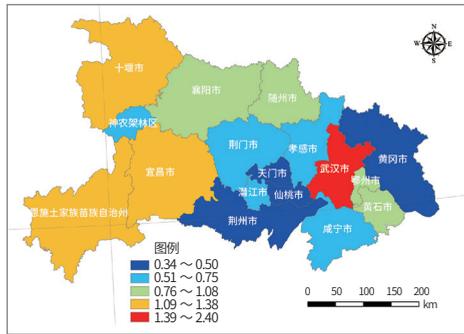


图5 湖北省碳源经济贡献系数空间分布

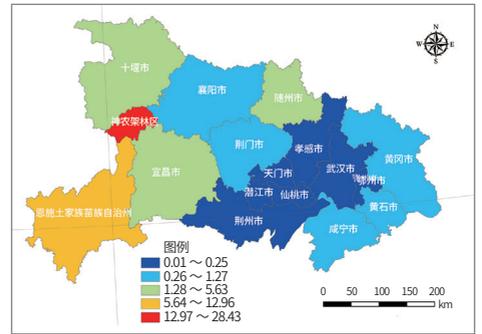


图6 湖北省碳汇生态承载系数空间分布

与“襄十随神”城市群的碳源占比分别为56.75%、27.29%和15.96%。而单位GDP碳源强度较低的区域主要是武汉市、恩施土家族苗族自治州、宜昌市、十堰市和襄阳市，说明这些区域单位经济产量所排出的碳源较少，地市经济的生态效率较高。

2.3.2 碳汇总量西高东低，单位面积碳汇强度西高东低

2018年湖北省碳汇总量为-598.28万吨，其中林地的碳汇总量最大，占99.29%；水域和草地次之，分别占0.47%和0.23%；碳汇总量最少的是未利用地，碳汇总量整体上呈西高东低的分布特征（图3）。其中，恩施土家族苗族自治州的碳汇总量最高，为-119.73万吨；其次是十堰市和宜昌市，分别为-113.36万吨、-98.03万吨；而碳汇总量最小的是仙桃市、天门市与潜江市。总体而言，武汉城市圈、“宜荆荆恩”城市群与“襄十随神”城市群的碳汇占比分别为19.10%、42.31%和38.59%。碳汇占比的结果与鄂西北秦巴山、鄂西南武夷山大面积的自然资源禀赋相匹配。为了消除用地面积对碳汇总量产生的绝对影响，本文通过测算单位面积的碳汇强度，衡量单位土地面积吸收CO₂的能力，发现神农架林区的数值高达-0.57吨/公顷；而仙桃市、天门市、潜江市的数值最低，为-0.01吨/公顷。

2.3.3 碳排放总体特征与“一主两翼”空间战略格局相匹配

碳排放量为碳源量与碳汇量的差值，

2018年湖北省的碳排放量为13546.43万吨，碳排放量的整体布局特征与湖北省“一主两翼”的核心城市职能相吻合（图4）。其中，武汉市的碳排放量最高，为2136.33万吨；其次是荆州市和黄冈市，分别为1641.39万吨、1487.01万吨；而碳排放量最小的是神农架林区，为-3.11万吨，负数说明碳汇量大于碳源量。总体而言，武汉城市圈、“宜荆荆恩”城市群与“襄十随神”城市群的碳排放量占比分别为58.41%、26.63%和14.96%。上述结果说明武汉城市圈处于湖北省碳排放的主导地位，然而内部的鄂州市、潜江市等地市在全省的碳排放排名较后。

2.4 碳源经济贡献系数与碳汇生态承载系数

湖北省碳源经济贡献系数的空间分布总体上呈现“一核双翼”的特征（图5）。主要表现为以武汉市为主导驱动引领，其碳源经济贡献系数为2.40，说明武汉市在湖北省碳排放的经济贡献率最高；而“两翼”主要指位于北翼的十堰市（1.27）和位于南翼的恩施土家族苗族自治州（1.38）、宜昌市（1.34）。此外，碳源经济贡献系数大于1的城市还有襄阳市（1.08），说明这些城市碳源的区域经济贡献程度较高。总体而言，碳源经济贡献系数较大的城市与湖北省“一主两副，轴带延展”的城镇空间总体特征相吻合，但武汉城市圈中的黄冈市（0.46）、天门市（0.34）、

仙桃市（0.50）的碳源经济贡献系数偏小。

湖北省碳汇生态承载系数的空间分布呈现西高东低、中间最低的特征（图6），具体表现为神农架林区的碳汇生态承载系数高达28.43，按照首位度的概念，其碳汇生态承载系数是排名第二的恩施土家族苗族自治州（12.96）的2.19倍，说明神农架林区对湖北省碳排放的吸收具有积极的贡献作用。此外，碳汇生态承载系数大于1的城市还有十堰市（5.63）、随州市（2.30）、宜昌市（2.21）、咸宁市（1.27）和襄阳市（1.05），其他城市则是碳源贡献率大于碳汇贡献率。

3 湖北省国土空间碳排放的发展瓶颈

3.1 经济贡献度与生态承载度不匹配

碳源经济贡献系数用以衡量区域碳排放对经济效益的贡献程度，而碳汇生态承载系数反映区域碳吸收的贡献程度，并可以根据上述特征划分湖北省的碳排放分区（表1）。针对各个地市的自然生态环境基底和经济发展阶段，研究发现湖北省的碳强度控制区为武汉市，主要表现为单位碳排放量贡献出的经济价值最高，这与武汉市作为长江中游城市群的中心与湖北省的重要经济增长极紧密关联，而且武汉市作为国家科技创新中心吸引了大量的高新技术企业与高质量人才，实现了区域经济的高效率发展。

表 1 碳排放分区特征

名称	划分条件	区域特征	典型地市
低碳发展区	ECC>1, ESC>1	ECC 和 ESC 较高, 具有良好的绿色发展基础	十堰市、襄阳市、宜昌市、恩施土家族苗族自治州
碳强度控制区	ECC>1, ESC<1	ECC 较高, ESC 较低, 整体碳源量较大, 碳吸收贡献不足	武汉市
碳汇功能区	ECC<1, ESC>1	固碳能力强, 碳汇资源丰富, 但 ECC 较低	神农架林区、随州市、咸宁市
高碳优化区	ECC<1, ESC<1	ECC 与 ESC 均较低	黄石市、鄂州市、黄冈市、孝感市、仙桃市、天门市、潜江市、荆州市、荆门市

注: ECC 为碳源经济贡献系数, ESC 为碳汇生态承载系数。

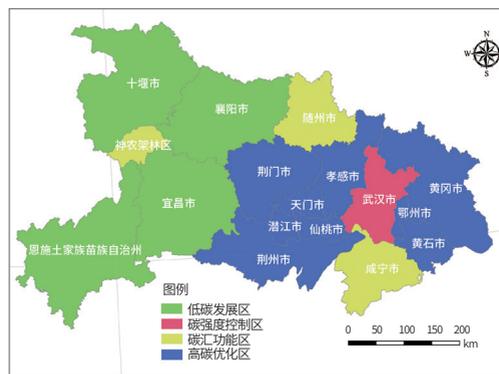


图 7 湖北省碳排放格局优化分区

表 2 湖北省各地市碳排放核算结果

城市群划分	地市行政名称	碳源总量 / 吨	碳汇总量 / 吨	碳排放量 / 吨	单位 GDP 碳源强度 (吨 / 亿元)	单位面积碳汇强度 (吨 / 公顷)	碳源经济贡献系数	碳汇生态承载系数
武汉城市圈	武汉市	21 417 484.55	- 54 213.30	21 363 271.25	1 442.52	- 0.06	2.40	0.06
	黄石市	6 112 473.39	- 121 806.39	5 990 667.00	3 850.78	- 0.27	0.90	0.47
	鄂州市	3 674 608.08	- 9 905.33	3 664 702.75	3 655.24	- 0.06	0.95	0.06
	黄冈市	15 362 558.23	- 492 474.51	14 870 083.73	7 548.42	- 0.28	0.46	0.76
	孝感市	11 263 819.58	- 118 508.61	11 145 310.97	5 888.36	- 0.13	0.59	0.25
	咸宁市	6 311 765.94	- 338 519.11	5 973 246.83	4 632.77	- 0.35	0.75	1.27
	仙桃市	5 563 128.10	- 2 032.12	5 561 095.98	6 952.78	- 0.01	0.50	0.01
	天门市	5 993 134.37	- 2 598.30	5 990 536.06	10 138.09	- 0.01	0.34	0.01
“襄十随神”城市群	潜江市	4 568 762.04	- 2 751.81	4 566 010.23	6 045.10	- 0.01	0.57	0.01
	襄阳市	13 762 139.77	- 611 446.48	13 150 693.29	3 193.23	- 0.31	1.08	1.05
	十堰市	4 760 945.61	- 1 133 600.64	3 627 344.97	2 723.93	- 0.48	1.27	5.63
	随州市	3 896 192.86	- 379 167.56	3 517 025.30	3 853.10	- 0.39	0.90	2.30
“宜荆荆恩”城市群	神农架林区	153 369.79	- 184 458.88	- 31 089.09	5 364.46	- 0.57	0.65	28.43
	宜昌市	10 468 764.41	- 980 286.83	9 488 477.58	2 575.86	- 0.46	1.34	2.21
	荆州市	16 477 055.54	- 63 110.25	16 413 945.29	7 913.35	- 0.04	0.44	0.09
	荆门市	9 476 258.44	- 290 667.49	9 185 590.95	5 128.15	- 0.24	0.68	0.73
	恩施土家族苗族自治州	2 184 700.87	- 1 197 284.83	987 416.04	2 508.41	- 0.50	1.38	12.96

然而,武汉市对湖北省的碳吸收贡献率明显不足,需要神农架林区、随州市、咸宁市等碳汇功能区的支撑,因为这些区域碳汇资源丰富,如神农架林区丰富的自然风貌与文化旅游资源将推动湖北省的生态修复和碳汇增强。此外,黄石市、鄂州市、黄冈市等九市为高碳优化区,主要集中在武汉城市圈。

3.2 经济贡献度与空间结构不协调

湖北省的“一主两翼”格局是在历

届省级区域发展布局的基础上、在继承中创新、在发展中优化形成的。按照区域优势互补、高质量发展要求所形成的区域空间职能结构发展及演变规律,具体表现在要发挥武汉市的龙头引领作用及“襄十随神”城市群和“宜荆荆恩”城市群作为“两翼”的辐射带动作用,尤其是发挥襄阳市、宜昌市的省域副中心的新核心引擎作用。然而,从目前湖北省的碳源经济贡献度视角看,湖北省内部的经济贡献度具有显著的差异化特

征(表2)。从城市群划分角度而言,武汉城市圈的碳源经济贡献度约占全省的49.07%、“襄十随神”城市群的碳源经济贡献度占全省的25.67%、“宜荆荆恩”城市群的碳源经济贡献度占全省的25.26%,较为符合鄂西、鄂中和鄂东错位发展的区域主体功能定位。然而,从地市划分角度而言,武汉市、十堰市、宜昌市和恩施土家族苗族自治州的碳源经济贡献度较高,但襄阳市碳源经济贡献度的核心驱动作用并未完全发挥,同

时位于武汉城市圈中的黄冈市、天门市、仙桃市等碳源经济贡献度较低，影响武汉城市圈整体的经济贡献度。

3.3 生态产品价值实现的机制不完善

目前，社会对“两山理论”中生态产品价值的实现尚处于探索阶段，主要表现在以下3个方面：一是对生态产品的概念认知较为局限，大多关注于林地、水域、草地等自然生态资源，且在生态产品开发运营后常常忽视其价值提升和外溢效果，如吸引社会主体投资，打造多品类文旅产品，推动生态资源转化为社会财富。二是针对生态产品价值量的计算技术体系方法尚处于探索阶段，目前大致有生态模型法、价值法、参与法和经验统计模型法4种方法^[19]。因此，需衡量测算总量丰富、类型多样的湖北省生态资源价值，如鄂西北秦巴山生态屏障、鄂西南武夷山生态屏障等的生态资源价值。三是政府和市场尚未建立长效机制，如地方政府的生态补偿资金的来源、分配与监督等问题尚未解决，湖北省碳排放市场交易渠道的开发、价格标准的制定、生态产权的界定等面临困境。

3.4 资源配置与区域功能关系不和谐

在考虑地方经济发展与生态环境保护时，不仅需从区域战略、所处区位角度考虑，还需考虑地方自然生态资源的功能定位与保护发展目标，同时注重地方所处的发展阶段。在武汉城市圈的碳源经济贡献系数中，除武汉市是以2.40的高值在湖北省中发挥核心引领作用外，周边的黄冈市、仙桃市、孝感市、咸宁市、天门市等均处于较低水平，形成了武汉市周边的碳排放经济贡献“洼地”。然而，武汉城市圈作为区域增长极核，会集聚发展基础设施、吸引高质量人才等，但从目前的实证分析来看，这些区域虽然出现资源配置与区域功能耦合的结构

性矛盾，但是其碳排放经济贡献仍有较大提升空间。

4 湖北省国土空间碳排放的优化对策

4.1 依托分区特征，完善空间碳排放格局

根据湖北省碳源经济贡献系数与碳汇生态承载系数之间的关系，需将全省各地市划分为低碳发展区、碳强度控制区、碳汇功能区和高碳优化区4类，同时也需结合各地市分区的自然资源基底、生态环境品质和经济发展阶段特点等提出分区差异化的碳排放优化策略(图7)。

(1) 低碳发展区包括十堰市、襄阳市、宜昌市和恩施土家族苗族自治州，其中十堰市坐拥南水北调工程核心水源区，需从绿色水库、流域治理等方面展开生态建设；襄阳市需持续推动“一体、两翼、三支撑”的生态环境保护工作机制体制建设，创建“无废城市”；宜昌市需打造“一半山水一半城”的独特城市景观，推动城市滨江公园的发展；恩施土家族苗族自治州需彰显“土、硒、茶、凉、绿”的特色优势，坚持把长江、清江的生态修复摆在重要位置。

(2) 碳强度控制区主要为武汉市。武汉市承担城市圈同城化发展的“一主引领”龙头作用，不仅要强调协同产业链的打造及市场贸易等的经济贡献，还要考虑其在区域中的生态补偿转移、碳排放交易等项目上的推进作用，以弥补其在湖北省中碳汇贡献的不足；同时，也要考虑适度控制城市蔓延扩张进程，精细化打造城市存量绿地生态空间。

(3) 碳汇功能区包括神农架林区、随州市和咸宁市。神农架林区依托国家级的重要自然保护地，如湿地、森林、地质自然公园，发挥其多样性的生物资源优势；随州市持续严守生态环境保护底线，打造鄂西绿色发展样板区；入选首批国家级生态保护与建设示范区的咸宁

市具有54.2%的森林覆盖率，因此应充分发挥其森林资源优势。上述地区在促进和推动全省“绿色崛起”的同时，也要注意生态产业化经营、生态补偿的推进等经济发展公平性问题。

(4) 高碳优化区主要为武汉城市圈中的7个地市及“宜荆荆恩”城市群中的荆州市和荆门市，应加快这些区域经济社会的综合绿色转型，优化绿色低碳的产业布局，构建安全清洁的能源体系，制定完善的碳排放法律法规制度并构建监督体系，实现单位碳排放强度的持续降低。

4.2 联接功能结构，实现资源有效配置

湖北省“一主两翼”的区域发展格局强调武汉城市圈的辐射引领作用，充分发挥武汉市主中心及其周边地市的联动作用；“两翼”主要是进一步打造以襄阳市、宜昌市等为核心驱动的新引擎，促进鄂西区域的崛起。因此，如何实现鄂东提质发展、鄂中振兴发展、鄂西生态发展显得尤为重要。

(1) 武汉城市圈作为整个湖北省的核心辐射引领区，一方面要注重武汉市与周边地市在经济产业、生态环境等方面的协同，提升黄冈市、天门市、仙桃市等市的碳排放经济贡献度；另一方面要发挥其在促进全省协同发展上的作用，协调其与鄂中、鄂西地区的生态补偿支付意愿，实现湖北省的优势互补与错位发展。

(2) “襄十随神”城市群四市在湖北省区域的碳汇生态承载系数均大于1，说明区域强大的碳吸收能力对湖北省碳吸收具有积极的贡献作用。因此，要注重对区域生态资源的挖掘、打造，积极推动跨市交易补偿机制的建立，形成市场对“两山理论”的直接转换。

(3) “宜荆荆恩”城市群需结合区域碳排放特征，持续推进宜昌市、恩施土家族苗族自治州在区域低碳发展中的生态优势，同时提升荆州市、荆门市高碳

区的经济贡献率，培育生态利用型产业新动能，优化空间发展布局和资源配置，从而实现区域发展与生态保护的共赢。

4.3 强化政府与市场的作用，完善生态价值机制

生态产品价值实现的核心内涵是将隐性的生态产品价值显性化。目前湖北省大多数生态产品的价值在市场上未能充分显现，需通过“市场转化”逻辑和“政府保护”逻辑将生态产品潜在的隐性价值在市场中显现出来。

(1) “市场转化”逻辑，即通过发挥市场的决定性作用，推动生态产品价值的实现，促进自然资本、人造资本、人力资本3种资本要素的有机结合，疏通“两山理论”转换的市场化通道。首先，积极探索和培育有效的市场运行机制，如借鉴美国以“湿地银行”对湿地造成损害的开发者征收费用的经验；其次，积极探索和构建高效的市场交易机制，如挖掘神农架林区、丹江口水库等稀缺性生态资源的资本溢价收益；最后，积极探索和完善具有实效的价格形成机制，如创建产品监测和价值核算体系，深入挖掘生态产业的外部性作用。

(2) “政府保护”逻辑，重点在于发挥出政府的宏观调节作用，通过制度政策、法律法规等多元手段弥补“市场转化”失灵的不足。首先，加强政府的顶层规划设计作用，梳理部门、制度间在转化过程中的矛盾点，塑造“守夜者”的形象；其次，加快建设自然资源信息平台，对全省的生态自然资源进行产权登记、数量与质量的摸底、生态产品转化经验的存档等；最后，加强生态产品价值转化的关键制度供给，如湖北省跨区域转移支付的协调制度、地方治理生态环境的财政支撑、生态产品的保护与利用指南等。

4.4 缓和结构矛盾，协调经济与生态贡献

湖北省立足各地市的资源环境承载

力，为进一步落实“一主引领、两翼驱动、全域协同”的区域发展格局，目前已形成“一核两极、五廊多组团”的国土空间开发格局与“三江四屏、千湖一平原”的国土空间保护格局，对湖北省当地的经济发展与生态保护均有着较高的诉求。结合湖北省国土空间碳排放格局特征的实证分析，本文提出以下缓和与经济贡献度与生态承载力结构性矛盾的建议。

(1) 强化低碳发展区、碳汇功能区的绿色发展。充分发挥恩施土家族苗族自治州、十堰市和宜昌市等较高的碳汇总量优势，而神农架林区等地市单位土地面积吸收碳的能力较强，可重点规划湖北省的生态保护引领区、生态保护特区的建设。

(2) 攻坚碳强度控制区、高碳优化区污染防治。虽然武汉市等城市的单位面积所产生的碳排放较少，但是仍要注重进一步引导和调控区域的碳源总量，巧做武汉市产业“加减法”，让政府和社会对环境治理的贡献有机结合、相互叠加，统筹推进武汉市等城市的经济环境协调发展。

(3) 勇于改革创新，推进碳汇产品价值的实现。通过推动湖北省生态资源指标化及资产确权、促进自然资源资产市场化，产业化经营生态产品、以绿色金融撬动创新资本、基于生态修复的价值提升等综合策略^[20-24]，为湖北省学习借鉴国内外碳汇产品价值实现的做法和经验提供舞台，这也成为当前湖北省政府和社会面临的迫切任务。

5 结语

我国对于在2030年前实现碳达峰的工作进行了总体部署，并相应提出“十四五”和“十五五”期间的碳排放主要目标。国土空间作为我国各类经济社会活动的基础支撑载体，关系到我国“双碳”目标的实现。因此，识别省域国土空间碳排放格局特征，认清低碳约

束条件下的发展瓶颈，为省域低碳经济发展提供分区治理的理论依据及优化策略尤为关键。同时，“双碳”目标的实现还可其他方面努力，如在国土空间规划中进一步优化区域与城市空间结构^[20]，通过创新碳排放权与碳交易机制促进碳交易市场的发展和碳交易网络的优化^[24-26]。

[参考文献]

- [1] Gray V. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers[J]. Energy & Environment, 2007(18): 433-440.
- [2] Al-mulali U, Fereidouni H G, Lee J Y M, et al. Exploring the Relationship between Urbanization, Energy Consumption and CO₂ Emission in MENA Countries[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(23): 107-112.
- [3] Bryan BA, Gao L, Ye Y, et al. China's Response to a National Land-system Sustainability Emergency[J]. Nature, 2018(559): 193-204.
- [4] Piao S, Fang J, Ciais P, et al. The Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems in China[J]. Nature, 2009(458): 1 009-1 013.
- [5] Houghton RA. How Well Do We Know the Flux of CO₂ from Land Use Change?[J]. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 2010(62): 337-351.
- [6] Lai L, Huang X, Yang H, et al. Carbon Emissions from Land Use Change and Management in China between 1990 and 2010[J]. SCIENCE ADVANCES, 2016(11): e1601063. doi: 10.1126/sciadv.1601063.
- [7] Jin G, Guo B, Deng X. Is There a Decoupling Relationship between CO₂ Emission Reduction and Poverty Alleviation in China?[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020(151): 119 856.
- [8] Xu Q, Yang R, Dong Y, et al. The Influence of Rapid Urbanization and Land Use Changes on Terrestrial Carbon Sources/Sinks in Guangzhou, China[J]. Ecological Indicators, 2016(70): 304-316.
- [9] Zomer R J, Trabucco A, Bossio D, et al. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation[J]. Agriculture,

- Ecosystems & Environment, 2008(126): 67-80.
- [10] Jin G, Chen K, Wang P, et al. Trade-offs in Land Use Competition and Sustainable Land Development in the North China Plain[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019(141): 36-46.
- [11] Jin G, Deng X, Zhao X, et al. Spatiotemporal Patterns in Urbanization Efficiency within the Yangtze River Economic Belt between 2005 and 2014[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018(28): 1 113-1 126.
- [12] Deng X, Huang J, Rozelle S, et al. Impact of Urbanization on Cultivated Land Changes in China[J]. Land Use Policy, 2015(45): 1-7.
- [13] Yang J, Li Y, Hay I, et al. Decoding National New Area Development in China: Toward New Land Development and Politics[J]. Cities, 2019(87): 114-120.
- [14] 苑韶峰, 唐奕钰. 低碳视角下长江经济带土地利用碳排放的空间分异 [J]. 经济地理, 2019(2): 190-198.
- [15] 李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析 [J]. 农业工程学报, 2008(增刊 2): 102-107.
- [16] 冯杰, 王涛. 中国土地利用碳排放演变与影响因素分析 [J]. 软科学, 2016(5): 87-90.
- [17] 马远, 刘真真. 黄河流域土地利用碳排放的时空演变及影响因素研究 [J]. 生态经济, 2021(7): 35-43.
- [18] 张俊峰, 张安录, 董捷. 武汉城市圈土地利用碳排放效应分析及因素分解研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2014(5): 595-602.
- [19] 郭朝琼, 徐昔保, 舒强. 生态系统服务供需评估方法研究进展 [J]. 生态学杂志, 2020(6): 2 086-2 096.
- [20] 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): 12-20.
- [21] 邱红, 金广君, 林姚宇. 碳排放评估方法在城市设计中的应用 [J]. 规划师, 2011(5): 21-27.
- [22] 吴南, 王雪岚, 杨军, 等. 城市规划中的减碳和固碳策略研究 [J]. 规划师, 2012(增刊 2): 267-270.
- [23] 罗巧灵, 胡忆东, 丘永东. 国际低碳城市规划的理论、实践和研究展望 [J]. 规划师, 2011(5): 5-10, 27.
- [24] 覃盟琳, 黎小元, 袁倩文, 等. 北部湾城市群(广西)低碳空间结构评价与优化策略 [J]. 规划师, 2019(13): 82-86.
- [25] Helin Liu, Jingxin Nie, Bofeng Cai, et al. CO₂ Emissions Patterns of 26 Cities in the Yangtze River Delta in 2015: Evidence and Implications[J]. Environmental Pollution, 2019, 252: 1 678-1 686.
- [26] 刘合林, 道格拉斯·克劳佛·布朗, 伊丽莎白·席尔瓦. 双边协商碳交易框架下全球经济发展趋势的多主体模拟分析 [J]. 城市与区域规划研究, 2019(2): 211-223.

[收稿日期] 2021-11-25

- [上接第 23 页][EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202006/t20200611_1231112.html?code=&state=123,2020.
- [18] 生态环境部. 关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见 [EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202101/t20210113_817221.html, 2021.
- [19] 修晨, 肖荣波, 陈三雄, 等. 国内外主要湾区生态系统特征、修复理论与技术模式 [J]. 生态学报, 2020(23): 8 377-8 391.
- [20] 林姚宇, 吴佳明. 低碳城市的国际实践解析 [J]. 国际城市规划, 2010(1): 121-124.
- [21] The City of New York. New York Master Plan 2008-2030[Z]. 2007.
- [22] 宋彦, 彭科. 城市总体规划促进低碳城市实现途径探讨——以美国纽约市为例 [J]. 规划师, 2011(4): 94-99.
- [23] 喻霞. 上海市应对气候变化规划模式和实证研究 [D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2016.
- [24] 张雅欣, 罗荟霖, 王灿. 碳中和行动的国际趋势分析 [J]. 气候变化研究进展, 2021(1): 88-97.
- [25] 金昱. 国际大城市交通碳排放特征及减碳策略比较研究 [J]. 国际城市规划, 2021. DOI: 10.19830/j.upi.2021.404.
- [26] 丁民丞, 吴纓. 碳捕集和储存技术的现状与未来 [J]. 中国电力企业管理, 2009(31): 15-18.
- [27] 孙宇飞. 城市低碳发展战略与措施研究——以纽约市为例 [J]. 中国外资, 2011(4): 2-4.
- [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(4): 74-80.
- [29] 章怡, 马璇, 张振广. 美国旧金山湾区区域规划编制经验与启示 [C]// 活力城乡美好人居——2019 中国城市规划年会论文集, 2019.
- [30] 樊明捷. 世界湾区的区域协同机制 [J]. 城乡建设, 2019(20): 67-69.
- [31] 王超, 常勇, 侯西勇, 等. 基于土地利用格局变化的胶东半岛生境质量时空演变特征研究 [J]. 地球信息科学学报, 2021(10): 1 809-1 822.
- [32] 鄢金明, 王建军. 双碳目标下的广州国土空间规划编制思考 [C]// 面向高质量发展的空间治理——2021 中国城市规划年会论文集, 2021.
- [33] 田丰, 包存宽. 充分利用规划力量推动实现碳达峰碳中和目标 [N]. 中国环境报, 2021-01-14.
- [34] 刘娣. 碳中和视野下区域净碳排放测算与补偿机制研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2017.
- [35] 黄强, 卓成刚, 张浩. 土壤碳汇补偿困境及对策研究 [J]. 生态经济, 2013(8): 51-55.

[收稿日期] 2021-11-12;

[修回日期] 2021-11-26