

# 基于资源环境承载力与开发建设 适宜性的国土开发强度研究 ——以江苏省为例

沈春竹<sup>1, 2</sup> 谭琦川<sup>3</sup> 王丹阳<sup>3</sup> 陈逸<sup>3</sup> 黄贤金<sup>31</sup>

(1. 江苏省土地勘测规划院, 江苏 南京 210017;

2. 自然资源部海岸带开发与保护重点实验室, 江苏 南京 210017;

3. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023)

**【摘要】:** 以江苏省为研究区域, 运用特尔斐法、线性拟合预测、Kaya 分解模型和多要素空间叠置分析等方法, 测算未来各地市基于资源环境承载力与开发建设适宜性的可承载国土开发强度, 进而识别影响区域建设用地扩张的限制性因素。结果表明: (1) 不同资源环境要素对江苏省建设用地扩张的约束作用呈现显著差异, 水资源对国土开发的承载水平总体稍高于环境承载水平, 而碳峰值承载水平为三者最低; (2) “不适宜” 开发区主要分布在湖泊湿地和沿海滩涂地区, “适宜” 开发区则以苏锡常环太湖一线、宁镇扬盐沿长江一线和滨海沿线为轴带集聚分布; (3) 各地市未来可承载国土开发强度呈现地域性、时间性和结构性差异, 苏南地区主要面临环境和碳排放的双重约束, 苏中和苏北则受水、环境和碳排放的交替约束。国土开发强度承载水平预测可为制定区域差异化的用地规模调控与生态保护政策提供理论与数据支撑。

**【关键词】:** 国土开发强度 资源环境承载力 开发建设适宜性

**【中图分类号】:** F205 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2019)06-1276-11

近半个世纪以来, 随着城镇化与工业化进程快速推进以及经济社会持续发展, 中国国土空间开发利用格局发生明显重构<sup>[1]</sup>, 过度依赖高资源消耗与高污染排放的粗放型发展模式亦使区域空间开发失衡、资源环境破坏严重等问题日趋严峻<sup>[2]</sup>, 在生态文明体制建设和空间规划体系改革目标下, 构建基于资源环境承载力的国土空间开发格局已成为我国政府及学界关注的重大议题<sup>[3,4]</sup>。作为反映资源环境本底和经济社会活动间交互程度的科学度量概念, 资源环境承载力泛指一定地域空间的资源禀赋和环境容量所能承载的开发规模<sup>[5,6]</sup>, 当前学界对单要素资源环境承载力的研究涵盖土地资源<sup>[7,8]</sup>、水资源<sup>[9,10]</sup>、环境<sup>[11,12]</sup>和生态<sup>[13,14]</sup>等方面, 研究方法从早期的综合指数法<sup>[15]</sup>、足迹分析<sup>[16]</sup>和模糊综合评价<sup>[17]</sup>等静态评估手段逐渐转向多目标情景规划<sup>[18]</sup>、能值分析<sup>[19]</sup>和系统动

**作者简介:** 沈春竹(1974-), 男, 研究员, 主要从事国土空间规划、土地利用、土地生态研究. E-mail: shenchunzhu@sina.com; 谭琦川, E-mail: tqchuan@163.com。

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金(41501185); 江苏省国土资源科技项目(2018001)。

力学<sup>[20]</sup>等动态模拟方法。

另一方面,国土开发强度是区域空间开发利用程度及其对区域人口、经济与用地规模等承载强度的综合反映<sup>[21]</sup>,作为表征城市土地开发与空间扩展的直接测度指标,已成为城市地理学和土地学科的重要研究内容之一<sup>[22]</sup>。当前国内外国土开发强度的相关研究主要聚焦于以下3方面:(1)从宏观的区域土地利用变化入手探究城市建设用地开发强度演变的时空分异机制,空间自相关、核密度分析等方法应用已较为成熟<sup>[23~25]</sup>,部分研究亦涉足建设用地开发的空间均衡度<sup>[26,27]</sup>;(2)基于地理加权回归、面板数据模型等方法尝试探索经济增长、产业结构变迁、城市化和交通发展等经济社会因素对国土开发强度的影响机理<sup>[23,28,29]</sup>;(3)探讨国土开发强度演变的生态环境效应,如建设用地扩张引致的污染物排放<sup>[30]</sup>、生态系统服务价值变化<sup>[31]</sup>、碳排放效率波动<sup>[32]</sup>等方面,近來有研究开始关注国土开发强度对资源环境承载力的影响<sup>[33]</sup>以及两者间的时空耦合机理<sup>[34,35]</sup>。十八届三中全会以来,国务院已相继出台政策文件并提出“合理控制空间开发强度,切实将各类开发活动限制在资源环境承载能力之内,同时全面摸清国土空间本底条件,以统筹各类空间性规划,推进多规合一的战略部署”的顶层设计<sup>[36,37]</sup>,因此基于资源环境承载力的国土开发强度研究开始越发受到重视,近年来国土空间规划探索等工作都基于资源环境承载力评价开展。但是已有大部分研究相对集中在资源环境的“人口承载力”,对于国土开发强度测算等相较于匮乏,缺乏科学的技术方法支撑。

本文在资源环境承载力评价基础上引入国土空间开发建设适宜性,后者用于衡量区域生态环境状况与资源条件可承载国土空间开发建设的适宜程度<sup>[1]</sup>,鉴于开发建设适宜性将资源环境承载力与国土建设空间扩张有机联系起来<sup>[38]</sup>,将其引入本研究可进一步丰富资源环境约束下国土开发强度测算的内涵。近年来,江苏省在长三角一体化国家战略和“1+3”重点功能区战略实施推动下,其经济社会发展已进入转型升级的攻坚期,资源环境状况与国土空间开发建设的规模性、空间性、结构性矛盾愈发成为制约区域可持续发展和生态文明建设的重要因素。故本文以江苏省为例,基于资源环境承载力与开发建设适宜性测算未来可承载国土开发强度,进而识别并分析各地建设用地扩张的限制性因素,以为形成与资源环境相匹配的国土空间开发格局提供理论借鉴和实践参考。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

社会经济和资源环境统计数据。江苏省历年常住人口数、GDP、城镇职工人均工资、SO<sub>2</sub>排放量等数据来源于2000~2015年《江苏统计年鉴》,各类能源消费量数据来源于历年《中国能源统计年鉴》,多年平均地表水源供水量、地下水可开采量、引长江水量、污水水排放量和用水量数据来源于历年《江苏省水资源公报》。

国土空间开发建设适宜性评价空间数据。江苏省2015年1:5000分区县承载力评价因子与评价分值图层来源于2015年全国土地调查数据库,包括江苏省各县(市)土地利用现状图(地块图斑数据)及各类地块属性数据。本文在开发建设适宜性评价中采用2015年江苏省各县(市)土地变更调查地块的“土地利用图斑”数据,统计得江苏全省地块或图斑数量为14614335个,平均面积约为6.78m<sup>2</sup>,评价单元满足“均质区域”的基本要求。

### 1.2 研究方法

基于水资源、环境状况和碳峰值三类资源环境要素预测江苏省未来可承载国土开发规模;在识别国土空间开发建设适宜性影响因素的基础上,构建评价指标体系并测算各评价单元开发建设适宜程度;以开发建设适宜性作为修正因子,最终测算出各地市基于资源环境承载的国土开发强度区间。资源环境承载力与开发建设适宜性共同表征国土空间与自然资源、生态环境本底条件的交互作用,前者受技术进步与政策演变的影响决定国土开发的弹性规模,后者则更多体现资源本底与环境约束,因而决定国土开发的刚性规模。

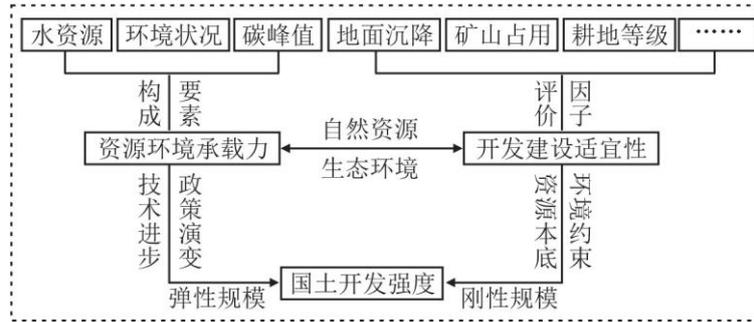


图 1 资源环境承载力、开发建设适宜性与国土开发强度相互关系

### 1.2.1 多要素资源环境承载力评价

#### (1) 水资源承载力。

水资源供给量由可利用水量、引提调水量和再生水利用量组成, 可利用水量采用江苏省多年平均地表水源供水量和地下水可开采量值作为平水年值, 丰水年和中等干旱年值分别上调 5%和下调 15%;引提调水量以江苏省 2000~2015 年引长江水量数据为依据对目标年值进行线性拟合预测;再生水利用率依据《江苏省“十二五”环境保护和生态建设规划》(以下简称“规划”)中提出的“2020 年不低于 20%”要求, 设定每隔五年上调 5%的目标, 污水排放量则取近年来平均水平作为预测标准;单位建设用地面积用水量则依据近十五年的用水量及建设用地面积数据进行线性拟合预测。最终得出不同情景下基于水资源承载水平的国土开发强度。

$$LDI_w = \frac{W_U + W_D + W_S \cdot \delta}{\omega \cdot S} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $LDI_w$  为水资源约束下的国土开发强度;  $W_U$  为可利用水量;  $W_D$  为引提调水量;  $W_S$  为污水排放量;  $\delta$  为再生水利用率;  $\omega$  为单位建设用地面积用水量;  $S$  为评价单元土地总面积。

#### (2) 环境承载力。

以大气环境和水环境两个维度考量环境承载力水平, 分别选取  $SO_2$  和化学需氧量排放量作为环境负荷指征值, 依据“规划”中提出的每个五年计划分别减排 15%、12%为标准, 得到各预测年份环境污染物排放总量;单位建设用地面积排放强度以 2000 年以来的变化趋势进行线性拟合预测, 考虑到将来减排难度将逐渐提升, 排放强度难以保持线性下降, 结合线性拟合方程分别设置减速趋势、现状趋势和加速趋势 3 种情景, 排放强度年递减率依次为 2%、3%和 4%。

$$LDI_E = \frac{\sum_n \left( \frac{E_n}{e_n \cdot S} \right)}{n} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $LDI_E$  为环境负荷约束下的土地开发强度;  $E_n$  为环境污染物排放预测总量;  $e_n$  为单位建设用地面积环境污染物排放量;  $n=i, j, i$  为  $SO_2$ ,  $j$  为化学需氧量。

(3)碳峰值承载力。

根据 Kaya 恒等式,碳排放主要由人口、经济发展水平、能源强度和碳排放强度所决定,而相关研究表明碳排放与科技进步亦具密切关系<sup>[39]</sup>,且劳动报酬率能较好表征产业科技技术水平<sup>[40]</sup>,故将该指标引入对模型进行修正。根据国家发改委要求,江苏省“十三五”期间能耗增速下降 2.5%,据此设置基准情景、低碳情景和强化低碳情景下能耗分别下降 2.5%、3%和 3.5%。单位建设用地面积碳排放量以 2000 年以来的变化趋势进行线性拟合预测。

$$C_t = P \cdot \frac{G}{P} \cdot \frac{E}{G} \cdot \frac{C_t}{E} \cdot (1 - \mu \cdot f) = p \cdot g \cdot e \cdot c \cdot k \quad (3)$$

$$LDI_c = \frac{C_t}{c^* \cdot S} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $C_t$ 为碳排放量; $P$ 为人口数; $G$ 为地区生产总值; $E$ 为能源消费量; $\mu$ 为技术进步与劳动报酬率间的可决系数,取值 0.91; $f$ 为劳动报酬率; $g$ 为人均 GDP; $e$ 为能源强度; $c$ 为能源碳排放强度; $k$ 为技术进步影响系数; $LDI_c$ 为碳峰值约束下的土地开发强度; $c^*$ 为单位建设用地面积碳排放量。能源消费量是测算基于各类能源折标煤系数的各产业能源消耗;劳动报酬率依据 2000 年以来江苏省城镇职工人均劳动工资曲线求得。

1.2.2 国土空间开发建设适宜性评价

基于对自然地理、生态环境、政策制约等因素的分析,根据国土空间建设开发自然适宜性程度对评价因子进行量化分级,运用特尔斐法赋予各因子不同等级分值,分值越高,适宜性越强,反之则反;按照“木桶原理法则”(式 5)对每一地块图斑进行叠加分析,各图斑适宜性评价价值取各因子最低分值并据此划定适宜性评价类型,依次为适宜、基本适宜、基本不适宜和不适宜,对应分值 1.0 或 0.8、0.6、0.4 和 0,最终各图斑加和得到江苏省各市国土空间开发建设适宜性评价结果。

$$f(x) = \min(x_1, x_2, \dots, x_{11}) \quad (5)$$

式中: $f(x)$ 为国土空间开发建设适宜性评价结果; $x_1, x_2, \dots, x_{11}$ 为各评价因子分值。

表 1 江苏省国土空间开发建设适宜性评价指标体系

要素层	指标层	等级/得分
政策制约要素	基本农田 $x_1$	是=0;否=1
	规划用地管制区 $x_2$	禁止建设区=0;其他=1
	生态红线保护区 $x_3$	水域(河流水面、湖泊水面、水库),滩涂(沿海滩涂、内陆滩涂、沼泽地),绿地(天然牧草地、人工牧草地、有林地)=0;其他=1
自然基础要素	坡度 $x_4$	$0^\circ \sim 2^\circ =1; 2^\circ \sim 8^\circ =0.8; 8^\circ \sim 25^\circ =0.6; 25^\circ$ 以上=0.4
	滑坡泥石流 $x_5$	不易发区=1;低/中易发区=0.6;高易发区=0.4
	地面沉降 $x_6$	非沉降区/轻微或稳定区=1;一般沉降区=0.8;

		较严重沉降区=0.6;严重沉降区=0.4
	活动断层 $x_7$	稳定区=1;轻微影响=0.8;较严重影响/严重影响=0.6
	矿山占用 $x_8$	非占地=1;中转用地/矿山建筑=0.8;采场=0.6;塌陷/固体废弃=0.4
	岩溶塌陷 $x_9$	不易发区=1;低/中易发区=0.8;高易发区=0.6
	地质遗迹 $x_{10}$	其他=1;缓冲区 $6 \times 6\text{km}$ =0.8;缓冲区 $4 \times 4\text{km}$ =0.6;缓冲区 $2 \times 2\text{km}$ =0.4
	耕地质量 $x_{11}$	非耕地=1;八/七/六等地=0.6;五/四等地=0.4

### 1.2.3 基于开发适宜性修正的国土开发强度测算

以国土空间开发建设适宜性评价中“适宜”开发面积比重作为可开发建设用地规模的测算依据,鉴于各市“适宜”开发面积比重仅反映“适宜”开发区在省域内的空间分布差异,忽略了各评价单元国土面积的差异性特征,故引入修正系数  $\alpha$  以表示各市“适宜”开发面积占其国土面积的比重并作标准化处理,进而测算出各市可开发土地规模比重及各资源环境要素约束下的国土开发强度区间。

$$SDP_i = SSP_i \cdot \alpha = \frac{SS_i}{\sum_{i=1}^n SS_i} \cdot \frac{SS_i / S_i}{\max_n (SS_i / S_i)} \quad (6)$$

$$\overline{SDP}_i = \frac{SDP_i}{\sum_{i=1}^n SDP_i} \quad (7)$$

$$LDI_{ij} = \frac{LDS_j \cdot \overline{SDP}_i}{S_i} \times 100\% \quad (8)$$

式中:  $SDP_i$  为各市适宜开发土地面积比重;  $SS_i$  为  $i$  市适宜开发面积;  $S_i$  为  $i$  市土地总面积;  $\overline{SDP}_i$  为  $SDP_i$  标准化值;  $LDI_{ij}$  为  $i$  市在  $j$  类资源环境要素约束下的土地开发强度;  $LDS_j$  为江苏省在  $j$  类资源环境要素约束下可开发土地面积。

## 2 结果与分析

### 2.1 基于资源环境承载的可开发土地规模

依据式(1)~(4),可求得各资源环境要素约束下江苏省可承载的国土开发强度(表2)。不同资源环境要素对江苏省用地规模的承载状况呈现显著差异,2025年环境负荷下可承载国土开发强度为三者之最,2035年水资源承载水平大幅提升并超越环境承载水平,而碳达峰约束下的可承载用地水平则明显低于前两者。在用水效率提升和技术革新等正向因素促进作用下,江苏省单位面积用水量将呈现持续下降趋势,同时随着再生水利用水平不断提高,不同情景下水资源可承载用地强度随时间变化均显著提升,2035年相比于2025年均多承载约4%的建设用地规模,在丰水年情景下土地开发强度可达到约29%,为各预测情景之最。在环境负荷约束下,低速减排趋势和现状趋势中可承载开发强度随时间变化呈现停滞甚至下降的变化趋势;而考虑到产业转型和减排技术升级,仅在加速减排情景下,2035年比2025年可多承载约3.3%的建设用地规模。碳达峰约束下,虽然各情景下碳排放总量增长速度均明显减缓并逐渐达到峰值,但单位用地面积碳排放强度的逐年提升使得江苏省在建设用地上扩张方面形势严峻,各情景

下 2035 年可承载用地规模相较于 2025 年均不增反减, 可见未来江苏省经济发展与环境保护的矛盾依然较为突出。

表 2 基于资源环境承载力的江苏省可开发土地规模

资源环境要素	预测情景	2025 年		2035 年	
		承载规模 (km <sup>2</sup> )	开发强度 (%)	承载规模 (km <sup>2</sup> )	开发强度 (%)
水资源	中等干旱年	21777	20.31	25374	23.67
	平水年	25298	23.60	29645	27.65
	丰水年	26472	24.69	31068	28.98
环境负荷	减速趋势	23164	21.60	21214	19.79
	现状趋势	25238	23.54	25626	23.90
	加速趋势	27533	25.68	31026	28.94
碳达峰	基准情景	20905	19.50	16465	15.36
	低减排情景	22478	20.96	18221	16.99
	高减排情景	24867	23.19	23682	22.09

以江苏省 2015 年土地开发强度值 21.19% 作为对比依据, 水资源方面仅在 2025 年中等干旱年情景下低于现状值, 随着水资源对用地规模的承载水平不断提升, 即使考虑到建设用地规模在未来一段时期内仍呈上升趋势, 水资源对江苏省建设用地扩张的约束性亦较小; 若维持现状趋势或低速减排趋势下, 未来江苏省土地开发强度仍面临超越环境承载水平的风险, 环境状况对江苏省建设用地扩张具有一定限制性; 面临碳达峰约束, 仅在高减排情景下未来土地开发强度略微大于现状水平, 碳排放已构成江苏省国土开发建设的主要限制性因素。综上, 当前江苏省正面临环境负荷和碳达峰的双重约束, 未来亟需深化产业转型升级进程并创新节能减排技术、切实提高新型清洁能源的利用率, 进而提升生态环境对建设用地增长的承载能力。

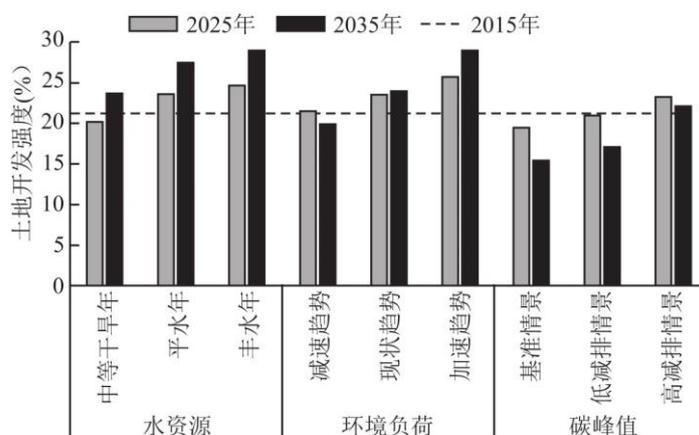


图 2 资源环境要素约束下的江苏省可承载土地开发强度

## 2.2 国土空间开发建设适宜性评价

国土空间开发建设适宜性反映区域自然环境本底及现状特征对国土空间开发建设的适宜程度。依据式(5)得出适宜性评价结果并进行空间可视化(图3),进而汇总得各地市不同适宜性类型的面积与比例(表3)。结果表明,江苏省国土空间开发建设适宜性空间分异显著,不同等级、不同地域适宜性集聚分散特征差异明显。全省适宜性类型面积由高到低依次为不适宜、适宜、基本适宜和基本不适宜,面积为60655.62、21315.45、18013.22、6579.70km<sup>2</sup>,分别占国土面积的56.92%、20.00%、16.90%、6.17%，“不适宜”开发区(包括不适宜和基本不适宜)占比高达63.09%,近两倍于“适宜”开发区(包括适宜和基本适宜)。

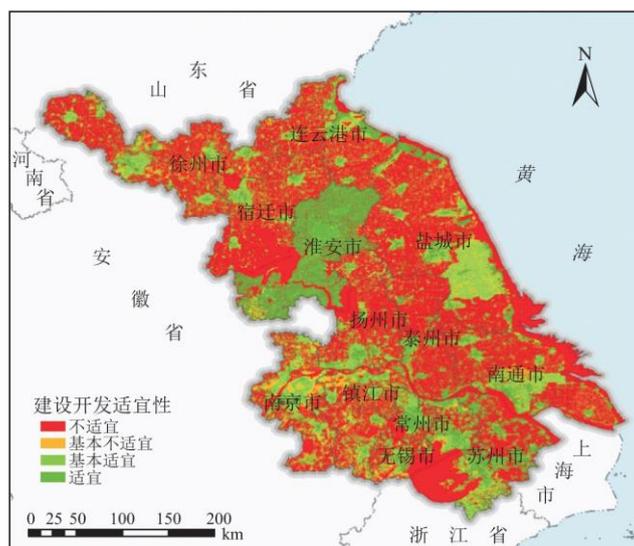


图3 江苏省国土空间开发建设适宜性空间分布

江苏省适宜开发区集中分布于长江中下游平原和苏北平原,主要分为以城市建成区为核心的现状城镇用地与农村居民点两类,两者在空间形态和分布格局上差异显著,前者呈现高密度的集聚分布特征,集中分布于环太湖平原的“苏锡常”一线、长江流域沿线的“宁镇扬盐”一带、淮安苏北平原以及连云港滨海平原,后者则呈破碎化、小斑块且由城市建成区向外密度递减的分布规律,散落在除重要湖泊湿地、宁镇山脉一线和盐城南、北部滨海平原以外的江苏省全境;苏州、无锡和常州三市适宜开发面积占市域国土面积比重均超过25%,位列全省前三,而盐城市适宜开发面积则为全省之最。不适宜开发区主要涵盖基本农田、重要生态功能区、生态湿地等禁止或限制开发区,作为面积占比最高的适宜性评价类型,广泛分布于江苏省全境,总体呈紧密斑块状互联互通,其他类型则穿插分布于不适宜开发国土空间中;该类型在以太湖、高邮湖、洪泽湖为核心的国家湖泊湿地,以及以盐城、连云港滨海平原为代表的沿海滩涂地区,呈现连续性极强的集聚分布特征;盐城、徐州、南通和淮安四市不适宜面积均超过6000km<sup>2</sup>,而宿迁市不适宜面积比重则高达65.47%。总体而言,江苏省适宜与不适宜开发区在长江中下游平原、苏北平原和滨海平原交错分布,尤其是土地开发强度明显高于全省平均水平的环太湖沿线各市,国土开发与生态保护的矛盾日益突出。

## 2.3 各地市可承载国土开发强度及限制因素识别

### 2.3.1 基于资源环境约束与开发适宜性的各市国土开发强度

依据江苏省国土开发建设适宜性评价结果,进一步测算各资源环境要素约束下各地市可承载的国土开发强度(表4)。总体而言,各资源环境要素约束下各市用地强度承载水平与江苏省总体水平较吻合,但由于各地市国土开发适宜性差异显著,故各市土地开发承载区间亦存在明显分异。

表 3 江苏省国土空间开发建设适宜性评价结果

名称	不适宜		基本不适宜		基本适宜		适宜	
	面积(km <sup>2</sup> )	占比(%)						
江苏省	60655.62	56.92	6579.70	6.17	18013.22	16.90	21315.45	20.00
南京市	2798.13	42.38	874.99	13.25	1789.14	27.10	1139.87	17.27
无锡市	2099.24	45.37	294.02	6.35	897.62	19.40	1336.47	28.88
徐州市	6312.64	56.76	664.44	5.97	2093.02	18.82	2050.55	18.44
常州市	2048.14	46.84	234.07	5.35	980.97	22.44	1109.12	25.37
苏州市	4877.81	56.34	179.28	2.07	1036.81	11.98	2563.41	29.61
南通市	6135.61	58.33	598.12	5.69	1508.60	14.34	2276.47	21.64
连云港市	4272.02	56.10	608.69	7.99	1164.83	15.30	1569.56	20.61
淮安市	6066.96	60.49	803.55	8.01	1370.36	13.66	1789.00	17.84
盐城市	9656.34	57.03	1098.67	6.49	3271.84	19.32	2905.00	17.16
扬州市	3923.80	59.53	247.86	3.76	1138.39	17.27	1281.60	19.44
镇江市	1828.89	47.62	354.60	9.23	895.95	23.33	761.18	19.82
泰州市	3712.44	64.15	156.88	2.71	713.55	12.33	1204.53	20.81
宿迁市	5583.74	65.47	464.55	5.45	1152.13	13.51	1327.98	15.57

2025年,环境负荷下江苏省各地市可承载国土开发强度高于水资源,碳峰值承载水平最低。各要素承载水平间差异相对较小,大部分地市承载下限值由碳峰值、水资源到环境负荷呈梯度递增,碳峰值约束下的承载上限值低于水资源和环境负荷,而后两者则几乎为同一水平。扬子江城市群国土开发建设条件显著优于省内其他区域,平均土地开发强度上限值达到32.00%,远超25.68%的全省平均水平;沿海经济带与淮海经济区稍次,最大开发强度分别为23.98%、21.23%;而江淮生态经济区由于生态敏感区与禁止开发区占地较多,其可承载用地强度最多仅为16.91%。而到2035年,各地市水资源对国土空间开发的承载水平优于环境负荷,碳峰值承载水平仍大幅落后。该时期江苏省水资源和环境负荷约束下的国土开发承载水平相比于2025年将会有不同程度的提升,前者由于用水效率提升和技术进步等因素驱使承载水平大幅度提升,后者承载上限值有一定增加,但经济持续发展带来的环境压力致使其承载下限值低于2025年水平;而在碳峰值约束下,碳排强度的攀升趋势使得减排形势日趋严峻,进而导致其承载用地强度进一步滑落。

表 4 基于开发适宜性和资源环境约束的各地市国土开发强度区间

地级市	2025年			2035年		
	水资源	环境负荷	碳峰值	水资源	环境负荷	碳峰值

南京市	28.70~34.89	30.53~36.28	27.55~32.77	33.44~40.94	27.96~40.89	21.70~31.21
无锡市	33.90~41.21	36.06~42.87	32.55~38.72	39.51~48.37	33.03~48.30	25.64~36.87
徐州市	19.09~23.20	20.30~24.13	18.32~21.80	22.24~27.23	18.59~27.20	14.43~20.76
常州市	33.25~40.41	35.36~42.03	31.91~37.96	38.74~47.43	32.39~47.36	25.14~36.15
苏州市	25.16~30.58	26.76~31.81	24.15~28.73	29.31~35.89	24.51~35.84	19.02~27.36
南通市	18.78~22.83	19.97~23.74	18.03~21.44	21.88~26.79	18.29~26.75	14.20~20.42
连云港市	18.76~22.80	19.95~23.71	18.00~21.42	21.85~26.76	18.27~26.72	14.18~20.40
淮安市	14.43~17.55	15.35~18.25	13.86~16.48	16.82~20.59	14.06~20.56	10.91~15.70
盐城市	19.36~23.53	20.59~24.48	18.58~22.10	22.56~27.62	18.86~27.58	14.64~21.05
扬州市	19.61~23.83	20.85~24.79	18.82~22.39	22.84~27.97	19.10~27.93	14.82~21.32
镇江市	27.08~32.92	28.81~34.24	26.00~30.93	31.56~38.64	26.38~38.59	20.48~29.45
泰州市	15.98~19.42	16.99~20.20	15.34~18.24	18.62~22.79	15.56~22.76	12.08~17.37
宿迁市	12.31~14.96	13.09~15.56	11.81~14.05	14.34~17.56	11.99~17.53	9.31~13.38

### 2.3.2 各地市用地强度的限制性因素识别

将目标年各资源环境要素约束下的可承载用地强度与各地市现状土地开发强度水平相对比(图 4),分析未来各地市国土开发空间扩张与资源环境承载水平的匹配程度,以识别各地区国土开发建设的限制性因素(图 5)。

不难发现,各地市水资源和环境状况对国土开发的承载水平与现状开发强度的匹配度较一致,若以承载高值来衡量,2025 年连云港、泰州和宿迁 3 市已呈现明显超载,且水资源对其国土建设空间扩张的约束性强于环境状况;而若以承载低值衡量,苏州、徐州、南通和淮安现状开发强度已超过两者承载水平,呈现临界超载状态;而到 2035 年,随着各市用水效率提升、节能减排初具成效且相关技术进步的推动下,水资源保障和环境治理对建设用地扩张的承载水平均呈大幅度提高趋势,但若以承载下限值作为参考,各地市仍存在不同程度的超载风险,如连云港、淮安、泰州和宿迁四市现状用地强度已超过水资源承载水平,而环境负荷方面仅无锡、镇江、常州和盐城未出现超载,苏州、连云港、宿迁和泰州用地强度超载幅度均达到约 5%,表明上述地市未来在建设用地扩张中仍面临环境约束。碳峰值对各地市开发强度的限制性较强且随时间推移其约束作用更为显著。基准情景下,除无锡、常州、盐城和镇江四市外其余地市现状开发强度已超过 2025 年承载低值,而即使在低减排情景下,2025 年和 2035 年仍有宿迁、泰州、连云港、苏州和淮安五市处于超载状态;显然碳排放已构成约束江苏省各地建设用地扩张的重要限制性因素,未来碳减排压力和经济持续发展的矛盾将较为突出。

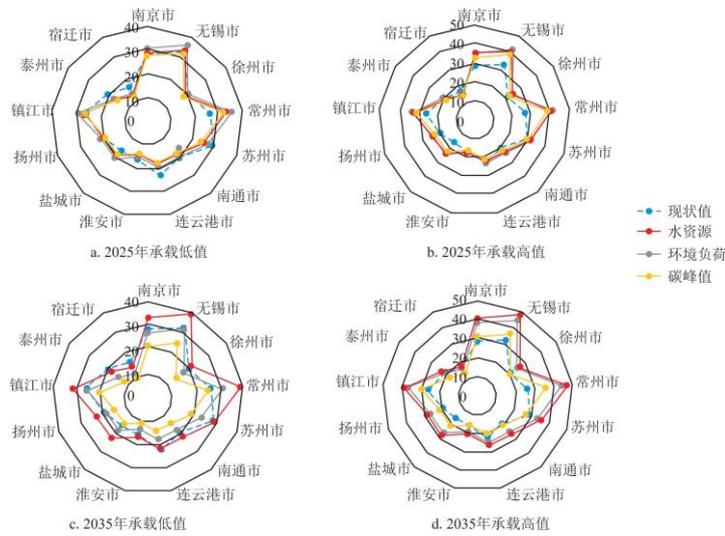


图 4 资源环境约束下各地市土地开发强度现状值与承载阈值对比

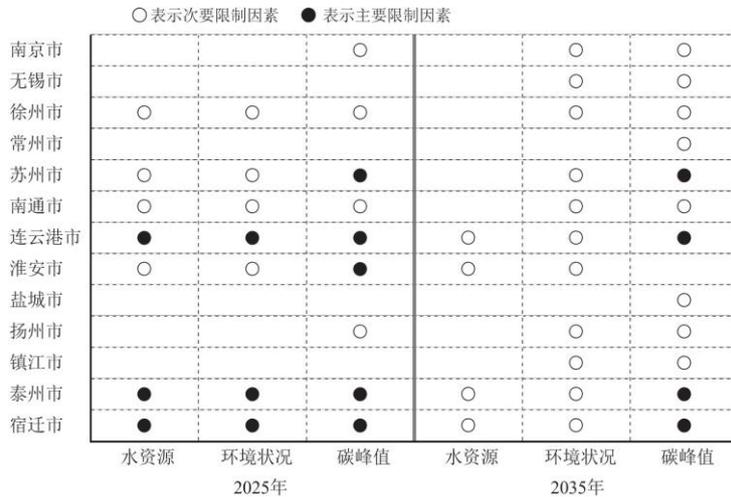


图 5 江苏省各地市国土开发限制性因素识别

总体而言,江苏省未来各地市国土开发限制性因素分布格局为:2025 年以连云港、泰州和宿迁为代表的苏中、北地区受到不同程度的水资源、环境状况和碳排放交替约束,2035 年苏北地区仍受三者交替约束,苏南、中地区则以环境和碳排放约束为主。

### 3 结论与讨论

本文依据资源环境承载力和国土开发建设适宜性评价原理,系统集成特尔斐法、木桶原理、线性拟合预测、Kaya 分解模型和多要素空间叠置分析等方法,测算江苏省各地市目标年可承载用地强度,进而识别并分析各地建设用地扩张的限制性因素。结果如下:

(1) 不同资源环境要素对江苏省未来国土开发建设的约束作用呈现显著差异,水资源对国土开发的承载水平总体优于环境负荷,碳峰值承载水平则大幅落后。资源利用效率提升、节能减排持续推进及技术进步等因素推动水资源和环境负荷约束下可承载国土开发强度上限值由 2025 年的 24.69%、25.68%分别提升至 2035 年的 28.98%、28.94%,但后者在维持现状和低速减排情景下

可承载用地强度不增反减;碳峰值约束下可承载国土开发强度上限值则由 2025 年的 23.19%下降至 2035 年的 22.09%。可见未来江苏省将面临碳峰值和环境负荷的双重约束,而水资源对江苏省建设用地扩张的约束性较小。

(2) 国土空间开发建设适宜性对区域国土空间开发建设活动具有基础性、决定性作用。江苏省不同类型与地域适宜性空间分异特征显著,“不适宜”开发区面积近两倍于“适宜”开发区。“适宜”开发区以苏锡常环太湖一线、宁镇扬盐沿长江一线和滨海沿线为轴带集聚分布,适宜与基本适宜开发区呈明显的核心外围分布格局,“不适宜”开发区则以国家湖泊湿地和沿海滩涂地区为核心呈紧密斑块状互联互通。

(3) 基于国土开发建设适宜性和资源环境约束,江苏省各地市未来可承载国土开发强度呈现地域性、时间性和结构性差异。各地区承载水平总体呈现由扬子江城市群向沿海经济带、淮海经济区和江淮生态经济区依次降低的空间分布格局;各地市水资源对用地强度承载水平随时间推移呈显著提升,环境状况承载水平总体略微提升但部分地市仍面临低减排引致的超载风险,碳峰值约束不断增强则使各市承载水平呈不同程度下降;苏南各市未来将主要面临环境和碳排放的双重约束,苏中和苏北各市开发强度则受水、环境和碳排放的交替约束,且水资源对苏北各市的约束性显著强于苏中。

本文在资源环境承载力评价中采用线性拟合方法对部分过程参数进行预测,虽然基于长时间序列样本数据的拟合方程能较客观反映参数历史演变趋势并展开预测,有一定合理性,同时亦尝试设置多种情景以弱化技术进步与相关政策实施对评价结果的潜在影响,但参数预测精确性不足仍难免会在一定程度上造成测算结果的夸大或缩小。国土开发适宜性评价中运用特尔斐法进行因子遴选、权重设定与等级划分,亦难免存在一定主观成分。此外,以各市国土开发适宜性评价结果作为修正因子进行各市开发强度承载水平的估算是本文的一次新尝试,但国土开发适宜性与资源环境承载力间的耦合机理仍需在未来研究中得到进一步阐明。本文着重从自然资源本底条件出发考量资源环境对国土空间开发的承载水平,未来研究应在丰富数据源和优化评价方法的基础上,深化自然资源、经济社会、生态环境等要素层面的联动与交互对国土开发空间综合承载水平的影响研究,进而为制定区域差异化的用地规模调控与生态保护政策提供理论与数据支撑。

#### 参考文献:

- [1] 喻忠磊, 张文新, 梁进社, 等. 国土空间开发建设适宜性评价研究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(9): 1107-1122.
- [2] 谭术魁, 刘琦, 李雅楠. 中国土地利用空间均衡度时空特征分析[J]. 中国土地科学, 2017, 31(11): 40-46.
- [3] 朱凤武, 高永年, 鲍桂叶. 江苏沿海地区土地综合承载力指标预警与短板要素识别[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(S1): 15-22.
- [4] 谢英挺, 王伟. 从“多规合一”到空间规划体系重构[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 15-21.
- [5] 李扬, 汤青. 中国人地关系及人地关系地域系统研究方法述评[J]. 地理研究, 2018(8): 1655-1670.
- [6] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究: 从理论到实践[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395.
- [7] 靳相木, 李陈. 土地承载力研究范式的变迁、分化及其综论[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 526-540.
- [8] 封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国人口分布的土地资源限制性和限制制度研究[J]. 地理研究, 2014, 33(8): 1395-1405.
- [9] WANG C H, HOU Y L, XUE Y J. Water resources carrying capacity of wetlands in Beijing: Analysis of policy

---

optimization for urban wetland water resources management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161:1180-1191.

[10]封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国人口分布的水资源限制性与限制度研究[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(10):1637-1648.

[11]ZHOU Y J, ZHOU J X. Urban atmospheric environmental capacity and atmospheric environmental carrying capacity constrained by GDP-PM2.5[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 73:637-652.

[12]曾维华, 杨月梅, 陈荣昌, 等. 环境承载力理论在区域规划环境影响评价中的应用[J]. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(6):27-31.

[13]ELISA S N, ENRIQUE O. Carrying capacity using emergy and a new calculation of the ecological footprint[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60:1200-1207.

[14]王恒博, 姚顺波, 郭亚军, 等. 基于生态足迹-服务价值法的生态承载力时空演化[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(10):2316-2327.

[15]MA P P, YE G Q, PENG X, et al. Development of an index system for evaluation of ecological carrying capacity of marine ecosystems[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 144:23-30.

[16]徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(5):607-616.

[17]段新光, 栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(S1):119-122.

[18]戴洪刚, 梁虹, 张美玲. 基于多目标决策——理想区间模型的喀斯特地区枯水资源承载力评价[J]. *水土保持研究*, 2007(6):23-26, 36.

[19]张雪花, 李建, 张宏伟. 基于能值-生态足迹整合模型的城市生态性评价方法研究——以天津市为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(2):344-352.

[20]祝秀芝, 李宪文, 贾克敬, 等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究[J]. *中国土地科学*, 2014, 28(2):90-96.

[21]杨清可, 段学军, 李平星, 等. 江苏省土地开发度与利用效益的空间特征及协调分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(11):1696-1704.

[22]张宁, 方琳娜, 周杰, 等. 北京城市边缘区空间扩展特征及驱动机制[J]. *地理研究*, 2010, 29(3):471-480.

[23]刘艳军, 于会胜, 刘德刚, 等. 东北地区建设用地开发强度格局演变的空间分异机制[J]. *地理学报*, 2018, 73(5):818-831.

[24]张鹏, 张栩嘉, 刘勇, 等. 基于土地开发强度的长春市城市空间效率分异研究[J]. *地理科学*, 2018, 38(6):895-902.

[25]DI X, HOU X, WANG Y, et al. Spatial-temporal characteristics of land use intensity of coastal zone in China during 2000-2010[J]. *Chinese Geographical Science*, 2015, 25(1):51-61.

- 
- [26]张竞珂,陈逸,黄贤金.长江经济带土地开发均衡度及限度评价研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(12):1945-1953.
- [27]陈逸,黄贤金,陈志刚,等.中国各省域建设用地开发空间均衡度评价研究[J].地理科学,2012,32(12):1424-1429.
- [28]王雪微,王士君,宋飏,等.长春市城市建设用地演进的空间识别及影响机制研究[J].地理科学,2015,35(7):873-881.
- [29]赵亚莉,刘友兆.城市土地开发强度差异及影响因素研究——基于222个地级及以上城市面板数据[J].资源科学,2013,35(2):380-387.
- [30]赵亚莉,刘友兆,龙开胜.城市土地开发强度变化的生态环境效应[J].中国人口·资源与环境,2014,24(7):23-29.
- [31]XU Y, TANG H, WANG B, et al. Effects of land-use intensity on ecosystem services and human well-being: A case study in Huailai County, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(5):416.
- [32]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,2016,38(2):265-275.
- [33]YAN H, LIU F, LIU J, et al. Status of land use intensity in China and its impacts on land carrying capacity[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(4):387-402.
- [34]刘艳军,刘静,何翠,等.中国区域开发强度与资源环境水平的耦合关系演化[J].地理研究,2013,32(3):507-517.
- [35]卫思夷,居祥,荀文会.区域国土开发强度与资源环境承载力时空耦合关系研究——以沈阳经济区为例[J].中国土地科学,2018,32(7):58-65.
- [36]中共中央办公厅,国务院办公厅.关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见[EB/OL].(2017-09-20)[2018-09-05].[http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/20/content\\_5226466.html](http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/20/content_5226466.html).
- [37]中共中央办公厅,国务院办公厅.省级空间规划试点方案[EB/OL].(2017-01-10)[2018-09-05].[http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/fzgh/zhdt/201701/t20170110\\_834693.html](http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/fzgh/zhdt/201701/t20170110_834693.html).
- [38]陈景芹,陈雯,孙伟,等.基于适宜性分区的规划用地协调性与合理性评估——以无锡市区为例[J].长江流域资源与环境,2011,20(7):866-872.
- [39]高振宇,王益.我国生产用能源消费变动的分解分析[J].统计研究,2007(3):52-57.
- [40]吕炜.美国产业结构演变的动因与机制——基于面板数据的实证分析[J].经济学动态,2010(8):131-135.