

新质生产力、新能源与国土空间规划演进方向思考*

——以风、光能源形式为主的讨论

Reflections on the Evolutionary Direction of New-quality Productive Forces, Renewable Energy, and National Spatial Planning: A Discussion Focused on Wind and Solar Energy

王乙喆 王兴平 朱振伟

WANG Yizhe, WANG Xingping, ZHU Zhenwei

关键词 新质生产力; 新能源; 国土空间规划; 地表空间; 空间资源; 光能; 风能; 能源生产

Keywords: new quality productive forces; new energy; territorial spatial planning; land space; spatial resources; solar energy; wind energy; energy production

提要 “新质生产力”是我国实现生产力跨越式发展的战略抓手。空间规划学科应主动推进以风能、光能为代表的新能源生产布局,以能源为媒介支撑新质生产力的生成。深度剖析生产力、能源和空间关系。阐明新能源是新质生产力发展的基石,历史经验表明生产力质变往往与能源形态革新相伴生。能源转型推动地表空间利用方式的变革,新能源颠覆了传统能源空间利用逻辑,形成了“空间能源生产”的新型利用形态,既重塑空间价值又冲击现有空间利用体系。构建“生产力—能源—空间”分析框架,认为国土空间规划肩负我国全域空间能源资源管理的重要职责,但根植于化石能源时代的规划理念与工具已难适应新能源发展需求,亟须回归能源生产与空间关系本源,创新空间观念、认识方法、实践工具与实施机制。

Abstract: "New quality productive forces" represent a strategic pathway for China to achieve leapfrog growth in economic productivity. The spatial planning discipline must take a proactive lead in advancing the planning of emerging energy systems represented by wind and solar power, leveraging the role of the energy sector as a catalyst for generating new quality productive forces. This paper offers an in-depth analysis of the interrelationship among productive forces, energy systems, and spatial configuration. Historical evidence reveal that transformative leaps in productivity have coincided with paradigm shifts in energy systems, fundamentally reshaping spatial conventions of energy production while altering terrestrial spaces. These shifts have given rise to new "spatialized energy production" models that redefine spatial value and challenge existing spatial. Through constructing a "productivity-energy-space" analytical framework, the paper posits that although territorial spatial planning plays a critical role in the management of energy resources across China, its current planning paradigms and operational tools—rooted in the fossil fuel era—have become increasingly inadequate in addressing the renewable energy imperatives. Consequently, it is essential to revisit the ontological relationship between energy generation and spatial configuration, and to develop innovative spatial epistemologies, methodological approaches, practical instruments, and implementation mechanisms suited to the new energy era.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202503006
文章编号 1000-3363(2025)03-0043-09

作者简介

王乙喆, 东南大学建筑学院博士研究生,
230228028@seu.edu.cn

王兴平, 东南大学建筑学院教授、博士生导师,
通信作者, wxpsx@seu.edu.cn

朱振伟, 国网江苏省电力有限公司宿迁供电公司,
高级工程师

* 国家自然科学基金重点项目“推动共建‘一带一路’沿线中国境外产业园区高质量发展研究”(项目编号: 22AZD052)资助; 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“产业园区低碳化发展路径、机制与规划模式研究”(项目批准号KYCX23_0313)

世界正经历百年变局，全球格局发生深刻调整。我国以“新质生产力”为抓手，在全面国际竞争中抢占先机，推动生产力升级和高质量发展。近年来，以人工智能、智能电动汽车、机器人等为代表的新质生产力形式正加速融入我们的生产生活中，推动了科技与经济的巨大进步。在这科技大爆发的时代中，空间规划学科所扮演的角色及其应发挥的作用成为学科与全行业关注的热点^[1]。空间规划虽关联广泛，但其研究对象并非科技本体，而限于相关外部环境。尤其在当前，人工智能引领的信息科学聚焦于虚拟空间拓展，不免让人觉得空间规划与前沿科技的关联日渐疏远。

然而，事实并非如此。实体与虚拟空间正通过能源形成全新纽带。以风、光能源为代表的新型能源系统正将生产力、能源、空间融合为有机整体，使空间规划成为驱动生产力发展的新通路。早在2005年，沈清基^[2]就认为城市规划在新能源发展中具有重要作用。近年来，不少能源地理、可持续转型领域的研究者在理论层面进一步确认了“空间”对于“能源转型”的重要意义。马修·胡贝尔（Matthew Huber）^[3]和加文·布里吉（Gavin Bridge）等^[4]均指出，空间和土地应置于任何能源转型理论的核心。很多地理领域的学者^[5-6]分别围绕着能源、空间、权力、安全、公平等方面进行了众多理论性的探讨。有些建筑与城市规划领域的研究者^[7-8]则正探讨城市形态（建筑单体、组群、城市整体）与新能源生产的关系，而有些研究者^[9]则聚焦于空间规划应对气候变化影响方面的议题。然而，从空间和能源关系视角，把二者联系起来探讨空间规划如何应对的却较少。

我国作为全球最大的新能源转型推动者，刚建立了国土空间规划这一全新、强有力的空间规划工具^[10-11]。这个全新工具与当前的能源转型以及新质生产力的发展具有怎么样的关联？可以发挥什么作用？这一方向的思考对于中国式现代规划理论的建立具有重要的探索价值^[12]。正如诸多专家学者已探讨了新质生产力与空间规划之间丰富而广泛的联系^[13]。本文以能源为媒介来探讨二者的关系，重点论述生产力与能源、能源与

地表空间利用的两组关系，构建“生产力—能源—空间”分析框架，明确国土空间规划在新能源转型中的作用、问题和未来优化方向。

1 “新质生产力”与“新能源”

1.1 概念辨析：“生产力”与“能源”的联系

“生产力”通常被定义为人类改造自然和利用自然的能力，而“能源”则通常被定义为一种“做功的能力”，适用于所有人类社会以及与自然环境的互动层面^[14]。二者都是关于人类实践抽象能力的描述，具有极为相似的内涵。1960年代，苏联天文学家尼古拉·卡尔达肖夫（Kardashev）^[15]认为能源是所有文明生产力发展的基础，提出了一种基于利用能源的能力（卡尔达肖夫指数）^①来衡量文明先进程度的方法。结合历史上科技革命与能源关系^[16]，我们甚至可以认为能源就是生产力的一种具象化和量化的表达方式。

能源规模总量的增长是反映社会生产力发展水平的重要标志，更与普通人民生活的富裕程度息息相关。例如，一个生活在21世纪美国郊区的中产家庭日常生活能源消费功率可达30 kW，等值于古罗马帝国贵族所拥有的6000名强壮奴隶的做功总量^[17]，表明了现代社会的大规模能源供应让普通人就可享受到远超古代王公贵族的生活水平^②。又如，2023年我国人均能源消费总量为4053 kg标准煤，是1953年该数值（93 kg标准煤）的43.6倍，这无疑是我国生产力快速现代化的最直观表征。可以说，生产力跃迁的发展进步无不是以能源革命为基础的。虽然在当前社会语境中，“高能耗”往往是一个负面词汇，但历史经验一再表明先进的生产力工具也往往意味着更大的能源消耗，先进生产力是靠“高能耗”支撑的。

1.2 历史经验：“新质生产力”以“新能源”为基础

虽然当前的新质生产力被理解为一个专有概念，是指以创新起主导作用，需摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径的以高科技、高效能、高质量为特

征的符合新发展理念的先进生产力质态^[18]。但从历史维度看，“新”终究是一个与“旧”对应的相对概念，新质生产力是一个具有浓厚时代属性的相对概念。人类的生产力发展史就是一个不断由每个时代的“新质生产力”淘汰和替换“旧质生产力”的迭代进化过程。例如，19世纪蒸汽机的广泛运用和20世纪内燃机和电气系统的普及，无一例外都是那个时代“新质生产力”取代“旧质生产力”的过程。与之相伴生的是煤炭、石油^③分别作为各自时代的新能源迎来的广泛运用^[19]。

自古至今，人口的持续增长与人类追寻更高品质的生活驱动着能源需求规模的扩大，不断催生出全新的能源形式。自18世纪工业革命开始，伴随煤炭、石油、天然气等多轮“新”能源的普及，人类可利用的能源总规模从5 653 TWh^④增长为168 779 TWh^[20]，实现了2个数量级的提升。人类历史上所有重要的群体活动成就（农业、工程、工业、战争等）没有一项是在没有有效的能源捕获、利用、管理和创新的基础上完成的。从历史唯物主义视角来看，新质生产力的发展客观上产生了扩大能源生产的压力，而全新的能源形式是新质生产力得以成长和发展的坚实基础，或者说，在某种程度上，新的能源形式就是新质生产力的本身

1.3 当代矛盾：“新质生产力”发展的压力正在制造“能源危机”

当前，我们的生产力体系与化石能源是高度绑定的，高强度化石能源的使用几乎嵌入在所有现代社会的文化、空间景观、法律制度等社会系统中^[21]。在工业革命中，化石能源曾以“新”能源的身份，凭借着极高能量密度所具备的热力学优势，以摧枯拉朽的态势摧毁了人类过去延续数千年以传统生物质能源为主导的农业社会形态^[22]。卡尔·马克思（Karl Marx）^[23]在《共产党宣言》中说过，资产阶级在近代短暂的历史中所创造的生产力超越了此前一切世代的总和，而这一切都是以化石能源所提供的庞大物质力量为支撑的。有学者^[24]将化石能源的使用作为资本主义生产制度建立的关键基础之一，甚至形成

了“化石资本主义”的说法。然而，过去化石能源广泛而无节制的使用所产生的环境负效应（碳排放、空间污染）逐渐逼近了地球生态环境容量的上限。“低碳”正成为全球的发展潮流，化石能源的上限已被锁死，很难再支撑未来人类能源利用规模指数级的成长。

如今，以人工智能为代表的全新技术正推动着新质生产力的快速发展。然而，以人工智能大模型为例，其进化无不是基于庞大算力和数据消耗指数级提升来实现的，这引发了能源消耗的指数级增长^[25]。研究预计，2030年全球算力总规模将在当前基础上继续提升2个数量级，浮点运算数达到 5.6×10^{22} 次/s，预计耗电44.8万亿—67.2万亿kWh^[26]。人工智能发展所引发的庞大的且有指数级提升轨迹的能源需求引起了人们的担忧。正如特斯拉公司创始人埃隆·马斯克(Elon Musk)所说，人工智能的快速发展正在制造能源危机^[27]。2025年1月，我国“爆火”的现象级DeepSeek大模型快速渗透全球千行万业，赋能新质生产力的生成，进一步推算算力能源需求预期。可以说，新质生产力跃迁引发的能源需求指数级膨胀的预期与化石能源刚性供给天花板间的结构性冲突持续显化。见图1。

面对这一矛盾，以风、光为代表的新能源形式在理论和实践上正成为应对新质生产力发展和既有能源体系矛盾的重要解决方案。必须认识到，我们地球上几乎每一寸土地每天都沐浴在强烈的太阳辐射中，地表可再生能源总量远远超过当前或任何合理理想的未来人类总能源需求。每年辐射于地球表面的阳光能量约等于当前人类化石能源使用量的10 000倍，而风能和光能则被认为是在可预期将来捕获地表空间庞大能量的最具潜力和可行性的新能源形式^[28]，与此同时也将催生着人类地表空间利用方式的重大转变。

2 “新能源”与“新”地表空间利用方式

2.1 能源与地表空间利用：能源转型也是地表空间利用的转型

漫长的人类文明史形成了多样的能

源形式，如生物质能源（粮食、柴薪）、化石能源（煤炭、石油、天然气等）、当代的新能源（光伏、光热、风电等），

催生出完全不同的地表空间利用逻辑（表1）。在以生物质能源（粮食、柴薪）为主导的农业社会，由于生物质能源较

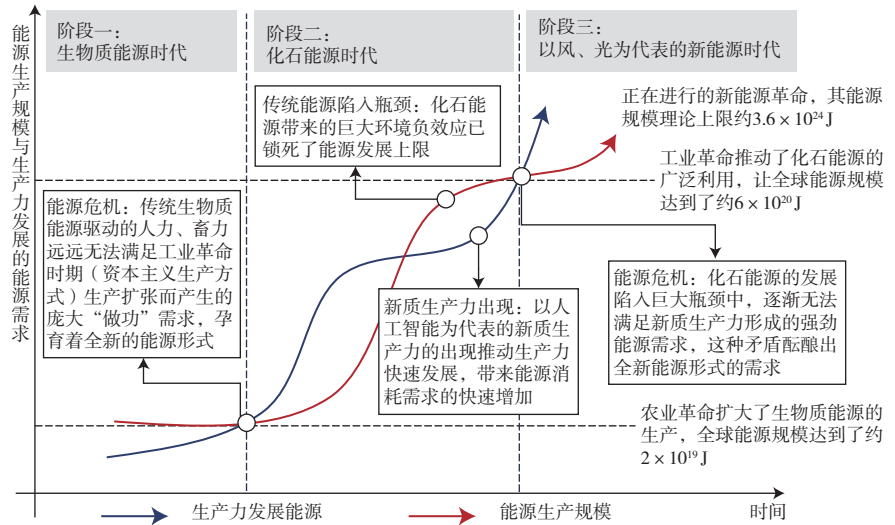


图1 “生产力”与“能源”发展辩证关系示意

Fig.1 Schematic representation of the dialectical relationship between the development of "productivity" and "energy"

表1 三种主要能源形式与能源生产所形成的空间特征^[31]

Table.1 Spatial characteristics formed by three major energy forms and energy production

能源系统名称	生物质能源	化石能源	新能源
主要历史年份	公元1800年以前	公元1800年左右—当前	当前开始
系统类别	地表能源系统	地下能源系统	地表能源系统
主要能源形式	粮食、柴薪	煤炭、石油、天然气等	风能、光能等
能源形成机制	地表植物通过光合作用捕获太阳能	上古生物沉积在千万年地球物理化学活动中形成	风、光设施直接或间接捕获地表太阳能
主要动力形式	人类和牲畜的肌肉力量	蒸汽机、内燃机等	电动机、信息计算
主要能源物质的功率密度(W/m ²)	0.03—0.18	135—500	1—8
能源生产空间资源消耗特征	消耗大量空间资源	仅消耗少量空间资源	消耗较多空间资源
生产一定能量的能源所消耗空间资源规模比较示意			
	40×40 网格	1×1 网格	8×8 网格
	图例 ■ 能源生产消耗空间资源规模		
能源扩大生产逻辑	通过扩大地表空间利用规模,尽可能多生产能源	通过技术的投入,以更高的效率提取地下空间的能源	通过扩大地表空间利用规模,尽可能多生产能源
能源生产对地表空间利用的压力	大 大量地表空间被束缚于能源生产,可用于其他功能活动的空间限制大	小 少量地表空间被用于能源生产和运输关联活动,存在大量空间剩余用于人类其他活动	较大 大量地表空间将被用于能源生产,对于人类其他活动的空间产生压力

说明：能源生产中空间资源消耗特征图分别选取3种数值来进行示意计算，其中生物质能源为0.08 W/m²、化石能源为135 W/m²、新能源为6 W/m²

低的空间功率密度^⑥，能源生产的主要形式是尽可能寻找更多、更优质的耕地，以通过植物光合作用来捕获更多的阳光能源去驱动更多人力、畜力，以满足国家机器和个人的生产、生活需求^[29]。地表空间（土地）资源是能源生产活动的核心，也是衡量政治权力和财富的最重要标准^[30]。自进入工业社会后，能源生产的实践转向探勘更多、更优质的地下能源矿产区，建设各类可靠的贸易通道，以便将能源高效地运送到全球各地的能源消费区（主要是城市）^[32]。由于化石能源的高空间功率密度，能源生产从地表转向了地下，大量地表空间不再被刚性束缚于能源生产，为巨大规模的城市和城市连绵区的出现奠定了空间基础^[33]。如没有化石能源转型所带来的地表空间利用方式的基础变革，这些我们当代习以为常的地表空间景观是不可能出现的。可以说，现代城市和乡村都是两百余年前化石能源转型的产物^[34]，而以风、光为代表的新能源的出现，正在将地表空

间重新塑造为能源生产的核心载体，开始消耗大量空间资源（图2）。能源转型不仅仅关注技术的形式，同样重要的是“用于获取和管理这些能源的社会结构”，而空间则是这种社会结构中的重要组成部分^[35]。能源转型绝不仅仅是技术的转型，而是人类社会广泛深刻的变革，更是人类重要的空间利用方式的重大转变^[36]。

2.2 “新能源”的新空间诉求：一种占用大量地表空间资源的能源生产方式

以风、光为代表的新能源的广泛利用，意味着我们开始要逐步摆脱来自地下的化石能源，开始直接利用太阳辐射于地表所产生的自然能量。相比于化石能源全球极不平衡的地理分布特性，新能源所依赖的风、光能量在全球的分布具有广泛性、易接触性和普遍性的特征。过去基于化石能源不平衡分布所形成的“能源权”，将因为新能源的普及而被弱化，理论上可以形成全球更公平的能源

格局^[37]。理论层面，新能源的发展将会塑造出一个具有“去中心化”和“分布式”特征的全球能源供给体系，能源生产者再也无法垄断能源供给的权力^[38]。

与之相伴生的是，风、光能源空间功率密度较低，通常仅为1—6 W/m²，约比一般化石能源低2—3个数量级，意味着如要生产相同规模的能源，新能源要消耗远多于化石能源所需的地表空间资源。瓦茨拉夫·斯米尔（Vaclav Smil）^[39]通过计算表明，新能源转型将吞噬一个国家巨量的领土。新能源转型所形成的地表空间景观绝不是很多人想象中的小桥流水中的小风车、光伏板的诗意画面，而是一种在全球人类主要活动空间中发生的广泛的、普遍的空间工业工程。大规模向新能源的转型将需要巨大的土地面积、大量的建筑原材料、劳动力和资本，以及社会空间关系的重新配置^[40]，意味着漫山遍野的、无边无际的能源景观将出现在近海、田野、城市、戈壁滩、沙漠、丘陵等地区（图3）。这已经是我

能源生产压力向地表空间利用传导

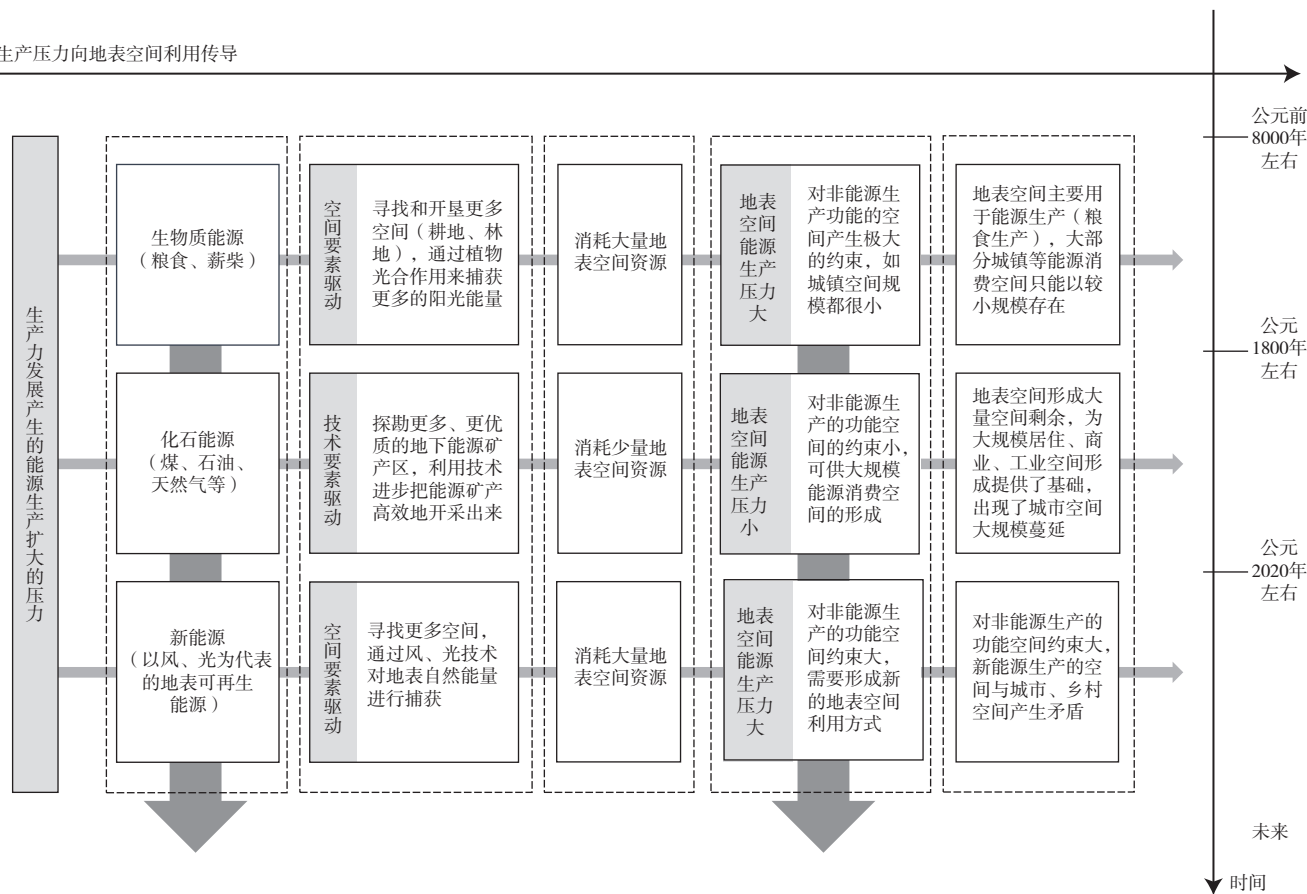


图2 能源转型与地表空间利用转型的关系

Fig.2 The relationship between energy transition and the transformation of land use

国、欧洲、美国等很多国土空间上出现的普遍现象。相比化石能源，新能源显然是较为消耗土地资源的能源形式。这一转变，理论上让大部分地表空间从过去的能源消费性空间开始具有转变为能源生产性空间的潜能^[41]。

2.3 地表空间新发展维度：“空间能源生产”挑战地表空间资源利用模式

当前，人类的地表空间利用是围绕农业、居住、工业、商业、交通、生态等功能展开且承载了经济、社会、美学等诸多发展价值维度的复合实践意义体系，而支撑这个体系运行的则是来自地下的经千万年地球物理化学活动形成的能源矿物。正如加文·布里吉 (Gavin Bridge)^[42]所说，能源物质像“流”一般经过一个个“洞穴”被从地下提取至地表而被使用，而化石能源的生产设施(矿井、油泵、气阀)是连接时空运作方式完全不同的两个世界的门户。地下是超出人类控制的“自然生产”的世界，而地表是人类社会生产出的世界。地表空间在能源被开采后主要承担“能源流”的运输功能，是规模小、走线灵活的线性空间形态，是从属于地表经济、社会、生态等价值的工具性空间^[43]。在化石能源体系中，一般只要能保证这些线性通

道的稳定与安全，就可保证城市、乡村能源持续稳定的供应。

新能源生产方式的快速普及让地表空间出现了一个全新的发展维度，即空间能源生产。空间不再仅仅是能源活动的背景，而是直接参与能源生产的核心要素，广大地表空间开始具备了能源生产潜力。众所周知，自工业革命以来，为了人类社会整体的福祉，有效协调地表空间发展中的经济、社会、生态等价值方面的人类活动(特别是城市和乡村地区)，自始至终是城乡规划、土地利用规划等空间规划学科的重要意义所在。新能源生产的普及让很多过去不太可能资源化利用的空间具备了成为能源生产场所的潜力，挑战了现有空间资源利用的方式。地表空间利用体系中新增的“能源生产”变量将会产生全新的空间利用的矛盾与协调发展的需求。

以光伏能源生产为例，该方式是一种与农业生产极为类似的能源生产形式，直观理解就是“晒太阳”，其生产最直接的需求就是对于一定“空间范围”的太阳辐射能量进行捕获与占用。然而，阳光是人类生活生产环境中的重要自然要素，对很多人类的空间实践发挥着基础性的作用，如照明、采光、杀菌(健康)、光合作用等。基于能量守恒定律，

任何一处地表空间如被用于阳光能源化的生产，必然会造成该处空间其他阳光功能的弱化甚至是消失，进而可能影响该空间原功能的使用。虽然当前新能源转型尚处于早期阶段，但因地表能源生产所带来的与现行空间利用体系的矛盾冲突的苗头已经广泛出现在了地区，如新能源设施对于耕地的侵占^[44]、新能源设施产生的“绿色圈地”而造成的空间不公^[45]、新能源设施与文化景观的冲突^[46]、新能源设施布置与工业用地集约式发展的矛盾(图4)等。见微知著，“空间能源生产”维度的出现正冲击着我们传统的地表空间利用观念与体系。

3 “生产力—能源—空间”框架下国土空间规划作用、问题与演进方向

3.1 “生产力—能源—空间”框架的形成

伴随新能源的快速发展，“生产力”“空间”正以“能源”为媒介形成日益紧密的联系。基于前文论述，我们可以清晰地看到在新质生产力发展进程中存在着这么一种简洁而清晰的逻辑关系：第一，新质生产力的发展需要更多能源的支撑，催生着现实中更多样能源的来源

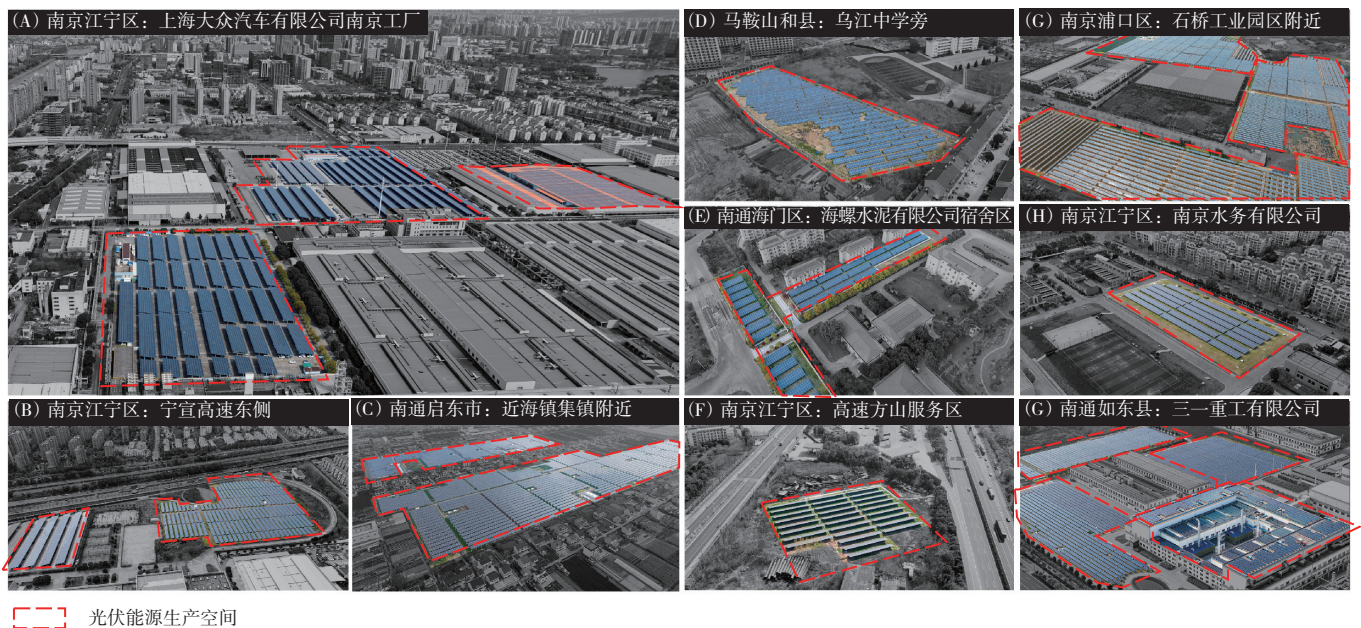


图3 基于光伏形式的典型“消耗大量空间资源”的能源生产案例

Fig.3 Examples of typical energy production cases based on photovoltaic forms that "consume significant spatial resources"

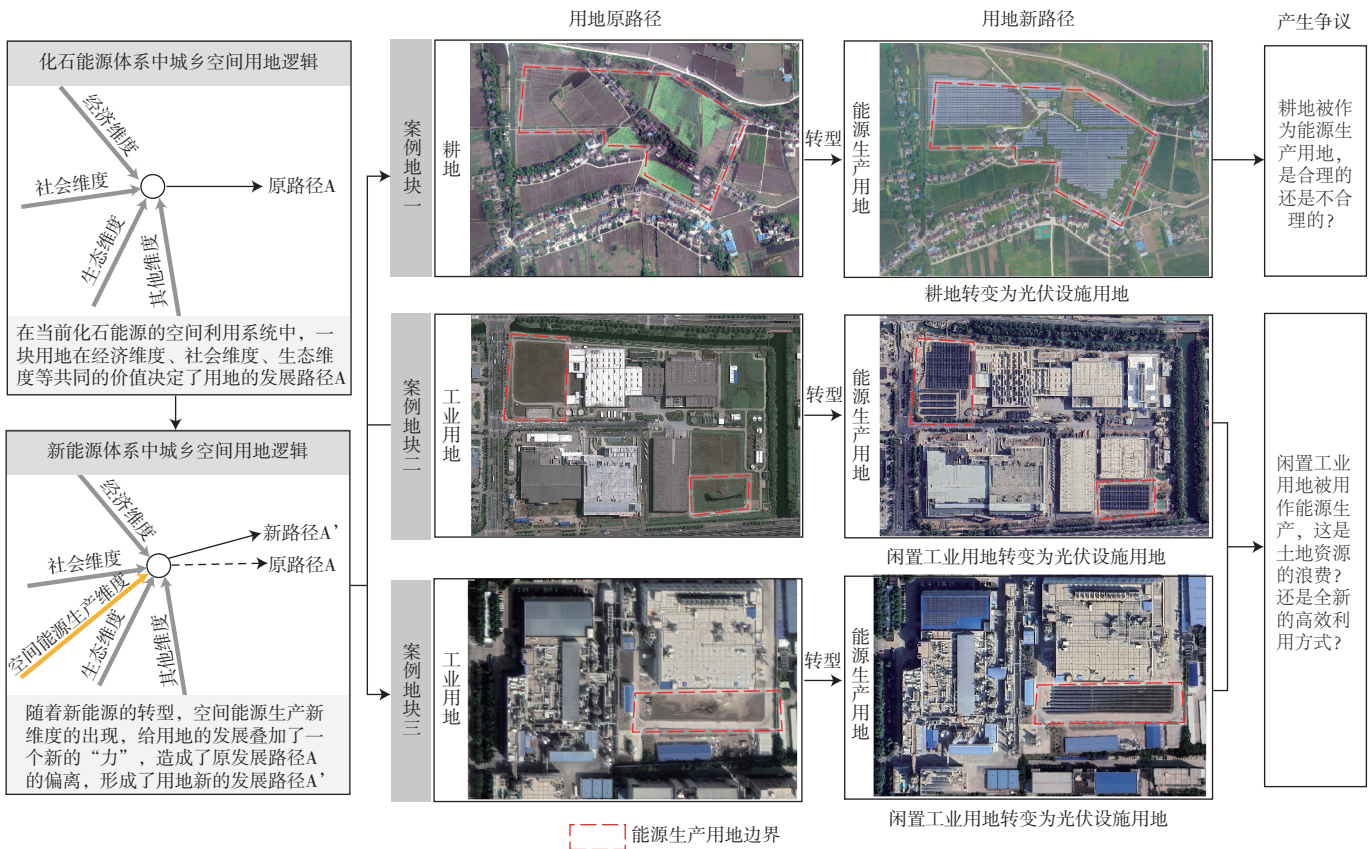


图4 “空间能源生产” 维度出现改变用地路径逻辑示意及案例

Fig.4 Schematic representations and illustrative examples of altered land use pathways in "spatial energy production"

说明: ①本图中的工业用地中出现的能源生产用地均为地表的光伏设施, 不是争议相对较小的屋顶光伏;

②案例一来自杨中市、案例二来自苏州工业园区、案例三来自南通经济技术开发区

和更高能源转化效率的实践出现, 客观上推动着新能源生产的快速发展; 第二, 新能源来源于对地表空间能量的捕获, 其快速发展与扩张高度依赖于更多空间资源的供给与空间更高效的利用, 直接挑战着既有的地表空间利用方式。在此种逻辑下, 以新能源为媒介, 空间资源的供给与利用成为新质生产力发展的关键基础, 我们可以抽象形成“空间即能源, 能源即生产力”的重要原则, 而构建“生产力—能源—空间”分析框架。见图5。

在此框架中, 空间是能源的基础, 而能源则是生产力的基础。当然, 三者并非是一种简单的线性关系。本文并不持有“能源决定论”以及可能延伸出的“空间决定论”观点。从历史唯物主义视角来看, 化石能源的广泛利用并没有直接决定蒸汽机、内燃机的具体技术形态, 我们也不认为新能源生产的大发展会直接影响人工智能、机器人、脑机接口为

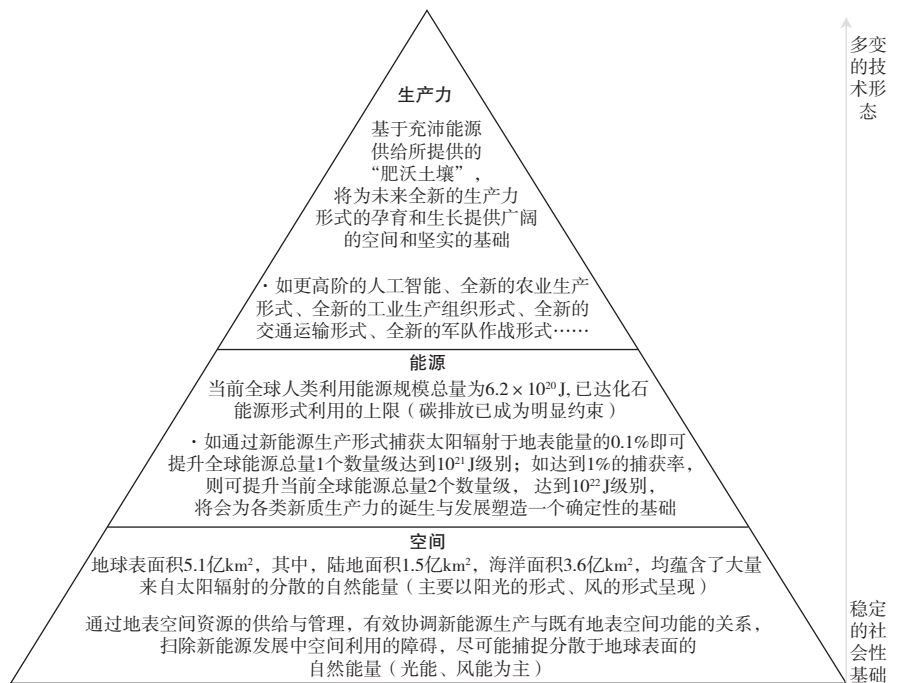


图5 基于新能源形式的“生产力—能源—空间”框架示意

Fig.5 Schematic representation of the "Productivity-Energy-Space" framework based on new energy forms

代表的新质生产力的具体形式，但能源充沛的供给如同热带雨林肥沃的土壤一样，是众多“参天大树”孕育和成长的基础。基于历史经验，任何新质生产力的发展充满了偶然性和不确定性，但我们可以通过有效的地表空间资源规划与管理，塑造一个具有确定性的且不断扩大的能源供给基础，以此提供一个稳定的支撑新质生产力发展的社会性底座。假如我国能源产能规模能在当前基础上提升1个数量级，那将为各类新质生产力的涌现提供富饶的土壤，也将是我国参与国际竞争的重大战略优势。可以说，这种基础的塑造取决于我们对于地表空间利用的态度与方式，国土空间规划将在这一框架中发挥极为重要的作用。

3.2 “生产力—能源—空间”框架下关于国土空间规划的思考

3.2.1 国土空间规划作用：基于空间管理职责承担庞大的“空间能源”资产的管理责任

当前，我国已初步建立了“纵向到底、横向到边”的涵盖多层次、多类别的国土空间规划体系，理论上初步具备了对于全域国土进行规划、协调与管理的实践框架体系^[47-48]。在“空间即能源，能源即生产力”的原则上，理论上国土空间规划具有对我国960万 km²广袤土地地表自然能量资源的管理责任，对于新质生产力发展能源根基的塑造具有重要影响。经初步估计，这一蕴含在我国地表空间的能源资源（以太阳辐射计）达到约 5.2×10^{22} J 天量的规模^⑥，相当于2022年全中国一年能源消耗总量（约 1.6×10^{20} J）的300多倍。新能源形式的出现赋予了国土空间规划在“山、水、林、田、湖、草、海、城”等空间上的能源生产维度。

国土空间规划所管理的其他功能空间，“空间”只是相关活动的载体而非本体，如居住、工业、商业等，通常是一种间接性的干预与管理。对于新能源的形式，能源来自广阔的地表空间，“空间”就是能源生产活动本体的组成部分，国土空间规划的管理作用将更为直接，意味着国土空间规划的干预对于我国新能源转型进程具有重要的影响，进一步影响到新质生产力发展基础的营造。

3.2.2 国土空间规划问题：成型于化石能源时代的空间工具与新能源发展需求不匹配

国土空间规划体系的建立让我们具备了对于全国空间新能源资源管理的可能性。事实上，我国部分地区已在国土空间规划中针对新能源生产与传统功能空间的矛盾进行了协调，如国内自然资源部门^[49]针对新能源设施侵占耕地的问题，尝试出台了多轮用地政策管理意见。深入来看，这种矛盾来源于当前国土空间规划的“旧”工具和“旧”观念无法对于新事物进行有效的认知与管理。因而，在当前实践中，为了避免与既有地表功能空间的矛盾，新能源生产主要集中在屋顶光伏、沙漠与戈壁光伏、近海离岸风电等形式中，让在传统空间体系中被视为几乎没有利用价值的空间开展能源生产。尽管此类开发已产生显著效益，但其资源利用范围仍较局限，尚与全域地表能源的充分开发图景存在差距。

如深入到基础空间观层面来看，当前国土空间规划的认识框架植根于经典物理学静态空间范式——将空间简化为“长宽高”三维线性容器，其用途管制和项目清单等工具本质上是实施三维空间^⑦占用的“许可—禁止”管控机制。然而，对于新能源生产形式，空间就是这种生产活动本体的重要组成部分，阳光能量的捕获依赖于一个个只具有“长、宽”两个线性维度的二维平面空间^[50]，风能量的捕获则依赖于空气流动所形成的“流体空间”。在这样的差异下，我们所熟悉的化石能源范式的空间规划工具，既无法构建面向新能源生产的土地（空间）利用绩效评估，更难以引导空间要素配置路径的优化。若固守传统的“空间观念”，那么我们纵有庞大的能源“金山银山”，亦将难以有效利用，难以转化成庞大的物质生产力。

3.2.3 国土空间规划演进方向：基于新能源发展需求升级与构建新的空间工具

我们需要回到能源生产与空间关系的本源，从认识论的层面来理解新能源形式与化石能源形式所带来的空间观的差异，聚焦阳光能量、空气流动能量的获取，以构建全新的适应于新能源与其他地表空间功能协调发展的认识、分析与实践方法。第一，应建立全面的能源

观。当前城市的正常运行，不仅仅依靠化石能源的供给，也依靠着庞大自然能量在采光、取暖、杀菌（健康）、通风、光合作用等方面发挥的重要功能。基于能量守恒定律，自然能量能源化的过程必然意味着其原本功能的削弱乃至消失，特别是对于阳光而言，我们需要判断出哪些能量属于城市功能运行的“必需品”、哪些是“非必需品”、哪些是“浪费品”，以决定哪些自然能量可能源化。第二，建立“空间—能源”关联的分析方法。对于阳光而言，需建立光线投射与地表空间的映射关系以构建相应的阳光能量利用规模与效率的评价模型。对于风能而言，重点围绕风能利用中所具有的空间负面效应，如关于噪声、动物群落干扰、文化景观抗拒等建立空间关联性分析。第三，注重立体空间的管控，改进升级空间规划工具体系。一方面升级传统的空间工具，如容积率、绿地率、限高、建筑密度等；另一方面基于新能源形式创造新的工具概念体系，以提升空间能源生产的效率，减少能源生产与其他地表功能的矛盾。第四，创新能源空间产权体系。特别是对于光伏能源，围绕其一个个基于二维“面”空间的能源捕获形式，超越当前既有的产权体系，设立面向空间能源生产的空间产权制度体系。

4 总结与讨论

“新质生产力”是我国把握全球竞争主动权，实现国家生产力跨越式升级和高质量发展的战略抓手。空间规划学科应紧跟时代潮流，通过积极推动以风、光为形式的新能源发展，融入新一轮能源革命浪潮，夯实新质生产力发展所需的能源基础。

本文将生产力、能源、空间纳入统一分析框架。首先，阐明了新能源是新质生产力发展的基石。历史上通常每次生产力质变都以能源形态革新为先导，当前化石能源供给上限已成为新质生产力发展的系统性制约。其次，能源革命本质是地表空间利用革命。以风、光为代表的新能源开发颠覆传统能源空间利用逻辑，理论上大部分地表空间开始从过去单纯的能源消费空间具备了能源生

产空间的潜能,形成了“空间能源生产”的全新空间利用形式,既创造了地表空间利用新价值,也挑战了既有空间利用体系。能源转型绝不仅仅是能源技术的转型,而是人类社会广泛深刻的变革,更是人类重要的空间利用方式的重大转变。最后,本文构建了“生产力—能源—空间”分析框架,认为应通过有效的地表空间资源规划与管理,为新质生产力的发展塑造一个具有确定性且不断扩大的能源供给基础。在此进程中,国土空间规划理应具有对全域国土庞大空间能源资源的重要管理责任,但其成型于化石能源体系的空间规划观念与工具难以胜任对于全新能源形式发展需求的评判与实践引导功能。因此,需回到能源生产与空间关系本源,从基础空间观的角度来升级国土空间规划的认识与实践工具,包括:①建立全面的能源观;②建立“空间—能源”关联的分析方法;③注重立体空间的管控,改进升级空间规划工具体系;④创新能源空间产权体系。

曾经,宏大的行星尺度的可再生能源利用是一个带有“科幻”色彩的议题,如今新能源技术的快速发展以及全社会的广泛参与正在将该议题“现实化”,新能源转型带来的具有“未来主义”色彩的人类地表空间利用的转型正在现实世界展开。当然,历史经验表明,能源与空间转型的进程绝不是一蹴而就的,是一个将延续几十年乃至一个世纪时间尺度的庞大历史进程^[5]。应尽快基于“生产力—能源—空间”框架,以实现我国能源产能规模量级跃升为目标,创造新空间观念、新空间规划工具,引导我国的国土空间规划转型升级,推动面向新能源发展的空间实践的开展。

注释

① 该指数公式为 $K = \frac{\log_{10} P - 6}{10}$, 其中 K 是一个文明的卡尔达肖夫指数, P 是它使用的能源。基于此,划分了 I 型、II 型和 III 型文明: I 型文明是指可以驾驭行星所有的可再生能源(太阳能、风能、水力等); II 型文明是指可以驾驭恒星规模的能量; III 型是指可以驾驭星系规模的能量。当前人类发展水平为 0.73 级文明。

- ② 这是仅考虑能源做功总量,未考虑能源质量。如考虑到能源质量,现代普通人和古代贵族生活的差距将更大。
- ③ 在 19 世纪,相对于传统生物质能源(粮食、柴薪),煤炭是一种新能源;在 20 世纪,相对于煤炭,石油是一种新能源。
- ④ TWh 是太瓦小时,是 10^9 kWh。
- ⑤ 空间功率密度是指在能源生产实践中,在单位地表空间中生产能源的能力(单位为 W/m^2),一般空间功率密度越高,意味着生产一定的能源所占据的空间资源越少,功率密度越低,则占据的空间资源越多。
- ⑥ 我国国土上太阳辐射能量估计采用的公式如下: $E = S \cdot H$ 。其中, E 为全国国土阳光辐射能量, S 为中国国土面积(取值 960 万 km^2), H 为中国国土上阳光平均年水平面总辐射量(取值 1493.4 kWh/m^2)。这样一种简单的估算方法并不精确,但可以反映全国国土上所蕴含的空间能量。
- ⑦ 用途管制看似是一个地表的二维平面,实际是涉及容积率、限高等高度要素的内容,是一个三维空间的管理。

参考文献

[1] 吴志强,严娟,徐浩文,等. 城乡规划学科发展年度十大关键议题(2024—2025)[J]. 城市规划学刊, 2024(6): 8—11.

[2] 沈清基. 中国城市能源可持续发展研究: 一种城市规划的视角[J]. 城市规划学刊, 2005(6): 41—47.

[3] HUBER M T. Theorizing energy geographies[J]. Geography Compass, 2015, 9(6): 327—338.

[4] BRIDGE G, BOUZAROVSKI S, BRADSHAW M, et al. Geographies of energy transition: space, place and the low-carbon economy[J]. Energy Policy, 2013, 53: 331—340.

[5] 杨宇,夏四友,金之钧. 能源转型重塑地缘政治的逻辑与研究展望[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2299—2315.

[6] MORONI S, ANTONIUCCI V, BISELLO A. Energy sprawl, land taking and distributed generation: towards a multi-layered density[J]. Energy Policy, 2016, 98: 266—273.

[7] ZHU D, SONG D, SHI J, et al. The effect of morphology on solar potential of high-density residential area: a case study of Shanghai[J]. Energies, 2020, 13(9): 2215.

[8] HU M, SONG X, BAO Z, et al. Evaluation of the economic potential of photovoltaic

power generation in road spaces[J]. Energies, 2022, 15(17): 6408.

[9] 张兵,祝颖盈,蓝春,等. 自然解: 气候变化影响下的历史城市环境认知与保护规划方法[J]. 城市规划学刊, 2024(1): 18—28.

[10] 孙施文. 国土空间规划实施监督体系的基础研究[J]. 城市规划学刊, 2024(2): 12—17.

[11] 张尚武. 国土空间规划编制技术体系: 顶层架构与关键突破[J]. 城市规划学刊, 2022(5): 45—50.

[12] 吴志强,郭仁忠,张兵,等. “国家空间规划系统化建构”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2024(5): 1—11.

[13] 王凯,赵燕菁,张京祥,等. “新质生产力与城乡规划”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2024(4): 1—10.

[14] BRIDGE G. Material worlds: natural resources, resource geography and the material economy[J]. Geography Compass, 2009, 3(3): 1217—1244.

[15] KARDASHEV N S. Transmission of information by extraterrestrial civilizations[J]. Soviet Astronomy, 1964, 8: 217.

[16] 斯米尔. 能源转型: 数据、历史与未来[M]. 高峰,江艾新,李宏达,译. 北京: 科学出版社, 2018.

[17] SMIL V. World history and energy[J]. Encyclopedia of Energy, 2004, 6: 558.

[18] 新华社. 习近平在中共中央政治局第十一次集体学习时强调: 加快发展新质生产力扎实推进高质量发展[EB/OL]. (2024-02-10) [2024-09-28]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929446.htm.

[19] 崔守军,蔡宇,姜墨霁. 重大技术变革与能源地缘政治转型[J]. 自然资源学报, 2020, 35(11): 2585—2595.

[20] HANNAH R, PABLO R, MAX R. Energy Production and Consumption[EB/OL]. (2024-01) [2024-09-28]. <https://our-worldindata.org/energy-production-consumption>.

[21] BRIDGE G, LE BILLON P. Oil[M]. Cambridge: Polity Press, 2012.

[22] MCNEILL J R M. Something new under the sun: an environmental history of the 20th century[M]. New York: W W Norton, 2000.

[23] 马克思,恩格斯. 共产党宣言[EB/OL]. (2019-11-21) [2024-09-28]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5037841.

[24] HUBER M T. Energizing historical mate-

- rialism: fossil fuels, space and the capitalist mode of production[J]. *Geoforum*, 2009, 40(1): 105-115.
- [25] CALVERT B. AI already uses as much energy as a small country. it's only the beginning[EB/OL]. (2024-03-28) [2024-09-28]. <https://www.vox.com/climate/2024/3/28/24111721/climate-ai-tech-energy-demand-rising>.
- [26] 史丹, 史可寒. 新能源在发展新质生产力中的作用[EB/OL]. (2024-06-05) [2024-09-28]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI0NDZMjA5Nw== &mid=2654909767&idx=1&sn=2177cb9ee8738ed358207bb36146eb28&chksm=f2a9e249c5de6b5f7a416492e3cc7c7785e055d580f1e675a3546fd6d92a73031c8eeb06835b&scene=27.
- [27] BLAIN L. Elon Musk: AI will run out of electricity and transformers in 2025[EB/OL]. (2024-03-01) [2024-09-28]. <https://newatlas.com/technology/elon-musk-ai/>
- [28] DE VRIES B J M, VAN VUUREN D P, HOOGWIJK M M. Renewable energy sources: their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: an integrated approach[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(4): 2590-2610.
- [29] WRIGLEY E A. Continuity, chance and change: the character of the industrial revolution in England[M]. Cambridge University Press, 1990.
- [30] SIEFERL E, ROLF P. The subterranean forest: energy systems and the industrial revolution[M]. Cambridge, UK: White Horse Press, 2001.
- [31] VAN ZALK J, BEHRENS P. The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: a review and meta-analysis of power densities and their application in the US[J]. *Energy Policy*, 2018, 123: 83-91.
- [32] 杨宇, 夏四友, 钱肖颖. 能源转型的地缘政治研究[J]. *地理学报*, 2022, 77(8): 2050-2066.
- [33] NIKIFORUK A. The energy of slaves: oil and the new servitude[M]. Vancouver: Greystone Books, 2014.
- [34] RUTHERFORD J, COUNTARD O. Urban energy transitions: places, processes and politics of socio-technical change[J]. *Urban Studies*, 2014, 51(7): 1353-1377.
- [35] PASQUALETTI M J, BROWN M A. Ancient discipline, modern concern: geographers in the field of energy and society[J]. *Energy Research & Social Science*, 2014, 1: 122-133.
- [36] COENEN L, TRUFFER B. Places and spaces of sustainability transitions: geographical contributions to an emerging research and policy field[J]. *European Planning Studies*, 2012, 20(3): 367-374.
- [37] 杨宇, 何则. 能源地缘政治与能源权力研究[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(3): 524-540.
- [38] WEINRUB A. Expressions of energy democracy: perspectives on an emerging movement[R/OL]. (2014-08) [2025-03-04]. <https://www.localcleanenergy.org/files/Expressions%20of%20Energy%20Democracy.pdf>.
- [39] SMIL V. Power density: a key to understanding energy sources and uses[M]. Boston: MIT press, 2015.
- [40] HUBER M T, MCCARTHY J. Beyond the subterranean energy regime? fuel, land use and the production of space[J]. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2017, 42(4): 655-668.
- [41] CALVERT K. From 'energy geography' to 'energy geographies' perspectives on a fertile academic borderland[J]. *Progress in Human Geography*, 2016, 40(1): 105-125.
- [42] BRIDGE G. The hole world: scales and spaces of extraction[EB/OL]. (2015-09-01) [2024-09-28]. <https://scenariojournal.com/article/the-hole-world/>.
- [43] CALVERT K, SIMANDAN D. Energy, space, and society: a reassessment of the changing landscape of energy production, distribution, and use[J]. *Journal of Economics and Business Research*, 2010, 16(1): 13-37.
- [44] XIA Z, LI Y, GUO S, et al. Balancing photovoltaic development and cropland protection: assessing agrivoltaic potential in China[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2024, 50: 205-215.
- [45] HOLMES G. What is a land grab? Exploring green grabs, conservation, and private protected areas in southern Chile[J]. *Journal of Peasant Studies*, 2014, 41(4): 547-567.
- [46] COWELL R. Wind power, landscape and strategic, spatial planning: the construction of 'acceptable locations' in Wales[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 222-232.
- [47] 杨保军, 陈鹏, 董珂, 等. 生态文明背景下的国土空间规划体系构建[J]. *城市规划学刊*, 2019(4): 16-23.
- [48] 赵氏. 国土空间规划体系建构的逻辑及运作策略探讨[J]. *城市规划学刊*, 2019(4): 8-15.
- [49] 自然资源部办公厅, 国家林业和草原局办公室, 国家能源局综合司. 关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知[R/OL] (2023-03-20) [2024-09-28]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-04/03/content_5749824.htm.
- [50] 王乙喆. 空间能源生产: 新能源时代城市空间低碳转型新路径——基于光伏能源生产与城市空间互动融合视角[J]. *城市规划*, 2024, 48(4): 59-70.
- [51] GRUBLER A. Energy transitions research: insights and cautionary tales[J]. *Energy Policy*, 2012, 50: 8-16.

修回: 2025-02