

引用格式: 黄斌, 赵伟, 廖力达, 等. 政策视角下光伏全产业链的地区差异性分析 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(2): 179-188. HUANG Bin, ZHAO Wei, LIAO Lida, et al. Analysis on regional difference of the whole PV industry chain from the perspective of policy [J]. Southern energy construction, 2024, 11(2): 179-188. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.2.18.

## 政策视角下光伏全产业链的地区差异性分析

黄斌<sup>1,2</sup>, 赵伟<sup>1</sup>, 廖力达<sup>1,✉</sup>, 肖孟<sup>1</sup>, 黄佳亮<sup>1</sup>, 谢佩伶<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学 能源与动力工程学院, 湖南 长沙 410004;

2. 南澳大学 工学院, 澳大利亚 阿德莱德市 5095)

**摘要:** [目的] “双碳”战略为中国能源发展提出了一条新路径, 限制对传统化石能源的使用, 就促使中国政府加大对新能源产业发展的支持。光伏作为一种覆盖面最广、最易获取的新能源, 成为解决当前能源和环境问题的首选。但如果想要增大其市场规模、实现光伏产业的蓬勃发展, 就必须找出并解决当前阶段光伏的痛点与难点。[方法] 文章对中国的光伏全产业链政策进行梳理分析, 探究光伏产业激励政策存在的不足之处; 并利用 2000—2021 年 A 股市场上 33 家样本企业的数据, 建立 DEA 模型探究政策引导下的中国光伏产业综合创新效益和规模效益; 再利用面板回归分析法探究不同地区政策对光伏产业上、中、下游企业创新能力的不同影响。[结果] 研究表明: 政策补贴对光伏上游企业的创新效益影响更为显著, 与东部地区的企业发展成正相关关系, 西部地区则相反, 存在一定的地区差异性。[结论] 应该提高在光伏技术创新层面的政策优惠力度, 并结合地区优势进行合理的产业链规划布局。

**关键词:** 光伏; 回归模型; 全产业链分析; 政策效益; 双碳战略

中图分类号: TK51; F206

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)02-0179-10

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.2.18

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

## Analysis on Regional Difference of the Whole PV Industry Chain from the Perspective of Policy

HUANG Bin<sup>1,2</sup>, ZHAO Wei<sup>1</sup>, LIAO Lida<sup>1,✉</sup>, XIAO Meng<sup>1</sup>, HUANG Jialiang<sup>1</sup>, XIE Peiling<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Power Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, Hunan, China;

2. School of Engineering, University of South Australia, Adelaide 5095, Australia)

**Abstract:** [Introduction] The "carbon peak and neutrality" strategy has put forward a new path for China's energy development, which restricts the use of traditional fossil energy, and promotes the Chinese government to increase its support for the development of the new energy industry. Photovoltaic, as a new energy which is the most accessible and has the widest coverage, has become the first choice to solve the current energy and environmental problems. However, if we want to increase its market scale and realize the vigorous development of photovoltaic industry, it is necessary to find out and solve the pain points and difficulties of the current stage. [Method] China's policy on the whole photovoltaic industry chain was combed and analyzed to explore the shortcomings of the photovoltaic industry incentive policy. Based on the data from 33 sample enterprises in the A-share market from 2000 to 2021, the DEA model was built and the integrated innovation benefits and scale benefits of China's PV industry under the guidance of policy were explored. And using the panel regression analysis method, the different impacts of different regional policies on the innovation capacity of the upstream, middle and downstream enterprises of the PV industry. were explored. [Result] The research shows that the policy subsidies have a more significant impact on the innovation benefits of upstream photovoltaic enterprises, which is positively correlated with the development of enterprises in the eastern region. While in the western region, the opposite is the case, and there are certain regional differences. [Conclusion] It is necessary to improve the preferential policy strength in the photovoltaic technology innovation level, and carry out a

收稿日期: 2023-01-04 修回日期: 2023-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“建筑环境能耗与碳排放生命周期综合建模及对冲机理研究”(51908064)

reasonable industry chain planning and layout in combination with the regional advantages.

**Key words:** photovoltaic; regression model; whole industry chain analysis; policy benefit; Carbon Peak and Neutrality strategy

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## 0 引言

中国光伏产业的成长得益于产业政策的支持,但由于诸多原因,导致光伏产业在能源结构转型的重要时期仍然面临着许多发展难题。有学者在对中国光伏产业的研究中发现,用传统产业的发展思路发展新兴产业、政府的不当干预、过度投资和供需结构失衡是导致中国光伏产业出现发展不均衡及产能过剩的主要原因<sup>[1]</sup>。如何更好地引导光伏产业在“双碳”背景下最大化的发挥作用,成为亟待解决的问题。

相比于欧洲各国,中国的光伏产业起步较晚,因此中国有必要向其借鉴经验。欧洲各国在进入光伏产业发展的中后期,都在寻求更能够刺激并稳定市场的新政策体系。包括支持除政府资金以外的其他民间投资银行和私立机构进行投资、推动欧盟实施光伏价值链弹性战略、重点关注产业上游的研发等<sup>[2]</sup>。此外,欧洲各国在促进光伏发展的同时,还颁布了一系列具有实际约束力的法律条例来确保计划的实施。比照之下可以发现,对于中国来说问题并不在于面向光伏产业政策的数量多少,而在于现阶段的产业扶持政策是否真正合理、是否存在研究中所提到的政府不正当干预。文章将会从政策的角度对光伏的全产业链进行分析,并结合地区关系,给出有利于中国光伏产业发展的实质性建议。

## 1 光伏政策梳理

光伏产业在中国的能源战略中位置显要,为了保证其能够有一个较好的发展,就必须给予恰当的政策指引和扶持。近些年来,为了引导中国的光伏产业发展以缓解能源问题,中国政府各个层面都提出并实施了很多具有针对性的激励政策。

### 1.1 国家层面政策分析

2013年之前中国的光伏市场还处于起步的阶段,发电技术相对落后,度电成本也大大高于传统火电,但是为了扩展国内市场,政府的支持力度较大。这

一时期伴随着标杆电价政策的出现,中国政府根据各地的光资源强度对全国进行了分类,实行有差别的补贴方式<sup>[3]</sup>。光资源条件较好的地区补贴少(西藏除外),而资源差的地区补贴多。同时针对集中式光伏和分布式光伏实行不同的补贴模式,对集中式光伏并网制定标杆电价,分布式光伏实行度电补贴,希望通过这样的方式来鼓励光伏产业全方位发展,鼓励消纳。这种补贴方式也一直被延续下来,直到后来政策出现转折。但是此阶段的光伏政策偏重于工商业、工业园用户侧和偏远无电地区,并没有实现一般意义上的规模化发展。

2014—2018年,国内光伏行业得到了一定程度的发展。这一时期大体上延续了上一个时期的补贴力度,但是由于产业链上游发电技术的提升以及下游制造手段的优化,导致这一时期光伏度电成本大幅降低,光伏产业开始迅猛发展,相关民营企业的数量也逐年增多。随之而来的是市场面扩大带来政府补贴的总量增大,再加上业内“骗补”行为的增加,严重加大了政府的财政负担<sup>[4]</sup>。2018年5月31日,中国政府颁布的《关于2018年光伏发电有关事项的通知》扭转了以往的政策态度——逐渐将政府主导转向为市场主导,对光伏电站的入网电价以及分布式光伏的度电补贴标准统一下调,业内将此政策称为“531新政”。自此,中国光伏产业进入了新的发展阶段。

2019年1月,国家能源局提出新能源行业“稳中求进”的总体目标。针对光伏产业的管理提出5个要点:(1)补贴规模由财政状况定;(2)补贴上限由发改委定;(3)市场竞争规则由能源局定;(4)补贴强度根据企业需求定;(5)建设规模交给市场定<sup>[5]</sup>。从2019年4月—2020年3月,针对光伏所得电的政策发生了重大改变,由原先由政府制定上网标杆电价转向了市场竞价。2021年1月针对西部地区提出了按照企业所得税减免进行补贴的激励形式。

截至目前,光电成本已经大幅降低,部分地区的光伏度电成本甚至低于火力发电,基本可以实现光

电平价上网。但是为了进一步扩大市场规模,特别是对于分布式光伏,政府依旧给予了一定的补贴。2022年8月,《关于促进光伏产业链供应协同发展的通知》颁布,力求推动光伏全产业链的联动发展,避免造成产业趋同和恶性竞争。2022年11月14日,中央预算平台发布《财政部关于提前下达2023年可再生能源电价附加补助地方资金预算的通知》,下达的新能源补贴资金总计47.1亿元,其中光伏产业以25.79亿元的高额位居首位。显然经过将近二十年的摸索,中国政府针对管理光伏产业的问题已经逐渐找到办法,但如何推动国内光伏产业的智能化健康发展这一问题仍然没有解决。

### 1.2 地区层面政策分析

中国政府针对光伏产业的扶持态度,也引导各地区积极制定有利于本地的光伏产业发展政策。以江苏、浙江、宁夏等地为代表的省份,均对本地的光伏产业制定了发展规划并出台了支持政策。通过针对地方的政策内容分析可以发现,各地区关于集中式光伏的建设补贴力度正在降低,对建筑一体式分布式光伏的支持增大。但与国家层面不同的是,光伏度电补贴的形式在很多地区仍然存在,只不过是由地方财政承担。就地区政策对光伏全产业链上、中、下游的关注度来看,各地区并无明显差异,基本上政策区别仅限于根据地方财政宽裕程度所带来的补贴多少,也并没有哪个地区明确指出要支持产业链的中上游科研投入补贴,仅仅是制定了相关的阶段装机容量目标。

### 1.3 国内光伏政策分析及其缺陷

如此多的激励政策足以证明光伏产业是国之大计,特别是现阶段为实现“双碳”目标,国家针对光伏市场的关注将会持续增大。中国政府的补贴对光伏产业的繁荣产生了较好的影响,培养了众多优秀企业。但是从长远的角度来看,这种繁荣只是巨额资本投入底层市场而展现的一种假象,这就导致一旦政府的补贴力度下滑市场就会受挫<sup>[6-7]</sup>。目前国内的政策体系、光伏产业体系仍然不是很健全,政策和产业链都需要提升完善。中国需要参考国外的发展模式,提出更适合国内的产业激励政策。总的来说,国内的光伏全产业链政策存在两大问题:

1)地区政策基本一致,没有因地制宜

中国地理版图面积较大,不同地区的日照强度

和时间都不相同,各地区的经济水平也参差不齐,这对光伏产业的发展会产生不同程度的影响。但从国家及各地区的政策来看,并没有全面考虑地理位置差异对产业的影响。中国中东部地区由于人口密度、地形因素等并非发展集中式光伏的最佳选择,但却有利于能源消纳、减少损耗以及确保能源安全,因此应该选择对这一地区分布式光伏进行大力投资。而应该提倡大力发展西部地区集中式光伏产业,并利用东部发达的科技体系进行上游技术研究。现阶段的激励政策显然缺乏在这个层面的考虑,因此不能够从本质上解决光伏产业的发展问题。

### 2)产业上下游激励政策失衡

不论是国家层面还是地区层面的激励政策,可以很明显地看出大多数都针对于光伏产业下游市场,很少有对产业链中上游的技术研究补贴,这种轻视产业链中上游的发展方式会对光伏产业体系产生不良影响。能够被市场选择靠的是产品的自身竞争力,如何提高光伏组件的发电效率、降低光伏组件的成本、寻找到最有效的光伏系统最大功率追踪方式等这些都是只有靠技术研究才能够解决的问题。与欧洲发达国家对比,中国在产业科研上的投资远远不够。所以,如何分配好激励政策在产业上中下游的权重是目前面临的又一个大问题。

## 2 政策理论假设的建立

### 2.1 产业政策理论

目前国内外学者对光伏政策的研究,主要集中在政策的合理性以及有效性。一部分学者认为激励政策能够对光伏产业产生促进作用,特别是低成本的市场开放政策能够推动分布式光伏的发展<sup>[8-9]</sup>。并且产业政策能够有效提升企业的创新绩效,可以鼓励企业增加研发投入以优化产业可持续发展的潜力。但是也有研究发现如果政府采取不当干预,反而会抑制光伏产业的发展,使其存在低端产能过剩的情况<sup>[10]</sup>。有学者研究了激励政策在光伏产业的不同发展时期对光伏产业的影响,结论是在发展初期政府补贴可以最大程度地发挥作用,从而促进光伏产业的发展,而到了产业发展中后期,激励政策反而加剧了光伏产能过剩<sup>[11-12]</sup>。

结合前文政策分析可以建立对产业政策理论的初步认识:激励政策在发展初期具有促进作用,在发

展中后期,政府补贴应该转变为关注企业的创新绩效。而关于光伏产业政策对企业技术创新效益和经济效益的影响机理探索还比较欠缺,需要进一步的研究。

## 2.2 光伏产业政策效率

学术界对光伏产业政府补贴的效率研究看法不一,大多数研究表明政府补贴对技术创新具有显著的正向影响。政府补贴可以增加企业对未来的盈利预期,从而增加企业的创新投资积极性,而当政府由于财政压力减少补贴时,企业的创新投资积极性会显著下降<sup>[13]</sup>。有学者利用全局主成分分析法探究了直接政策和间接政策对新能源企业技术创新的影响,通过实证分析发现,创新政策能够促进新能源企业的研发活动进行,但不同类型的政策效果存在一定的差异,直接政策有利于技术创新,间接政策不利于技术创新<sup>[14-15]</sup>。也有学者提出政府补贴可以减少创新成果外溢对企业创新的负面影响,还可以通过发布积极的信号增强企业创新的信心,拓宽企业创新融资渠道<sup>[11]</sup>。

然而政府补贴并不都是高效率的发挥作用,甚至在某些情况下会对光伏企业的技术创新和总体效率产生不利影响<sup>[16]</sup>。已经有学者通过对 A 股上市的 72 家公司进行分类,研究政府优惠政策及财政补贴与企业效益之间的关系,结论是政府补贴在早期可以最大化发挥社会和经济影响,而在中间阶段和成熟阶段对光伏产业的影响不大,反而会加剧光伏产能过剩<sup>[17]</sup>。这与前文分析一致,政府补贴虽然一定程度上拉动了光伏企业数量的上涨,但并未提升企业的经济效益和创新效益,所带来的仅仅是因为想拿到补贴而建立的一堆问题工程和项目<sup>[18]</sup>。目前的政府补贴并没有精准地投放到合适的光伏企业,因而政策效率普遍偏低,对光伏企业创新积极性的影响力不足。

## 2.3 理论假设

从中国光伏产业发展前期的高额补贴政策到 2013 年光伏产业政策补贴形式的转变与政策补贴金额的下调,再从 2018 年的“531 新政”开始逐步取消度电补贴到 2022 年 11 月的高额太阳能资源利用补助条款的公布,光伏新能源始终处在国内能源界的核心位置,一系列的激励政策也开始引发越来越多的学者探索光伏政策补贴与行业发展之间的关系。

文章根据前文的讨论,针对政策补贴对光伏产业的影响机理提出以下假设:

- 1)假设 1a: 政策补贴有利于光伏企业发展。
- 2)假设 1b: 政策补贴不利于光伏企业发展。

针对中国光伏企业创新积极性不足,并且光伏产业链的上、中、下游企业的技术创新能力存在差异,提出以下假设:

- 1)假设 2a: 政策补贴有利于光伏产业上游企业技术创新。
- 2)假设 3a: 政策补贴有利于光伏产业中游企业技术创新。
- 3)假设 4a: 政策补贴有利于光伏产业下游企业技术创新。

针对地区政策差异所带来的本土光伏企业技术创新力的不同,提出以下假设:

假设 5a: 政府补贴对光伏企业技术创新存在空间异质性差异。

## 3 光伏全产业链数据模型分析

### 3.1 数据包络分析模型

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)即是统计学中常用到的 DEA 方法,一般被用来测量企业或机构的生产效率。实际上企业的创新能力受多种因素影响,因此对光伏全产业链的上、中、下游企业创新能力的评价不能单独只看某一简单指标,可采用 DEA 模型通过输入投入数据和产出数据来评估其相对效率。文章选用 DEA 模型中最常用到的 BBC 模型(VRS)来进行研究,探索规模报酬可变情况下的企业投入产出效率,并且将 BBC 模型中的综合效益进行了拆分,根据研究对象的属性将其处理为技术效益和规模效益两者的乘积<sup>[19]</sup>。

#### 3.1.1 DEA 模型投入产出的指标选择

DEA 模型研究往往设定的投入指标都是人和材料,企业创新投入不外乎也是人和材料的投入。而产出指标为专利申请数量与总收入,因此把创新产出分为专利产出和非专利产出,专利产出就用专利申请数量代替,非专利产出可理解为创新的商业化产出,可以用总收入衡量<sup>[20]</sup>。因此,本文章的 DEA 模型投入指标分为人力资源和非人力资源,分别为 Peo-研发人员数量和 Inv-研发投入金额(单位为亿元),产出指标分为专利产出和非专利产出,分别为

Pat-专利数和 Inc-营业总收入(单位为亿元)。

### 3.1.2 各指标的描述性统计

DEA 模型的数据来源于国泰安数据库,选取 A 股市场的 33 家光伏样本企业共 162 个有效数据,这些样本企业均匀分布于光伏产业链的上、中、下游,且都是该产业链的龙头企业。如表 1 所示 DEA 各指标的描述性统计,研发人员和研发投入金额的平均值分别为 580.85 和 3.31,而标准差分别为 503.09 和 4.46,这表明各样本企业对研发的投入不管是对于人员还是资金都差异很大。而专利数和营业收入也相差很大,标准差分别为 771.57 和 84.15。由此可得,中国光伏产业链中各企业对创新能力的重视程度以及本身的创新能力都相差很大。

表 1 DEA 指标描述性统计  
Tab. 1 DEA index descriptive statistics

variable	N	mean	sd	min	max	p50
Peo	162	580.85	503.09	40.00	2578.00	395.00
Inv	162	3.31	4.46	0.09	25.92	1.71
Pat	162	516.41	771.57	1.00	3494.00	238.00
Inc	162	52.97	84.15	0.18	545.83	22.08

### 3.2 行业整体效益评价

中国光伏行业的整体效益可以从两个方面看,分别是创新效益和规模报酬效益。其中的创新效益用 DEA 模型中的综合创新效益-OE 来作为评价指标,而综合创新效益-OE 又可分为技术创新效益-TE 和规模效益-SE,且综合创新效益-OE 等于技术创新效益-TE 与规模效益-SE 的乘积,而另一个规模报酬效益用规模报酬系数来作为评价指标。

OE 反映决策单元 DMU 要素的效率情况,当该值为 1 时表明 DEA 强有效,而当该值<1 时表明非 DEA 有效。如表 2 所示,2008—2017 年中国光伏产业总体 OE 均小于 1,这表明光伏产业的综合创新能力还有很大的提升空间。且从 2011 年开始中国光伏产业的规模效益-SE 一直高于技术效益-TE,这表明综合创新效益的提升大多都来自于规模效益-SE 的拉动,而非技术效益的提升。

规模报酬系数表明研究对象的规模报酬状况,规模报酬系数为 1 时表明规模报酬不变,即达到最优状态。规模报酬系数>1 时,表明规模收益递减,即规模过大可通过减少规模增加效益;规模报酬系数<1 时,表明规模收益递增,即规模过小可通过增

表 2 中国光伏产业综合创新效益表

Tab. 2 Integrated innovation benefit of China's photovoltaic industry

年份	技术效益TE	规模效益SE(k)	综合效益OE( $\theta$ )	规模报酬系数
2008	1.000	0.658	0.658	0.581
2010	0.458	0.554	0.249	0.381
2011	0.188	0.256	0.048	0.127
2012	0.158	0.290	0.046	0.188
2013	0.163	0.419	0.069	0.267
2014	0.160	0.600	0.096	0.405
2015	0.692	0.801	0.555	1.511
2016	0.577	0.835	0.476	3.069
2017	0.488	0.834	0.383	1.043

大规模来增加效益。根据表 2 可知,以 2014 年为分界点,2014 年以前中国光伏产业规模报酬系数小于 1,2014 年以后中国光伏产业规模报酬系数大于 1。这种现象的产生很有可能是由于 2013 年中国光伏产业政策补贴的大力实施,在政策补贴的刺激下中国光伏企业开始大规模扩张,而这种规模的转折点滞后一年以 2014 为起点,则源于政策开始实施到产生效果需要一段时间的过渡。经过以上分析可知,中国光伏产业目前处于规模效益递减的状态,但综合创新效益又不足,这表明中国光伏产业的政策补贴太过于注重数量的增加,而忽略了质量的提升。

### 3.3 基于产业链的效益比较分析

光伏全产业链体系的中上游环节是硅片和太阳能电池材料的技术处理,这一块目前是中国的短板,还主要依赖美国、德国和日本等国家,而下游的光伏发电系统、发电检测等核心技术也与世界先进水平存在较大差异。中国光伏产业不仅整体创新能力较低,而且产业上、中、下游都呈现出差异发展的趋势。

如表 3 所示,中国的上、中、下游光伏企业的综合创新效益均小于 1,均为非 DEA 有效,而其中下游的综合创新效益最高,上游次之,中游最低。这表明在中国光伏产业整体创新效益不高的大环境下,相比于下游光伏企业中上游光伏企业的创新能力更加需要提升,因而中上游光伏企业的创新更应是政府补贴所要关注的重点。而将综合创新效益拆开来看,技术效益-TE 和规模效益-SE(表 4)均与综合效益-OE(表 5)呈现出相似的状态,都为下游最高而中上游较低。因此中国光伏产业链的发展呈现出一种前

轻后重的局面,而整个光伏产业的发展需要的是全产业链各部分综合协调发展,而不是侧重于某产业链单一环节。

表 3 2015—2020 年光伏全产业链的企业技术效益-TE  
Tab. 3 2015—2020 Enterprise technology benefit of the whole photovoltaic industry chain - TE

年份	上游	中游	下游
2015	0.993	0.858	0.723
2016	0.696	0.482	0.746
2017	0.539	0.437	0.664
2018	0.637	0.520	0.640
2019	0.507	0.543	0.582
2020	0.480	0.487	0.546

表 4 2015—2020 年光伏全产业链的企业规模效益-SE  
Tab. 4 2015—2020 Enterprise scale benefit of the whole photovoltaic industry chain - SE

年份	上游	中游	下游
2015	0.987	0.631	0.958
2016	0.690	0.756	0.907
2017	0.539	0.724	0.812
2018	0.689	0.631	0.816
2019	0.827	0.626	0.787
2020	0.887	0.601	0.793

表 5 2015—2020 年光伏全产业链的企业综合效益-OE  
Tab. 5 2015—2020 Enterprise integrated benefit of the whole photovoltaic industry chain - OE

年份	上游	中游	下游
2015	0.980	0.556	0.687
2016	0.505	0.328	0.699
2017	0.382	0.274	0.557
2018	0.407	0.353	0.535
2019	0.405	0.353	0.487
2020	0.397	0.238	0.466

经过 DEA 分析可以发现(数据如表 6 所示),光伏产业上、中、下游的规模报酬系数都处于一个较高的水平。但其中产业上游的规模报酬系数均小于 1,说明光伏产业上游还处于一个规模报酬递增的状态,可以通过扩大上游光伏产业规模来增加效益。而产业中下游光伏企业的规模报酬系数超过了 1,其中下游的规模报酬系数最大,可见前期大规模的政

策激励对产业链中下游发挥了过大的效果,这才使得中下游光伏企业呈现出了目前规模报酬递减的状态。整体来看中国政府推行的片面激励政策,导致了现如今光伏产业的扭曲化发展,这就需要政策制定人员适时对产业政策进行调整。

表 6 2015—2020 年光伏全产业链的企业规模报酬系数  
Tab. 6 2015—2020 Enterprise scale reward coefficient of the whole photovoltaic industry chain

年份	上游	中游	下游
2015	0.809	1.512	2.155
2016	0.900	1.135	4.637
2017	0.794	0.926	1.653
2018	0.644	0.952	1.830
2019	0.612	1.458	1.855
2020	0.694	1.550	1.783

## 4 面板回归分析

面板模型回归的方法能够克服时间序列分析受多重共线性的困扰,因此可以较好的利用在政府补贴对光伏企业技术创新影响的研究当中。该模型样本数据选用与前文 DEA 模型分析相同,从中国 A 股市场选取 33 家样本企业,再选取这 33 家样本企业 2000—2021 年的数据。其中上游企业有通威股份、隆基股份、中环股份等,中游企业有晶澳科技、东方日升、协鑫集成、金辰股份等,下游企业有爱康科技、中信博、科士达、锦江科技等。

### 4.1 研究设计

#### 4.1.1 建立回归模型

本研究中的面板回归模型设置如下:

$$\text{Inno} = \beta_0 + \beta_1 \text{Subsidy} + \beta_2 \text{Lever} + \beta_3 \text{Size} + \beta_4 \text{Age} + \mu \quad (1)$$

式中:

Inno ——光伏产业链上、中、下游某一端代表企业的企业效益;

$\beta_0$  ——截距;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  ——各变量的斜率参数;

$\mu$  ——残差项。

模型(1)用来研究政府补贴对中国光伏全产业链技术创新的影响,为了继续探究政府补贴对中国光伏产业链上、中、下游的不同企业技术创新影响的差异,本研究还设置了以下 3 个模型:

$$\text{Inno}_{\text{上}} = \beta_{0\text{上}} + \beta_{1\text{上}}\text{Subsidy} + \beta_{2\text{上}}\text{Lever} + \beta_{3\text{上}}\text{Size} + \beta_{4\text{上}}\text{Age} + \mu \quad (2)$$

$$\text{Inno}_{\text{中}} = \beta_{0\text{中}} + \beta_{1\text{中}}\text{Subsidy} + \beta_{2\text{中}}\text{Lever} + \beta_{3\text{中}}\text{Size} + \beta_{4\text{中}}\text{Age} + \mu \quad (3)$$

$$\text{Inno}_{\text{下}} = \beta_{0\text{下}} + \beta_{1\text{下}}\text{Subsidy} + \beta_{2\text{下}}\text{Lever} + \beta_{3\text{下}}\text{Size} + \beta_{4\text{下}}\text{Age} + \mu \quad (4)$$

#### 4.1.2 回归变量选择

本研究采用 33 个样本企业的研发密度作为被解释变量。研发密度是研发投入与企业固定资本的比值, 利用包含研发投入因素的研发密度作为被解释变量, 可以减少企业规模和政府补贴对指标合理性的影响<sup>[6,14]</sup>。相关参数解释如下:

**Subsidy:** 政府补贴强度, 即政府补贴与企业总收入之比。企业进行产品技术研发是以大量的人力和物力作为基础, 然而研发成果却需要共享, 正是这样的环境因素挫伤了企业的研发积极性。在这种情况下, 获取政府补贴可以显著减轻企业的资本研发压力, 因而可以有效提高企业的研发积极性。

**Lever:** 金融杠杆。关于金融杠杆对光伏企业技术创新的影响存在两种不同的看法, 一种认为较高的财务杠杆意味着没有足够的资金进行创新投资, 因而不利于光伏产业技术创新; 而另一种则认为高的财务杠杆提高了企业的资金使用效率从而可以降低无效投资, 促进创新投资的高质量发展。因此, 金融杠杆也是影响产业创新的一个重要因素。

**Size:** 公司规模。业界普遍认为大企业可以为创新提供更多的资金支持, 但也比小企业承担更高的风险和成本。大公司也可能会因为过大而存在管理效率低下或者官僚风气严重等问题, 并且大的公司存在的企业代理问题更严重, 管理者很有可能将注意力放在自身利益上, 而忽视对企业技术创新的关注。

**Age:** 企业年龄, 本研究中企业年龄设定为从该企业上市到目前的年限。一般认为企业年龄越高则管理效率越高, 拥有的资源也会越丰富, 则企业创新能力也会越强。

#### 4.2 变量相关性检验

本研究通过借助 Stata 软件进行数据操作, 利用相关性矩阵探究各解释变量之间的相关性。结果在表 7 中可以看到, 各解释变量之间的相关系数均小于 0.6, 这表明变量之间的相关性不明显, 在之后的研究中可以排除多重共线性对本研究的影响。

表 7 解释变量相关性矩阵

Tab. 7 Explaining variable correlation matrix

variable	Subsidy	Lever	Size	Age
Subsidy	1.000	—	—	—
Lever	-0.114	1.000	—	—
Size	-0.136	0.425	1.000	—
Age	0.069	-0.181	-0.300	1.000

#### 4.3 描述性统计

通过 Stata 软件进行描述性统计, 结果见表 8, 数据分析如下:

表 8 面板回归指标描述性统计

Tab. 8 Panel regression index descriptive statistics

variable	N	mean	sd	min	max
Inno	313	2.472	11.578	0.000	93.128
Subsidy	313	0.035	0.297	0.000	5.104
Lever	313	0.505	0.223	0.067	2.861
Size	313	22.565	1.229	19.227	25.196
Age	313	18.629	5.789	10.000	29.000

1) 研发密度的标准差为 11.5775, 而最小值为 0.0003, 最大值为 93.1281, 可见中国光伏企业之间的创新能力差别较大。

2) 政府补贴最小值为 0.0000, 最大值为 5.1035, 这说明中国政府对光伏产业链中各企业的补贴差别较大, 政府补贴在光伏企业中的分布并不均衡。

3) 企业金融杠杆和规模的标准差分别为 0.2225 和 1.2286, 各样本企业的金融杠杆的标准差相对较低, 这可能是由于各样本企业均来源于同一行业, 财务策略比较类似造成的; 各企业的规模标准差相对较高, 这是因为样本企业虽然是产业链某一环节上的龙头企业, 但各企业的规模还是相差较大。

4) 企业年龄的标准差是 5.7888, 最小值是 10, 最大值是 29, 两者相差较大, 这说明所选取的样本企业的资历相差还是比较大的。

#### 4.4 回归结果

本研究首先对所有的样本企业进行总体回归后发现政府补贴密度和研发密度呈显著正相关关系, 这说明政府补贴可以促进中国光伏产业的技术创新。其次将光伏产业链划分为上、中、下游进行分组回归分析, 发现政府补贴对光伏产业链上、中、下游企业创新效益的影响存在明显差异, 由回归结果(表 9)可知政府补贴与中上游光伏企业技术创新能力是显

表 9 面板回归结果

Tab. 9 Panel regression results

variable	整体Inno	上游Inno	中游Inno	下游Inno
Subsidy	15.998***	12.181***	3.412**	-4.409**
	-8.460	-4.130	-2.090	(-2.310)
Lever	4.955*	-9.521	-0.186	-1.047**
	-1.780	(-0.940)	(-0.630)	(-2.600)
Size	-2.499***	-6.481***	-0.222**	-0.003
	(-4.840)	(-5.310)	(-2.480)	(-0.070)
Age	0.295***	1.046***	-0.006	0.004
	-2.940	-3.170	(-0.240)	-0.610
Constant	50.315***	133.434***	5.424**	0.806
	-4.270	-4.740	-2.520	-0.960
Observations	313.000	106.000	92.000	115.000
R-squared	0.293	0.443	0.170	0.200
t-statistics in parentheses	*** $p < 0.01$ , ** $p < 0.05$ , * $p < 0.1$			

注: 1.\*、\*\*、\*\*\*符号分别表示回归数据的相关关系等级; 2. $p$ 为相关关系系数; 3.当某一数据的回归参数为负值时,为区分,将相关系数用括号括上。

著正相关的,而与产业链下游光伏企业的技术创新能力是负相关的。回归结果接受了假设 1a、假设 2a、假设 3a,而拒绝了假设 1b 和假设 4a。

#### 4.5 空间异质性检验

就中国整体地域差别而言,东部地区人口密度大、交通网络多元化、教育科技资源丰富,因此东部地区的政策执行效果以及技术创新环境都比中西部地区要好,成为光伏产业链中上游企业的最佳驻扎地选择,但西部地区又由于拥有丰富的太阳能资源而为众多光伏终端企业所重视<sup>[21]</sup>。且基于前文的政策梳理分析可以发现各地区的区域政策存在明显差别,因此政策补贴对不同地区光伏企业技术创新能力的影响也必定有所不同,综合考虑到这些因素,本研究选择对分布在各个地区的 33 家样本企业进行空间异质性检验。根据所选的 33 家样本企业的公司注册地与企业相应的光伏产品生产基地进行交叉地区分类,分析结果可从表 10 中得知。显然,政府补贴与东部地区和中部地区的光伏企业创新能力呈显著正相关关系,而数据表明政府补贴将会抑制西部地区光伏企业的创新能力发展,这说明政策补贴对该样本模型的影响存在空间地域上的差异。

## 5 结论

本研究先是对中国光伏全产业链的政策进行了

表 10 空间异质性检验

Tab. 10 Test for spatial heterogeneity

variable	东部Inno	中部Inno	西部Inno
Subsidy	14.673***	153.662***	-1.593
	-6.910	-27.100	(-0.420)
Lever	4.761	2.983	-0.947
	-1.460	-1.370	(-0.950)
Size	-4.155***	-0.856***	-0.143
	(-5.860)	(-3.580)	(-1.270)
Age	0.700***	-0.364***	0.031
	-4.740	(-5.050)	-0.460
Constant	80.086***	22.232***	3.322
	-5.050	-4.860	-1.000
Observations	224.000	45.000	44.000
R-squared	0.367	0.969	0.252
Standard errors in parentheses	*** $p < 0.01$ , ** $p < 0.05$ , * $p < 0.1$		

注: 1.\*、\*\*、\*\*\*符号分别表示回归数据的相关关系等级; 2. $p$ 为相关关系系数; 3.当某一数据的回归参数为负值时,为区分,将相关系数用括号括上。

梳理,分别从国家和地区层面讨论了激励政策对光伏产业链各个环节的影响。再选取 2000—2021 年 A 股上市的 33 家光伏企业作为研究对象,建立 DEA 模型和面板回归模型来探究政府补贴政策对光伏企业创新积极性的影响,数据分析之后得出的结论是:在 2000—2021 年,来自政府的补贴对中国光伏企业的战略性长远发展产生了积极作用,但在上、中、下游产业链之间存在明显的差异,在中上游产业链中政府补贴与光伏企业技术创新能力显著正相关,然而下游产业链中政府补贴对企业技术创新能力产生负效应,这说明之前的阶段政府补贴过多地投入了下游企业而忽略了上游和中游企业;此外,通过区位异质性分析发现,东部、中部和西部之间也存在明显的差异,政府补贴对东中部省份特别是东部省份的光伏企业创新发展起到正向推动作用,而对西部省份的相关企业为负影响,这也与前文分析基本保持一致。为此,文章针对中国目前的光伏产业体系政策现状提出以下几点建议:

1) 加大针对科研创新的政策补贴力度,加强对产业链中上游的技术创新建设

相比较美、德、日等国家中国的光伏产业自主创新能力偏弱,如何提升类似于硅片精密加工等一系列的卡脖子技术,通过科技创新减少生产成本是目前的重点<sup>[22]</sup>。政府激励政策对上游企业的技术创



新促进效益更大,因此就要推动相关政策的颁布和实施。还需要根据产业链上下游企业的发展状况及创新能力进行精准扶持,避免政府补贴资源浪费。

2)因地制宜,结合地区优势进行产业链布局规划。要根据当地的自然资源,如:光照、矿产资源等,以及经济建设与基础设施,发展适合当地的光伏企业。对于发展相对较弱的中西部地区,输送更多的终端运维创新人员,加强终端电厂设施的建设。

3)注重激励政策创新,积极帮助企业融资

融资支持政策对于光伏产业的发展起着很关键的作用,但是中国目前的融资支持政策比较单一。在光伏项目的建设阶段,解决融资难的问题,是扶持光伏产业发展的一项有力措施;在研发阶段,更多的融资资金也能够初步解决企业创新后面临的成果共享问题;另外中国也应该考虑融资政策多样化创新,如绿色贷款、光伏债券、光伏股权债券化等创新型融资政策。

#### 参考文献:

- [1] ZHAO F Q, BAI F L, LIU X L, et al. A review on renewable energy transition under China's carbon neutrality target [J]. *Sustainability*, 2022, 14(22): 15006. DOI: 10.3390/su142215006.
- [2] LEIREN M D, REIMER I. Historical institutionalist perspective on the shift from feed-in tariffs towards auctioning in German renewable energy policy [J]. *Energy research & social science*, 2018, 43: 33-40. DOI: 10.1016/j.erss.2018.05.022.
- [3] 徐璇,黄俊灵,温珂.中国光伏产业政策变迁的间断均衡性:基于政策过程理论[J].*科技管理研究*, 2022, 42(20): 48-56. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7695.2022.20.006.
- [4] XU X, HUANG J L, WEN K. Punctuated equilibrium of photovoltaic industry policy changes in China: based on the policy process theory [J]. *Science and technology management research*, 2022, 42(20): 48-56. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7695.2022.20.006.
- [5] 崔红宇.后补贴时代光伏产业发展困境的制度克服[J].*法制与经济*, 2020, 29(2): 63-64. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0183.2020.02.026.
- [6] CUI H Y. System overcoming the development dilemma of photovoltaic industry in post-subsidy era [J]. *Legal and economy*, 2020, 29(2): 63-64. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0183.2020.02.026.
- [7] 邵学峰,方天舒.不完全契约视角下绿色能源的政策驱动效应——以光伏产业为例[J].*财经问题研究*, 2021(5): 40-48. DOI: 10.19654/j.cnki.cjwtyj.2021.05.005.
- [8] SHAO X F, FANG T S. Policy-driven effects of green energy from the perspective of incomplete contract: taking the photovoltaic industry as an example [J]. *Research on financial and economic issues*, 2021(5): 40-48. DOI: 10.19654/j.cnki.cjwtyj.2021.05.005.
- [9] 张永安,关永娟.政策组合对中国光伏企业创新绩效的影响[J].*系统管理学报*, 2021, 30(3): 500-507,515. DOI: 10.3969/j.issn1005-2542.2021.03.009.
- [10] ZHANG Y A, GUAN Y J. Influence of policy mix on innovation performance of Chinese photovoltaic enterprises [J]. *Journal of systems & management*, 2021, 30(3): 500-507,515. DOI: 10.3969/j.issn1005-2542.2021.03.009.
- [11] 田帅.新能源风险投资全周期风险管理体系的构建[J].*南方能源建设*, 2022, 9(1): 40-46. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.01.006.
- [12] TIAN S. Construction of the whole cycle risk management system of new energy venture capital [J]. *Southern energy construction*, 2022, 9(1): 40-46. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.01.006.
- [13] MYOJO S, OHASHI H. Effects of consumer subsidies for renewable energy on industry growth and social welfare: the case of solar photovoltaic systems in Japan [J]. *Journal of the Japanese and international economies*, 2018, 48: 55-67. DOI: 10.1016/j.jjie.2017.11.001.
- [14] 李凤梅,柳卸林,高雨辰,等.产业政策对中国光伏企业创新与经济绩效的影响[J].*科学学与科学技术管理*, 2017, 38(11): 47-60.
- [15] LI F M, LIU X L, GAO Y C, et al. The influence of industrial policy on the innovative performance and economic performance of Chinese photovoltaic enterprises [J]. *Science of science and management of S. & T.*, 2017, 38(11): 47-60.
- [16] DONG C G, ZHOU R M, LI J Y. Rushing for subsidies: the impact of feed-in tariffs on solar photovoltaic capacity development in China [J]. *Applied energy*, 2021, 281: 116007. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116007.
- [17] 王辉,张月友.战略性新兴产业存在产能过剩吗?——以中国光伏产业为例[J].*产业经济研究*, 2015(1): 61-70,82. DOI: 10.13269/j.cnki.ier.2015.01.007.
- [18] WANG H, ZHANG Y Y. Is production capacity of strategic emerging industries becoming excessive? A case study of Chinese photovoltaic industry [J]. *Industrial economics research*, 2015(1): 61-70,82. DOI: 10.13269/j.cnki.ier.2015.01.007.
- [19] 姜晓婧,赵贤.政府补贴、企业创新投入与产能过剩——基于中国光伏产业上市公司的经验验证[J].*东北财经大学学报*, 2020(6): 30-37. DOI: 10.19653/j.cnki.dbcjdx.2020.06.004.
- [20] JIANG X J, ZHAO X. Government subsidies, firm innovation investment and overcapacity: a empirical test based on listed companies in China's photovoltaic industry [J]. *Journal of Dongbei university of finance and economics*, 2020(6): 30-37. DOI: 10.19653/j.cnki.dbcjdx.2020.06.004.
- [21] LUAN R R, LIN B Q. Positive or negative? Study on the impact of government subsidy on the business performance of China's solar photovoltaic industry [J]. *Renewable energy*, 2022, 189: 1145-1153. DOI: 10.1016/j.renene.2022.03.082.
- [22] 耿强,江飞涛,傅坦.政策性补贴、产能过剩与中国的经济波动——引入产能利用率RBC模型的实证检验[J].*中国工业经济*, 2011(5): 27-36. DOI: 10.19581/j.cnki.ciejournal.2011.05.003.
- [23] GENG Q, JIANG F T, FU T. Policy-related subsidies, overcapacity and China's economic fluctuation: empirical testing based on RBC model [J]. *China industrial economics*, 2011(5): 27-36. DOI: 10.19581/j.cnki.ciejournal.2011.05.003.
- [24] 丰文先,任畅翔,孙倩,等.可再生能源等比补贴系数及投资估值模型研究[J].*南方能源建设*, 2021, 8(4): 135-141. DOI: 10.

16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.04.018.

FENG W X, REN C X, SUN Q, et al. Research on renewable energy equivalent subsidy coefficient and investment evaluation model [J]. *Southern energy construction*, 2021, 8(4): 135-141. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.04.018.

- [16] 王宏伟, 朱雪婷, 殷晨曦. 中国光伏产业发展及电价补贴政策影响研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(7): 90-112. DOI: 10.13653/j.cnki.jqte.2022.07.001.
- WANG H W, ZHU X T, YIN C X. Research on the development and the feed-in tariff policy impact of China's photovoltaic industry [J]. *The journal of quantitative & technical economics*, 2022, 39(7): 90-112. DOI: 10.13653/j.cnki.jqte.2022.07.001.
- [17] XIONG Y Q, YANG X H. Government subsidies for the Chinese photovoltaic industry [J]. *Energy policy*, 2016, 99: 111-119. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.09.013.
- [18] SHER A, QIU Y Z. Pakistan's solar mission: do solar finance and subsidy remove the barriers to solar installations? [J]. *Renewable energy*, 2022, 190: 993-1005. DOI: 10.1016/j.renene.2022.03.047.
- [19] SHAO X F, FANG T S. Performance analysis of government subsidies for photovoltaic industry: based on spatial econometric model [J]. *Energy strategy reviews*, 2021, 34: 100631. DOI: 10.1016/j.esr.2021.100631.
- [20] 董长贵, 周润民, 李佳颖. 补贴政策对中国光伏装机市场的影响——基于面板数据回归的实证分析 [J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1065-1076. DOI: 10.18402/resci.2021.06.01.
- DONG C G, ZHOU R M, LI J Y. The effect of feed-in tariff on China's photovoltaic capacity development: an empirical analysis based on panel data regression [J]. *Resources science*, 2021, 43(6): 1065-1076. DOI: 10.18402/resci.2021.06.01.
- [21] 王仁和, 任柳青. 地方太阳能光伏政策出台的逻辑——兼论产业发展阶段与产业政策的关联 [J]. *科学学研究*, 2021, 39(10): 1781-1789, 1802. DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.20210301.001.
- WANG R H, REN L Q. The logic of local solar photovoltaic policy—the relationship between industrial development stage and industrial policy [J]. *Studies in science of science*, 2021, 39(10): 1781-1789, 1802. DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.20210301.001.
- [22] WEN D Y, GAO W J, QIAN F Y, et al. Development of solar photovoltaic industry and market in China, Germany, Japan and the United States of America using incentive policies [J]. *Energy exploration & exploitation*, 2021, 39(5): 1429-1456. DOI: 10.1177/0144598720979256.

#### 作者简介:



黄斌

黄斌 (第一作者)

1984-, 男, 工学博士, 博士生导师, 南澳大学 Barbara Hardy 可持续能源与生态环境研究中心高级研究员, 主要从事城市碳排放机理研究, 绿色能源使用的优化规划理论及优化算法研究(e-mail)bin.huang@unisa.edu.au.

#### 赵伟

1999-, 女, 硕士研究生在读, 研究方向为绿色能源运行优化算法(e-mail)15194729653@163.com。



廖力达

廖力达 (通信作者)

1981-, 男, 副教授, 国际注册风力发电高级工程师, 中南大学机械工程专业博士, 澳大利亚南澳大学工学院访问学者, 主要从事新能源发电、能源区块链研究工作(e-mail)lidaliao@csust.edu.cn。

#### 肖孟

1999-, 男, 硕士研究生在读, 研究方向为城市绿色能源体系的建立(e-mail)mengxiao2296870259@163.com。

#### 黄佳亮

1998-, 男, 硕士研究生在读, 研究方向为光伏发电转换效率的提升(e-mail)huang\_csust@sina.com。

#### 谢佩伶

1999-, 女, 硕士研究生在读, 研究方向为城市动态碳排放机理(e-mail)peiling.xie@stu.csust.edu.cn。

#### 项目简介:

**项目名称** “建筑环境能耗与碳排放生命周期综合建模及对冲机理研究”(51908064)

**承担单位** 长沙理工大学

**项目概述** 在探究城市环境的生命周期能耗与碳排放行为, 以及可再生能源应用的碳排放对冲机理分析; 建立相关数学模型和生命周期数据库, 为城市生命周期能耗与排放评估, 以及碳中和城市的发展奠定理论基础并提供数据支持。具体目标如下: (1) 进一步发展 PIM 理论, 建立符合国情的生命周期能耗及排放强度数据库, 为城市能耗及排放建模评估提供数据支持; (2) 建立城市环境的生命周期能耗与排放的宏观模型, 为其综合能耗与排放评估奠定基础, 为低碳城市优化规划及其碳中和分析提供数据支持; (3) 深入分析城市动力学因素对综合能耗和排放的影响, 提高宏观模型及分析的精确性; (4) 揭示可再生能源在城市排放中的对冲作用, 建立相关数学模型, 为其应用和优化配置奠定基础, 并为相关技术规范及规划标准的设计提供参考。

**主要创新点** (1) 建立城市生命周期碳排放评估的系统边界; (2) 提出建筑环境的 PIM 理论, 对可再生能源的碳排放对冲机理进行深入分析和探讨; (3) 独立研发“城市能耗及碳排放生命周期评估与低碳优化规划系统”, 填补了城市生命周期碳排放及低碳城市优化规划领域的空白; (4) 进行低碳社区的实践与 PIM 理论的验证, 引入新能源体系在城市社区的运用模式; (5) 提出碳中和城市实践方法——清洁能源高效利用与城市建筑环境碳排放对冲。

(编辑 叶筠英)