光伏多晶硅原料

国际价格形成机制研究



THE INTERNATIONAL PRICING
MECHANISM FOR SOLAR PHOTOVOLTAIC
SILICON FEEDSTOCK

余　杨◎著

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

光伏多晶硅原料国际价格形成机制研究 / 余杨著
. —杭州：浙江大学出版社，2020.8
ISBN 978-7-308-20426-2

Ⅰ.①光… Ⅱ.①余… Ⅲ.①多晶—硅太阳能电池—国际贸易—商品价格—研究 Ⅳ.①F752.657.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 140637 号

光伏多晶硅原料国际价格形成机制研究

余　杨　著

责任编辑　吴伟伟
文字编辑　陈逸行
文字校对　严　莹
封面设计　雷建军
出版发行　浙江大学出版社
（杭州市天目山路 148 号　邮政编码 310007）
（网址：http://www.zjupress.com）
排　　版　杭州中大图文设计有限公司
印　　刷　广东虎彩云印刷有限公司绍兴分公司
开　　本　710mm×1000mm　1/16
印　　张　14.5
字　　数　280 千
版 印 次　2020 年 8 月第 1 版　2020 年 8 月第 1 次印刷
书　　号　ISBN 978-7-308-20426-2
定　　价　68.00 元

版权所有　翻印必究　　印装差错　负责调换
浙江大学出版社市场运营中心联系方式：0571－88925591；http://zjdxcbs.tmall.com

序

在工业化进程中，传统化石能源的消耗及其产生的环境污染也伴随着人类文明的发展。如何才能有效缓解这两个棘手的问题，业已成为各界人士努力的方向。自1972年《斯德哥尔摩宣言》，尤其是1987年联合国报告《我们共同的未来》发布之后，可持续发展的理念趋同及行动共识，极大地推动了能源体系的大变革以及各国各方的共同参与。1997年，可持续发展的国际行动计划通过联合国气候变化框架公约缔约方会议以《京都议定书》的签署为肇始，首次达成了发达国家遵守减排目标的法律约束。2015年，《巴黎协定》作为第二份具备法律约束力的气候协议将所有缔约方都纳入命运共同体，至今已有187个国家和地区签署并完成批准程序。相应地，全球能源体系转型由学界认知转向政产学研合力推进。作为第一大能源消费国，中国电气化水平在“十五”至“十三五”时期的20年间由35%增长到80%，发电耗煤量在2013年基本达到峰值，2035年还将实现化石能源的全面控制与达峰。经济合作与发展组织（OECD）引领可再生能源发展和能源消费，可再生能源年增长率近20年达到3%，是非再生能源的7倍；其发电占比已与煤电相同，高达25.8%。清洁、低碳、可再生能源开发利用已成为人类社会不可逆转的发展趋势。

可再生能源开发利用是摆脱对不可持续资源的直接依赖，是以技术革新实现安全可靠、可支付、可持续的能源利用。太阳能利用就是最直接、最有效的替代路径之一。目前，地球表面的太阳能辐射是全球能源需求的1万倍。近10年，全球光伏技术投资已超过1.3万亿美元，至少是化石能源的3倍。近50年，国际半导体产业协会（SEMI）已发布974项标准，光伏专项领域就高达90项，持续推动更高效、更低成本创新技术应用。IEA（2020）最新预测还显示，2023—2025年可再生能源各类技术，尤其是高成本光伏技术将普遍实现平价上网。无论是在技术层面还是经济层面，可再生能源技术进步替代能源依赖都是可期和可行的。

正如人类社会发展理念的缓慢转变，可再生能源发展也并非一蹴而就。

能源技术效率的提升存在不确定性，晶硅、薄膜和光电等各太阳能技术路线分支均出现过实验室电池最优效率近 10 年无法突破的情况。能源技术的经济性同样是不确定的，化石能源的市场价格剧烈波动甚至出现负价格，显著影响相对成本的竞争性预期，可再生能源供能的波动性与能源系统稳定性的兼容困难显著削弱了经济性预期，新能源产业链的国别分工与定价权竞争也显著加剧了价格偏离趋势的预期。因此，更全面和系统地探讨可再生能源发展问题是必要的，深刻理解能源技术范式、效率特性、价格机制等科学问题并做出合理判断将有助于更高效地实现能源替代和可持续发展。

余杨博士是我任职于宁波大学特聘教授时学术合作的年轻教师之一。余博士治学严谨、为人谦逊且学术履历出色。该著作以全球可再生能源技术产业化为背景，立足主流光伏技术发展及产业贸易国别竞争格局，针对核心产业链的市场供需严重失衡与价格波动重大偏离问题，探讨可再生能源技术特性及其国际市场价格形成机制，对厘清新兴能源独特的定价体系与价格规律、推动可再生能源产业长效发展和各国共同进步具有非常重要的理论与现实意义。著作对光伏产业技术特性的经济学内涵和关键原材料生产的特征性事实进行系统、全面梳理，揭示了新兴可再生能源产业具有典型的技术密集型、地区市场主导型和全产业链高互动型的发展方式，价格体系呈现公开私下两级价格、非完备合同价格和战略博弈价格的定价形式，以及价格波动呈现高敏感性、非对称性、强关联性的传导方式。著作还以技术后发国中国的光伏技术追赶与贸易关联为突破口，解释关键原材料的市场冲击复杂性及其价格波动效应，揭示定价竞争策略优化和分工地位提升的根源与效率。这些研究有利于丰富可再生能源经济学的研究内容和政策应用，能够为学者提供后续研究的新视角和新观点。

古人云：“其作始也简，其将毕也必巨。”在此希冀余博士在今后的学术道路上继续精进，攻坚克难，做出更好更多的学术精品！以是为序！

李传忠
瑞典乌普萨拉大学经济学教授
瑞典皇家科学院生态经济研究中心高级研究员
2020 年 8 月 3 日

内容摘要

21世纪初以来太阳能进入全球规模化市场应用阶段，以应对传统电力能源价格攀升、全球温室效应加剧和新能源利用进程缓慢的严峻挑战，对全球能源结构、环境规制国际共识、可再生能源利用和国别能源贸易格局等产生重大影响。光伏多晶硅原料作为太阳能光电技术的重要基材，市场供需变动剧烈，国际国别价格大起大落，不仅冲击了原有光伏大国的国际贸易关系，也为中国光伏企业转变国际竞争地位带来了契机。因此，深入研究光伏多晶硅原料国际价格形成机制，全面探讨价格确立、波动和传导的方式和效应，对完善光伏原料价格理论，促进中国光伏多晶硅产业可持续性发展、发挥战略性新兴产业的先导效应都具有重要的理论和现实意义。

在国内外对光伏多晶硅原料价格的研究多以统计性分析为主、缺乏理论和实证研究的背景下，本书深入探讨光伏多晶硅原料国际价格形成机制，应用交易成本理论、厂商理论、博弈理论和空间市场理论，建立定价决策、价格冲击、价格传导的数理模型，并利用统计分析、结构冲击、一价检验等多种实证研究方法，系统研究光伏多晶硅原料国际价格的确立、波动和传导效应。以全球光伏多晶硅原料市场发展现状为基础，梳理分析长期合同与现货市场的价格形成机制类型、价格波动特征和主要供需影响因素。整理分析光伏多晶硅原料的合同安排形式，深入研究国际价格形成机理以及市场结构、供需冲击和国别市场关联对价格形成机制的影响。利用SVAR模型，识别并检验光伏多晶硅原料国际市场结构性供需冲击的价格响应，并利用国别市场价格传导模型，实证检验光伏多晶硅原料国别贸易的市场关系以及对价格传导的作用。从而，完善以价格确立、价格波动和价格传导为主要研究内容的光伏多晶硅原料国际价格形成机制。

本书主要得到了以下结论：(1)光伏多晶硅原料由于生产技术、市场结构和交易方式的特点，形成合同市场谈判价格形成机制和现货市场价格形成机制。国际价格形成机制的基础模型分析得出三类交易主体合同和定价选择：

贸易商最优选择市场价格长期合同形式，电池制造商 OEM 贸易不受合同价格形式影响，以及生产商依据外部市场条件确定合同及定价形式，其均衡价格受寡头垄断厂商战略行为决策的影响。市场供需冲击下，光伏多晶硅原料国际合同和现货市场价格波动显著不同，国别市场现货价格调整将比合同价格更为有效。(2)光伏多晶硅原料国际价格冲击效应体现在特定市场条件下结构性供需冲击引起的价格波动效应。在实证研究中，以 2004—2009 年这一阶段为重点，利用 SVAR 模型，识别引起光伏多晶硅原料国别供给差异和生产成本变化的供给因素，引起能源补充需求变化、总需求变化以及直接需求变化的需求因素，验证这些因素对光伏多晶硅原料国际价格波动的不同冲击效应，可以有效地解释这一时期多晶硅原料国际合同和现货价格的差异化波动特征。(3)光伏多晶硅原料国别市场作用体现在空间分割市场的价格传导效应。利用中国进口市场的贸易地位和数据样本，验证美国市场无论在多晶硅原料合同或是现货贸易中都起着重要的价格引领作用，德国市场和韩国市场仅在合同或现货市场上处于价格主导地位。即使国别市场间贸易量较大，光伏多晶硅原料合同价格波动的国际传导也并不有效。光伏多晶硅原料国别现货市场内或市场间的因果关联远强于现货与合同市场之间，美国是唯一在合同与现货市场间存在显著因果关系的国别市场。

在前人研究的基础上，本书主要在以下三个方面做出一定的创新：(1)基于交易成本、厂商博弈和国际贸易等理论，构建光伏多晶硅原料国际价格形成机制的分析框架，拓展原有的生产成本构成、市场竞争结构、国别贸易关系相互孤立的光伏多晶硅原料价格形成的研究框架，也对该领域理论研究做重要探索。(2)以光伏多晶硅原料生产商实际生产状况的调研分析为依据，以典型企业的交易合同文本为基础，深入研究光伏多晶硅原料国际价格形成机制的理论基础，使理论探讨更具有现实性和有效性。(3)收集整理大量微观主体、国别市场和产业发展的公开性及非公开性数据与资料，深入分析光伏多晶硅原料国际价格波动特征、供需冲击因素和国别市场关系，实证研究价格冲击和传导效应，是光伏多晶硅原料价格波动研究的首次实证检验。

前　言

本书涉及能源经济学新兴领域可再生能源经济学价格理论的重大课题。为便于了解学科新发展以及本书的研究主旨，以下针对可再生能源价格形成机制问题进行简要论述。

可再生能源是未来能源的主力，经历上百年的技术积累和创新突破，已逐步形成具备清晰的技术边界的基础学科和工程技术体系，但仍处于前沿技术研发和技术产业化的高速成长阶段，无论是价格体系还是价格政策，并不成熟，也不完善。相比化石能源，可再生能源类型更丰富，包括传统水能和新兴太阳能、风能、海洋能、生物质能以及二次能源或转化能源形式，相应的学科体系更多元化，覆盖热学、流体力学、材料学、光学、微电子学、动力机械学、能源工程学等多类学科，相关的技术突破也更复杂，包括高纯度、高精度、高值度的能源技术开发以及规模化、体系化、可支付化的能源技术利用。新能源技术产业化过程中，不仅面临变革性技术与破坏性创新的不确定性，还面临新技术市场接受的不确定性，缺乏强劲有效的内生发展动力。以降低成本、普及应用为导向的市场扶持政策，尤其是价格政策，能有力地撬动新能源技术发展，加速产业体系、国际分工体系和国际市场体系建设，但政策利益追逐下的产业扩张，往往缺乏对技术性、市场性、宏观性等各类因素干扰的充分考虑，缺乏对定价机制、价格传导机制及其市场冲击效应的深刻理解，往往存在市场供需极端失衡和价格剧烈波动的普遍现象。

可再生能源价格形成机制蕴含行业特有的技术要求，也反映产业链特定的纵横向关联。不同于矿产资源，可再生能源具备资源非稀缺性和环境非负性，即技术体系并不依赖开采和清洁利用水平，定价体系不直接体现资源成本和环境成本。但可再生能源通常是分散、非完全或非直接可获得的，且具有显著的间歇性，即行业壁垒主要体现为自然能源转化为可利用能源的技术能力和成本水平，价格机制集中体现在最能反映能源转换效率的产业链节点及其市场结构上。上游产业链涉及能源收集、转化或制备，为中、下游的加工、装

配、运维提供基础原料和设备，其技术标准更高、规模要求更大、资产专用性更强，相应的市场集中度更高、战略定价可能性更大、价格刚性更强。忽视可再生能源技术特性、供需特征和产业链竞争关联，难以有效解释市场交易的（合同、现货）制度性安排及其定价机制差异、市场势力的形成及其定价议价控制力、产业链上下游一体化战略选择及其价格传导方式转变等价格领域的核心问题。

可再生能源价格形成机制不可避免涉及国别市场竞争与价格影响力问题。正如罗伯特·海夫纳三世（2013）在《能源大转型》中提出的："哪个国家致力于加速向气体能源时代转换，致力于能源领域的创造性破坏，哪个国家将会成为21世纪的赢家。"欧美国家及日本是可再生能源技术领先国、市场应用发起国，不仅占据国际分工主导地位，也是市场供需冲击的主要来源，而且拥有市场竞争定价权，形成国别市场间价格传导主要途径。中国是新兴可再生能源后发国，以国际国内市场规模化应用为契机，以中下游加工制造为突破口，以技术本土化和规模经济为竞争优势，有效实现全球生产网络体系嵌入，快速确立新兴能源品国际贸易大国地位。但中国仍然缺失国际定价权，深受产业链两端挤压，突出体现为新能源产品价格对国际市场冲击反应更敏感、波动更剧烈。涵盖中国样本研究可再生能源价格形成机制不仅有助于揭示国别/地区定价权的来源与表现，更为全球市场竞争关联和价格传导机制提供研究新视角和新内容。

本书选取光伏产业多晶硅原料环节开展深入研究，不仅在于太阳能光伏产业代表新能源主导领域，其价格形成机制可以体现产业发展趋势与能源体系转型影响，还在于光伏产业链尤其是原料环节集中呈现出新能源技术与经济特性，对其价格形成机制研究可以更好地理解价格运行规律。由此，本书将围绕定价制度安排与选择、价格均衡与波动、价格影响力与市场传导等价格领域的核心问题，研究光伏多晶硅原料国际价格形成机制，解释光伏原料与传统能源产品定价方式趋近与偏离并存、全球大厂商定价策略趋同与背离并存，以及不同市场（合同、现货）交易和不同地区（国别、国际）市场中价格大幅度偏离与收敛并存等显著现象。在本书的基础上，后续研究还将立足新能源技术体系、产业体系、市场体系等视角开展价格问题的系统研究，为丰富和开拓可再生能源经济学价格理论做出微薄的贡献。

目　　录

第一章　导　论 / 1

第一节　问题的提出 / 1

第二节　核心概念界定 / 3

第三节　总体思路与研究方法 / 5

第四节　研究框架与研究内容 / 8

第五节　研究创新点 / 10

第二章　文献研究 / 12

第一节　多晶硅原料供需特性与发展规模研究 / 13

第二节　多晶硅原料合同安排方式与理论基础 / 19

第三节　多晶硅原料交易方式与定价研究 / 23

第四节　多晶硅原料空间市场关联与价格传导研究 / 25

第五节　小　结 / 31

第三章　全球光伏多晶硅原料市场的发展现状 / 32

第一节　光伏多晶硅原料的技术特性 / 32

第二节　光伏多晶硅原料市场迅速发展的全球背景 / 41

第三节　全球光伏多晶硅原料市场发展现状 / 50

第四节　小　结 / 57

第四章　光伏多晶硅原料国际价格形成机制与供需影响因素 / 59

第一节　光伏多晶硅原料国际价格形成机制 / 59

第二节　光伏多晶硅原料国际价格波动特征 / 66

第三节　光伏多晶硅原料国际价格波动的供需影响因素 / 72

第四节　小　结　/ 94

第五章　光伏多晶硅原料国际价格形成机制的理论分析　/ 96

第一节　光伏多晶硅原料国际价格形成机制的基本原理　/ 96

第二节　光伏多晶硅原料生产商战略行为与价格均衡　/ 112

第三节　光伏多晶硅原料市场供需冲击的价格影响　/ 121

第四节　光伏多晶硅原料国别市场价格传导效应　/ 124

第五节　小　结　/ 126

第六章　光伏多晶硅原料国际市场价格冲击效应实证研究　/ 128

第一节　光伏多晶硅原料国际市场结构性供需冲击因素识别　/ 128

第二节　光伏多晶硅原料国际价格冲击效应模型　/ 131

第三节　光伏多晶硅原料国际价格冲击效应的实证结果　/ 135

第四节　光伏多晶硅原料国际市场特定需求性冲击的作用　/ 141

第五节　小　结　/ 148

第七章　光伏多晶硅原料国别市场价格传导效应实证研究　/ 150

第一节　基于中国光伏多晶硅原料进口的国别市场分析　/ 150

第二节　光伏多晶硅原料国别市场价格传导效应模型　/ 161

第三节　光伏多晶硅原料国别市场价格传导效应的实证结果　/ 165

第四节　小　结　/ 186

第八章　研究结论　/ 188

第一节　主要研究结论　/ 188

第二节　中国光伏多晶硅产业发展的启示　/ 191

第三节　未来研究方向　/ 192

参考文献　/ 194

后　记　/ 215

图目录

图 2.1　高纯多晶硅工艺流程　/ 14
图 3.1　国际实验室太阳能光伏电池最优效率　/ 34
图 3.2　高纯多晶硅制备工艺　/ 37
图 3.3　国际石油价格周期变化　/ 42
图 3.4　光伏大国石油发电占比变化　/ 42
图 3.5　1984—1999 年光伏大国太阳能发电占比　/ 43
图 3.6　2000—2011 年光伏大国太阳能发电占比　/ 43
图 3.7　1975—2011 年全球太阳能光伏电池年产量及增速变化　/ 45
图 3.8　1998—2011 年全球多晶硅原料供需波动　/ 52
图 3.9　1999—2011 年全球多晶硅原料供需增长率变化　/ 53
图 3.10　国别/地区市场光伏多晶硅原料生产需求　/ 55
图 3.11　国别/地区市场光伏多晶硅原料消费需求　/ 55
图 3.12　国别市场光伏多晶硅原料产量　/ 56
图 3.13　中国光伏多晶硅原料供需变化　/ 56
图 4.1　光伏多晶硅原料国际价格年度变化　/ 67
图 4.2　光伏多晶硅原料国际价格月度变化　/ 67
图 4.3　光伏多晶硅原料国际价格年度波动性　/ 68
图 4.4　光伏多晶硅原料国际价格月度波动性　/ 69
图 4.5　光伏多晶硅原料国内国际现货价格　/ 70
图 4.6　光伏多晶硅原料中国进口与国际市场均价　/ 71
图 4.7　光伏多晶硅原料中国与国际现货市场价格波动性　/ 72
图 4.8　(美国加州)日太阳辐射量月平均值　/ 73
图 4.9　美国太阳能发电量年度变化　/ 74
图 4.10　美国太阳能发电量月度变化　/ 74
图 4.11　欧元区 16 国真实 GDP 指数变化与电力消费变化　/ 76

图 4.12　美国真实 GDP 指数变化与电力消费变化　/ 76
图 4.13　光伏多晶硅、WTI 石油和 HH 天然气现货价格波动　/ 81
图 4.14　德国天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 81
图 4.15　西班牙天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 82
图 4.16　意大利天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 82
图 4.17　美国天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 83
图 4.18　韩国天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 83
图 4.19　日本天然气和石油电源份额以及进口能源消费比重　/ 84
图 4.20　欧元/美元汇率波动　/ 86
图 4.21　全球多晶硅大厂商市场份额变化　/ 88
图 5.1　多晶硅五大生产厂商的产能年度变化　/ 115
图 5.2　需求冲击下空间市场的价格传导与市场互动　/ 125
图 6.1　光伏多晶硅原料市场结构性冲击的脉冲响应　/ 139
图 6.2　光伏多晶硅原料市场结构性冲击的累积效应　/ 140
图 6.3　2007—2009 年贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口价格和数量变化　/ 147
图 6.4　2007—2009 年中国光伏多晶硅原料保税仓库进口数量和价格变化　/ 148
图 7.1　2007—2012 年中国光伏多晶硅原料主要进口市场占比年度变化　/ 152
图 7.2　2007—2012 年中国光伏多晶硅原料主要进口市场占比月度变化　/ 152
图 7.3　2007—2012 年中国光伏多晶硅原料主要进口市场月度数量波动　/ 153
图 7.4　2007—2012 年中国光伏多晶硅原料主要进口市场月度价格波动　/ 154
图 7.5　2007—2010 年贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料主要进口市场的数量变化　/ 157
图 7.6　2007—2010 年贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料主要进口市场的价格变化　/ 159

表目录

表 1.1　总体研究框架　/ 8
表 3.1　晶硅与薄膜技术性能及市场占有率比较　/ 35
表 3.2　高纯多晶硅制备工艺技术参数比较　/ 38
表 3.3　国外化学法和物理法制备多晶硅的产能和产量　/ 39
表 3.4　中国化学法和物理法制备多晶硅的产能和产量　/ 39
表 3.5　2005—2011 年全球多晶硅原料供需变化　/ 53
表 4.1　全球光伏多晶硅原料生产商梯队　/ 62
表 4.2　光伏多晶硅原料国际价格形成机制的阶段性变化　/ 65
表 4.3　太阳能光伏市场应用主要政策分类　/ 78
表 4.4　各国太阳能光伏市场应用政策分类　/ 78
表 4.5　光伏六国年度太阳能安装量增速　/ 84
表 4.6　1998—2004 年七大传统多晶硅厂商产能产量与全球多晶硅供需比较　/ 89
表 4.7　2005—2011 年七大传统多晶硅厂商产能产量与全球多晶硅供需比较　/ 91
表 4.8　2001—2011 年全球太阳能级多晶硅需求变化、产能变化以及中国生产成本、产能变化　/ 92
表 5.1　光伏多晶硅原料长期合同条款　/ 97
表 5.2　光伏多晶硅原料现货和长期合同比较　/ 101
表 6.1　SVAR 模型数据序列的平稳性检验　/ 136
表 6.2　SVAR 模型数据序列的协整检验(迹检验)　/ 137
表 6.3　SVAR 模型数据序列的协整检验(特征值检验)　/ 137
表 6.4　2006—2009 年全球太阳能应用市场主要政策措施　/ 142
表 7.1　2001—2009 年全球与中国光伏多晶硅原料需求变化　/ 151

表 7.2　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料主要进口市场价格序列统计分析　/ 160
表 7.3　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口市场价格序列单位根检验(美国)　/ 165
表 7.4　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口市场价格序列单位根检验(德国)　/ 166
表 7.5　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口市场价格序列单位根检验(日本)　/ 167
表 7.6　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口市场价格序列单位根检验(韩国)　/ 167
表 7.7　中国光伏多晶硅原料四大进口市场整体价格序列对因果关系检验　/ 168
表 7.8　中国光伏多晶硅原料四大进口市场来料贸易价格序列对因果关系检验　/ 169
表 7.9　中国光伏多晶硅原料四大进口市场间一般贸易、进料贸易和非来料贸易价格序列对因果关系检验　/ 170
表 7.10　中国光伏多晶硅原料四大进口市场来料贸易价格序列对 LOP 检验　/ 172
表 7.11　中国光伏多晶硅原料四大进口市场整体价格序列对的双变量协整检验　/ 173
表 7.12　中国光伏多晶硅原料四大进口市场一般贸易与进料贸易价格序列对的双变量协整和 LOP 检验　/ 174
表 7.13　中国光伏多晶硅原料四大进口市场间一般贸易、进料贸易和来料贸易价格序列对的双变量协整检验　/ 175
表 7.14　中国光伏多晶硅原料四大进口市场间一般贸易、进料贸易和非来料贸易价格序列对的双变量 VECM 和 LOP 检验　/ 180
表 7.15　贸易方式分类的中国光伏多晶硅原料进口市场价格变化率因果关系检验　/ 184
表 7.16　中国光伏多晶硅原料进口市场间来料贸易与非来料贸易价格变化率因果关系检验　/ 185

第一章　导　论

第一节　问题的提出

21世纪以来，伴随着石化能源价格的高涨、环境保护国际共识的推进以及各国市场应用政策扶持力度的大幅度提升，作为新兴能源之一的太阳能光伏产业逐步进入全球规模化生产和应用阶段，成为各国战略性新兴产业之一。光伏发电的主要原料——高纯多晶硅原料（以下简称光伏多晶硅原料），由于在技术性能上与半导体产业多晶硅原料相近，因此是战略性新兴产业发展中重要的先导性基础材料，其相关环节也是光伏产业链上技术壁垒最高的环节，是企业确保成本竞争优势的关键所在。无论是2008年全球金融危机之前光伏市场井喷式发展阶段，还是危机之后市场需求相对疲软阶段，多晶硅原料市场的发展始终是全球光伏产业最受关注的领域。

多晶硅原料作为一种半导体材料，是光伏技术中效率最高、产业化技术最成熟的基础材料，相应的光电转换技术也是目前成本/效能优势最显著、市场应用最广的技术分类。2000年前，全球光伏产业对多晶硅原料的需求还较为有限，原料的生产技术和市场供给由欧、美、日传统七大电子级多晶硅厂商垄断。随着全球光伏应用急速增长，其对多晶硅原料的需求规模由利基市场（niche market）向规模市场转变，不仅带来产能、产量、价格和市场结构的巨大变化，也逐步改变着传统优势市场在原料供给中的竞争关系。2000—2008年，光伏多晶硅原料市场需求量增长了10倍，生产供给由利用电子级多晶硅闲置产能转变到专门生产光伏多晶硅原料的产能扩张，全球需求供给比最高达到140%（2007年），需求产能比由60%逐步接近100%警戒水平再回落到64%。这一阶段，国际市场现货均价最高达到475美元/千克，是合同均价的4.7倍，是2000年价格的32倍。同时，中国和韩国多晶硅生产企业逐步掌握生产技

术，开始冲击原有多晶硅生产厂商寡头垄断的市场竞争结构。2008 年下半年之后，尽管全球光伏多晶硅原料需求依然保持增长态势，但在国别市场政策、金融危机和传统能源市场等剧烈的负面冲击下，供需平衡发生逆转，市场竞争和价格波动更为剧烈。这一阶段，国际市场现货与合同价格陡然下降，重新回归 2000 年水平，并逐步呈现反向价差趋势。同时，中国和韩国厂商产能逆势超大规模扩张，优势企业成功晋升为全球第一梯队厂商。

国别市场在光伏多晶硅原料生产与消费中的巨大差异以及中国在光伏制造产业链环节中的独特优势，使中国成为多晶硅原料贸易中最重要的国别市场。欧、美、日市场是光伏应用和生产的主要国别/地区，但国内/地区内市场在多晶硅原料的生产供给与消费需求上存在明显差异。中国晶硅电池生产能力迅猛提升，但国内多晶硅原料供给却远滞后于生产需要，进口依存度高。由此，中国不仅成为全球市场多晶硅原料最主要的贸易中间国，也是研究多晶硅原料国际价格波动和传导的重要国别市场。中国光伏产业的迅猛发展还对德、美、日制造商的市场地位造成了严重的威胁，引发 2011 年以来欧美对华晶硅光伏产品的“双反”调查与认定。作为反击措施，中国企业向中国商务部提出对从美、欧、韩进口多晶硅的“双反”申诉，商务部多次核实并裁定美、韩企业存在倾销行为。晶硅光伏产业的“双反”贸易摩擦再次体现了研究光伏多晶硅原料国际价格波动与跨地区市场间价格传导规律的重要性，而对中国市场的研究更是探索光伏多晶硅国际价格形成机制的重要途径。

综上所述，进入 21 世纪以来全球光伏多晶硅市场经历了高速增长和剧烈波动的发展阶段，那么其国际价格体系是如何形成的，价格是如何得以确定的，国别市场互相关联是否具有差异，有哪些因素显著引起了国际和国别市场的价格波动，影响效果是否会随着时间的持续发生变化，对这些问题的学术探讨和研究不仅有助于揭示并理解光伏多晶硅原料国际市场价格形成的规律，更有助于预测作为主要新兴能源之一的光伏能源整体价格的变化趋势。

目前，国内外文献对于光伏多晶硅原料国际价格形成机制的研究成果较少，尚未能形成系统的研究分析框架。传统化石能源产品价格形成机制的探讨也不完全适用于光伏多晶硅原料。光伏多晶硅原料生产存在显著的技术壁垒，但不受地缘政治性影响；产能存在显著的短期扩张约束，但长期供给并无稀缺性限制；市场需求具有显著的政策支持性导向，还未形成强劲的内生性增长；市场供给具有全球生产网络体系支持，并不限于单一地区或国别内双方交易。这些特点的存在使得光伏多晶硅原料市场供求具有特殊性，其价格形成机制也有别于传统能源产品。

光伏多晶硅原料贸易的合同安排方式是能源和电子信息领域常见的“照付不议”长期合同与现货合同并存的合同形式。这种合同形式在电煤和天然气等传统化石能源领域应用相对广泛,主要以交易成本理论、风险分担理论和博弈理论为理论基础进行研究。针对光伏多晶硅原料合同形式的相关研究并不充分,仍然缺乏合同形式的特点与变化、合同形式与供需特性的相互关系的系统分析。光伏多晶硅原料合同安排形式对应着特定的定价方式,尽管行业和企业报告对定价和价格调整问题进行过相关报道,但多以价格波动的趋势预测为主要议题,缺乏价格形成机制的理论研究,无法有效解释市场对供需结构冲击的不同价格反应,也与事后实际价格波动偏差较大。光伏多晶硅原料跨国、跨区域贸易程度高,国际价格形成还依赖国别市场的关联程度和价格传导效率。尽管空间市场价格传导的一般性研究成果相对丰富,但同样缺少对光伏多晶硅原料国别市场贸易关系和价格传导规律的研究。

本书以全球光伏多晶硅原料市场的规模化发展为研究背景,以生产技术特性和市场供需特征为基础,通过对光伏多晶硅原料定价机理、价格波动特征和供需影响因素等内容的系统研究,探究光伏多晶硅原料国际价格形成、波动和传导的机理,揭示光伏多晶硅原料国际价格形成机制。这些研究将有助于建立光伏多晶硅原料价格体系的分析框架,将对能源领域价格理论和实证研究做出很好的补充和完善,具有重要的理论意义。这些研究也将为中国光伏多晶硅原料产业的长期发展提供理论和实证的支持,为提升中国光伏产业的国际竞争力提供发展政策和建议,为中国光伏企业更好地参与国际竞争提供决策支持和事实依据,具有重要的现实意义。

第二节 核心概念界定

一、光伏多晶硅原料

依据国际能源署光伏电力系统项目(IEA PVPS Program,2010)给出的定义,光伏多晶硅原料(PV silicon feedstock)指用于太阳能光伏发电的晶硅类原材料,是二氧化硅去氧提纯后的产品,其性质属于工业原材料。但其由于在光学、热学和力学方面的特殊性质,成为将太阳光能转变为电能的基础性材料,由此与传统电源类资源、能源商品的价格体系密切相关。