

晶硅与薄膜技术路线竞争背景下First Solar的战略选择

常浩

北京低碳清洁能源研究院, 中国·北京 102200

摘要: 在全球光伏产业于爆发增长进程中且晶硅技术处于市场主导地位的这般背景情形之下, 碲化镉薄膜光伏制造商 First Solar 实则正面临着形势严峻的技术路线方面的竞争状况。本文从技术竞争所呈现出的态势、企业为应对竞争而采取的策略以及核心外部市场环境这三个维度来进行剖析解读, 有研究指出 First Solar 借助将焦点聚集于降本的产品策略以及依托于金融服务的垂直整合业务这两种方式, 切实有效地应对了自身所存在的技术劣势问题。本案例的核心启示在于, 新兴能源技术的成功商业化, 关键在于能否构建一套超越单纯技术优势的、能深度融合并主动驾驭特定市场、金融与政策环境的系统性竞争战略。美国市场提供的贸易保护、补贴与独特金融环境, 是其战略得以施行的基础。该研究表明, 对于任何寻求突破的新兴能源技术而言, 深刻理解并巧妙利用“技术-市场-金融-政策”的互动关系, 是构建差异化竞争力、谋求生存与发展空间的决定性因素。

关键词: 晶硅与薄膜技术竞争; First Solar; 战略选择; 市场化金融补贴

Strategic choice of First Solar in the context of competition between crystalline silicon and thin film technology routes

Chang Hao

Beijing Low Carbon Clean Energy Research Institute, China Beijing 102200

Abstract: Against the backdrop of the explosive growth of the global photovoltaic industry and the dominant position of crystalline silicon technology in the market, First Solar, a manufacturer of cadmium telluride thin film photovoltaics, is actually facing severe competition in terms of technological routes. This article analyzes and interprets the situation presented by technological competition, the strategies adopted by enterprises to cope with competition, and the core external market environment from three dimensions. Some studies have pointed out that First Solar has effectively addressed its technological disadvantages by focusing on cost reducing product strategies and vertically integrating business based on financial services. The core inspiration of this case is that the successful commercialization of emerging energy technologies depends on the ability to construct a systematic competitive strategy that goes beyond simple technological advantages, deeply integrates and actively manages specific market, financial, and policy environments. The trade protection, subsidies, and unique financial environment provided by the US market are the foundation for the implementation of its strategy. This study suggests that for any emerging energy technology seeking breakthroughs, a profound understanding and clever utilization of the interactive relationship between "technology market finance policy" is a decisive factor in building differentiated competitiveness and seeking survival and development space.

Keywords: Competition between crystalline silicon and thin film technology; First Solar; Strategic choice; Market oriented financial subsidies

0 引言

在过去 20 年期间全球光伏产业历经那如同火山喷发般的爆发式增长态势, 年新增装机容量迅速逼近令人瞩目的 100GW 级规模, 而在这一充满变革与演进的过程当中, 晶硅光伏技术凭借着其持续不断的技术迭代进程以及成本优化策略, 成功占据了超过 95% 的市场份额比例, 由此稳

固地确立了其在整个光伏产业领域内的主导性地位; 然而, 技术路线的竞争结局并非仅由实验室效率或理论成本决定, 更是企业战略规划与外部市场、金融、政策环境复杂互动的综合产物。因此, 深入研究 First Solar 在主流技术碾压下的战略抉择, 其意义已超越光伏领域本身。它为理解技术路线的市场竞争机制, 以及探索其他新兴能源技术(如钙

钛矿、氢能、储能等)在面临主流技术碾压时如何实现商业化破局,具有普遍的参考与启发价值。

1 晶硅与薄膜技术路线竞争态势分析

1.1 成本、效率与可靠性三维度竞争格局

光伏组件的市场竞争核心将价格、转换效率与可靠性作为三个硬性指标聚焦之时,在 2013 年之前,碲化镉薄膜组件因当时晶硅产业链上游多晶硅料严重短缺且价格畸高所带来的显著成本优势,进而主导了性价比竞争,这种优势的根源可追溯至那一时期的供应与价格状况,其中 2008 年多晶硅料现货价格曾触及每公斤 475 美元的历史峰值,使得晶硅组件中硅料成本高达每瓦 3 美元,而同期 First Solar 的碲化镉组件制造成本在 2010 年已降至每瓦 0.8 美元,与之对应的晶硅组件平均售价却高达每瓦 1.7 美元,即便薄膜组件存在约 2% 的转换效率劣势,但也被这巨大的成本优势完全覆盖,再加上薄膜技术在特定环境下因更优的温度系数与弱光性能所带来的更高可靠性,其市场地位得以进一步巩固^[1];这一过程揭示了新兴技术在面对拥有庞大产业生态和陡峭学习曲线的“在位者”技术时所面临的共同挑战:初始的局部或阶段性优势,极易被主流技术通过规模效应和产业链协同创新所瓦解。而转折点出现在 2013 年左右,晶硅产业链在巨大市场需求与研发投入的双重驱动下,实现了全链条的技术突破,随着硅料生产工艺的改进以及新产能的释放,多晶硅价格暴跌至每公斤 10 美元的水平,硅料成本占组件成本的比重因此变得可忽略不计,同时金刚线切片技术将硅片厚度从 180 微米降至 160 微米以下,大幅减少了硅耗,使单位瓦数硅料用量从超过 6 克降至约 4 克,此外 PERC、黑硅制绒等电池技术将量产效率从 16% 提升至 19% 以上,晶硅与薄膜光伏组件成本历史对比如图 1 所示。

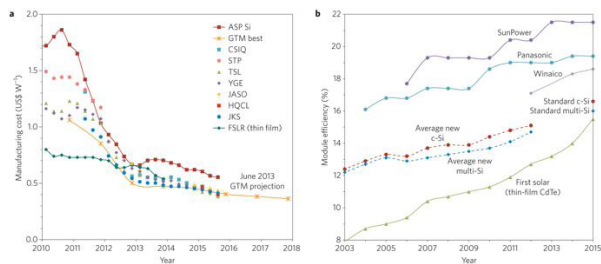


图1 晶硅与薄膜光伏组件成本历史对比图

1.2 研发投入规模与技术学习曲线的差异

研发投入的绝对规模与由此驱动的学习曲线斜率差异,是决定技术路线长期成本下降速度与金融吸引力的根本因素。First Solar 作为薄膜技术的领军者,其研发投入在光伏制造商中一直处于顶尖水平。2010 年至 2017 年间,

其年度研发投入均超过 1 亿美元,累计总额位居全球制造商之首,在最鼎盛的 2009 至 2011 年,其研发投入曾占整个光伏行业的 40%。然而,这种以单一企业对抗整个产业链的研发格局注定难以持久。学习曲线描述了产品成本随累计产量增加而系统性下降的经验规律,其数学表达式为:

$$C_t = C_0 \times (Q_t)^{-b} \quad (1)$$

式(1)中, C_t 是时间 t 为时的单位成本, C_0 是初始单位成本, Q_t 是截至时间 t 的累计产量, b 是学习率,表征成本下降的速度。更大的累计产量 Q_t 和更密集的研发投入(隐含在更高的学习率 b 中)共同驱动成本更快速地下降。截至 2017 年底,晶硅组件全球累计产量已超过 405 吉瓦,而薄膜组件累计出货量仅为 33 吉瓦。巨大的产量偏差意味着晶硅技术每新增一吉瓦产能所获得的制程优化与成本摊薄效应远强于薄膜技术。对于多数新兴技术而言,难以在研发投入和产量规模上与成熟的、分散化的主流技术产业生态正面抗衡。因此,寻求非对称的竞争路径,避免陷入单纯的成本与效率“军备竞赛”,是其生存发展的必然选择。

2 技术劣势下的企业战略选择: First Solar 的应对之策

2.1 聚焦降本的产品策略: 大尺寸化与极限成本控制

在技术参数(如转换效率)上无法直接领先时,通过优化产品形态与制造工艺,在特定的成本结构或系统应用维度上创造差异化价值。这对于其他需要在既定技术框架内寻求突破的新兴技术具有借鉴意义。面对晶硅组件凭借成本形成的碾压态势,First Solar 将推行极致的尺寸大型化以摊薄单位成本作为产品策略核心,其标志性举措是让 Series 6 组件全面取代 Series 4, Series 4 尺寸为 1200mm x 600mm、功率约 125 瓦,而 Series 6 把尺寸扩大到 2000mm x 1200mm、面积增加 333%,这一变化直接让单片组件的标称功率提升至约 430 瓦,面积扩大使得生产线单位时间内镀膜玻璃基板的产出瓦数大幅增加,进而显著降低分摊到每瓦上的设备折旧、能耗、人工与厂房成本^[2]。First Solar 宣称 Series 6 的制造成本相比 Series 4 能够降低 40%,在系统安装环节,大尺寸组件会减少支架、电缆、土地平整等平衡系统部件的单位瓦数用量, BOS 成本预期降低 10%,该公司基于自身碲化镉薄膜的技术路径,推算出理论极限制造成本为每瓦 0.23 美元,这一数字源于对碲、镉原材料成本、玻璃基板、电力消耗及设备产能等硬性参数的物理计算,为实现这一极限目标,First Solar 放弃为不同

市场开发定制化产品的路线,将全部研发与制造资源集中于单一型号的 Series 6。

2.2 基于金融与服务优势的市场与业务策略

First Solar 的市场布局以受“201 条款”关税保护的美国市场为核心根据地而呈现出鲜明的差异化特征,该关税壁垒为其产品创造了高于全球均价 40% 以上的价格空间,进而使其能够维持可观的毛利率;而在美国之外的市场,其策略并非单纯销售组件,而是凭借强大的资产负债表与项目开发能力,在印度、澳大利亚、日本等对价格相对不敏感但重视开发商资信的市场,以“组件供应+项目开发”或“整体电站交钥匙”的模式切入,其核心在于,将业务从单纯的设备制造商,转变为提供“可靠发电资产包”的解决方案服务商。通过垂直整合,它承担了从开发到运维的全链条风险,从而满足了金融机构对项目稳定性的苛刻要求,成功地将自身的技术属性(薄膜组件)嵌入到金融产品(稳定收益的电站资产)中,实现了从“卖产品”到“卖服务与信用”的跃迁。这为那些产品本身难以在公开市场进行简单比价的新兴技术,提供了一种可行的价值实现路径。

2.3 市场化金融补贴政策的影响与利用

美国的新能源支持体系以市场化的投资税收抵免为核心,而非直接的财政补贴。投资税收抵免政策允许电站投资者在项目投产当年,抵减其联邦所得税应税基,抵免比例一度高达 30%。这套机制催生了独特的“税务股权”融资模式。由于项目开发商自身往往没有足够大的应税收入来充分利用 ITC,它们会引入大型金融机构作为税务投资人,共同成立项目公司。税务投资人提供大部分资本,换取项目的股权和 ITC 带来的抵税权益,数年后,开发商再溢价回购股权。这种结构将项目杠杆率从传统的 70% 债务提升至 90% 以上,且债务部分利率可低至 3%^[1]。然而,税务股权结构异常复杂,对项目资产的可靠性、开发商的全链条把控能力、以及法律合规性要求极高,实质上构筑了很高的金融壁垒。First Solar 的垂直整合模式完美契合了这一体系的需求。其提供的不仅是组件,而是一个有确定发电量担保、有长期运维保障的完整发电资产包,这极大降低了税务投资人所面临的技术与运营风险。First Solar 自身强大的信用评级使其能够为项目提供背对背融资,或直接作为共同投资方参与项目。它实际上扮演了将复杂税务补贴政策转化为稳定金融产品的“通道”角色。理解并设计与特定金融工具和政策架构相匹配的商业模式,是新兴技术获取竞争优势的高阶策略。

3 核心外部支撑: 美国市场特殊环境的再审视

美国市场为 First Solar 提供的首要保护是强力的贸易壁垒,2018 年生效的“201 条款”对进口光伏组件征收了 30% 的关税,并在第四年降至 15%。关税生效后,进口晶硅组件在美国市场的售价被抬高至每瓦 0.45-0.5 美元,而同期全球市场的平均价格仅为每瓦 0.3 美元左右,美国市场溢价超过 40%。对于成本处于劣势的 First Solar 碲化镉组件,这等同于为其创造了一个免受全球低成本晶硅产品直接冲击的“价格保护区”,使其 Series 6 组件能够以与进口税后晶硅组件相当甚至略高的价格进行销售,从而保障了可观的毛利空间。除了贸易保护,来自联邦与州政府的多重直接补贴构成了关键现金流支持^[4]。2009 年《美国复苏与再投资法案》曾为其提供高达 4.5 亿美元的低息贷款担保,用于建设其俄亥俄州的工厂。更为重要的是,该法案允许可再生能源项目申请高达投资额 30% 的现金补助,以替代投资税收抵免,这在其电站开发业务早期提供了宝贵的即期现金。地缘政治、贸易政策和地方性产业扶持政策,能够为处于技术追赶阶段的新兴企业提供至关重要的战略缓冲期和发展空间。寻找并利用这类“局部优势市场”,是新兴技术实现初期积累的关键。

4 结语

本文在对晶硅和薄膜这两种技术路线所形成的竞争格局展开剖析的基础上,结合对 First Solar 这家企业在面临成本劣势局面时所采取的产品聚焦策略、垂直整合策略以及金融化市场策略的深入研究,进而揭示出其能够实现生存与发展的核心要素并非是某一种单一技术路线取得了胜利,而是得益于一套与美国特有的市场环境深度契合的组合战略;该案例所具备的实际意义在于,它为所有正面临主流技术碾压的新兴能源技术厂商提供了一个关键的战略制定视角,即企业的竞争战略必须超越单纯的技术研发范畴,要将外部的政策环境、金融市场机制与内部的技术路线进行系统性的耦合;First Solar 的发展历程充分表明,在能源转型这场激烈的竞争当中,深刻理解并且能够驾驭“技术-金融-政策”之间的三角互动关系,是新兴技术实现商业化破局以及构建可持续竞争力的决定性因素所在。

参考文献:

- [1] 叶彦超,叶佩涵,刘兴翀. DMSO 熏蒸处理 PbI₂ 薄膜制备高效钙钛矿/晶硅太阳能电池[J]. 化工设计通讯, 2025,51(12):1-3.
- [2] 张昕宇,郭开元. 本征氢化非晶硅薄膜的 PECVD

沉积机制[J]. 当代化工研究, 2025,(18):166-168.

[3] 刘民, 付刘成, 乌李瑛等. LNOI 沉积非晶硅薄膜起泡问题研究[J/OL]. 真空, 1-10[2026-03-23].

[4] 赵孟钢, 郝培远, 袁程等. 太阳电池的 Poly-Si 薄

膜厚度测试研究[J]. 太阳能, 2025,(06):67-75.

作者简介: 常浩 (1981.06-), 男, 回族, 北京, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 新型电力系统、能源经济、创新管理等。