

## 太阳能热发电产业发展障碍分析\*

杜凤丽<sup>1†</sup>, 胡润青<sup>2</sup>, 朱敦志<sup>3</sup>, 孙培军<sup>2</sup>

(1. 中国科学院太阳能热利用及光伏系统重点实验室, 北京 100190; 2. 国家可再生能源中心, 北京 100038;  
3. 北京市太阳能研究所有限公司, 北京 100012)

**摘要:** 太阳能热发电是将太阳能转化为热能, 通过热功转化过程发电的技术。目前商业化的太阳能热发电项目在全球逐步推进。然而我国的太阳能热发电处于产业化起步阶段, 相关产业链上的产品还处于试制和产业化的前期阶段, 关键技术产品仍需要进一步验证。我国太阳能直射辐射资源的调查体系, 不能满足日益发展的太阳能资源开发利用需求, 同时也缺乏电站整体系统设计、系统集成、建设以及运营的能力和 experience。太阳能热发电相关检测体系、标准体系还是空白, 无法验证我国生产的产品的性能和可靠性。为了推动太阳能热发电的产业建设和发展, 需要政策层面上重点鼓励、支持太阳能热发电的技术研发, 示范工程的建设, 以此带动市场规模的扩大。

**关键词:** 太阳能热发电; 发展障碍; 公共服务平台; 政策

中图分类号: TK514

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095-560X.2013.03.002

## Industrial Development Obstacles of Solar Thermal Power

DU Feng-li<sup>1</sup>, HU Run-qing<sup>2</sup>, ZHU Dun-zhi<sup>3</sup>, SUN Pei-jun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Solar Thermal Energy and Photovoltaic Systems, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
2. China National Renewable Energy Centre, Beijing 100038, China;  
3. Beijing Sunda Solar Energy Technology Co., Ltd, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Concentrated solar power (CSP) is a technology that converting the sunlight into thermal energy, and using the produced heat to drive a heat engine (usually a steam turbine) to generate electrical power. CSP is being widely commercialized and expected to continue growing at a fast pace. However, China's CSP development is now in the early stages of industrialization, related products on the value chain are still in the trial and the key technologies still need further validation. China's solar resources of direct radiation survey system cannot meet the growing demand for wider solar energy development and utilization. Meanwhile, China is also lack of capacity and experience in power plants design, system integration, construction and operation. As the relevant test system and standard system are still blank, we are unable to verify the performance and reliability of Chinese products. In order to promote the industrialization development of CSP, it requires the policy level to encourage and support research and development of solar thermal power technology, construction of demonstration projects so as to stimulate the expansion of the CSP market.

**Key words:** concentrated solar power; industrial development obstacles; public service platform; policy

## 0 前言

太阳能热发电是通过“光-热-功”的转化过程实现发电的一种技术形式, 其在原理上和传统的化石燃料电站类似。二者最大的区别在于输入的能源不同, 太阳能热发电采用的是太阳能: 聚光器将低密度的太阳能转换成高密度的能量, 经由传热介质将太阳能转化为热能, 通过热力循环做功实现到电能的转换<sup>[1]</sup>。和其它包括风力发电和太阳能光伏发电

电在内的可再生能源发电技术相比, 太阳能热发电具有以下优点:

(1) 发电功率相对平稳可控。太阳能资源具有间歇性和不稳定性特点, 从而确保稳定的发电功率。太阳能资源具有间歇性和不稳定性特点, 天气的变化会引起以太阳能资源作为输入能源的发电系统发电出力大幅波动, 这对电力系统实时平衡和稳定安全运行带来了挑战。太阳能热发电系统配置技术上相对成熟的、成本相对低廉的、大容量储热

\* 收稿日期: 2013-11-14 修订日期: 2013-12-04  
基金项目: 国家能源局委托课题“太阳能热发电产业政策研究”  
† 通信作者: 杜凤丽, E-mail: du.fengli@mail.iese.ac.cn

装置，在日照强烈但电力需求较低时，系统可将多余的热量储存起来，避免发电出力超出电网需求；在云层遮日甚至夜间的时候，可及时利用储热装置中积蓄的热量，向动力发电设备进行热量补充。向电网供应稳定的、灵活的电力是太阳能热发电最大的优点。西班牙 Gemasolar 太阳能热发电站在投入运行的第一年就实现了连续 36 天不间断发电，其年满负荷运行小时数约为 6500 h，是其它可再生能源电站的 1.5 倍。

(2) 可与常规热力循环系统联合运行。太阳能热发电系统采用汽轮机、燃气轮机等常规热功转化设备驱动发电机发电，这易于与燃煤、天然气及生物质发电系统等进行联合热力循环运行，最大程度地节约化石燃料的消耗。国外已建立了多处太阳能/燃气联合循环电站。

(3) 可进行热电并供。太阳能热发电站的余热可用于电站附近建筑物的采暖或制冷，不仅进一步增加了其经济性，也可以提高能源利用效率，实现能量的梯级利用。

国际能源署 (IEA) 在 2010 年 5 月发布的《太阳能热发电技术路线图》(Technology Roadmaps Concentrating Solar Power) 中提到，在适度的政策支持下，预计到 2050 年，全球太阳能热发电累计装机容量将达到 1089 GW，平均容量因子实现 50% (发电小时数为 4380 h/a)，年发电量 4770 TW h，占全球电力生产的 11.3% (9.6% 来自于纯太阳能)。其中，中国太阳能热发电电力生产将占全球的 4%，年发电量约 190 TW h。在太阳能资源非常好的地区，太阳能热发电有望成为具有竞争力的大容量电源，到 2020 年承担调峰和中间电力负荷，2025 ~ 2030 年以后承担基础负荷电力。

据国内专家估算，我国太阳能热发电发电潜力为 42000 TW h/a。这意味着，即便在所有的化石能源枯竭之后，中国仍然有着远大于自给自足的丰富稳定的太阳能热发电能源。

调整产业结构是我国经济发展的战略决策，战略性新兴产业发展将进一步加快。太阳能热发电已经被国家相关部门明确列为重点和优先发展方向。太阳能热发电产业由于产业链长，在发展过程中可拉动钢材、铝材、玻璃、水泥、矿料、电料、耐火、保温、机电、机械、电子等十几个行业产业的发展，必将成为未来经济发展的新支点。

目前国际上太阳能热发电产业已经开始进入商

业化阶段，而我国的太阳能热发电技术仍属于实验和示范阶段；但同时国外的技术已经开始涌进中国市场。在我国的太阳能热发电产业还处于雏形，外国技术还未大肆进入的时期，着手建设我国的太阳能热发电产业支撑体系建设尤为重要，因为支撑体系是太阳能热发电技术发展和产业化推进的基础，其建设将会避免核心技术依赖国外，从而确保我国太阳能热发电产业的安全。太阳能热发电产业支撑体系应包括太阳能资源基础数据、产品中试及性能检测平台、产品认证体系等 3 个部分。太阳能资源基础数据是客观准确地评估太阳能热发电潜力以及工程应用的基础。产品中试及性能检测平台是一个可以完整地反映和呈现出太阳能热发电的各个要素和过程的公共服务平台，可以为太阳能热发电核心材料技术、单元技术、集成和运维技术提供中试及性能检测。产品认证体系是在我国建立认证标准、树立架构，并对太阳能热发电特有的技术产品进行质量控制。和技术产品研发和样机示范相比，我国太阳能热发电产业支撑体系几乎为空白。

## 1 技术障碍

### 1.1 系统集成技术缺乏

太阳能热发电站涉及太阳能集热、常规发电、传热蓄热等多种系统集成，集合光学、热学、材料及机械等多个技术领域，既不同于传统的电力生产，又不同于单纯的太阳能应用，需要跨学科、跨领域的系统集成技术，尤其需要系统的集成经验。我国目前还没有建成商业化的示范电站，仅仅有几个研究试验电站刚刚运行，还不具备电站整体系统设计能力，太阳能热发电站系统模拟及仿真技术刚刚起步，缺乏电站整体建设、运营的经验 and 能力。即使是国外的成熟技术和经验，在我国特殊的气候条件和运行环境下是否适合也需要研究和验证。例如，目前世界上主流的太阳能热发电站多建于少风或无风地区，且环境温度较高，而我国适合建设太阳能热发电站的地区往往多风，甚至有频繁的沙尘暴，因此我国进行槽式电站建设就不能简单照搬国外的技术和经验，而应根据国内条件增强集热系统抗风沙能力。

### 1.2 关键技术产品有待突破

我国太阳能热发电处于产业化起步阶段，产业链上的核心技术产品仍需要进一步试验验证。具体

包括：高强度曲面反射镜、聚光器、聚光场控制装置、聚光器用减速机、聚光器用控制器、抛物面槽式吸热管、塔式吸热器、与金属封接用玻璃管材、低热损流体传输管、吸气剂、线性菲涅耳吸热器、350℃以上高温传热流体、储热材料和系统、油盐换热器、熔融盐泵、蒸汽发生器、滑参数汽轮机、斯特林发电机、有机郎肯循环发电设备、高聚焦比太阳炉。此外，太阳能热发电场相关系统与服务技术也需要进一步完善，包括聚光器组装施工方法和规范，聚光器坐标定位配套技术，大容量储热系统设计施工方法和规范，太阳能热发电站设计、施工、运行和维护规范，电站全套控制系统，风力和太阳辐射短时预报系统，太阳能热发电站仿真机，聚光器精度测量分析仪，能流密度测量分析仪，金属玻璃封接在线应力检测系统，集热管性能和寿命评价方法及测试台，吸热材料及器件性能和寿命评价方法以及测试台，吸热器寿命评价方法，上网电量预报系统，高温导热油和熔融盐管内防冻及快速解冻规范，太阳能热发电站设计方法，热电联供太阳能热发电站规范等。

## 2 公共服务体系障碍

### 2.1 太阳能直射资源基础数据不足

和光伏发电有所不同，太阳能热发电主要利用太阳总辐射中的直接辐射（direct radiation, beam radiation, direct normal radiation）。直接辐射是太阳直接发出而没有被大气散射改变投射方向的太阳辐射，通常在法向入射情况下测定<sup>[2]</sup>。客观准确的太阳直射辐射资源评估是开发利用太阳能热发电技术的关键。

美国开发了较为精确的太阳能直射资源评估系统软件，可以输出空间分辨率达 1 km 和时间分辨率达 1 h 的太阳法向直射辐射图。例如，美国 NASA SSE 6.0（NASA 2008）数据库中收集了全球范围内分辨率在 100 km 左右的 22 年期太阳法向直射辐射数据，通过采用数值模拟的方法可以给出任意地区的高分辨率太阳能资源分布，该数据被认为是可以进行全球范围层面太阳能热发电潜力的评估。德国宇航中心（DLR）根据美国 NASA SSE 6.0 的法向直射辐射数据集绘制了全球太阳法向直射辐射图。

我国目前还没有全国范围内直射辐射累积数据，主要原因是我国日射观测站稀少，且水平分布

不均匀。我国国家级的业务地面辐射观测站现有 98 个，主要是为农业气候资源区划和农业气象服务设置的，按照观测项目分为三个等级，其中一级站 17 个，观测项目为总辐射、直接辐射、散射辐射、反射辐射和净辐射；二级站 33 个，观测项目为总辐射和净辐射；三级站 48 个，只观测总辐射。从空间分布来看，辐射台站在东部较密而西部较疏，105°E 以西地区（约占国土面积的 1/2）仅有 36 个，105°E 以东地区则有 62 个。利用现有 98 个辐射观测站的总辐射资料可以反映出我国水平面太阳能资源的宏观特征，但 17 个直接辐射站的观测资料过于稀疏，只能反映其所在地的时间变化特征，无法给出我国直接辐射的空间分布规律，同时也无法满足工程应用中关于“直散分离”的要求，这远远不能满足太阳能热发电开发利用的工程需要。

此外，在我国当前所有的业务辐射观测站上所采用的仪器均为国产，其精确度方面存在一定问题，主要表现为：①直接辐射的太阳跟踪装置存在问题，常出现缺测、误测等现象，由于跟踪问题，有的观测站只能用理论计算值代替，使观测结果不具备客观性；②散射辐射的测量是在总辐射表上附加一个遮光环，测量值用遮光环订正系数进行修正，该遮光系数是通过实验，把天空散射作为均匀分布推算出来的，而且以一句为一个修正系数，误差较大。

### 2.2 性能检测平台尚不完善

#### 2.2.1 PSA

PSA（Plataforma Solar de Almería，阿尔梅里亚太阳能实验平台）是被欧盟委员会认定的“欧洲大规模研究实验平台”，位于西班牙东南部的塔韦纳斯沙漠，由 1981 年的“小型太阳能热发电项目”逐步演变而来，现由西班牙国家能源、环境及技术研究中心（CIEMAT）和德国宇航中心（DLR）等单位联合运行。

PSA 主要包括以下实验设施：

•7 MWt CESA-1 塔式系统：1983 年由西班牙工业和能源部资助建设，用于示范塔式电站的可行性，并发展相关关键技术。目前，该设施不再发电，而用于各种部件和子系统的测试，如定日镜、吸热器、蓄热、太阳能化的燃气轮机、控制系统及高密度能流辐射测量；

•2.7 MWt SSPS-CRS 塔式系统：该系统在 1981 年作为国际能源署 SSPS（小型太阳能热发电系统）项目的一部分而兴建，起初是示范电站，目前主要用于 200 kWt ~ 350 kWt 的小型吸热器的测试。此

外, 2003 年翻新后的定日镜采用完全自主智能的控制系统, 镜场通讯采用无线电;

- 1.2 MWt SSPS-DCS 槽式集热器系统: 实际运行工况下, 测试聚光器、吸热管、跟踪系统等;

- 1.8 MWt DISS 测试回路: 用于两相流和直接蒸汽发生的实验研究;

- 高温传热流体测试回路: 进行新型槽式集热器部件的评价;

- 线性菲涅耳技术回路: 测试线性菲涅耳技术;

- 槽式集热器系统: 实际运行工况下, 新的传热

流体性能测试;

- 6 个碟式/斯特林设施: 对不同类型的聚光碟进行性能测试;

- 60 kWt 的太阳炉: 用于热材料处理

太阳能热化学设施: 包括一个双轴跟踪的槽式回路和三个 CPC (复合抛物面聚光器) 光反应器;

- 气象站: 是地面基准辐射观测网络站的一部分;

- 太阳能海水淡化系统: 将太阳能集热器用于海水淡化研究;

- 建筑部件能量测试实验室(LECE)。



图1 PSA 鸟瞰图

Fig. 1 Aerial view of PSA

作为一个国家级、甚至世界级的太阳能热发电实验平台, PSA 具备各种先进的科研实验设备设施, 在进行太阳能热发电技术的评估、示范、市场转型、商业化等方面起到了至关重要的作用。上述 36 天每天 24 h 连续发电的 GemaSolar 电站就曾在 PSA 对其 120 m<sup>2</sup> 定日镜和熔融盐吸热器进行了长达几年的测试。我国部分厂商的太阳能热发电产品也都在 PSA 进行了检测认证。

### 2.2.2 八达岭太阳能热发电试验基地

太阳能热发电在我国还处在起步阶段, 产业公共服务体系的能力很薄弱。在对太阳能热发电产业发展前景的正面预期下, 我国企业和科研机构纷纷搭建了各类太阳能热发电实验/示范系统, 进行不同产品的验证试验。据不完全统计, 我国已经搭建的太阳能高温集热系统约 25 个, 最大容量 10 MW,

主要位于新疆、青海、内蒙、甘肃、北京、河北、江苏、广东、海南、山东、陕西、宁夏、上海等地。但现阶段可从事产品野外中试级实验, 设计人员、集成人员和操作人员基本培训等功能较为齐全的平台只有中国科学院电工研究所八达岭太阳能热发电试验基地, 该基地依托科技部“十一五”863 重点项目“太阳能热发电技术及系统示范”建设, 并在逐步完善。与此同时, 其他一些太阳能热发电实验基地也正在建设中。

八达岭太阳能热发电试验基地内主要设施包括:

- 1 MWe 塔式太阳能热发电电站: 可进行纯太阳能热发电实验, 太阳能与燃油锅炉混合运行实验;

- 10 kWt 碟式聚光系统: 用于空气吸热器热性能测试, 高聚光比吸热器测试;

- 100 kWt 槽式集热器系统：可对槽式关键部件的热性能、寿命，以及集热器的性能进行测试；

- 20 kWt 太阳炉：吸热材料研究测试；

- 气象站：地面基准辐射观测；

- 定日镜性能测试仪：测量及评价定日镜光学及力学性能，定日镜在不同风况条件下的跟踪精度和聚光精度，测量精度好于 1 mrad，并可进行风载条件下的力学分析（转矩、偏距、应变）等；

- 槽式反射镜表面曲率在线测试仪：测量野外工作条件下槽式聚光器的面型精度，可测量 12 m 长，10 m 开口槽式的面型精度；

- 能流密度测量仪：测量高能流密度（ $10^2 \sim 10^6 \text{ W/m}^2$ ）聚光器的聚光能流密度；

- 熔融盐吸热器热工水力学实验台：温度 560℃，能流密度 1 MW/m<sup>2</sup>；

- 风洞：尺寸 2.5 m × 3 m × 60 m，风速 186 km/h；

- 材料老化性能测试台：包括盐雾、淋水、紫外、高低温交变等。

“十二五”期间，基地还将建成：1）一座完整的 MW 级槽式太阳能热发电站，可进行纯太阳能热发电实验，太阳能与燃油锅炉混合运行实验，以及进行槽塔联合运行实验等；2）1 MWt 的熔融盐吸热、储热、蒸汽发生回路；3）气象站：太阳辐射临近预报模式及预警系统研究等。

然而，电站设计、集成和运行是目前我国太阳能热发电技术工程化阶段的重要瓶颈。我国急需将科研成果和工程化要素结合，并且在一个具备工程转换功能的平台上进行工程化实践。这个太阳能热发电公共中试服务平台应该具备：1）带有聚光、吸热、储热、辅助燃料锅炉、发电辅机和发电等所有单元；2）具有塔式、槽式等典型太阳能集热系统；3）各个单元均可更换，系统运行参数可以调整；4）具备我国西部的环境特点，例如大风、沙尘、严寒等；5）可提供人员培训；6）具有电站仿真机等。

这个平台可为工程设计人员提供可以运行的系统，改变工况，在冬季和夏季等典型气象条件下运行系统，查验系统性能表现是否与设计吻合的可能性。给调试人员和设计人员提供一个可以实际操作并观察各种参数变化的可能性，使得设计思路可以在过程运行中得到验证。例如，冬季系统启动的运行顺序和控制逻辑，导热油为传热流体系统的冬季防冻、解冻和抗冻方法等，冬季夜间防凝循环方法和设备等。

## 2.3 太阳能热发电标准认证体系空白

### 2.3.1 国外太阳能热利用技术标准化概况

#### 1) 国际标准化组织

世界上最大、最权威的国际标准化专门机构是国际标准化组织（简称 ISO），ISO 下设技术委员会（TC），TC 下设分技术委员会（SC）或工作组（WG），每一个 TC 负责一个专业方向的技术标准制定工作。太阳能热利用的国际标准主要由 TC180 技术委员会（太阳能技术委员会）负责制定。ISO/TC180 成立于 1980 年，主要从事太阳与太阳能在供暖、制冷、工业过程供暖和空调等方面应用相关的国际标准的制定工作。TC180 下设 2 个工作组，分别为：WG1 负责术语和名词；WG2 负责原材料方面的标准化工作。另设 3 个标委会，分别为：SC1 负责气候条件测试和数据整理；SC4 负责系统热性能，可靠性和耐久性；SC5 负责集热器和其它系统部件方面的标准化工作。

目前 TC180 共计发布了 16 项太阳能热利用相关国际标准，但没有与太阳能热发电相关的标准。

#### 2) 国际电工委员会

国际电工委员会（IEC，International Electrotechnical Commission）是世界上成立最早的一个国际标准化组织，是联合国社会经济理事会的甲级咨询机构。IEC 的任务覆盖了包括电子、电磁、电工、电信、能源生产和分配等所有电工技术的标准化，也制定一些如术语和图形符号、可靠性、安全和环境等通用基础方面的国际标准。

IEC 标准的权威性是世界公认的，IEC 每年要在世界各地召开一百多次国际标准会议，世界各国近 10 万名专家在参与 IEC 的标准制订、修订工作。

IEC 中负责太阳能的标委会是 TC82。但 TC82 主要负责制定太阳能光伏发电方面的标准制定。目前在 IEC 中尚未有专门针对太阳能热发电的标准化技术委员会。

#### 3) 欧洲标准化委员会

欧洲标准化委员会（CEN）成立于 1961 年。CEN 的职责是帮助各国消除技术屏障，使欧洲工业在自由贸易中获益。同时，该委员会又以建立欧洲通用标准为己任，在标准化的进程中提高产品的安全性和质量，并降低产品价格，使消费者和制造商双方共同获益，在通用的欧洲标准的指导下，产品能以更低的成本进入更广阔的市场。欧洲标准化委员会下设 336 个技术委员会，其中涉及太阳能利用的委

员会有 CEN/TC 312 “太阳能热系统与部件” 技术委员会。据了解, CEN 中尚没有专门针对太阳能热发电的技术委员会。

#### 4) 美国国家标准协会

表 1 ANSI 有关太阳能热发电相关标准  
Table 1 ANSI relevant standards about CSP

序号	标准号	标准名称
1	ANSI/ASTM E903-1996	利用综合球进行材料的太阳能吸收、反射和传输的试验方法

美国国家标准协会 (American National Standards Institute, ANSI) 是美国非营利性民间标准化团体, 自愿性标准体系的协调中心。ANSI 制定的有关太阳能热发电相关的标准只有一项, 见表 1。

美国负责太阳能热利用技术标准化的机构是美国测试和材料学会的 E44 标准化技术委员会 (ASTM/E44), 该委员会成立于 1978 年。ASTM 制定了 29 项有关太阳能热利用的标准, 但还没有关于太阳能热发电的标准。

表 2 ASTM 制定的有关太阳能热利用相关标准  
Table 2 Relevant standards about solar thermal application enacted by ASTM

序号	标准号	标准名称
1	ASTM E 1175-1987	用大直径积分球测定材料的太阳能或光反射性, 透明性和吸收性的试验方法
2	ASTM E 712-1980	太阳能加热和制冷系统中贮存液体用金属容器材料的实验室遮蔽
3	ASTM D 3832-1979	太阳能系统中同液体接触的橡胶密封件规格
4	ASTM E 904-1987	太阳能收集器用全天热性能数据的形成
5	ASTM E 1089-1986	均匀静气压差下平板太阳能收集器透水性的标准实验方法
6	ASTM E 745-1980	太阳能加热和制冷系统中用传热液体的金属容器材料的磨蚀模拟维护试验
7	ASTM E 823-1981	太阳能收集器非操作暴露和检验
8	ASTM E 905-1987	追踪强化太阳能收集器热性能的试验方法
9	ASTM D 3952-1987	太阳能系统用橡胶软管
10	ASTM 3 822-1992	用发射冰球法测定太阳能手机齐覆盖材料对冰雹冲击抗力的标准实施规程
11	ASTM E 781-1986	暴露在有盖板的太阳能收集器中模拟滞流的条件下太阳能存储器材料的吸收性评定
12	ASTM E 424-1971	薄板材料的太阳能传播和反射的试验方法
13	ASTM E 971-1988	材料对太阳能辐射的光度透射比及反射比计算的标准实施规程
14	ASTM E 881-1992	在模拟滞留模式下暴露于自然气候下的太阳能收集器挡盖材料的标准实施规程
15	ASTM E 782-1995	在模拟操作模式下暴露于自然气候中的太阳能收集器覆盖材料的标准实施规程
16	ASTM E 782-1995	在模拟操作模式下暴露于自然气候中的太阳能收集器覆盖材料的标准实施规程
17	ASTM E 861-1994	太阳能收集器用绝热材料评定的标准实施规程
18	ASTM E 972-1996	用阳光对薄板材料的太阳能光度透射比的测试方法
19	ASTM E 490a-2000	标准太阳能常数和气团起始阳光能光谱辐照表
20	ASTM D 3771-2003	聚集性太阳能加热器用橡胶密封件的标准规范
21	ASTM D 3903-2003	太阳能系统的热空气传递用橡胶密封件的标准规范
22	ASTM E 772-2005	有关太阳能转换的标准术语
23	ASTM E 824-2005	基准场地辐射计校准转移的标准试验方法
24	ASTM E 816-2005	日射强度计与基准日射强度计进行比较校准的标准试验方法
25	ASTM D 3667-2005	平板太阳能集热器用橡胶密封件的标注规范
26	ASTM E 744-2007	加热设备用太阳能吸收材料评定的标准实施规程
27	ASTM G 173-2003	参考太阳光谱辐照度的标准表: 37 斜面上直接垂直和半球状
28	ASTM G 183-2005	野外用日射强度计、太阳热量计和 UV 辐射计标准规程
29	ASTM G 177-2003	太阳紫外线光谱分布参考标准表: 37 度倾斜表面上的半球形分布

表 3 DIN 制定的有关太阳能热利用相关标准  
Table 3 Relevant standards about solar thermal application enacted by DIN

序号	标准号	标准名称
1	DIN EN 61725-1998	每日太阳轮廓的分析表示
2	DIN EN ISO 9488-2001	太阳能. 词汇
3	DIN EN 12976-1-2006	太阳供热系统和部件. 工厂制造系统. 第 1 部分: 一般要求
4	DIN EN 12976-2-2006	太阳能系统和部件. 工厂制造系统. 第 2 部分: 试验方法
5	DIN EN 12975-1-2006	太阳能系统和部件. 集热器. 第 1 部分: 一般要求
6	DIN EN 12975-2-2006	太阳能系统和部件. 太阳能集热器. 第 2 部分: 试验方法
7	DIN IEC 60721-2-4-1990	电气工程. 环境条件分类. 第 2 部分: 自然环境条件. 第 4 节: 太阳辐射和温度
8	DIN EN 60068-2-5-2000	环境试验. 第 2 部分: 试验. 试验 Sa: 模拟地面太阳辐射
9	DIN EN 60068-2-9-2000	环境试验. 第 2 部分: 试验. 太阳辐射试验指南

### 5) 德国标准化学会

德国标准化学会 (Deutsches Institut für Normung, DIN) 是德国的标准化主管机关, 作为德国全国性标准化机构, 是德国最大的具广泛代表性的公益性标准化民间机构。DIN 制定的有关太阳能热利用标准见表 3。从中可见, 还没有关于太阳能热发电的标准。

此外, 英国标准学会 (British Standards Institution, BSI) 和法国标准化协会 (Association Française de Normalisation, AFNOR) 也都没有制定关于太阳能热发电的标准。

### 2.3.2 我国太阳能热发电标准建立

目前国际范围内尚未全面开展对太阳能热发电标准的研究, 缺乏系统的完善的太阳能热发电系统

标准体系。这样就更加凸显了我国开展太阳能热发电系统标准和标准体系研究的重要意义和超前性; 但从另一方面看, 由于没有现成的国外标准可以借鉴, 工作难度很大。

我国太阳能热利用的国内标准主要由国家标准委员会下的 TC402 (全国太阳能标准化技术委员会) 和 TC20/SC06 (全国能源基础与管理标准化技术委员会新能源和可再生能源分析标准委员会) 共同负责。

TC402 在 2011 年制定了一项关于太阳能热发电的标准, 即《聚光型太阳能热发电术语》GB/T 26972-2011, 并与 2012 年 8 月 1 日颁布实施。从前所述, 亦可看到这也是国际上至今为止的第一部国家级太阳能热发电技术标准。

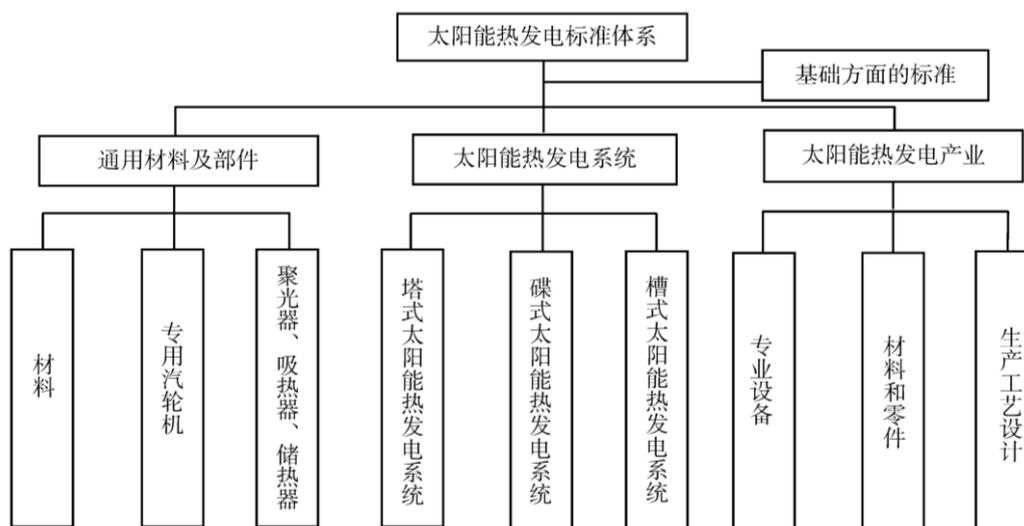


图 2 太阳能热发电技术标准体系总框架图

Fig. 2 Overall Framework Chart of CSP standards system

### 1) 太阳能热发电标准体系的组成

根据太阳能热发电系统的基本分类和相关产业链的布局情况,我国已经设计了太阳能热发电技术标准体系总框架(如图2),共包括4个标准子体系,即:基础方面的标准、太阳能热发电通用材料及部件方面的标准、太阳能热发电系统方面的标准和太阳能热发电产业化方面的标准。值得说明的是,图2中所列的太阳能热发电技术标准体系框架中所列标准均留有扩展空间,有待进一步的研究和完善。

基础方面的标准主要包括:相关产品型号命名、术语、符号、分类、基础测量等方面的国家标准和行业标准。这是整个标准体系的基础;

太阳能热发电通用材料及部件方面的标准主要包括:太阳辐射反射材料、高温传热工质、吸热材料、储热材料、粘接剂、耐高温密封材料等;聚光器、定日镜、吸热器、储热器、蒸汽发生器、汽轮机、高温流体输运管道及其他常规组件等各种通用材料、单体及组件性能、鉴定、环境试验、质量保证和质量评估等;

太阳能热发电系统方面的标准主要包含:碟式

太阳能热发电系统、塔式太阳能热发电系统和槽式太阳能热发电系统等相关的国家标准和行业标准。标准给出系统和装置的设计、结构和维护方面的一般性指导以及并网系统接入要求等;

太阳能热发电产业方面的标准主要包括:用于太阳能热发电产业的专业设备(生产设备和检测设备)以及专用材料与零件等方面的标准。

## 3 政策障碍

### 3.1 工程化技术阶段研究支持缺失

我国太阳能热发电技术研发支持政策现状如图3所示,我国在太阳能热发电的技术研发和示范主要是科技部通过国家自然科学基金、“863”计划和“973”计划等重点课题进行政策支持,其他部门对太阳能热发电技术研发和示范的支持力度相对于风电、太阳能光伏等可再生能源薄弱许多。我国对太阳能热发电技术研发的支持还远未渗透到集成技术方面,包括系统设计、运行技术、系统维护技术等。近期国家发改委等部门逐渐开始对太阳能热发电的产业化技术研发和示范项目进行支持,但力度较小。

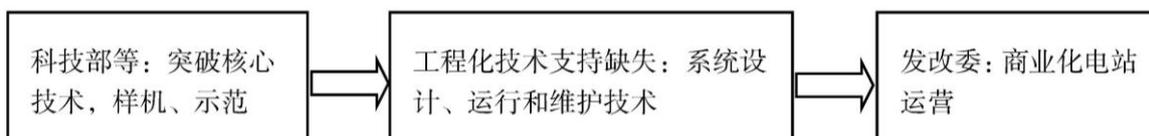


图3 我国太阳能热发电技术研发支持政策现状

Fig. 3 Status quo of China's support policy on CSP technology research and development

工程化技术研发支持的缺失,使得我国在太阳能热发电工程化技术方面严重匮乏。目前没有设计院具备设计太阳能热发电站的实力,一方面,已经建成的研究系统和设备的经验得不到有效的总结,无法支撑国内的电站建设,尤其是无法实施对用户方便的设计、采购、施工(简称EPC);另一方面,我国的电站投资人向国外支付高额的咨询费以完成低风险的设计。太阳能热发电工程化技术是我国完整掌握太阳能热发电相关技术的重要一环。

### 3.2 投资经营政策环境不明朗

投资,特别是国际间的投资的效果,与投资地点客观条件的好坏直接相关。目前我国的太阳能热发电投资环境条件的最大问题就是电价政策不明朗。我国可再生能源电力市场的定价体系与其他传统行业,如火电、石油、核电等相比还没有成熟,更是没有出台明确的太阳能热发电的价格体系或支持

政策。明确的太阳能热发电政策以及政策的连续性对投资人是非常重要的参考。明确的长期政策会对抑制我国惯常出现的产能过剩起到一定效果。

目前我国在太阳能热发电电站项目开发环节没有针对性的政策,只是举行了国家层面的太阳能热发电电站项目的特许权招标,但项目进展缓慢,国内还没有形成太阳能热发电项目投资运营的政策环境,电站项目开发没有上网电价,也没有相应的财税激励政策,项目的收益情况无法评估,因此项目的投融资条件还不具备。

### 3.3 电网规划与电站规模规划不协调

电网接入是目前大规模可再生能源发电遇到的瓶颈。太阳能热发电的储热和连续发电特性使得其可成为调峰电站,这样在电网中的布置就相当灵活。大型的电力基地的建设应该有与电网的事先协调,太阳能热发电站的规划与电网规划和当地经济发展

就地消纳的规划应有事先协调。由于太阳能热发电站在不同季节效率不同,输出的电量不同,建议国家应该专门布置课题对此进行研究。

## 4 经济障碍

太阳能热发电站除了技术产品方面的制约因素外,其发展缓慢的另外一个重要制约因素是其技术经济性。太阳能热发电需要高额的初始投资,导致其电价与传统发电电价相比缺乏竞争力,这是太阳能热发电在发展中一度徘徊不前的主要原因,也是其未来能否真正得到广泛应用的关键。

高额的初始投资使得太阳能热发电系统的发电成本较高,是常规能源发电成本的2~3倍。造成太阳能热发电成本高的主要原因有以下三个方面:第一,太阳能能流密度低,需要大面积的光学反射装置和昂贵的接收装置,将太阳能直接转换为热能这一过程的投资成本占整个电站投资的一半以上,目前这些转换装置还没有大规模生产,制造和安装成本较高,增加了太阳能热发电的技术和经济风险。第二,太阳能热发电系统的发电效率低,在相同的装机容量下,较低的发电效率需要更多的聚光集热装置,增加了投资成本,并且目前还缺乏这类电站的运行经验,整个电站的运行和维护成本较高。第三,由于太阳能供应不连续、不稳定,需要在系统中增加蓄热装置,大容量的电站需要庞大的蓄热装置和管路系统,造成整个电站系统结构复杂,增加了成本。

## 5 产业发展建议

### 5.1 加大技术研发和示范的力度

目前太阳能热发电发展的最大制约因素之一是系统集成技术及装备制造等方面的技术尚不成熟,建议进一步加大对系统集成、装备、关键零部件等技术攻关的支持;加大对示范工程建设的支持力度,从国家层面上更好地统一协调各环节的科研政策。在一系列关键产品和技术中确定创新项目,加大资金投入,提高研发体系的效率,并加快科研成果向生产实践的转化。积极吸纳高校、研究机构和企业,尤其是具有创造力的中小企业参与到研发体系中,调动企业参与研发的积极性。为使有限的投入有效地发挥最大的作用,政府在研发示范的计划制定和实施中,确定有限目标,集中优势资源,解决研发中的最关键的技术。以国家科技计划项目为纽带,建立政府与企业、企业与合作伙伴关系,鼓励我国技术人员和机

构积极参与国际合作,学习国外经验,同时发挥市场的拉动作用,加快示范工程建设,从而使与市场相适应的技术研发及时得到市场的认可与鼓励。积极吸引国外有太阳能热发电建设和产品研发经验的跨国公司来华合作研发,进行示范工程的建设,为我国的太阳能热发电的发展积累经验。

### 5.2 建立产业公共服务体系

国家发改委2011年第9号令公布的《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》中将太阳能集热发电列为新能源发展的第一四位,我国新能源发展规划也明确提出了太阳能光热利用在“十二五”乃至“十三五”期间的发展目标。我国太阳能热发电产业链上的关键材料和装备,例如槽式曲面玻璃反射镜、传动箱、聚光器、高温传热流体、储热材料、储热换热器、真空吸热管、各种腔体式吸热器等均还没有形成连续的生产线。目前制造业遇到的政策问题不是来自其本身,而是来自质量约束体系的建立。

太阳能热发电在我国还处在起步阶段,产业公共服务体系的能力薄弱。因此,在加强研发和示范的同时,要重点关注产业公共服务体系的建设,以便更好地推动太阳能热发电的技术研发和示范,促进市场的开拓。产业公共服务体系建设包括太阳能热发电的标准、检测和认证等质量控制体系,以及人才培养体系的建设。有了标准和公共检测服务平台,对于太阳能热发电的技术研发和产品的质量保障就会上一个新的台阶,加快技术研发的进程,同时认证体系的建设也会加强热发电项目建设和开发的信心,带动市场的开发。因此要使得制造业能有序发展,产业公共服务体系的建设在太阳能热发电产业发展的初期就要给予关注和支持,并不断加大支持力度,从而推进太阳能热发电健康、快速的发展。质量政策对抑制产能过剩也有作用。

### 5.3 制定产业和市场规模

太阳能热发电相对于风电、太阳能光伏等可再生能源,其国家层面的产业和市场规模研究还极其薄弱,因此太阳能热发电产业的发展缺乏清晰的指导思路,处于跟在国际社会后面模仿的状态,没有制定自主研发和创新的方向,因此亟需研究、制定太阳能热发电的产业与市场规模,明晰未来发展方向和重点,指引产业和市场的发展。

建议尽快开展太阳能热发电潜力调查,制定明确的太阳能热发电发展规划和目标,引导太阳能热发电产业的发展方向。规划的研究制定应充分考虑

国内外太阳能热发电技术的发展态势,对太阳能热发电产业发展的定位、产业体系、产业结构、产业链、空间布局、经济社会环境影响、实施方案等做出科学规划,对理清产业发展的思路,明确产业布局,并建立相关的保障措施。同时对电网规划与电站规模进行规划协调。在可再生大力发展的今天,电网的规划和建设如果与建站速度不协调会带来很大的问题。电网的长期规划和接入政策规划应明确并与大型太阳能发电基地的规划协调,避免发生电力外送受阻的情况。对于对电网有扰动的电源,应加收电网安全费,该笔费用可用于加强电网建设,增加电网的安全性和保证送出容量。

#### 5.4 实施投资经营业优惠政策

目前我国在太阳能热发电站项目开发环节没有针对性的政策,国内还没有形成太阳能热发电项目投资运营的政策环境。从项目开发政策角度建议优先给予上网电价,适时出台相应的财税激励政策。合理的上网电价可以带动电力开发商投资,相应的产品制造商也会跟进,从而带动产业的建设,成本也会随之降低,也会吸引更多的电站投资,规模随之扩大,带动成本进一步降低,从而进入良性循环;适度的财税激励政策可以加速产业化进程,加快热发电产业与市场的发展速度,从而抢占先机。

目前太阳能热发电出台统一的上网电价政策时机还不成熟,主要原因是我国还没有投运的商业化太阳能热发电电站做参考,太阳能热发电技术在国内还未得到验证,系统的集成技术及关键的产品技术还不成熟。国内现有的装备生产水平,产品质量也还没有达到规模化应用的要求,整个标准体系还没有建立,电站的建设成本、特别是电站的运行成本也有待进一步探索,在这样的情况下难以预算合理的上网电价。

建议选取几个有代表性的试点示范项目,示范各种太阳能热发电技术的技术成熟度和经济性,包括槽式、塔式、太阳能热发电与燃气联合运行、太阳能热发电与煤电联合运行等,根据成本加合理利润的原则,给予示范项目较优惠的上网电价政策,推动示范项目建设,积累经验。经过1~2轮的示范项目,逐步建立产品供应体系、电站的设计运行维护规程等技术支撑体系,研究出台统一的上网电价政策,来推动太阳能热发电的规模化发展。

在财税激励政策方面,太阳能热发电作为战略性新兴产业,国家还没有出台专门的税收优惠政策,

因此建议参照其他可再生能源实施如下的财税优惠政策:(1)增值税实施减半征收。(2)所得税实施三免三减半。(3)减免关键设备及其零部件的进出口关税。对太阳能热发电关键设备和零部件,减免进口、出口环节的关税、增值税,鼓励技术交流和产业联合,促进太阳能热发电技术的发展。此外,由于太阳能热发电项目属于新能源电站建设,属于国家鼓励项目,希望当地政府也能给与一定的鼓励政策。如土地政策给予优惠。当年实现并缴入地方国库的增值税、企业所得税属于地方财政收入的部分可与当地政府进行协商,地方财政留存部分可申请返还,申请财政专项资金扶持等。

#### 5.5 制定市场准入政策

目前国内的太阳能热发电行业属于发展初期,国家应在充分论证的基础上积极推动不同类型的太阳能热发电示范电站的建设。示范电站一方面能为国内各种太阳能热发电技术和产品提供试验验证的平台,积累建设经验;另一方面,国家层面可以通过不同类型示范电站的建设,理解各种不同热发电技术,不同区域的技术与经济适用性。这可以为以后我国太阳能热发电产业的发展,直至标杆上网电价的确立,提供可以借鉴的经验和范例。

## 致谢

本文根据国家能源局委托课题太阳能热发电产业政策研究报告的专题二和专题四报告整理编写,特此对以上专题参与单位及成员表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(可再生能源卷)[M]. 科学出版社. 北京: 2011: 218-243.
- [2] 太阳能资源的名词与术语(征求意见稿)[S]. 中华人民共和国国家标准, 2010.

## 作者简介:

杜凤丽(1980-),女,硕士,助理研究员,主要研究方向为太阳能热发电发展现状及政策。

胡润青(1968-),女,学士,副研究员,主要从事可再生能源政策、技术评价和产业发展研究。

朱敦志(1966-),男,博士,总工程师,长期从事太阳能中低温热利用技术研究。

