

分布式太阳能热发电技术与 产业发展分析*



王志峰^{1,2} 原郭丰^{1,2**}

1 中国科学院电工研究所 北京 100190

2 中国科学院太阳能热利用与光伏系统重点实验室 北京 100190

摘要 太阳能热发电是一种电力输出功率在时段上可控的可再生能源发电技术，是未来大比例可再生能源体系中重要的基础电源和调峰电源。接近于用户侧、结合储能、多能互补和能源梯级利用的分布式太阳能热发电技术，可以大幅提高太阳能热发电系统综合利用效率，并为区域性用户提供安全稳定的电-热-冷联供等综合能源解决方案。文章简要阐述了太阳能热发电的技术特点与现状，探讨了未来我国太阳能热发电技术与产业化发展方向，介绍了太阳能热发电面临的问题与挑战。最后，对太阳能热发电发展战略提出了几点建议。

关键词 太阳能热发电，分布式，发展潜力，重点技术，政策建议

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.02.004

1 分布式太阳能热发电技术特点

太阳能热发电技术种类较多，本文所提的太阳能热发电是将太阳能聚集后转化为热能，通过热功转换进行发电的技术^[1]。根据收集太阳辐射方式的不同，太阳能热发电根据聚光方式可分为塔式、抛物面槽式、碟式-斯特林和线性菲涅尔式等4种（图1）。太阳能热发电具有发电功率相对平稳可控、全生命周期二氧化碳排放极低、可与常规火电系统联合运行、可以通过能源梯级利用实现能源高效综合利用的可再生能源发电技术，近年来得到了较快发展^[2-13]。

分布式能源系统的特征是可以独立为用户提供稳定的能源，因此本文所定义的分布式太阳能热发电是指接近于用户的、带有储热或多能互补的、可脱离大电网独立运行的、基于能源梯级利用，为用户提供电-热联供综合能源解决方案的太阳能热发电系统。分布式太阳能热发电系统是一个开放的、组建灵活的系统，系统主要由太阳能集热、储热、热功转换、余热利用等基本单元组成。分布式太阳能热发电有4个主要特点，包括：

*资助项目：中科院学部咨询项目“大力发展分布式可再生能源应用和智能微网”，国家自然科学基金（51476164），广东省引进创新创业团队计划（2013 N070）

**通讯作者

修改稿收到日期：2016年1月22日

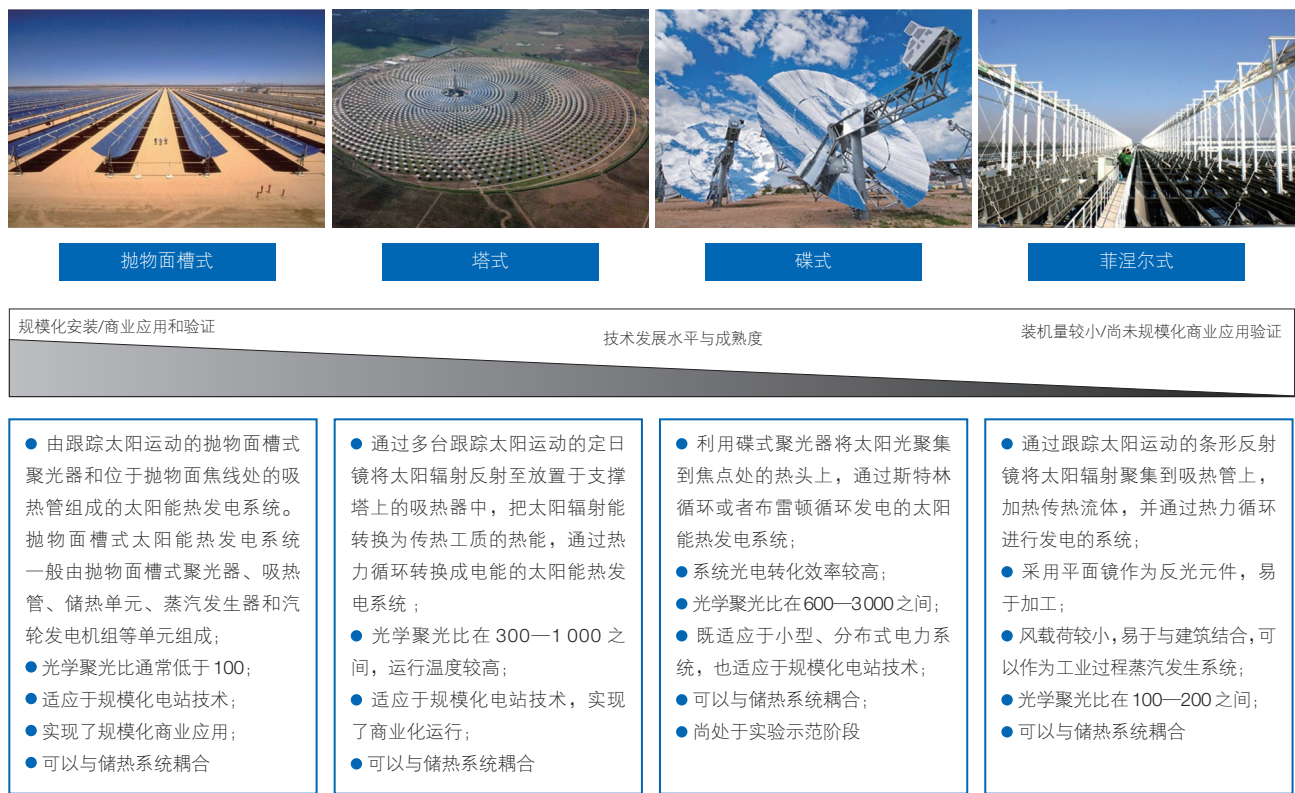


图 1 4 种主要太阳能热发电技术形式与特点

(1) 用户侧接近的分布式太阳能热发电系统，有效避免了远程输配的电力损耗，并通过能源梯级利用、余热利用等，在为用户提供电力的同时提供热能，并通过热泵、海水淡化等末端设备与系统的应用，为区域建筑及工业生产生活提供热能、制冷、淡水等，为区域性用户提供安全稳定的电-热联供等综合能源解决方案，分布式太阳能热发电系统综合能源利用效率基本可达到 50% 以上。

(2) 分布式太阳能热发电系统可以与生物质、地热等可再生能源互补，通过储热技术、热电负荷比例调节等技术的应用，承担区域能源基础电力负荷与峰值负荷的供应、区域热能供应，平抑区域内光伏、风电等可再生能源电力系统的波动性，形成稳定、可调控分布式大比例清洁能源供应系统，是可再生能源可持续发展最有希望的技术之一。

(3) 分布式太阳能热发电系统有助于缓解电力高峰负荷，提高电网供电安全。空调负荷几乎占夏季用电总

负荷的 25%，太阳能辐射资源与空调负荷时序特征的相近性，可以提升分布式太阳能电站在夏季峰值负荷中的调节作用，规避“拉闸限电”，保障用电安全。

(4) 分布式太阳能热发电系统可以有效减轻集中供电系统因战争及重大自然灾害对大面积区域电网安全性影响程度。在主体电力供应系统已经形成规模的情况下，强调发展灵活性更强、效益更好的中小型联供电站，有效地提高供电安全，弥补大电网在安全稳定性方面的不足，分布式太阳能热发电站无论从可再生能源利用还是地域分布适用性方面无疑是最佳的选择之一。

2 我国太阳能热发电资源与潜力

太阳能热发电电站选址可行性与发电成本，受到太阳直射辐射资源、地形、水资源、气候条件、电网覆盖、交通及地区社会经济发展、土地规划等多重因素的影响。表 1 为国际太阳能热发电站选址一般性条件^[2,8,9]。

表1 太阳能热发电站选址一般性条件

选址因素		一般性条件	
太阳能法向直接辐射（DNI）		DNI≥1 800 kWh/(m ² ·a)	
地形	坡度	槽式	塔式
		≤3%	≤7%
	纬度	≤42°	
	地质	土壤承载力≥2 kg/cm ²	
	土地面积	2—3 ha/MW	
水资源		距离水源应≤10 km	
气候条件	风速	年运行风速	最大容许风速
		0—14 m/s	31 m/s
电网覆盖		距离电网连接点≤15 km	
交通条件		靠近交通路网	
地区社会经济 发展	当地居民和社区要接受本项目，尽量避免强制性移民搬迁，符合环境保护条例等		

由于我国日射观测站稀少，且区域分布不均匀，国家气象局能观测直接辐射的一级站只有17个，目前我国还没有全国范围内法向直射辐射累积数据，中国气象局风能太阳能资源中心以现有气象台站辐射观测数据、卫星观测数据，以及其他相关气象观测资料为基础，对我国的太阳能法向直接辐射资源分布特征分析和宏观评估（图2）。总体而言，我国西北地区、华北北部区域、青藏高原的太阳能资源丰富，其中青藏高原大部、内蒙古中西部、新疆东部部分地区，法向直接辐射最为丰富，年辐射量超过 $1800 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，西藏南部及内蒙古西部部分地区年辐射量超过 $2000 (\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^[3]。

中科院电工所对我国太阳能热发电可开发潜力进行

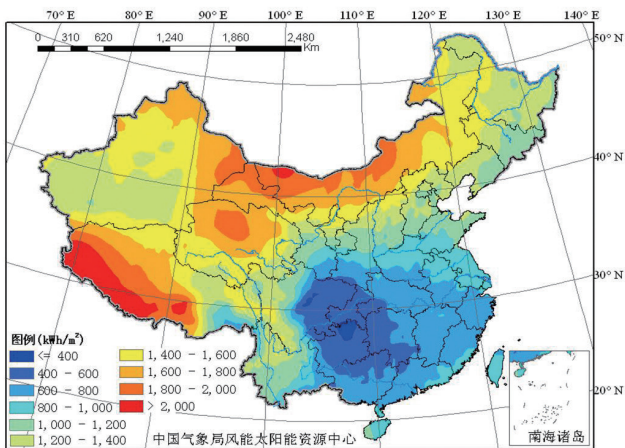


图2 中国太阳法相直接辐射分布图

了评估，相关评估过程基于以下假设条件：

（1）DNI 小于 5 千瓦时/（平方米·天）的地区为不适宜区域；

（2）仅纳入坡度小于 3% 的地形区域；

（3）排除城市、水体、受保护地区（如自然保护区），草地、牧区、农业区做 50% 考虑，森林和灌木区，可用率被定为 10%；

（4）太阳能电站的发电效率设定 15%，镜场容积率设定 25%。

基于上述假设，分析结果显示：我国 $\text{DNI} \geq 5$ 千瓦时/（平方米·天），坡度 $\leq 3\%$ 的太阳能热发电可装机潜力约 16 000 吉瓦。我国 $\text{DNI} \geq 7$ 千瓦时/（平方米·天），坡度 $\leq 3\%$ 的太阳能热发电可装机潜力约 1 400 吉瓦。就区域而言，青海、新疆、甘肃、内蒙、宁夏、西藏、陕西北部、山西北部等太阳能与土地资源丰富，为我国适合太阳能热发电技术规模化发展的区域。

多联供的分布式太阳能热发电站，在提升系统综合能源利用效率的同时，可以有效降低系统冷却水耗，提升系统的经济性并扩大区域选择范围。分布式太阳能热发电站相关选址与建设条件分析，可以在微观选址中进行综合评估。

3 太阳能热发电发展现状与技术趋势

3.1 国际太阳能热发电技术与产业发展现状

最早的太阳能热发电技术可以追溯到 19 世纪，美籍瑞典工程师发明了最早的太阳能槽式集热器。1950 年苏联设计并建设了全球首座塔式太阳能热发电实验装置，开始进行基础性和探索。20 世纪 70 年代，欧美国家开始对太阳能热发电进行广泛性探索和研究，建成了多个太阳能热发电站，并投入商业化运行。21 世纪初，随着太阳能热发电激励政策的出台，太阳能热发电市场进入快速发展时期，截至 2014 年 12 月，西班牙商业化运行太阳能热发电站总装机容量达到 2 053.8 兆瓦电力（槽式电站 1 972.5 兆瓦电力、塔式电站 49.9 兆瓦电力、菲涅尔式

电站 31.4 兆瓦电力)。阿联酋、阿尔及利亚、埃及、摩洛哥和伊朗等分别有一座容量超过 10 兆瓦的商业化电站。全球在建太阳能热发电装机容量 2 058 兆瓦, 开发容量为 2 819 兆瓦^[6]。面向分布式的太阳能电热联供、电水联产技术, 在国际上有不同程度的研究, 但尚未有商业化应用。

目前, 西班牙太阳能热发电贡献了超过 4% 的该国电力需求, 同时在一天的太阳能热发电与电力需求曲线的吻合度堪称完美。根据西班牙 Ciemat 数据, 2012 年 7 月 11 日下午 5 时西班牙太阳能热发电尖峰电力贡献率达到 4.1% (图 3), 7 月 15 日当天太阳能热发电对电网贡献率达到 3.2%, 整个 7 月份太阳能热发电并网电量 524 吉瓦时 (图 4)^[10]。

在国际太阳能热发电产业化发展过程中, 美国 and 西班牙等国培育并形成了成熟的曲面反射镜、真空玻璃-金属集热管产业化生产技术、电站系统设计、集成与运行技术。国际能源署 (IEA) 于 2014 年 9 月 29 日在巴黎发布了太阳能发电 2014 版路线图显示, 太阳能将在 2050 年领先于化石能源、风能、水能和核能, 成为世界最大的电力来源, 太阳能光伏、光热发电系统将在 2050 年分别占全球发电总量的 16% 和 11%, 可以减少 60 多亿吨二

氧化碳的排放。对于太阳能绿色供电, 太阳能光伏全年供应 2 000 小时, 而太阳能热发电将供应其余的 4 000 小时, 具有巨大价值。

3.2 我国太阳能热发电技术与产业发展现状

中国太阳能热发电起步较晚, 国内多家研究机构一直在从事太阳能热发电单元技术和基础试验研究, 积累了一定的理论与实验研究经验。近几年, 我国在太阳能热发电聚光集热技术、高温接收器技术等方面取得了突破性进展, 已经示范运行了将近 50 座槽式太阳能集热系统、3 个线性菲涅尔集热系统, 多台套碟式聚光器和碟式-斯特林机发电系统。2012 年 7 月, 中科院电工所为业主完成了 1 兆瓦塔式示范电站建设, 带有 1 小时储热 (图 5)。2013 年 10 月, 浙江中控太阳能公司为业主在青海德令哈进行了 10 兆瓦塔式电站, 该电站采用天然气补热。我国在聚光器、储热技术、系统集成、吸热器和吸热管方面形成了自主知识产权。

有超过 500 家国内装备制造企业投入槽式真空管、曲面玻璃、集热器、定日镜、传动系统、特殊汽轮机、斯特林机、螺杆膨胀机、高温油泵、阀门、储热材料、储热设备等装备研发与产能建设。受到国家政策影响, 产能建设步伐较慢。同时, 主要发电集团均进行了太阳能热发电技术储备、人才储备和项目建设规划。

我国太阳能光热发电影响因素主要体现在 3 个方

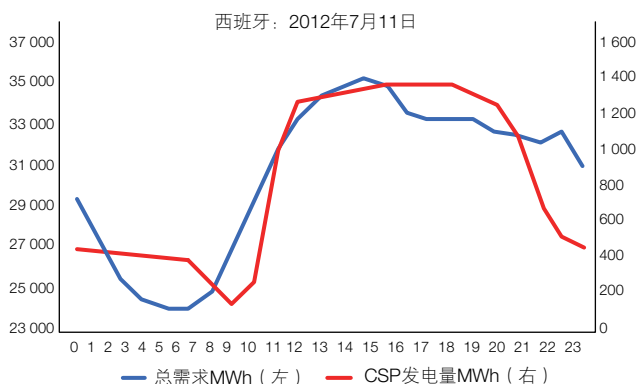


图 3 西班牙 2012 年 7 月 11 日太阳能热发电站电力输出

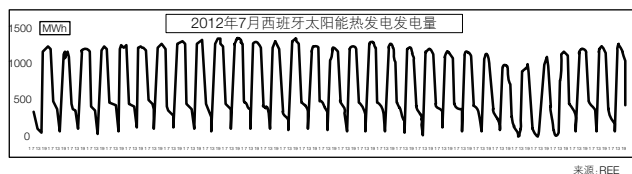


图 4 西班牙 2012 年 7 月份太阳能热发电站发电情况



图 5 中科院电工所塔式太阳能热发电试验电站

面：（1）核心设备上与国外相比有很大差距，导致转换效率低，若使用国外产品，则成本更高；（2）投资成本过高，导致进展缓慢；（3）政策方面，由于热发电成本过高，需要国家给予一定的政策补贴。

3.3 太阳能热发电技术与产业发展路线

太阳能热发电的技术进步反映在成本上，太阳能热发电系统的光电转换效率是影响发电成本最重要的因素。从热力学的角度，发电工质的参数（温度、压力）会对系统效率产生重要影响，而发电工质参数与聚光、光热转换、储热过程中的材料问题、热学问题和力学问题等密切相关。基于以上考虑，以系统年平均发电效率为引领，以发电工质温度和换热介质种类为主线将太阳能热发电技术分为四代（图6）^[3]。通过工质与系统创新，逐步提升太阳能热发电系统温度与效率，并降低发电成本。

在技术研究领域，结合分布式太阳能热发电需求特征，通过新型高效太阳能热发电系统与装备技术、联合循环、储热技术、能源梯级利用、发电侧与用能侧的预测预报、能源系统管理与控制策略的研究，逐步推进分布式太阳能热发电技术向高效率、高比例、高可靠、冷热联供、基础与调峰兼顾的分布式综合能源解决方案方向发展。重点技术研究与发展方向如图7所示。

（1）**太阳能高效集热吸热技术研究**。研究太阳辐射光子与物质的相互作用本质，控制太阳能光热器件、光电器件的材料属性和形状特征等参数，对太阳能光谱吸收特性以及表面吸收的广角性和偏振不敏感性进行调

控，发展太阳能全光谱高效利用技术。

（2）**高效太阳能热发电技术研究**。针对太阳能热发电的核心技术与装备，在借鉴与吸收国外同类技术开发与发展思路的同时，结合我国资源分布与能源需求特点，形成相应的理论与技术、以及产业推广模式。采用通过直接蒸汽、熔融盐发电系统、超临界二氧化碳、蓄热型碟式-斯特林发电等高效低成本发电关键技术研究。

（3）**基于多能互补的联合循环发电技术研究**。以太阳能为主的能源网络系统中各种形式能源的合理配置，研究太阳能利用过程损耗随辐照强度波动的变化规律，构建太阳能与燃气、生物质等联合循环系统，分析太阳能与化石能源利用耦合的相互作用机制及其对系统损耗（耗散）的影响，在达到供需匹配的基础上优化系统能源的合理配置，从而使损耗最小，增强太阳能热发电系统作为分布式供能系统基础负荷的安全性与稳定性。

（4）**高效低成本储热技术研究**。发展高温、高出能密度、低成本、大容量储热技术，提升太阳能热发电系统年有效发电时数、保证率，并提升太阳能热发电站的调峰能力，是推进分布式太阳能热发电规模化发展的关键，使太阳能热发电成为我国能源产业创新与技术革命的重要代表，是切实推动能源生产与消费革命的最核心环节。复合材料的储热释热技术、单罐斜温层熔融盐储热技术、高导热系数的陶瓷/金属基的复合储热材料技术、输运方便的化学储能技术等是未来储热技术发展的重要方向。

（5）**基于能源梯级利用的太阳能电-热-冷（水）联**

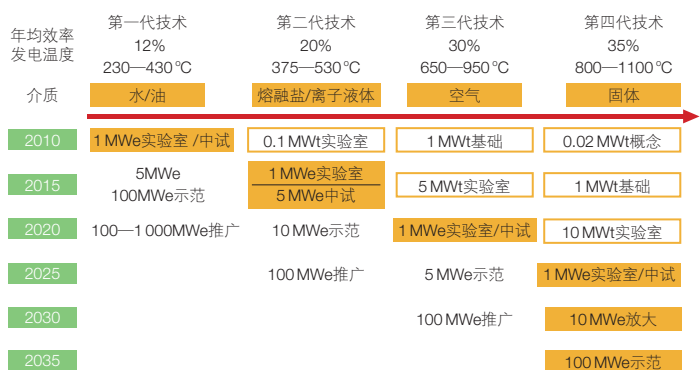


图6 太阳能热发电技术发展路线图

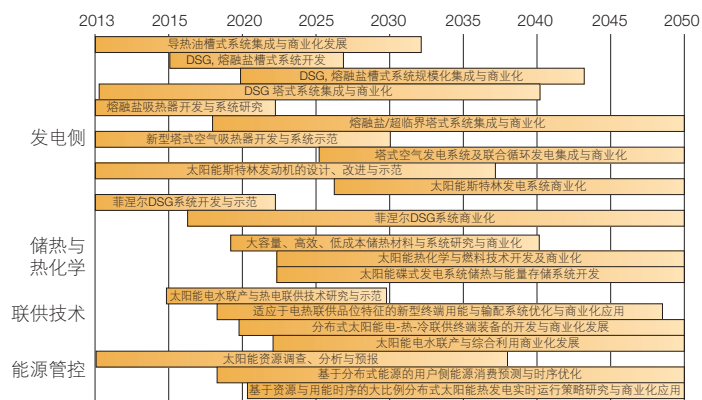


图7 分布式太阳能热发电重点技术研究

供技术研究。在新型太阳能热发电系统及用能侧能源需求分析的基础上,结合储热、热泵、海水淡化等终端用热冷系统与装备技术研究,提升分布式热能输配效率,构建基于太阳能热发电的电-热-冷联供系统,发展基于“太阳能热发电+”的分布式能源综合解决方案。

(6) 适应于分布式供能的太阳能热发电系统运行与能源管理策略研究。发展基于发电侧的太阳能资源中短期预报与临报技术,以及用能侧的能源需求特征大数据研究,结合太阳能热发电储能系统、电热输出时序策略控制、智慧用能装备等,提高能生产侧与用能侧的可预测性、可调节性和可控制性,发挥太阳能热发电在多能源混合的分布式能源供应体中的调峰电源特性的应用,提升区域分布式能源供应的安全性、稳定性和高效性。

(7) 在核心设备与技术研究领域,重点支持太阳能收集设备研制。如槽式聚光器、定日镜、碟式聚光器和线性菲涅尔式聚光等关键设备,提高设备可靠性,降低使用与维护成本。开展大容量储热技术研究,开展太阳能直射资源数据库与气象条件预测技术研究。开展太阳能热发电调度与能源安全供应技术研究。开展设备年平均运行时间与能源综合利用效率研究,系统优化技术研究。开展太阳能与其他能源互补发电技术研究。

(8) 在标准与集成技术发展方面,重点掌握核心设备国产化关键技术。突破太阳能热发电利用的关键技术与装备,建设国家太阳能热发电实验室、工程中心和产业化基地,完善太阳能热发电产品及系统的检测技术和认证标准,集成示范太阳能热发电开发利用的新技术和新设备;加强新型分布式太阳能热发电研发支持力度。

(9) 在工程技术领域,推进可连续供能的分布式太阳能热发电示范。分布式电站的独立大容量储热是保证太阳能热发电连续稳定运行的有效途径,是分布式太阳能热发电的重要方向。储热技术包括储热材料和充放热过程。国际上已有储热时间达16小时,可连续24小时满发的太阳能热发电站。国内带储热的热发电站尚处于试验阶段。大容量储热系统需材料成本低,性能稳定

可靠,以及储热和充放热过程在热力学意义上的匹配。我国应加快高温储热材料技术和大容量储热系统发电关键技术研发,建立可24小时连续发电的电站,为大规模推广打通技术路线。到2020年掌握基于大容量储热技术的太阳能热发电技术,在全国范围内选择一批适应性区域,建成一批示范性案例,初步实现规模化应用。2020—2030年,系统集成与稳定运行技术攻关后,形成较成熟、先进、适用、高效的太阳能热发电技术,形成规模化产业应用,实现太阳能热发电应用的突破性增长,在2030年装机容量达到1000万千瓦,2050年达到5000万千瓦,分布式电站容量因子达到70%。

2013年,中科院电工所、中国电力工程顾问集团公司、电力规划设计院等机构,以中国北纬39°36',东经109°46',年总法向直射辐照量(DNI)值为1900千瓦时/(平方米·年),电站规模50兆瓦,带4小时储热,电站运行寿命为25年,基于我国技术与产业条件并结合国内外厂家进行现行市场价格询价分析结果显示,案例电站单位造价29119元/千瓦。结合A.T Kearney公司全球光热发电成本路线图及我国太阳能热发电技术发展现状与趋势预测,在技术创新、规模效应、融资成本、税率等因素的驱动下,2020年前,太阳能热发电成本将有大幅度的下降,并在后续的30年中进一步通过重大技术革新、成本优化与设备效率的提升、运行经验提高等进一步带动太阳能热发电成本的下降,其变化趋势预测如图8所示^[4],太阳能热发电成本的下降将促进太阳能热发电的规模化应用与发展。

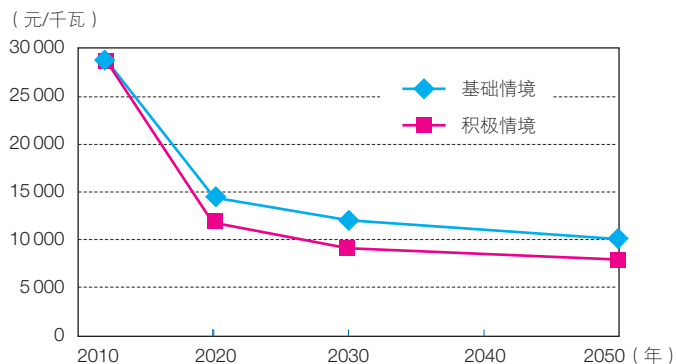


图8 中国太阳能热发电投资成本下降曲线预测

4 发展保障与举措

太阳能热发电在我国处于研发和示范阶段，因此在政策层面上应重点鼓励，支持太阳能热发电的技术研发，尤其是系统集成技术、关键产品部件的生产制造技术等；鼓励开展示范工程，提高电站的设计、建设、运营管理能力，为市场的规模化发展奠定基础，推动太阳能热发电的产业发展。

4.1 保障技术研发和开展示范项目

目前太阳能热发电发展的最大制约因素之一，是系统集成及装备制造等方面的技术尚不成熟。科技部支持开展了太阳能热发电的技术研发、实验电站建设等工作，但还未扩展到集成技术方面，包括系统设计、运行技术、系统维护技术等。亟需加强对产品研发和装备特别是技术研发和示范环节的支持，进一步加大对产品产业化技术、装备技术、电站集成技术研发和示范的支持力度，确定支持目录，加大资金投入，提高研发体系的效率，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。支持开展试点、示范电站项目建设，通过试点项目检查验证产品和技术研发的成果，探索研究系统集成技术，积累电站运行管理的经验，为太阳能热电站的大规模开发奠定基础。

4.2 完善项目开发激励政策

目前我国尚无太阳能热发电上网电价及相应的财税激励政策，没有形成项目投资运营的政策环境。当前，选取一些有代表性的示范项目，根据成本加合理利润的原则，充分考虑示范项目可能面临的研发成本、技术风险、投融资风险等各种不确定因素，给予示范项目较优惠的上网电价政策，推动示范项目建设，积累太阳能热发电的开发与建设经验。经过一批示范项目的实施，逐步建立产品和系统生产制造、电站设计、运行维护等产业支撑体系，研究出台合理的上网电价，推动太阳能热发电的规模化发展。

4.3 提供财税激励政策

财税激励政策体现的是国家对该产业的支持态度，税赋的减免对发展初期的产业和市场是非常大的支持。建议参照其他可再生能源的财税激励政策，鼓励自主研发、国际技术交流和产业联合，促进太阳能热发电技术的发展。

4.4 制定产业和市场规模

太阳能热发电国家层面的产业发展和市场规模研究还极其薄弱，产业发展缺乏清晰的思路 and 方向，亟需研究、制定太阳能热发电的产业和市场规模规划，明确未来发展方向和重点，指引产业和市场的发展。尽快开展太阳能热发电潜力调查，为电站选址、项目开发、发展规划制定等提供较为详实的数据依据。制定太阳能热发电产业发展和市场规模规划。研究分析国内外太阳能热发电技术发展趋势，理清产业发展的思路，提出我国的产业发展和目标，明确太阳能热发电产业发展的定位、产业体系及空间布局，完成产业发展和市场规模规划。研究太阳能热发电市场发展指导思想、目标、路径和空间布局，科学规划，并建立相关的保障措施，引导太阳能热发电市场的有序健康发展。

4.5 加强公共服务体系建设

加强产业公共服务体系的建设，包括标准体系、产品检测平台、产品认证体系等产品质量控制平台的建设，以及设计、咨询、服务等产业服务体系的建设，加大对高等院校、设计研究院所、职业培训等人才培养体系能力建设的支持力度，保障产业健康发展。

参考文献

- 1 GB/T26972-2011. 太阳能热发电术语. 2011.
- 2 《中国电力百科全书》编委会. 中国电力百科全书——新能源卷第三版. 北京：中国电力出版社，2014.
- 3 王志峰, Luis Crespo, 杜凤丽, 等. 中国太阳能热发电产业政策研究报告. [2016-1-20]. <http://www.cspplaza.com/article-1846-1.html>.
- 4 中国可再生能源学会. 中国太阳能发展路线图2050. 北京.

- 2014.
- 5 王志峰, 等. 太阳能热发电站设计. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- 6 Technology Roadmap-Solar Thermal Electricity 2014 edition. International Energy Agency, 2014.
- 7 Clean energy Progress Report. International Energy Agency, 2011.
- 8 G T Mays. Application of Spatial Data Modeling and Geographical Information Systems (GIS) for Identification of Potential Siting Options for Various Electrical Generation Sources. U.S. Department of Energy, 2011.
- 9 Concentrating Solar Power Commercial Application Study: Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation. U.S. Department of Energy, 2007.
- 10 Luis Crespo. STE(CSP) power plant: The great opportunity in the sunbelt countries. 北京: 第三届(三亚)国际太阳能热发电大会论文集, 2013.
- 11 Xu B, Li P W, Chan C. Application of phase change materials for thermal energy storage in concentrated solar thermal power plants: A review to recent developments. Applied Energy, 2015, 160: 286–307.
- 12 Yadav D, Banerjee R. A review of solar thermochemical processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 54: 497–532.
- 13 张国强, 胡红丽, 刘亚芝. 太阳能光热发电-供热联产研究. 太阳能, 2013, 17:24–28

Analysis of Distributed Concentrating Solar Power Technology and Industry Development

Wang Zhifeng^{1,2} Yuan Guofeng^{1,2}

(1 Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 CAS Key Laboratory of Solar Thermal Energy and Photovoltaic System, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Concentrating solar power (CSP) technology is one of the major technologies for converting solar energy to electricity. As an output controllable energy supply system, it will take the base-load and peak load of large scale renewable energy system in the future. The global total CSP installation reached 4 GW at the end of 2014, and most of the CSP stations have been concentrated in Spain and the United States. New CSP components and systems are coming to commercial maturity. New markets are emerging on most continents where the sun is strong and sky is clear enough, including China, India, the Middle East, North Africa, and South Africa. The International Energy Agency (IEA) roadmap research result shows that the percentage of solar thermal electricity (STE) production in global electricity is to reach 11% by 2050. The main factors affecting solar thermal power development include solar direct normal irradiance (DNI), topography, water resource, and local grid infrastructure, etc. The macroscopic site selection of CSP station in China has been calculated based on the GIS platform, and the results show that the exploration reserves of CSP is more than 1400 GW. China has more than 40 years' research experience in CSP technology. There are more than 500 enterprises engaged in the field of solar thermal power related research and manufacturing, and several experimental CSP demonstration stations and high temperature solar systems which were constructed and operated in the past decade. But there are still no large scale commercial CSP stations, because of the lack of feed-in tariff. The distributed CSP technology is employed close to the user side, combining thermal storage, multi-energy mix, and cascade use of electrical-thermal-cold energy. It will promote the wider application of large ratio distributed electrical-thermal-cold renewable energy system which is secure and stable. This technology can improve the integrated energy efficiency of the CSP system and reduce costs. There are still several mainly technology R&D which is needed in the future to promote Distributed CSP development. Firstly, high-parameter and high efficiency

CSP technologies should be developed to reduce the STE costs, based on the material, equipment, and systems technology innovation. Secondly, low cost, high temperature, and large scale thermal storage material and thermal storage system should be developed to smooth electricity production considerably and increase the annual service hours, which will help promote the CSP as the base-load, and solve the peak and regulated load problem in the large ratio renewable energy distributed electric system. Thirdly, integrated distributed energy systems is expected to be developed based on the CSP cascade energy utilization technology, which will improve the CSP system comprehensive energy utilization efficiency and enhance the technology competitiveness, and provide the regional cooling, heating, and power solutions. Finally, energy generation and consumption management strategy technology is expected to be developed based on the medium and short-term solar energy forecast technology, the district energy consumption regular analysis and forecast technology, and intelligent energy consumption equipment technology innovations, which will improve the operation efficiency of distributed CSP system and the security of distributed energy system. Some suggestions on the development strategy of CSP are put forward at the end, which include strengthening research, development, and demonstration (RD&D) efforts to further reduce costs, setting the long-term targets and STE feed-in tariff making finance and taxation incentive policy, and building industry standards, certification and public service system, so as to drive the investments and CSP industry development.

Keywords concentrating solar power (CSP), distributed, development potentiality, technology orientation, policy measures

王志峰 中科院电工所研究员，博士，中科院太阳能热利用与光伏系统重点实验室主任；国家“万人计划”专家、国际能源署太阳能热发电和化学能组织副主席、国家太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长，国家“十二五”、“863”计划可再生能源主题专家组召集人，国家“973”计划能源领域咨询专家组专家。主持了我国第一个太阳能热发电站的研究、设计和建设，致力于太阳能热发电系统设计、太阳能高温集热系统中的流动与换热问题、太阳能聚光器设计和性能评价、聚光与吸热系统耦合设计、太阳能储热、太阳集热器热性能测试评价方法等方面的研究。主持编写国家标准2项，发表论文70余篇，其中SCI、EI文章50余篇，申请发明专利40余项。E-mail: zhifeng@vip.sina.com

Wang Zhifeng Professor, Ph.D. advisor of Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences (IEECAS), Director of CAS Key Lab of Solar Thermal Energy and Photovoltaic Systems, Awardee of Ten Thousand Talent Program of China, Awardee of 100 talents program of CAS, Vice Chairman of IEA-SolarPACES (2014—), Chairman of National Solar Thermal Energy Alliance (2009—), Leader of Renewable Energy Technology Expert Team of National Hi-Tech R&D Program of Ministry of Science and Technology (2012—2015), Energy Expert for National Key Basic Research Program of China (2013—2018). Research field covers concentrating solar thermal power system design, flow and heat transfer of high temperature solar collection system, solar concentration and receiving system design and coupling, and thermal performance evaluation of solar concentrator. He presided 2 national standards compiling, and has been awarded 40 invention patents and published more than 70 papers with more than 40 ones indexed into SCI. E-mail: zhifeng@vip.sina.com

原郭丰 男，中科院电工所副研究员，博士，主要从事太阳能中高温热利用、中高温集热器热性能测试方法、太阳能海水淡化与能源梯级利用等技术研究。发表论文30余篇，申请发明专利5项。E-mail: yuanguofeng@163.com

Yuan Guofeng Male, Associate professor of Institute of Electrical Engineering of Chinese Academy of Sciences. Research field: High & medium temperature solar thermal utilization, thermal performance test and standard of solar collector and system, solar thermal desalination and energy cascade use system technology. He has published more than 30 papers and got 5 invention patents. E-mail: yuanguofeng@163.com