“光热发电创新大会”
——未来太阳能热发电产业发展要素简析

本刊记者 ■ 董霖霖

10 月 25 日，由中电工程西北电力设计院与全球太阳能热发电领先的咨询服务商 CSP Focus 光热咨询联合主办的“光热发电创新大会”在西安正式拉开帷幕。在我国太阳能热发电示范项目开展的如火如荼之际，此次大会借助我国及中东地区等太阳能热发电产业发展的东风，以期共同见证与探讨全球太阳能热发电的创新及未来。

太阳能热发电的现状及前景

会议期间，产业各领域的专家分析了我国太阳能热发电产业的发展现状，并对未来的规划进行了探讨。

中国电力科学研究院院士周孝信在演讲中提到，对我国太阳能热发电的资源条件进行了初步估算，我国拥有可利用的 *DNI* > 1700kWh/m^2 的土地面积约为 94 万 km^2，这些土地基本上地都是戈壁、沙漠；10 万 km^2 的年发电量为 54000 亿 kWh，按配置储热系统机组的利用小时数为 4000 计算，10 万 km^2 土地可装机容量约为 13.5 亿 kW。

从太阳能热发电海外市场的表现来看，全球已投入运行的太阳能热发电容量已超过 5 GW，南非、智利、北非及中东地区的国家都在开展太阳能热发电站的建设工作。世界上规模最大的摩洛哥 NOOR 太阳能热发电电站，一期是装机容量为 160 MW 的槽式电站，二期是装机容量为 200 MW 的槽式电站，三期是装机容量为 150 MW 的塔式电站，均已投运。我国的西北电力设计院和山东电力建设第三工程有限公司参与了该电站部分工程设计和施工安装工作。

可以预见，随着我国第一批太阳能热发电示范项目的部分机组投运，太阳能热发电的技术优势将得到充分的展现，相关的政府部门和社会各界将会对太阳能热发电给予更多的关注和支持，相信我国的太阳能热发电产业将迎来蓬勃发展的时代。

太阳能热发电的技术分析

产业的发展离不开技术的进步，浙江中控太阳能技术有限公司董事长兼总工程师金建祥作了《用作调峰电源的光热电站技术及经济性分析》的演讲，对目前阶段的技术及成本下降的问题进行了论述。

他表示，在现阶段，DSG 技术路线是白天进行电量补充，但其储能成本高，且夜间和阴天无法发电。熔融盐技术路线是白天同光伏和风电一样尽可能的多发电，作为一种电量补充；且其利用储能晚高峰继续发电，有别于光伏成为电力补充和保障。

下一阶段太阳能热发电的主要目标是发挥储能优势，成为清洁的调峰电源；并与光伏、风电混合发电，取代部分火电和天然气调峰电源，逐步实现按照调峰电价平价上网。

2017 年，全国光伏平均上网电价为 0.94 元 /

2018.11印刷.indd 19 2018-11-24 13:14:32

kWh，同比增长 0.18%。与光伏的度电成本相比，太阳能热发电产业标准化和规模化的空间大，但难度也较大。太阳能热发电产业的标准化不仅有利于降低装备造价，还可缩短设计和建设工期；其所采用的玻璃、钢材、熔盐和水泥等材料占投资成本的比例不足 18%，其他方面均可通过规模化实现降价。太阳能热发电成本下降可能存在的 4 个阶段分别为：2～3 年后为 0.95 元 /kWh，5～6 年后为 0.80 元 /kWh，7～9 年后为 0.65 元 /kWh，未来新技术成功应用时为 0.35～0.45 元 /kWh。

以传统概念来分析太阳能热发电电站作为调峰电站的经济性可发现：因调峰能力不足导致弃光，从而使发电量减少，较多地影响了经济性；为配合调峰需求，设计时可减小镜场，但仍会较多影响经济性。

为适应调峰需求，太阳能热发电电站系统设计时需做以下调整：同等采光面积下 (同等土地面积) 增加储能时长，或同等采光面积下增加汽轮机额定功率。通过系统优化，用作调峰的太阳能热发电电站经济性受调峰影响较小。具体方案如表 1、表 2 所示。

由表 1 可以看出，作为调峰电源，太阳能热发电电站在经济性上并无大的障碍。

由表 2 可知，调峰将限制发电小时数，限制发电小时数越多，对经济性影响越大；但一般仍小于 5%，在经济性上并无较大障碍。

表 1 太阳能热发电电站作为调峰电站的经济性（中午 4 h 不发电）

	现有方案	调峰弃光 4 h	减少镜场	增加汽机功率	延长储能时长
装机容量 /MW	100	100	100	123	100
采光面积 / 万 m^2	133	133	110	133	133
储能时长 / h	12	12	12	12	15.5
储能量 / MWh_t	2633	2633	2633	3200	3400
发电量 / 亿 kWh	4	3.3	3.3	4	4
造价变化	–	–	减少 9%	增加 2.3%	增加 2.4%
度电成本 / 元 •kWh^{-1}	设为 *A*	1.21 *A*	1.12 *A*	1.02 *A*	1.02 *A*

表 2 太阳能热发电电站作为调峰电站的经济性（中午 4 h、夜间 4 h 不发电）

	现有方案	弃光 4 h + 限发 4 h	减少镜场	增加汽机功率
装机容量 / MW	100	100	100	165
采光面积 / 万 m^2	133	133	80	133
储能时长 / h	12	12	8	8
储能量 / MWh_t	2633	2633	1755	2896
发电量 / 亿 kWh	4	2.42	2.42	4
造价变化	–	–	减少 23%	增加 5.4%
度电成本 / 元 •kWh^{-1}	设为 *A*	1.64 *A*	1.28 *A*	1.047 *A*

总之，随着太阳能热发电技术的发展，其成本下降可期，太阳能热发电电站可用作调峰电源。

多能互补方式探讨

西北电力设计院新能源开发分公司主任工程师兼设计总工程师王莹玉作了《基于太阳能太阳能热发电的多能互补方式探讨》的演讲。

对于“为什么要建多能互补项目？”这个问题，王莹玉表示，这首先是由国家能源结构的调整、化石能源的不可持续性决定的。我国化石能源占比较高，但它是不可持续的、不可再生的，其在一次能源消费中的占比决定了国家

2018.11印刷.indd 20 2018-11-24 13:14:32

能源转型的迫切性，也体现了提高可再生能源占比的迫切性。其次，我国单位 GDP 的能耗远未达到世界平均水平，与发达国家的水平差别较大。我国在《巴黎协定》中的承诺也意味着我国要发展可再生的清洁能源。

王莹玉还提到多能互补系统的含义，她表示，整个电力系统结构决定了电力系统一侧是电源，中间有电网，另外一侧是需求侧，也就是负荷侧。多能互补因为这样的电力系统结构可分成两种类型，一种是在供给侧，即电源侧，也就是风、光、水、火、储各种电源形式的多能优势互补；另外一种是终端，即用能侧，热、电、冷气等的一些能源阶梯化利用，这样可提高能源的能耗水平，使我国的单位 GDP 能耗水平进一步降低。而多能互补需要将电源、电网、负荷耦合起来，那就需要储能。储能是将各种电源或各种负荷耦合起来，而且电网侧也可加一些储能用于调峰。

王莹玉表示，太阳能热发电电站作为调峰电源应用于多能互补系统里，不应仅考虑单一的某一个电源，要从整个风电、光伏系统里所有电源的角度整体来考虑电站的经济性，当然是在保证技术可靠、安全运行的前提下，根据当地的资源情况，比如采用“风电 + 光伏 + 太阳能热发电 + 储能”的模式，就要收集这个地区同时段、同时刻的风资源，以及总辐射资源、*DNI* 等，这样才能知道所有电源在同一时刻每一年 8760 h 的出力，才能知道最后耦合的出力是多少；同时还要考虑负荷的情况，这样综合考虑才能得出整个多能互补系统里各个电源的容量配比。

太阳能热发电电站整个集热系统投资占比较高，在满足多能互补的电源出力要求的基础上，尽量减少镜场的投资，可降低整个多能互补项目的整体投资。然后将一部分的光伏、风电和储能系统加大，这样既可满足电网对于出力的要求，同时又降低了总投资，也就是降低了度电成本。

作为可再生能源发展的重要领域，也作为具备成为基础负荷电源潜力的新兴能源应用技术，太阳能热发电只有不断在一些关键设备、核心技术领域取得重大突破，才能实现连续、稳定发电，对地区电网的稳定性起到改善作用。随着技术进步、产业链贯通、产业化规模化发展，太阳能热发电的成本会有较大幅度的下降，未来太阳能热发电将在整个电力系统中占据重要的位置。太阳能

（接第 74 页）实际系统的设计、建设与运行，得出以下结论：

1) 太阳能车棚的主要成本来自钢架结构，整体造价高。若根据已有普通车棚建设的规划和预算，顶棚改用光伏组件，成本增加不多，有经济可行性。

2) 周围环境会显著影响太阳能车棚的发电效率，所以选择场地时必须做好现场勘查和评估工作。

3) 通过采用混合型并网结构，能够有效提高局部阴影条件下光伏系统的并网发电量。

4) 设置电动汽车充电桩时，为了保证高效发电和稳定充电，建议采用光伏并网发电、充电桩从并网点取电的方式。

参考文献

[1] 贾亚雷，石建国，庞永超，等．基于省级截面数据的分布式光伏发电补贴政策实证分析 [J]. 可再生能源，2016, 34(10): 1435 – 1440.

[2] 张兴，曹仁贤．太阳能光伏并网发电及其逆变控制 [M]. 北京：机械工业出版社，2010.

[3] Imenes A G. Performance of BIPV and BAPV installations in Norway[A]. 2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)[C]. Portland, Oregon, 2016.

[4] Qiang Zeng, Jingpeng Chen. A research on design and evaluation of BIPV[A]. 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)[C]. Changsha, 2015.

[5] Veldhuis A J, Reinders A H M E. Shadow analysis for BIPV and PIPV systems in a virtual environment[A]. 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)[C]. New Orleans, Los Angeles, 2015.

[6] 马文生，郝斌．光伏建筑一体化相关问题的探讨 [J]. 可再生能源，2011, 29(1): 94 – 97.

[7] 吴少波，魏川川，余江．光伏发电 / 电动汽车充电一体化停车棚的研制 [J]. 中国工程科学，2012, 14(11): 63 – 68.

[8] 买发军，白荣丽，戴晓亮，等．新型太阳能光伏车棚的研究及应用 [J]. 太阳能，2013, (22): 52 – 54. 太阳能

2018.11印刷.indd 21 2018-11-24 13:14:33