

SERICChina
Review

2011.09.21.

(第 11-14 号)

太阳能光热发电产业的现状及前景

摘要

1. 中国现有能源结构
2. 太阳能光热发电时代即将到来
3. 中国光热发电产业竞争拉开序幕
4. 光热发电的应用和面临的障碍

作者 | 孟昭莉 (Meng Zhaoli) 首席研究员
许李彦 (Xu Liyan) 研究员
审阅 | 权圣容 (Quan Shengrong) 首席研究员

《摘要》

国际能源署（IEA）下属的SolarPACES、欧洲太阳能热能发电协会（ESTELA）和绿色和平组织预测太阳能光热发电市场未来10年将达到井喷。2010年起，全球光热发电项目迅速增加，平均规模超过光伏发电项目。

中国现有能源结构以火力发电为主、水利发电为辅，新能源发电所占份额极为有限。与欧洲相比，中国新能源产业中太阳能产业的发展有待上升。目前太阳能发电产业的主流光伏发电技术存在致命弱点：太阳能电池在生产过程中对环境的损耗较大。与太阳能光伏发电相比，太阳能光热发电技术更为节能环保，有望成为解决能源匮乏、应对气候变暖的有效手段。除节能环保之外，太阳能光热发电与太阳能光伏发电相比，在上网及与传统火电站接轨方面优势明显。

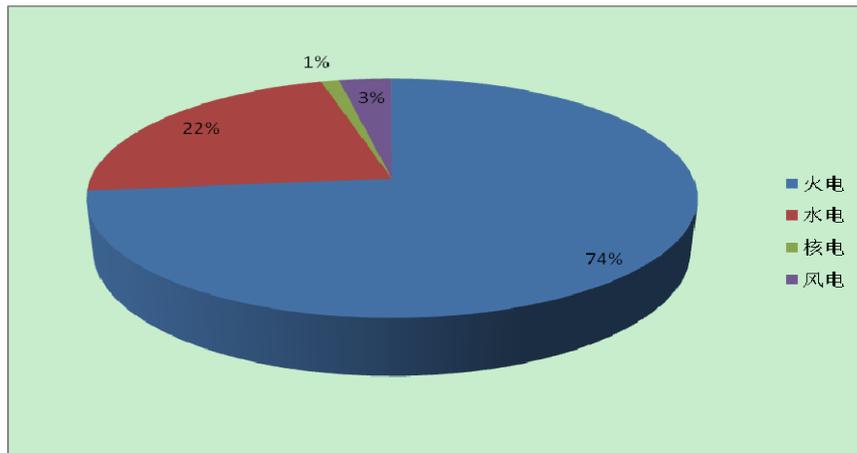
光热发电已成为新能源项目中，中国调整的重点项目。中国企业敏锐嗅到光热发电的市场前景，逐一突破太阳能光热发电尖端技术，在光热产业链上下游元件生产方面高速增长，已基本具备全产业链生产能力。在中国政府特许经营招标权的政策引导下，五大电力集团牵头投资，整体产业链已经初步形成。

相比光伏电站，光热电站需要更高额初始投资。光热电站的发电成本仍较高，需要政府补贴。由于国内目前尚没有大型太阳能热发电系统的设计经验，太阳能发电选址标准、工程设计、系统集成等技术还需要进一步完善。

1. 中国现有能源结构

- 中国现有能源结构以火力发电为主、水利发电为辅，新能源发电所占份额极为有限
 - 根据全国电力工业统计快报（2010年）统计，2010年底，全国发电设备总容量96219万千瓦
 - 其中，水电21340万千瓦（含抽水蓄能1525万千瓦），约占总容量的22.18%，火电70663万千瓦，约占总容量73.44%，核电1082万千瓦，约占总容量的1.12%
 - 并网¹风电3107万千瓦，约占总容量的3.23%，并网光伏发电24万千瓦

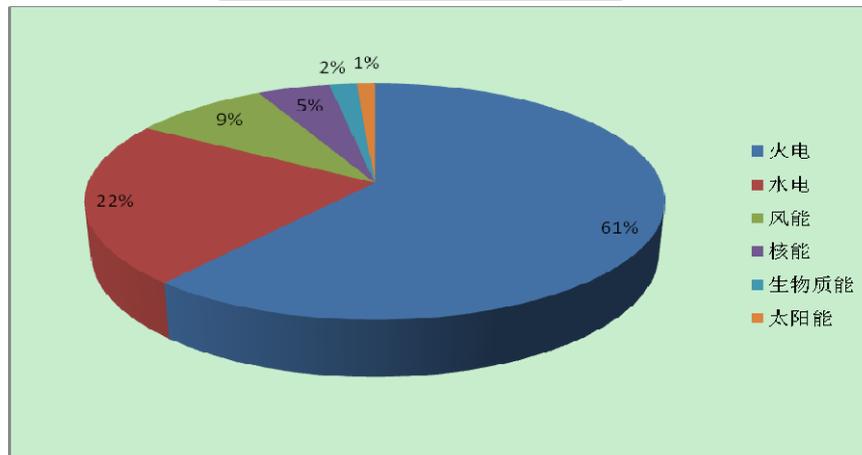
2010年中国能源结构示意图



资料来源：全国电力工业统计快报（2010年）

- 中国预计2020年实现非石化能源达到15%的目标，《新兴能源产业发展规划》以水电风电发展为主，核能和太阳能发展为辅
 - 新兴能源计划中，预计2020年水电装机容量达到3.8亿千瓦，风电装机1.5亿千瓦，核电装机大约8000万千瓦，生物质发电3000万千瓦，太阳能发电装机容量达到约2000万千瓦

2020年中国预计能源结构示意图



资料来源：中国国家电网，三星经济研究院整理

¹ 并网指已经能够接入电网的发电机组

- 与欧洲相比，中国新能源产业中太阳能产业的发展有待上升
 - 欧洲的非化石能源分布呈现出多种能源共存的局面，近年来光伏和风能主导了新增的发电装机容量
 - 2010 年，欧洲太阳能发电装机量占新增可再生能源的首位
 - 欧洲设定 2020 年 20% 的能源来自于可再生能源的目标
 - 欧洲光伏发电协会（EPIA）的研究结果表明，到 2020 年太阳能发电占欧洲电力需求量的比例应从目前的 2% 提高至 12%
 - 相比之下，当前，中国的非化石能源以水电为主，新能源规划中太阳能比例远远落后

2. 太阳能光热发电时代即将到来

光热发电与光伏发电比较

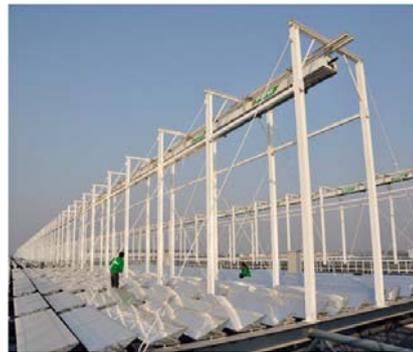
- 目前太阳能发电产业的主流光伏发电技术存在致命弱点：太阳能电池在生产过程中对环境的损耗较大
 - 业内专家认为，太阳能电池在生命周期所能节约的能源与生产太阳能电池本身所要消耗的资源相比，并不经济
 - 2010 年，中国光伏电池产量已超过全球总产量的 50%，行业年产值超过 3000 亿元人民币，直接从业人数超过 30 万人
 - 考虑到光伏电池生产过程中给环境带来的压力并没有计算到其制造成本中，长久看来，光伏电池生产并非可持续发展之道

- 与太阳能光伏发电相比，太阳能光热发电技术更为节能环保，有望成为解决能源匮乏、应对气候变暖的有效手段
 - 太阳能光热发电基本采用物理手段进行光电能量转换，对环境危害极小
 - 太阳能热发电站全生命周期的 CO₂ 排放仅为 13-19g/kWh（2007 年技术）
 - 根据现有技术路线，光热发电分为槽式、塔式、碟式和非涅尔式四种类型
 - 槽式技术由于最早（1984 年）投入商业化应用，电站运行经验相对丰富，因此是目前已建和在建装机容量中占比最多的技术类型
 - 塔式电站虽然数量上没有槽式电站多，但是由于运行温度高、系统效率高，有后来居上之势
 - 非涅尔式也有小规模示范电站，目前正在西班牙进行规模化电站建设（30MW）
 - 碟式斯特林技术虽然系统效率最高，然而由于技术开发难度大，只是在 2010 年年初才有首座 1.5MW 的电站投入运行

槽式光热发电 (左) 和70KW塔式光热发电 (右)



10KW 碟式光热发电机 (左) 和皇明太阳能屋顶菲涅尔式太阳能热发电站 (右)



- 除节能环保之外，太阳能光热发电与太阳能光伏发电比较在上网及与传统火电站接轨方面优势明显
 - 光热发电可以在很大程度上解决新能源的并网难题
 - 太阳能光热发电的一个显著特点是其输出电力稳定，电力具有可调节性，可以满足尖峰、中间或基础负荷电力市场需求
 - 太阳能热发电站可以设计蓄热系统，在云遮或日落后，蓄存的热能可以被释放出来，使汽轮机持续运行，从而保证输出电力的稳定性，并增加全负荷运行时数
 - 此外，太阳能热发电站也可以和传统的蒸汽或联合循环电站整合（混合发电）
 - 化石燃料辅助太阳能电站的循环
 - 光热发电因为在原理上部分与火力发电相似，更容易被以火力发电为主营业务的发电集团所接受

太阳能光热发电及光伏发电优劣比较

比较	光热发电	光伏发电
节能环保	是清洁生产过程，太阳能光热能是清洁能源，光热发电对环境的影响很小，不会对环境造成污染	光伏发电的电池板生产过程是高能耗、高污染的生产过程
技术方面	在我国发展时间较短，在太阳能聚光方法及设备、高温传热储热、电站设计等集成以及控制方面，已经取得实质性进展	中国在电池制造方面技术已经达到世界领先水平，然而，上游产业链中的多晶硅提纯技术落后，多晶硅原料基本依赖进口
成本方面	投入成本大，对热值要求高，而且对设备、系统要求也很高	随着光伏发电设备成本的降低和组件价格的持续走低，光伏发电运营商的投资回报率

		提高
应用范围	规模效应明显，电站规模越大，单位电量的成本越低； 因此光热发电只适合大规模电站，对土地面积、资金规模等要求较高	光伏发电布局较为灵活，可以建设大规模的光伏电站，也可以将光伏电池安装在屋顶上，甚至是移动设备等等
电网接入	光热发电输出电力稳定，电力具有可调节性，可以满足尖峰、中间或基础负荷电力市场需求	光伏发电受日光照射强度影响较大，上网后给电网带来较大压力
与传统电厂接轨	太阳能热发电原理上部分与火力发电相似，电站也可以和传统的蒸汽或联合循环电站整合（混合发电）	光伏发电形式独特，和传统电厂合并难度大

3. 国光热发电产业竞争拉开序幕

- 光热发电成为新能源项目中，国家调整的重点项目
 - 2011年6月1日，国家发展和改革委员会颁布的《产业结构调整指导目录》正式实施在指导目录鼓励类新增的新能源门类中，太阳能光热发电被放在突出位置
 - 在国家电力“十二五”规划中，明确指出“十二五”期间，将在甘肃、宁夏、新疆、内蒙古选择条件适合地点建设太阳能光热发电示范电站
 - 中国国家能源局2011年5月已经完成第一个太阳能热发电的特许权示范招标
 - 太阳能资源所在地政府或其授权公司，划定有开发潜力的区域，通过招标选择业主，中标业主负责项目的投资、经营和建设，在特许期内获得全部收益，政府承诺收购特许期内所有生产电力，电价由招标决定。特许期结束后，资产所有权和经营权无偿转交给当地政府或其代理人

- 国内企业已经敏锐嗅到光热发电的市场前景，逐一突破太阳能光热发电尖端技术
 - 由浙江华仪康迪斯太阳能科技有限公司自主研发的10KW碟式太阳能聚光发电系统样机，已经在宁夏石嘴山市进行测试及试运行
 - 与其他太阳能发电系统比较，这套碟式斯特林聚光发电系统光电转换效率达到30%以上，且有安装灵活、制造和维护成本低的优势，具有广阔的市场前景
 - 中海洋与北京银行、杭州银行签署了银企合作协议，获得计40亿元人民币的授信额度，以支持其在太阳能光热发电项目上的发展规划
 - 中海洋以太阳能聚光热发电反射镜系统项目为切入点，初期主要研发光热发电设备
 - 随着国内太阳能光热电站的发展，后期将逐步进入发电系统集成领域
 - 成都双流中海阳太阳能聚光热发电反射镜项目总投资20亿元，计划于2012年3月竣工投产
 - 该项目总投资20亿元，建设太阳能光热发电聚光镜、定日镜生产线，预计产能可以满足800MW太阳能光热电站对镜场的建设需求

- 中国五大电力公司先后跟进太阳能光热发电
 - 目前大唐在内蒙古、国电在新疆、华电在青海、华能在西藏都开始运作不同规模的光热发电
 - 过去一年多，有不同企业在四川、青海、甘肃、宁夏等多个地区提出了数个太阳能光热发电项目，规模从100MW到500MW不等

- 中国企业在光热产业链上下游元件生产方面高速增长，基本具备全产业链生产能力
 - 中国已经具备提供大型塔式电站用定日镜的能力和产能，MW 级太阳能塔式热发电站已经试运行
 - 槽式太阳能热发电方面，中国已经有 300° C 真空管，目前正向 450° C 真空管迈进
 - 除 430° C 以上的导热油外，中国目前全部可以大规模生产，其他如耐候性高反射率玻璃等目前已经具备生产能力

- 在中国政府特许招标权的政策引导下，几大电力集团牵头投资，整体产业链已经初步形成
 - 光热在起步时就推出特许权招标，国内应用市场和制造环节同步启动，且有低温利用的产业基础
 - 国内主要电力集团积极投入，有望形成从材料到制造再到系统集成以致最终应用的完整的清洁能源产业链

4. 光热发电的应用和面临的障碍

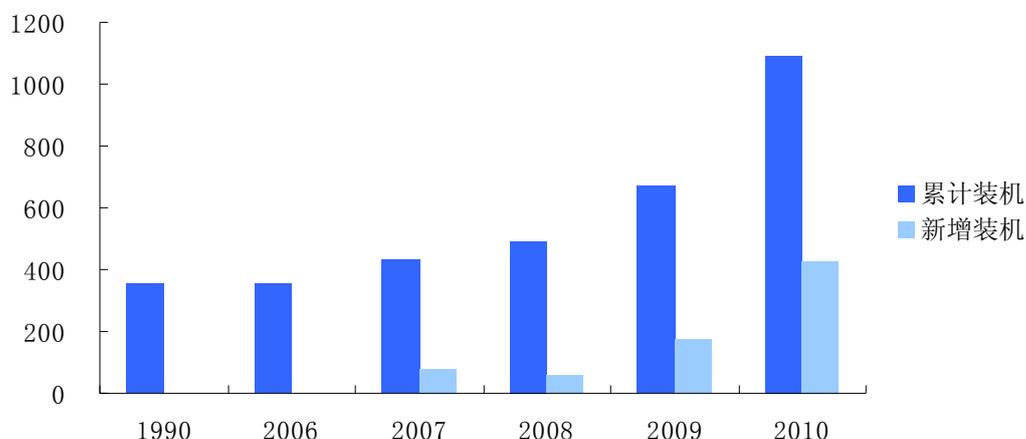
国际市场的发展前景

- 国际能源署（IEA）下属的 SolarPACES、欧洲太阳能热能发电协会（ESTELA）和绿色和平组织预测太阳能光热发电市场未来将达到井喷
 - 太阳能光热发电到 2030 年在全球能源供应份额中将占 3%-3.6%，到 2050 年占 8%-11.8%
 - 这意味着到 2050 年 CSP 装机容量将达到 830GW，每年新增 41GW，在未来 5-10 年内累计年增长率将达到 17%-27%

- 光热发电技术主要用于大型电站的建设，全球的光热发电站集中在美国和西班牙
 - 2007 年开始，全球光热发电年新增装机容量成倍增长，到 2010 年，全已建成的光热发电站累计装机容量约 1092MW

全球光热发电装机容量

（单位：MW）



资料来源：王志峰，杜凤丽（2010），聚光太阳能热发电技术，中国科学院电工研究所

- 已建设的光热电站 90%以上都在美国（433MW，40%）和西班牙（582MW，53%），近年来，中东和北非国家（62MW，6%）也在进行光热电站的建设²
 - 2010 年西班牙超过美国成为最大的光热发电应用国，目前，西班牙在建和规划的光热发电项目接近 2GW
 - 2010 年，埃及建成了国内首个的太阳能热发电站（140 兆瓦）
- 由于光热发电环保并且可储能，光热发电与其他能源的混合应用也逐渐出现
 - 光热发电与燃气、煤或是生物燃料的混合电厂在多个国家建立，其中很多是在传统电厂上进行节能改造，添加光热发电设备
 - 2010 年 6 月，美国第一个光热发电和煤发电混合电厂投入使用，该电厂是在 Xcel Energy 原有 44MW 煤电厂基础上加装了 4MW 的光热发电系统
 - CS Energy 和 Areva 正在为澳大利亚的 Kogan Greek 750MW 火电厂进行改造，增加 44MW 光热发电能力，预计 2012 年投入使用
 - 光热发电能与光伏发电的混合应用也在试验中
 - 2011 年 5 月，Solar Trust of America（美）和 SolarHybrid AG（德）组建合资公司，计划开展光热混合电厂的建设
- 光热发电的同时还可以为工业过程提供高温热源，以及用于海水淡化
 - 全球第一个光热发电-海水淡化复合系统在约旦的亚喀巴建设，计划提供 40MW 太阳能光热发电装机容量，每天生产 10000 立方米的淡水
 - 以色列 IDE 技术公司研发的太阳能海水淡化系统，能将太阳能热发电和海水淡化相结合，实现了太阳能的多目标利用
- 未来，光热发电还会有一些小规模的应用，例如建筑节能方面
 - 中小规模的光热发电应用虽然在技术和成本上都需要突破，但其优势在于运行简单，对电网要求低，可大规模生产，并且能很好与日常需要相结合，例如供暖和制冷
 - Sopogy 公司专门针对 1MW-50MW 之间的小型光热发电设备市场，目前产品已经在阿联酋、墨西哥等多个国家应用，已建和在建项目共有 12 个

中国市场的发展前景

- 中国可用于光热发电的太阳能资源丰富
 - 光热发电对于太阳直射的强度和地面的坡度有较高的要求
 - 日直接正常光照（DNI）量大于 5kWh/m²，地面坡度不大于 3%
 - 中国的光热发电可用资源集中在内蒙古、新疆、西藏和青海四个地区

中国、美国和西班牙的太阳能集热发电的资源总潜力

	潜在装机容量（GW）	潜在年发电量（TWh/年）
中国	16000	42000
美国	15000	40000
西班牙	720	1900

资料来源：中国太阳能集热发电的可行性及政策研究报告，中国科学院清洁能源技术发展中心，2009 年 12 月

² 资料来源：光热，市场爆发即将启动，华泰联合证券，2011 年 6 月 27 日

- 2010 年起，光热发电项目迅速增加，平均规模超过光伏发电项目
 - 首个光热发电特许权招标项目内蒙古 50MW 槽式太阳能项目招标结束
 - 项目计划采用槽式太阳能热发电技术，总投资 16 亿元，年发电 1.2 亿度
 - 大唐、天威 10MW 光热发电项目是对原有 100MW 煤电厂的扩容改造，以降低煤消耗，提高发电稳定性，项目总投资 3 亿元
 - 目前并网发电的国内最大光伏项目装机容量为 20MW，而规划及在建的光热电站上规模大多在 50MW-200MW 不等
 - 按已公布的规划统计，2015 年前，我国的太阳能热发电装机容量将达 3GW 左右

国内部分在建和规划的太阳能光热发电项目情况

地点	装机规模	投资（参与）方	技术	项目进展
甘肃	10MW（煤电厂改造）	大唐新能源、天威集团	槽式	在建
内蒙古	50MW（首个特许招标项目）	大唐新能源、皇明太阳能	槽式	在建
青海	100MW	中电投集团、黄河水电公司、上海工电能源科技公司	塔式	在建，2012年首台机组并网发电
青海	50MW	浙江中控太阳能技术有限公司	塔式	在建，计划2011年年底试运行
甘肃	50MW	中国华电集团公司	槽式	规划
西藏	50MW	华能西藏发电有限公司	不详	规划
青海	200MW	中国华电集团公司	槽式	规划
甘肃	200MW	中国广东核电集团	不详	规划

注：截止2011年7月底

资料来源：公开信息

- 国内光热发电应用的技术方式日趋多样化
 - 早期主要是研发塔式光热发电，现在应用了在全球商业化比较成熟的槽式光热发电
 - 碟式、菲涅尔式光热发电设备的国产开发正在进行中，未来也有望得到应用，其中，碟式系统有望用于中小规模的应用
 - 2011 年 4 月，浙江华仪康迪斯太阳能科技有限公司研发的中国首台 10KW 碟式斯特林聚光发电系统在宁夏投入测试及试运行
 - 华仪康迪斯计划于 2011 年开始在宁夏建设由 10 台机组组成的 100KW 光热电站
 - 皇明太阳能的菲涅尔式热发电组件已经用于西班牙的电厂建设，公司正在山东德州建设一个 2.5MW 的屋顶菲涅尔式太阳能热发电站

光热发电应用面临的障碍

- 相比光伏电站，光热电站需要更高额初始投资
 - 美国 IEA 估计目前光热电站的建设成本在 4.2-8.4 美元/瓦³（根据技术、设备、人工成本有不同），按 6 美元/瓦计算，50MW 的光热电站需要投资 3 亿美元
 - 光伏电站由于规模较小、设备生产较为成熟，建设成本相对较低

³ 资料来源：Technology Roadmap Concentrating Solar Power, International Energy Agency, 2010年10月, www.iea.org

- 目前光伏电站的建设成本在 3-5 美元/瓦，按 4 美元/瓦计算，10MW 光伏电站需要投资 4000 万美元
 - 皇明太阳能、中海阳等国内厂商投入光热发电设备生产，有助于降低建设成本
- 光热电站的发电成本仍较高，需要政府补贴
- 美国加州 SEGS 第 9 期光热发电项目 80MW 电站的发电成本约为 17 美分/KWh⁴，西班牙的光热发电成本约为 20 美分/KWh⁵
 - 内蒙古 50MW 特许权光热发电项目中，大唐新能源的中标电价为 0.9399 元/千瓦时，低于现在行业水平
- 由于国内目前尚没有大型太阳能热发电系统的设计经验，故太阳能发电选址标准、工程设计、系统集成等技术还需要进一步研究
- 从 1MW 级左右的示范电站向 50MW 以上的大型电站提升，要求成熟的集成技术保证电站运行的稳定性
 - 光伏发电的全部光电转化都已经被完整地包含在一个模块当中，安装和维护相对简单，而光热发电对现场工程和设计的要求更高
- 大规模光热发电主要建设在西部和北部，要将电力输送到东南部，需要配套电网的建设
- 特高压电网建设列入国家电网十二五规划，光热发电项目选址要考虑到电网配套
 - 计划在 2015 年前建成从西部、西北到华北、华东、华南的“三纵三横”跨区域特高压线路

⁴ 资料来源：光热发电全球展望09，绿色和平组织，SolarPaces和欧洲光热发电协会，2009

⁵ 资料来源：Hans Muller-Steinhagen(2010),光热电厂走向商业化市场，德国航空航天中心技术热力学研究所