

# 太阳能热发电

## 百科名片

太阳能热发电，也叫聚焦型太阳能热发电（Concentrating Solar Power，简称CSP），通过大量反射镜以聚焦的方式将太阳能直射光聚集起来，加热工质，产生高温高压的蒸汽，蒸汽驱动汽轮机发电。

## 概述

人类利用太阳能虽然已有3000多年的历史，但把太阳能作为一种能源和动力加以利用，却只有不到400年的历史。自17世纪初以来可以按照太阳能利用发展和应用的状况，把现代世界太阳能利用的发展过程大致划分为8个阶段。

近代太阳能利用的历史，一般从1615年法国工程师所罗门·德·考克斯发明世界上第一台利用太阳能驱动的抽水算起；1901~1920年这一阶段世界太阳能研究的重点，仍然是太阳能动力装置。但采用的聚光方式多样化，并开始采用平板式集热器和低沸点工质；1921~1945年由于化石燃料的大量开采应用及爆发了第二次世界大战的影响，此阶段太阳能利用的研究开发处于低潮，参加研究工作的人数和研究项目及研究资金大为减少；1946~1965年这一阶段，太阳能利用的研究开始复苏，加强了太阳能基础理论和基础材料的研究，在太阳能利用的各个方面都有较大进展；1966~1973年此阶段由于太阳能利用技术还不成熟，尚处于成长阶段，世界太阳能利用工作停滞不前，发展缓慢；1973~1980年这一时期爆发的中东战争引发了西方国家的“石油危机”，使得越来越多的国家和有识之士意识到，现时的能源结构必须改变，应加速向新的能源结构过渡，客观上使这一阶段成了太阳能利用前所未有的大发展时期；1981~1991年由于世界石油价格大幅度回落，而太阳能产品价格居高不下，缺乏竞争力，太阳能利用技术无重大突破；1992年至今为第八阶段，1992年6月联合国“世界环境与发展大会”在巴西召开之后，世界各国加强了对清洁能源技术的研究开发，使太阳能的开发利用工作走出低谷，得到越来越多国家的重视和加强。

目前，太阳能热发电的技术路线主要有四类：技术相对成熟、目前应用最广泛的抛物面槽式，效率提升与成本下降潜力最大的集热塔式，适合以低造价构建小型系统的线性非涅尔式，效率最高、便于模块化部署的抛物面碟式。

## 聚光类太阳能热发电

太阳能热发电通常叫做聚光式太阳能发电，与传统发电站不一样的是，它们是通过聚集太阳辐射获得热能，将热能转化成高温蒸汽驱动蒸汽轮机来发电的。当前太阳能热发电按照太阳能采集方式可划分为（1）太阳能槽式发电；（2）太阳能塔式热发电；（3）太阳能碟式热发电。

槽式系统是利用抛物柱面槽式反射镜将阳光聚焦到管状的接收器上，并将管内的传热工质加热产生蒸汽，推动常规汽轮机发电；塔式系统是利用众多的定日镜，将太阳热辐射反射到置于高塔顶部的高温集热器(太阳锅炉)上，加热工质产生过热蒸汽，或直接加热集热器中的水产生过热蒸汽，驱动汽轮机发电机组发电；碟式系统利用曲面聚光反射镜，将入射阳光聚集在焦点处，在焦点处直接放置斯特林发动机发电。

在这三种系统中，目前只有槽式发电系统实现了商业化。从1981年至1991年的10年间，相继在美国加州的Mojave沙漠相继建成了9座槽式太阳能热发电站，总装机容量353.8MW（最小的一座装机14MW，最大的一座装机80MW），总投资额10亿美元，年发电总量为8亿KWh。太阳能热发电技术同其它太阳能技术一样，在不断完善和发展，但其商业化程度还未达到热水器和光伏发电的水平。太阳能热发电正处在商业化前夕，专家预计2020年前，太阳能热发电将在发达国家实现商业化，并逐步向发展中国家扩展。

## 槽式太阳能热发电

槽式发电是最早实现商业化的太阳能热发电系统。右图为一个槽式太阳能热发电系统。它采用大面积的槽式抛物面反射镜将太阳光聚焦反射到线形接收器（集热管）上，通过管内热载体将水加热成蒸汽，同时在热转换设备中产生高压、过热蒸汽，然后送入常规的蒸气涡轮发电机内进行发电。槽式抛物面太阳能发电站的功率为10~1000 MW，是目前所有太阳能热发电站中功率最大的。通常接收太阳光的采光板采用模块化布局，许多采光板通过串并联的方式，均匀的分布在南北轴线方向。为了保证发电的稳定性，通常在发电系统中加入化石燃料发电机。当太阳光不稳定的时候，化石燃料发电机补充发电，来保证发电的稳定性和实用性。一些国家已经建立起示范装置，对槽式发电技术进行深入研究。

早在1973年石油危机的前几百年就开始了利用太阳光开发可再生能源的研究工作了，石油危机的爆发触发了可再生能源的近代发展。最早的试验是19世纪60年代，Auguste Mouchout的以太阳能为动力的第一辆汽车，在一玻璃封闭的铁釜内生产蒸汽来驱动汽车。19世纪80年代，美国人John Ericsson采用槽式抛物面太阳能集热装置驱动了一台热风机。接着在20世纪初，AubreyEneas的第一辆商业化的太阳能汽车出现了。1907年，德国阿伦的Wilhelm Meier 博士和斯图加特的Adolf Remshardt，申报了一项用槽式抛物面太阳能集热装置生产蒸汽的专利，他们采用抛物槽式接受器吸收太阳辐射，直接产生蒸汽来发电。1912年Shumann和Boys在这个专利的基础上设计了一台用槽式抛物面太阳能集热装置生产蒸汽驱动45kW的蒸汽马达泵，集热装置长62m，光线总途径宽度4m，总途径面积1200 m。1916年德国议会还批准拨款20万马克，在西南非洲领地进行槽式抛物面太阳能集热装置示范试验，遗憾的是由于第一次世界大战的爆发和近东地区石油的发现，阻碍了这项计划的实现。

1977年发生石油危机以后，对槽式抛物面太阳能集热装置的兴趣被重新激起。在这期间，美国能源部（DOE）和联邦德国研究和科技部都在资助装有槽式抛物面太阳能集热器的加热装置和水泵系统的发展。国际能源机构(IEM)的9个成员国共同参与了一项总功率为500kW示范试验，该示范试验项目于1981年投入运营；Acurex公司的10000m系统也于1977年至1982年在美国的一台示范装置上装机使用。

1991年加利福尼亚的槽式抛物面太阳能热利用发电站的运营成功，促进了南欧和其他拥有丰富太阳辐射的发展中国家太阳能热利用计划的开展。1998年以来，由欧盟支持的DISS (Direct Solar Steam)计划和Euro Trough 计划，以及西班牙和摩洛哥研究计划，启动了欧洲槽式抛物面太阳能技术的发展。2000年德国联邦议会决定，为太阳能发电实施一项3年投资计划，计划资金的三分之二用于槽式抛物面太阳能热发电项目。

随着制造工艺的不断改进，建造费用由5976美元/KW降低到3011美元/kW，发电成本由26.3美分/KWh降低到了12美分/kWh。当发电成本降到8美分/KWh时，太阳能热发电可与常规矿物能源发电相媲美。随着热能存储设备的加入，可使槽式发电的效率比最初提高7%，可使一个80MW的发电站的光电转换效率达到13.8%。热能存储设备可以存储剩余的热量，保证发电的平稳，同时它也为独立的太阳能发电提供了保障。

当前正在发展的技术方向为直接蒸汽（DSG）技术。典型的PTC发电厂动力范围30-150MW，工作温度约为400 °C。

## 塔式太阳能热发电

塔式太阳能热发电是采用大量的定向反射镜(定日镜)将太阳光聚集到一个装在塔顶的中央热交换器(接受器)上，接受器一般可以收集100MW的辐射功率，产生1100 °C的高温。

1950年，原苏联设计了世界上第一座塔式太阳能热发电站的小型实验装置，对太阳能热发电技术进行了广泛的、基础性的探索和研究。1952年，法国国家研究中心在比利牛斯山东部建成一座功率为1MW的太阳炉。1980年美国在加州建成太阳I号塔式太阳能热发电站，装机容量10MW。经过一段时间试验运行后，在此基础上又建造了太阳II号塔式太阳能热发电站，并于1996年1月投入试验运行。

塔式太阳能热发电技术最初用蒸汽，它可以直接推动汽轮机发电；但是由于太阳能随气候变化不定，因此蒸汽参数很难控制，而且热量损失大。上世纪90年代初，美国发明了一种盐塔式太阳能热发电装置，它改用盐熔液作为热载体并建立了一个10MW实验电站，所用的盐熔体由硝酸钾、硝酸钠和氯化钠的混合物构成，价格低廉、热传导性良好，可以在常压下储存在大型容器里；但是由于熔盐有相对高的凝固点（120 °C~140 °C）所流经的管路在系统启动时要进行预热。上世纪80年代后期，还有人提出采用空气作为热载体；空气的热传导性虽然不好，但它的工作温度范围大、操作简单、无毒性，不仅能和蒸汽驱动的汽轮机相连，还可以直接利用高温空气驱动燃气轮机，效率更高；在这种方案中，聚焦的光线被投射到一种透气材料（例如一种金属丝编织物），空气从这种被加热的材料中通过，由于空气和这种集热材料的接触面很大，故传热很快，效率很高，而且可以把空气加热到700 °C的高温。

在盐塔式太阳能热利用发电站里，熔盐通过泵从冷盐储存器输送到接受器中加热，温度从265 °C升到565 °C，然后送到热盐储存器里，通过热交换产生蒸汽，放热冷却后又重新回到冷盐储存器里。1996年至1999年间美国建造的两个10MW电站的运行结果表明，这种设备对技术故障的承受能力很差，但都能找到解决的办法。例如为防止腐蚀，在接受器管路中使用了新材料；又如盐循环系统中使用潜水泵可简化控制系统，减少价格昂贵且容易发生故障的阀门，保证排空系统正常运行，减少故障发生。这两个电站的定日镜由于长期使用和早期制造水平不高，目前已出现一系列问题，新型的更大的定日镜正在研制中。美国最近研制和试验成功的新部件使人们相信，盐塔式太阳能热发电完全可能商业化。右图为世界太阳能塔式热发电站。

## 碟式太阳能热发电

碟式（又称盘式）太阳能热发电系统是世界上最早出现的太阳能动力系统，是目前太阳能发电效率最高的太阳能发电系统，最高可达到29.4%。碟式系统的主要特征是采用碟（盘）状抛物面镜聚光集热器，该集热器是一种点聚焦集热器，可使传热工质加热到750℃左右，驱动发动机进行发电。这种系统可以独立运行，作为无电边远地区的小型电源，一般功率为10~25Kw，聚光镜直径约10~15m；也可用于较大的用户，把数台至十台装置并联起来，组成小型太阳能热发电站。

早在1878年，一个小的太阳能动力站在巴黎建立，该装置是一个小型点聚集太阳能热动力系统，碟式抛物面反射镜将阳光聚焦到置于其焦点处的蒸汽锅炉，由此产生的蒸汽驱动一个很小的交互式蒸汽机运行。1983年美国加州喷气推进试验室完成的碟式斯特林太阳能热发电系统，其聚光器直径为11m，最大发电功率为24.6 kW，转换效率为29%。1901年，美国工程师研制成功7.35 kW的太阳能蒸汽机，采用70平方米的太阳聚光集热器，该装置安装在美国加州做实验运行。1992年，德国一农工程公司开发的一种盘式斯特林太阳能热发电系统的发电功率为9 kW，到1995年3月底，累计运行了17000h，峰值净效率20%，月净效率16%，该公司计划用100台这样的发电系统组建一座1MW的碟式太阳能热发电示范电站。

美国热发电计划与Cummins公司合作，1991年开始开发商用的7千瓦碟式/斯特林发电系统，5年投入经费1800万美元。1996年Cummins向电力部门和工业用户交付7台碟式发电系统，计划1997年生产25台以上。Cummins预计10年后生产超过1000台。该种系统适用于边远地区独立电站。

美国热发电计划还同时开发了25千瓦的碟式发电系统。25千瓦是经济规模，因此成本更加低廉，而且适用于更大规模的离网和并网应用。1996年在电力部门进行实验，1997年开始运行。

就几种形式的太阳热发电系统相比较而言，塔式热发电系统的成熟度目前不如抛物面槽式热发电系统，而配以斯特林发电机的抛物面盘式热发电系统虽然有比较优良的性能指标，但目前主要还是用于边远地区的小型独立供电，大规模应用成熟度则稍逊一筹。应该指出，槽式、塔式和盘式太阳能热发电技术同样受到世界各国的重视，并正在积极开展工作。美国政府的太阳能热发电发展计划并列塔式、槽式和盘式三种热发电技术，目的在于满足不同高层应用的需求。

与国外对槽式太阳能热发电技术在材料、设计、工艺及理论方面进行了长达20多年的研究相比，我国太阳能热发电起步较晚。在太阳能热发电领域中，涉及槽式太阳能热发电中的关键技术是聚光集热装置，其中聚光镜片、跟踪驱动装置、线聚焦集热管是实现槽式太阳能顺利发电的三项核心技术。在我国，大力发展槽式太阳能热发电是当前阶段比较符合国内产业发展的方向。

我国是世界上最大的低温热水器生产大国，在真空管的技术上已经掌握了国际领先技术，玻璃热弯与镀银技术处于世界先进水平。槽式热发电的产业基础已经存在，上下游产品供应也可以得到保障。其中由德州华园新能源应用技术研究所掌握核心技术参与的，包括国内外数个热发电站依照规格合计可达900MW，这些国内外项目的成功实施，也必将为我国其它地区实施太阳能热发电站提供经验，为我国更多更快建设太阳能热发电站作出贡献。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/baike/2465.html>