

聚光光热(CSP)太阳能专题研究报告

太阳能行业

评级：增持 维持评级

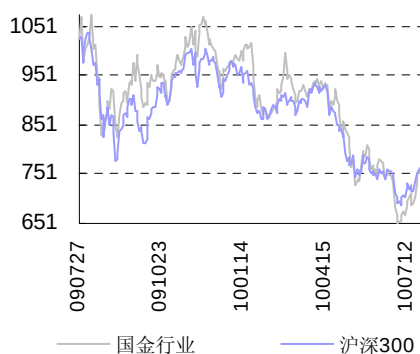
行业研究

长期竞争力评级：高于行业均值

CSP 会成为火电的替代者吗？

市场数据(人民币)

行业优化平均市盈率	89.97
市场优化平均市盈率	29.70
国金太阳能指数	766.09
沪深 300 指数	2793.08
上证指数	2572.03
深证成指	10527.95
中小板指数	5693.22



相关报告

1. 《前途光明,完善技术和降低成本是关键》，2010.7.13
2. 《各国光伏发展情况》，2010.7.13
3. 《杂音还是变奏》，2010.5.26

基本结论

- **聚光光热（CSP：Concentrated Solar Power）**发电的基本原理是：利用汇聚的太阳光加热液体或气体介质，然后把这部分由介质传导的热量转换为机械能，再从机械能转化为电能。
- **CSP 发电的技术路线可以分为四大类**：技术相对成熟、目前应用最广泛的**抛物面槽式**；效率提升和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**线性菲涅尔式**；效率最高、便于模块化部署的**抛物面碟式**。
 - 目前全球运行中的 CSP 电站装机规模合计已达 822MW，建设中的有 915MW，槽式系统均以 90%以上的比例占绝对主导地位；而在合计装机规模高达 12.5GW 的规划项目中，槽式、塔式、碟式系统则呈现三足鼎立的局面。
- **规模化能力高**：以目前的技术水平，单座槽式或塔式 CSP 电站的经济装机规模在 100MW~250MW，这一规模已经相当于一台中型火电机组的输出功率，随着技术的进步，未来单座 CSP 电站的装机规模仍有望继续增长。
- **有望真正替代火电**：CSP 电站的光热发电特性使以热量的形式进行储能成为可能。以大规模的融盐储能装置，配合一定比例的后备化石燃料供应，形成所谓的**混合动力 CSP 电站**，将是未来大型 CSP 电站的发展趋势。
 - 这样的配置，使 CSP 电站能够实现 24 小时持续供电和输出功率高度可调节的特性，使其具备了作为**基础支撑电源与传统火电厂竞争的潜力**。
- **成本下降空间大**：以应用最广泛的抛物面槽式 CSP 电站为例，目前已投产项目的建设成本在 \$4.2/W~\$8.4/W 之间，发电成本在 \$0.16~\$0.25/KWh 之间，成本差异主要由项目所在地的光照条件、储热设施和集热场的规模所决定。预计未来 10 年内，技术相对最成熟的槽式系统的建设成本仍有望下降 30%~40%，而其他技术类型的成本下降空间则更大。
 - 提高单座电站的装机规模、相关部件大批量生产、以及提高系统工作温度以改善发电效率，将是 CSP 电站降低建造和发电成本的主要途径。
 - 长期看，随着 CSP 电站成本的逐步降低，而火电成本则将因化石能源价格的升高和碳排放税的征收而走高，CSP 电力的价格优势将逐渐显现。
- 此外，利用 CSP 电站所独有的光热条件，以太阳能热化学反应等方法生产以氢气为代表的清洁燃料；或利用电站余热进行海水淡化处理等；都是未来充分发挥 CSP 电站优势、提高其经济性的发展趋势。

投资建议

- 聚光光热 CSP 发电产业在中国刚刚起步，参与的本土企业还比较少，我们建议关注对相关技术的研发有先期投入、且具有一定技术优势的公司。如：投资以色列碟式 CSP 系统研发企业的**三花股份（002050.SZ）**；自主研发生产碟式 CSP 系统用斯特林发动机的**航空动力（600893.SH）**；和一些具有聚光反射镜潜在供货能力的玻璃企业。

张帅

分析师 SAC 执业编号：S1130210010307
 (8621)61038279
 zhangshuai@gjzq.com.cn

内容目录

聚光光热（CSP）太阳能发电系统概述.....	4
CSP 发电原理与太阳能光伏发电有较大不同	4
CSP 系统分类技术解析与对比	4
抛物面槽式.....	4
集热塔式	5
线性菲涅尔式	6
抛物面碟式.....	7
四种 CSP 技术路线的对比与发展前景展望	10
CSP 的技术特点和应用优势使其真正具备与火电竞争的潜力	12
CSP 是比 CPV 更具规模化潜力的聚光太阳能利用方式	12
CSP 电站储能潜力大，作用不仅在于平滑输出功率.....	13
CSP 电站还能用于制备氢气等清洁燃料和进行海水淡化.....	15
CSP 电站的运行经济性和成本下降分析	17
全球 CSP 电站项目发展现状及前景展望	19
CSP 装机规模将迎来爆发式增长，各项技术类型占比格局发生明显变化 ..	19
我国的 CSP 产业正在起步	20
雄心勃勃的德国 Desertec 计划	20
政府的支持将对 CSP 的推广起到至关重要的作用	21
CSP 相关 A 股上市公司分析	22
三花股份（002050.SZ）	22
航空动力（600893.SH）	22

图表目录

图表 1：聚光光热 CSP 发电的能量转换过程.....	4
图表 2：抛物面槽式聚光系统	4
图表 3：抛物面槽式 CSP 电站	4
图表 4：抛物面槽式 CSP 电站实景	5
图表 5：抛物面槽式聚光器实景	5
图表 6：集热塔式聚光系统.....	6
图表 7：集热塔式 CSP 电站.....	6
图表 8：集热塔式 CSP 电站实景一	6
图表 9：集热塔式 CSP 电站实景二	6
图表 10：线性菲涅尔式聚光系统	7
图表 11：线性菲涅尔式 CSP 电站.....	7
图表 12：线性菲涅尔式 CSP 电站实景	7

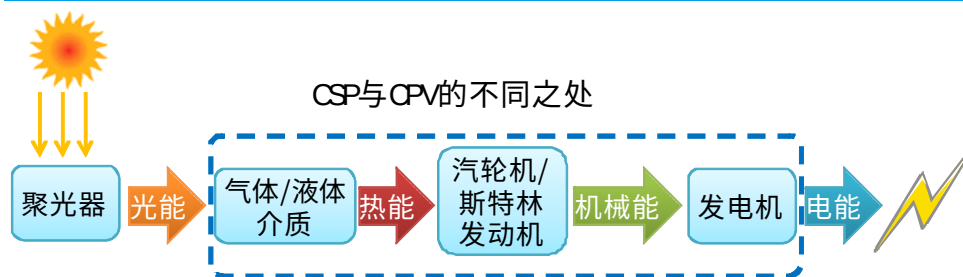
图表 13：二次聚光系统原理.....	7
图表 14：抛物面碟式聚光系统	8
图表 15：抛物面碟式 CSP 电站	8
图表 16：碟式斯特林系统实验电站	8
图表 17：碟式斯特林系统结构图	8
图表 18：斯特林发动机剖面结构图	9
图表 19：Infinia 的小型碟式系统	9
图表 20：Infinia 采用的一种紧凑型斯特林发动机结构.....	9
图表 21：建设中的 Gemasolar 电站.....	10
图表 22：Gemasolar 电站结构示意图	10
图表 23：四种 CSP 电站类型的技术特点、性能、及成本对比.....	11
图表 24：西班牙建成和在建的 CSP 电站.....	11
图表 25：全球直射阳光资源分布情况	12
图表 26：至 2050 年全球 CSP 发电量趋势展望（TWh/年）	12
图表 27：不同太阳能发电技术的规模化潜力和适用用途.....	13
图表 28：“混合动力 CSP 电站”24 小时运行工况	13
图表 29：加装大容量融盐储热单元的槽式 CSP 电站结构.....	14
图表 30：小储能配中机组供应中间负荷.....	14
图表 31：中储能配中机组供应延迟的中间负荷	14
图表 32：大储能配小机组供应基础负荷	15
图表 33：大储能配大机组供应高峰负荷	15
图表 34：美国在建和建成的 CSP 电站	16
图表 35：利用聚光光热太阳能生产清洁燃料的不同热化学途径.....	17
图表 36：带 7 小时储热容量的 50MW 槽式 CSP 电站的建设成本结构.....	17
图表 37：抛物面槽式 CSP 电站的成本下降路径	18
图表 38：不同直射阳光资源条件下的 CSP 电站发电成本下降趋势 (\$/MWh)	18
图表 39：至 2050 年全球 CSP 电站累计装机容量预测（单位：GW）	19
图表 40：全球 CSP 电站规模及各种技术类型所占比例	19
图表 41：以 CSP 电站为主的覆盖欧洲、中东、北非的可再生能源供电网络	20
图表 42：收到美国能源部信贷担保的 CSP 电站项目简况.....	21
图表 43：HelioFocus 第一代产品	22
图表 44：HelioFocus 第二代产品	22

聚光光热（CSP）太阳能发电系统概述

CSP 发电原理与太阳能光伏发电有较大不同

- 聚光光热（CSP：Concentrated Solar Power）发电的基本原理是：系统先使用汇聚的太阳光将热量接收器中的介质（液体或气体）加热到非常高的温度，然后把这部分热量转换为机械能，再从机械能转化为电能。相对的，传统太阳能光伏发电和 CPV 则是使用半导体光电转换器件（光伏电池）将光能直接转化为电能。

图表1：聚光光热 CSP 发电的能量转换过程



来源：国金证券研究所

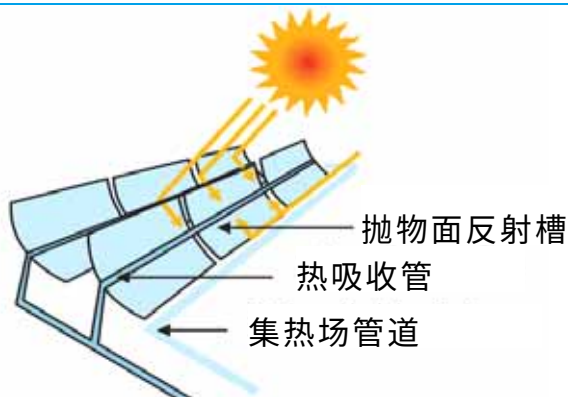
CSP 系统分类技术解析与对比

- 与 CPV 系统可以分为反射型聚光和投射型聚光类似，CSP 的分类主要也是按照系统使用的不同聚光反射器来区分的；而不同之处在于，CSP 系统后道能量转换部分的结构及其对系统技术特性的影响，在不同类型的系统之间也有比较大的区别。

抛物面槽式

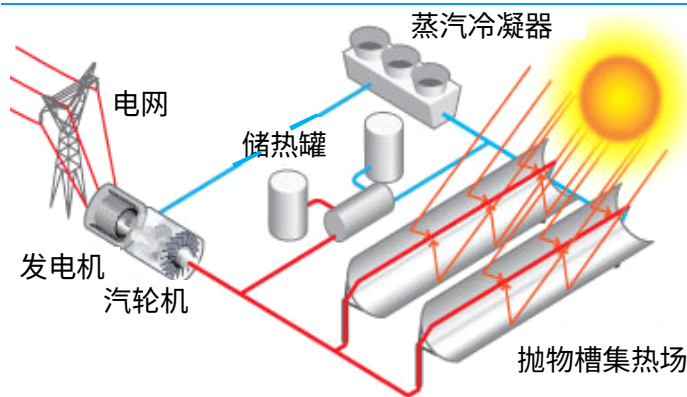
- 抛物面槽式系统是目前技术最成熟、应用最广泛的 CSP 技术，系统主要由两大部分组成：由数百行抛物面槽式反射镜构成的太阳能集热场，和一套传统的蒸汽涡轮发电装置。
 - 聚光反射槽由经过表面处理的金属薄板制成，单轴太阳追踪系统保证将 80~100 倍汇聚的太阳光准确反射到热吸接管上，并将管路内流动的合成油加热到 400°C 的高温（使用融盐等新型介质可以达到更高的温度），高温热油被输送到一个热交换器，并在那里产生蒸汽来驱动传统的涡轮发电机。
 - 在一些较新的槽式 CSP 电站中还有一个重要组成部分：储热罐。它使用融盐作为介质将太阳能以热能的形式储存起来，需要的时候再放出热量用于发电。但储热装置的加入会明显提高项目的单位功率造价。

图表2：抛物面槽式聚光系统



来源：国金证券研究所

图表3：抛物面槽式 CSP 电站



- **抛物面槽式 CSP 电站的优势**在于它所使用的技术已非常成熟，建设风险较小，而越来越多的成功商业化电站也使得采用此项技术的工程更受银行贷款的信任，在这样的良性循环下，成就了抛物面槽式技术在全球已投产 CSP 电站中 93.6% 的市场份额（以装机容量计）；而**缺点主要是耗水量大，和发电效率相对较低。**
- 槽式 CSP 电站的冷却和冷凝用水消耗量高达 3000 升/MWh 发电量，而具备足够光照条件的多为极度缺水的沙漠地区，因此在槽式 CSP 电站建设选址时，水源会是一大限制因素。
 - 为解决用水问题，也可为槽式 CSP 电站配置干式冷却系统，但会降低 7% 的发电量并提高 10% 的发电成本；目前较为先进的一种做法是使用**干湿混合式冷却系统**，在冷却需求较低的冬季使用干式冷却，在夏天用混合冷却，这样可以减少 50% 的用水量，年发电量也仅下降 1%
- 由于目前槽式 CSP 电站所主要采用的热介质合成油只能被加热到 400℃，而在此温度下产生的蒸汽质量一般，限制了后端发电机组的运行效率，从而使整个电站的年度发电效率仅能达到 14%~16%
 - 目前在建的一些大型示范项目中，正在尝试使用**融盐等新型导热介质**（可以被加热到 550℃ 以上的高温）或直接产生蒸汽的方法来提高槽式 CSP 电站的发电效率。

图表4：抛物面槽式 CSP 电站实景



来源：国金证券研究所

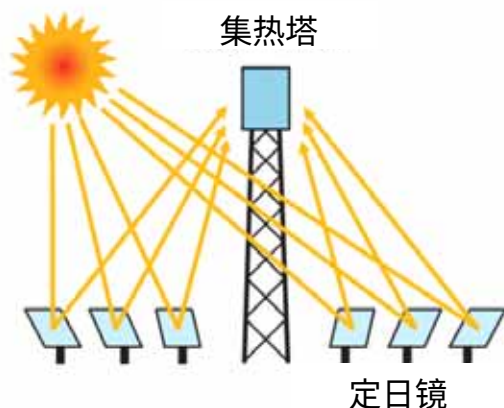
图表5：抛物面槽式聚光器实景



集热塔式

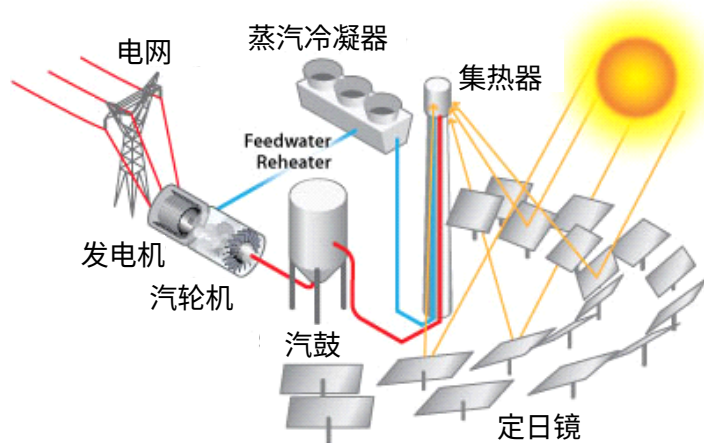
- 塔式 CSP 电站的聚光系统由数以千计带有双轴太阳追踪系统的平面镜（称为定日镜）和一座（或数座）中央集热塔构成。
 - 塔式 CSP 电站的具体结构多种多样，单块定日镜的面积从 1.2 平方米至 120 平方米不等，塔高也从 50 米至 165 米不等，聚光倍数则可以达到数百倍至上千倍。
 - 塔式 CSP 电站可以使用水、气体或融盐作为导热介质，以驱动后端的汽轮发电机（若采用融盐作为导热介质，则需加装热交换器，但储能能力较好）。

图表6：集热塔式聚光系统



来源：国金证券研究所

图表7：集热塔式 CSP 电站



- **塔式 CSP 电站的主要优势**在于它的工作温度较高（可达 800~1000℃），使其年度发电效率可以达到 17%~20%，并且由于管路循环系统较槽式系统简单得多，提高效率和降低成本的潜力都比较大；塔式 CSP 电站采用湿冷却的用水量也略少于槽式系统，若需要采用干式冷却，其对性能和运行成本的影响也较低。
- **塔式 CSP 的缺点也是明显的**：为了将阳光准确汇聚到集热塔顶的接收器上，对每一块定日镜的双轴跟踪系统都要进行单独控制，而槽式系统的单轴追踪系统在结构上和控制上都要简单得多；
 - 由于缺乏大型商用案例（占在运 CSP 装机容量的 5.1%），相对槽式系统来说，塔式 CSP 电站的成本、性能、可靠性都还存在一定的不确定性；为发挥其效率潜力而需使用的融盐介质也尚存一些技术问题值得顾虑。

图表8：集热塔式 CSP 电站实景一



来源：国金证券研究所

图表9：集热塔式 CSP 电站实景二

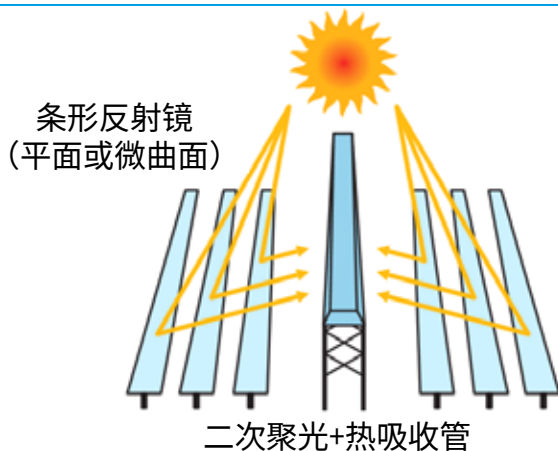


线性菲涅尔式

- **线性菲涅尔式 CSP 电站**是一种结构更为简单的系统，它采用靠近地面放置的多个几乎是平面的镜面结构（带单轴太阳跟踪的线性菲涅尔反射镜），先将阳光反射到上方的二次聚光器上，再由此汇聚到一根长管状的热吸收管，并将其中的水加热产生 270℃左右的蒸气直接驱动后端的涡轮发电机。
- 此类 CSP 系统由于聚光倍数只有数十倍，因此加热的水蒸气质量不高，使整个系统的年发电效率仅能达到 10%左右；但由于系统结构简

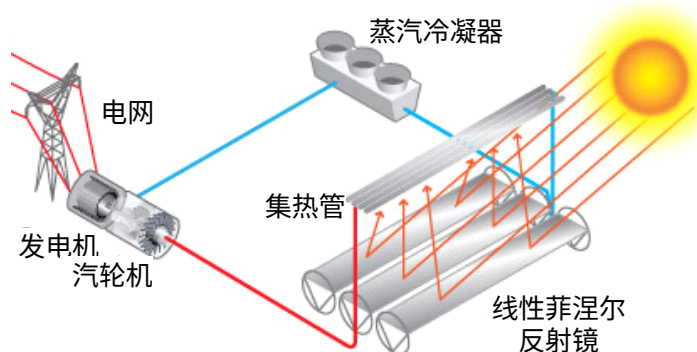
单、直接使用导热介质产生蒸汽等特点，其建设和维护成本也相对较低。

图表10：线性菲涅尔式聚光系统



来源：国金证券研究所

图表11：线性菲涅尔式 CSP 电站

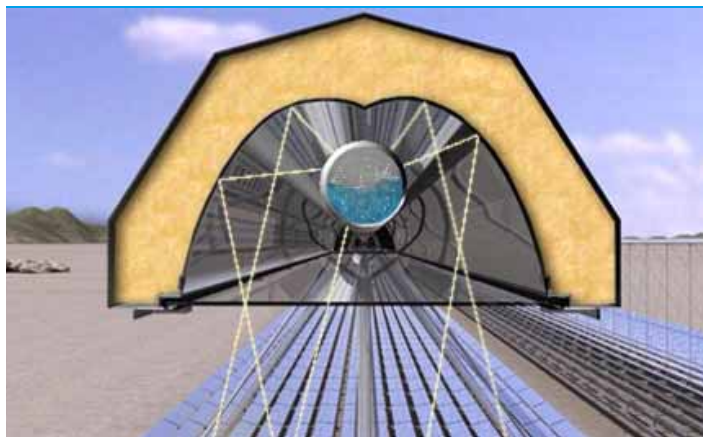


图表12：线性菲涅尔式 CSP 电站实景



来源：国金证券研究所

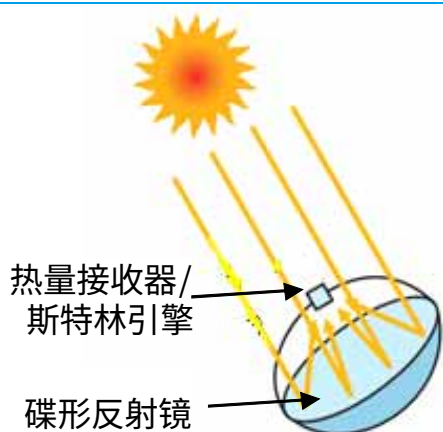
图表13：二次聚光系统原理



抛物面碟式

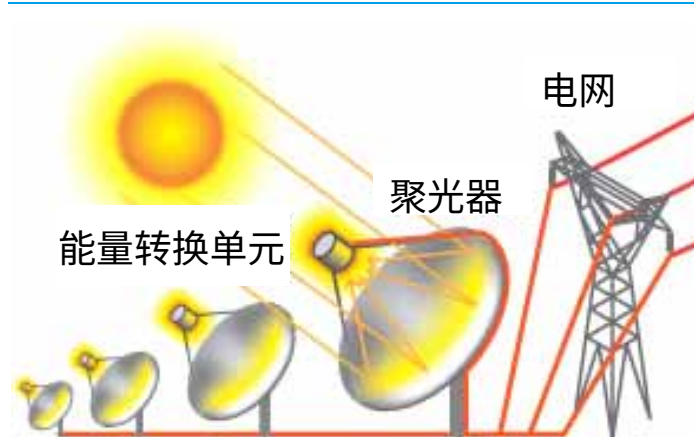
- 抛物面碟式 CSP 系统与以上介绍的三种技术有较大的不同：槽式、塔式、线性菲涅尔式系统均是在大范围内聚热后，集中用涡轮发电机进行发电，而碟式系统则是每个独立的聚热模块都能就地进行热电转换。
 - 典型碟式系统的结构由一组直径 10 米左右的抛物面聚光器和安装在其焦点上的**能量转换单元（斯特林发动机+发电机）**构成，整个单元安装在带有双轴太阳追踪系统的支柱上。
 - 高倍汇聚的太阳光（1000 倍以上）将能量转换单元中的气体（通常是氦气或氢气）加热到约 750℃ 的高温，通过气体的膨胀推动引擎活塞，带动发电机发电。

图表14：抛物面碟式聚光系统



来源：国金证券研究所

图表15：抛物面碟式 CSP 电站



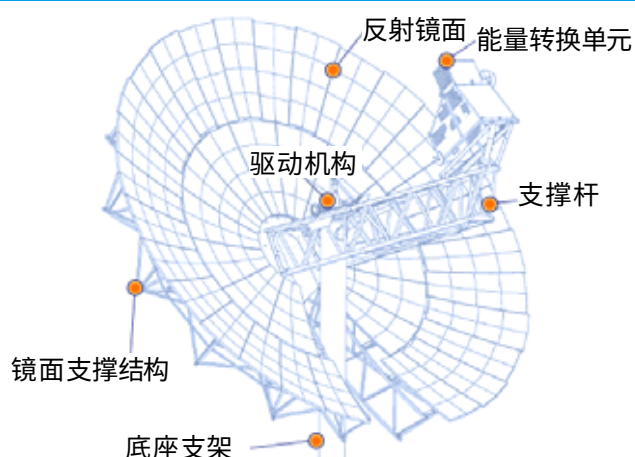
- **碟式 CSP 系统最大的优势**在于其相对较高的效率和可实现灵活部署的模块化特点。
 - 碟式系统的最大供应商斯特林能源系统的产品已达到 31% 的峰值效率，全年发电效率也可达到 19%~25%（单台功率 25kW，直径 12 米），是目前四项 CSP 技术中实现效率最高的一种；
 - 模块化的特点使碟式 CSP 系统既适合以数百千瓦的规模进行分布式部署，又有能力构建数百兆瓦的大型电站；
 - 此外，碟式 CSP 系统在发电过程中不使用水进行导热或冷却，仅需要少量水用于设备清洁。
- **碟式 CSP 系统的缺点**在于较难配置储能系统，这也是由于其独特的结构原理所导致的（每台碟式单元直接进行热电转换，输出并网交流电）。因此在使用该项技术建设大规模电站时，所输出电力的可调度性将会较低，这点与传统的光伏电站较为类似。
 - 此外，碟式斯特林系统 CSP 目前还没有大型商业化的应用，大规模运行的经济性和可靠性还有待考证。

图表16：碟式斯特林系统实验电站



来源：国金证券研究所

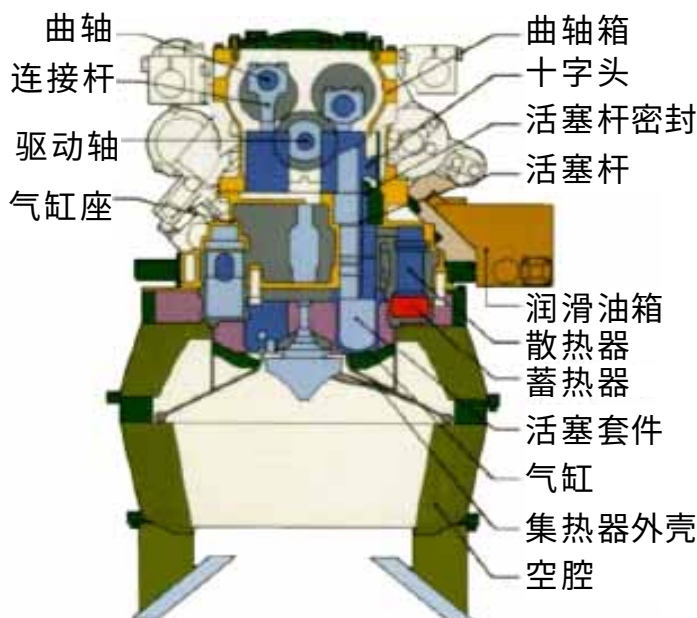
图表17：碟式斯特林系统结构图



- **什么是斯特林发动机**：碟式 CSP 系统所采用的斯特林发动机的原型是英国物理学家罗伯特·斯特林于 1816 年发明的，它通过处于密闭循环内工作气体受热膨胀、遇冷压缩推动活塞机构而产生动力，是一种效率极高的热机。

- 近两百年来，经过持续不断的改进，斯特林发动机被广泛应用于农业、制造业、航海等领域中，它几乎可以采用任何热源对引擎内的工作气体进行加热，当然太阳能是一项非常好的选择。（著名科幻小说凡尔纳的《海底两万里》中的潜艇采用的就是斯特林发动机，采用钠和水反应生热。）

图表18：斯特林发动机剖面结构图



来源：国金证券研究所

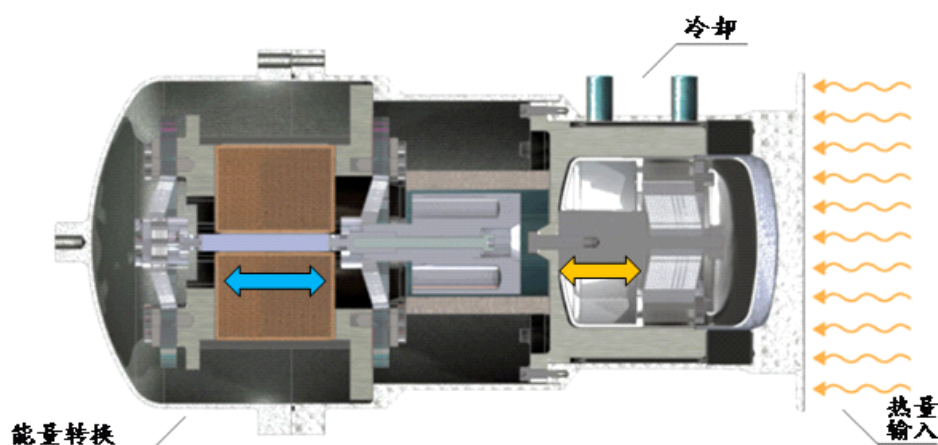
- 超大型项目即将动工：**碟式斯特林 CSP 系统的主要开发商斯特林能源系统公司 (SES) 和它的项目运营合作伙伴 Tessera 公司（负责建设和电站运营），将于 2010 年晚些时候在美国加州开工建设两座规模分别达到 750MW 和 850MW 的碟式 CSP 电站，并将于 2011 年和 2014 年开始供电，这将是迄今为止全球最大的太阳能电站。
- 另一种不同的碟式 CSP 系统：**另一家美国公司 Infinia 的产品是一种结构更紧凑的碟式 CSP 发电系统，其碟形反射聚光器的直径为 4.7 米，每个单元只有五个组成部分，可以实现方便的运输和迅速的就地安装，但其峰值转换效率仅为 24%，比 SES 公司直径 12 米的碟式 CSP 系统低 7 个百分点。

图表19：Infinia 的小型碟式系统



来源：国金证券研究所

图表20：Infinia 采用的一种紧凑型斯特林发动机结构



四种 CSP 技术路线的对比与发展前景展望

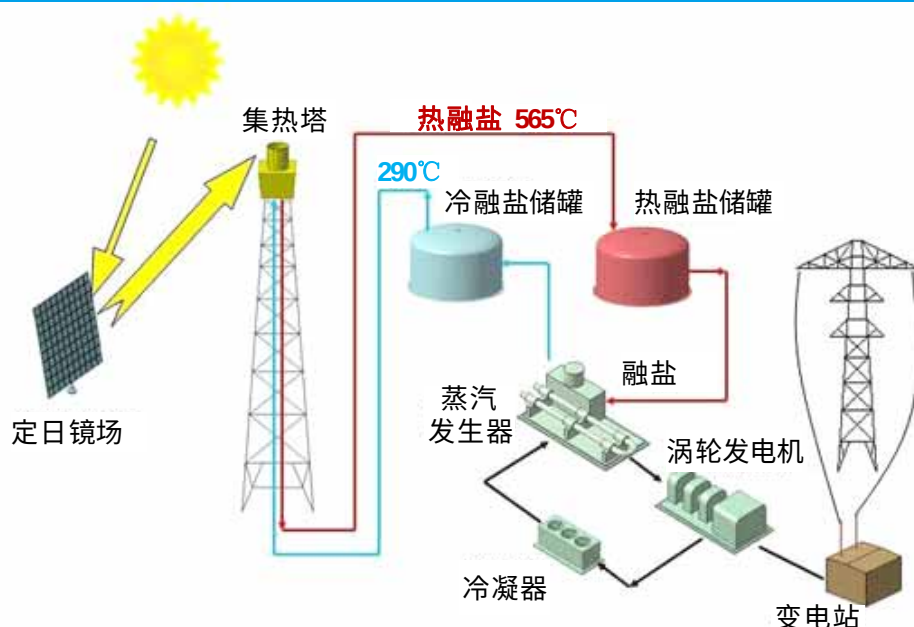
- **抛物面槽式 CSP 系统**拥有最成熟的技术和最低的单位建设成本，因此是目前在运的 CSP 电站中采用最广泛的技术路线，而这同时也意味着它提高效率或压缩成本的空间已十分有限。
 - 以融盐等新型导热介质替代目前所采用的合成油或许是槽式 CSP 电站在效率上更上一层楼的唯一方式，但低温凝结、管道腐蚀等问题，仍然是进行这一技术改造所必须面对的障碍。
- 目前运行中的商业化大型**集热塔式 CSP 电站**还不多，规模化以后，定日镜等用量较大的组件将有比较大的成本下降空间；另外，由于管道结构相对槽式系统要简单得多，对其进行融盐化导热介质改造的难度也较低。
 - Torresol 能源公司 2008 年在西班牙开工建造的 Gemasolar 电站是一座设计装机容量 17MW 的集热塔式 CSP 电站，该电站已采用融盐作为导热及储能介质，并具备 15 小时全功率输出的储热能力，计划于 2011 年开始供电的该项目将成为全球首座具有 24 小时连续供电能力的纯太阳能电站。

图表21：建设中的 Gemasolar 电站



来源：国金证券研究所

图表22：Gemasolar 电站结构示意图



- **线性菲涅尔是 CSP 系统**结构简单、且通过直接以汇聚的太阳光加热水产生蒸汽发电的方式，因此对于小规模系统其建设投资的绝对数额会较小，然后，由于工作效率明显低于另外三种技术路线，实际折合到单位功率的建设成本则一点也不便宜，甚至是四种技术中最贵的。并且，也很难为该类型系统配置储热装置。
 - 改进光学结构的设计或许是线性菲涅尔 CSP 系统进一步提升效率的唯一出路；发挥其结构简单、建造方便的优点，作为分布式电源对一些电力需求不高的偏远地区进行供电或许是适合该类型 CSP 电站的市场定位。
- 从技术的角度看，**抛物面碟式 CSP 系统**优势明显：高效率和模块化部署的特点使该技术有足够的理由被看好，实现大规模生产后，如果零部件供应链的配套能够及时跟上，成本也有明显的下降空间。
 - 斯特林发动机并非抛物面碟式 CSP 系统唯一的能量转换解决方案，目前有些碟式系统开发商也正研究采用**微型蒸汽轮机**作为热电转换单元，同样能够发挥碟式系统高聚光效率的优势。

- 模块化部署能力是除碟式系统外的另三种技术路线所不具备的，因此碟式 CSP 系统是唯一具有“大小通吃”能力的 CSP 技术，然而由于其本身没有任何储热能力，因此百兆瓦级大型电站的运行效率和经济性仍有待观察。

图表23：四种CSP 电站类型的技术特点、性能、及成本对比

技术类型	聚光器效率	年度光电转化效率	占地面积	发电用水量(升/MWh)	建设成本(\$/W)	发电成本(\$/KWh)	技术/成本改进潜力
抛物面槽式	中	14%~16%	大	3000(或干式)	3.6 (6小时储能)	0.15~0.26	有限
集热塔式	中	17%~20%	中	3000(或干式)	3.4 (不含储能)	0.08~0.16	非常高
线性菲涅尔式	低	8%~10%	中	2000(或干式)	5.4 (不含储能)	0.28 (est.)	高
抛物面碟式	高	19%~25%	小	0	4.5 (不含储能)	0.25	量产降成本

注：建设成本取在建项目中的最低值。

来源：国金证券研究所

图表24：西班牙建成和在建的CSP 电站



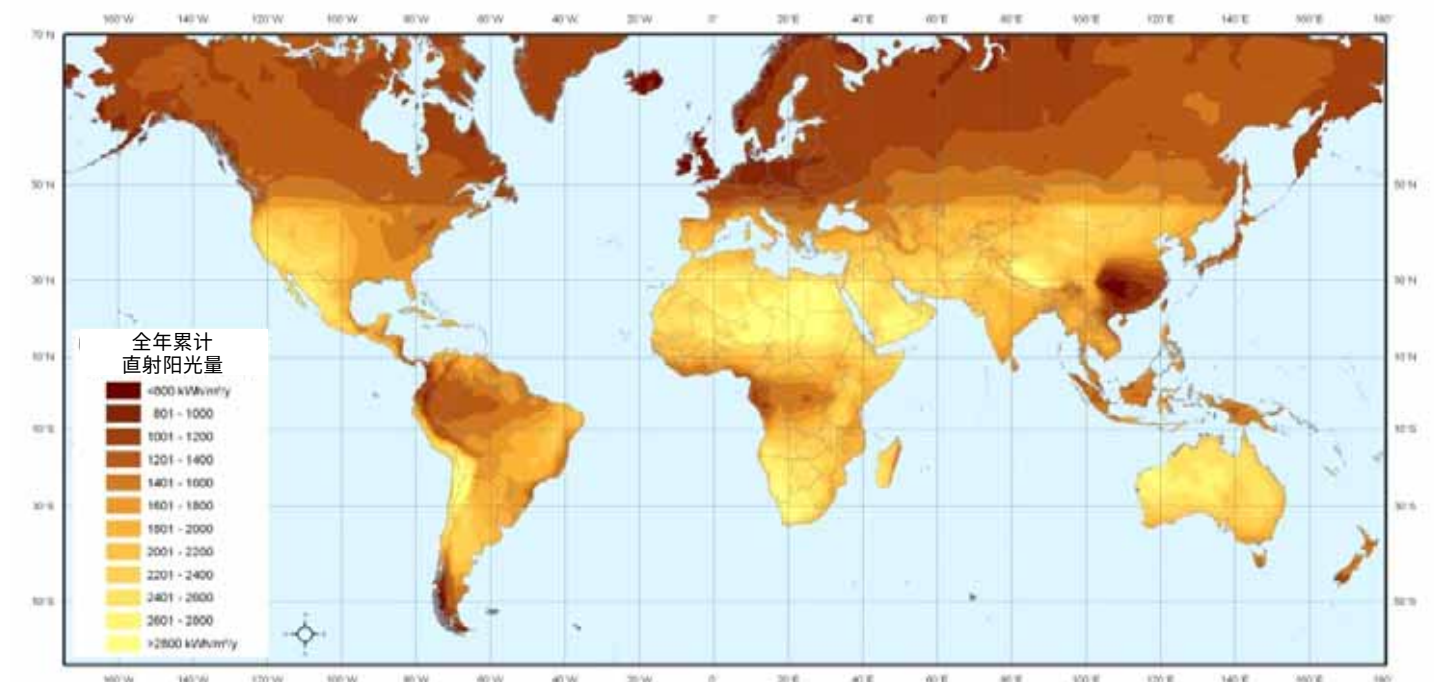
来源：国金证券研究所

CSP 的技术特点和应用优势使其真正具备与火电竞争的潜力

CSP 是比 CPV 更具规模化潜力的聚光太阳能利用方式

- 只有直射阳光才能被汇聚，因此 CSP 电站对部署地的光照条件有一定的要求（与 CPV 类似），通常需要其直射阳光量达到 $1900\sim 2100\text{kWh/m}^2/\text{年}$ 以上，低于此标准的地区则更适于部署传统的平板光伏系统（因为光伏电池对直射和散射光都可进行光电转换）。

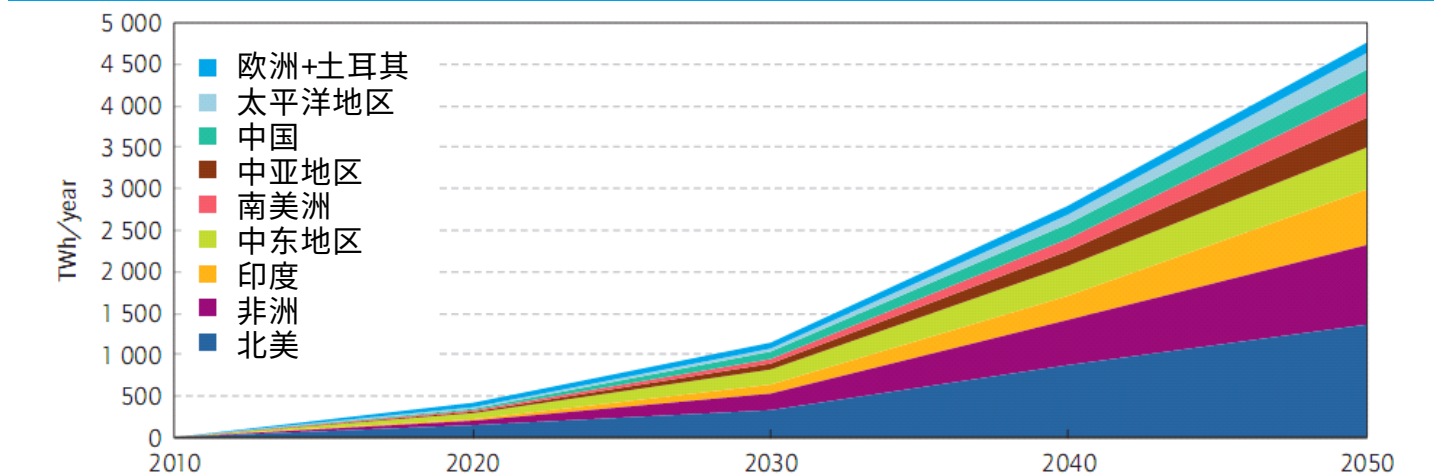
图表25：全球直射阳光资源分布情况



来源：NASA, DLR, 国金证券研究所

- 以直射阳光资源和经济发展水平进行衡量，潜在最大的 CSP 电力生产和消费国家或地区依次是：美国、非洲、印度、中东地区；北非可能成为最大的 CSP 电力出口地区（向欧洲），该地区极好的光照资源可以从一定程度上弥补其向欧洲地区长距离输电所增加的成本。

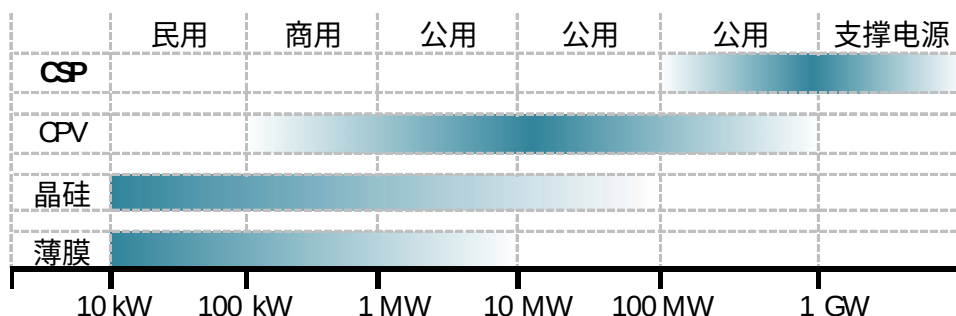
图表26：至2050年全球CSP发电量趋势展望（TWh/年）



来源：IEA, 国金证券研究所

- 根据测算，以目前的技术水平，单座抛物面槽式或集热塔式 CSP 电站的经济规模在 100MW~250MW，具体视其采用的导热介质和发电机组的效率而定，这一规模已经相当于一台中型火电机组的输出功率；碟式斯特林系统则较为特殊，由于其每台单元都能直接输出并网交流电，因此电站的规模理论上完全由碟式系统单元的数量决定（典型系统 25kW/台，即 100MW 电站需 4000 台）。
- 随着技术的进步，未来单座 CSP 电站的装机规模仍将继续增长。

图表27：不同太阳能发电技术的规模化潜力和适用用途

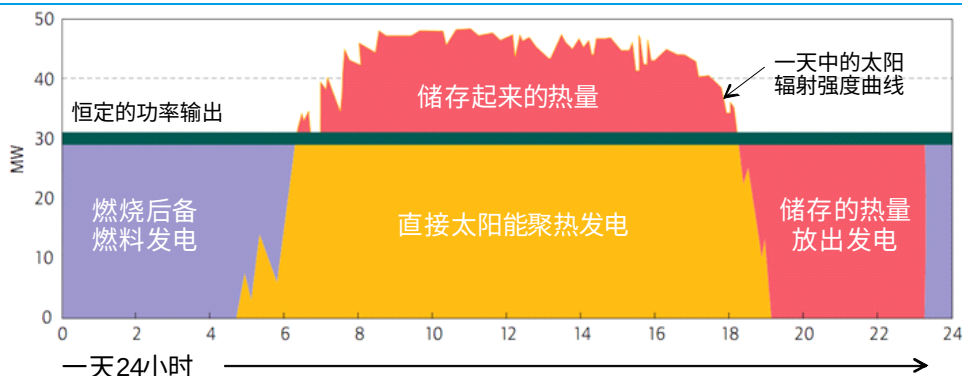


来源：国金证券研究所

CSP 电站储能潜力大，作用不仅在于平滑输出功率

- “配置储能装置以平滑电站的功率输出波动”，是我们对以风电为代表的一次能源具有间歇性特征的新能源发电技术配置储能系统原因的普遍理解；然而，CSP 电站的储能单元则扮演着更重要的角色、承担着更重要的任务。
- 以大规模的融盐储能装置，配合一定比例的后备化石燃料供应，形成所谓的混合动力 CSP 电站，是将来大型 CSP 电站的发展趋势。这样的配置使 CSP 电站能够具备 24 小时持续输出额定功率的供电能力、以及输出功率的高度可调节性，这是可再生能源发电能够取代火电，承担起为基础负荷供电的任务、成为支撑电源最重要的一项前提。
 - 大部分的 CSP 电站因导热介质的存在，本身都具有一定的短时储热能力，能够为功率的平滑输出提供一定的“缓冲容量”。目前的新型做法是：为 CSP 电站配备独立的储热模块（多以融盐为介质），储热量可以保证电站数小时的全功率输出，使以太阳能为一次能源的 CSP 电站即使在阴天、甚至太阳落山后都能继续长时间供电。
 - 除碟式系统以外，CSP 电站后端均是采用传统的蒸汽轮机发电机来进行能量转换的，这也使得以燃烧天然气等化石能源作为 CSP 电站的补充能源成为可能，即：在日落及储热耗尽后，通过燃烧化石燃料来加热工质（水蒸气）继续发电。

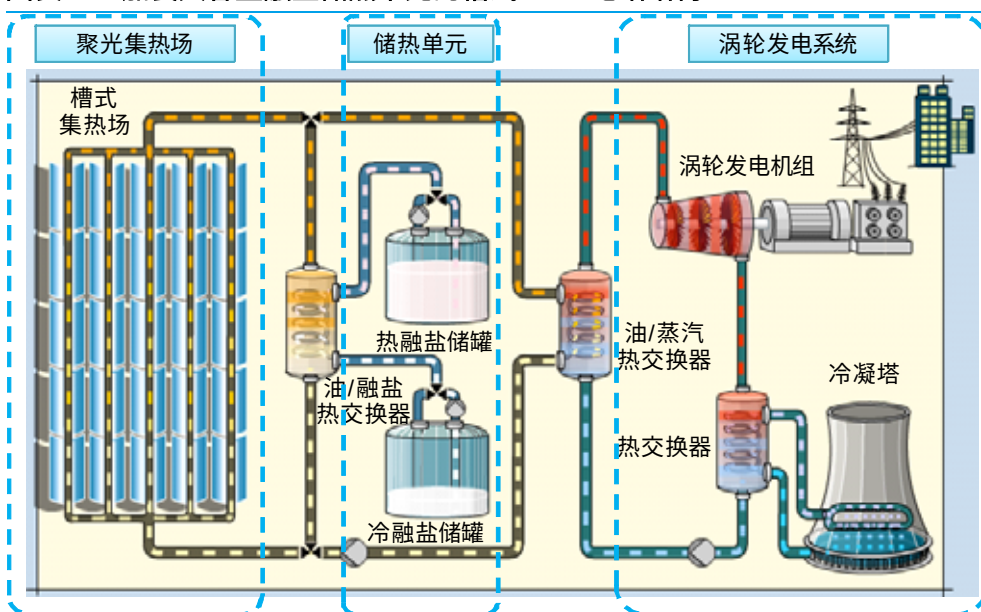
图表28：“混合动力CSP 电站”24 小时运行工况



来源：国金证券研究所

- 在适合建造 CSP 电站的干旱或半干旱炎热地区，一天中光照最丰富的时段通常与以空调负荷为主的用电需求高峰所吻合，然而，人类的生活习惯使得日落后数小时的用电负荷通常也较高。因此，通过使用大容量储热系统、后备燃料等技术手段，能够从很大程度上解决 CSP 电站和它所供应的负荷区域在一天中电能供需之间的这种矛盾。
- 工作原理：下图展示了为传统抛物面槽式 CSP 电站配置大容量融盐储热单元后的系统结构：由聚光集热场汇聚的热能通过导热介质（合成油）传送到一个热交换器中，并将低温储罐中的融盐加热后注入高温储罐，完成储热的过程；在需要的时候，储存在高温融盐中的热量又可以释放到同一个热交换器中用以加热导热介质，并由导热介质将这部分热量输送到蒸汽发生器进行发电。

图表29：加装大容量融盐储热单元的槽式 CSP 电站结构



来源：国金证券研究所

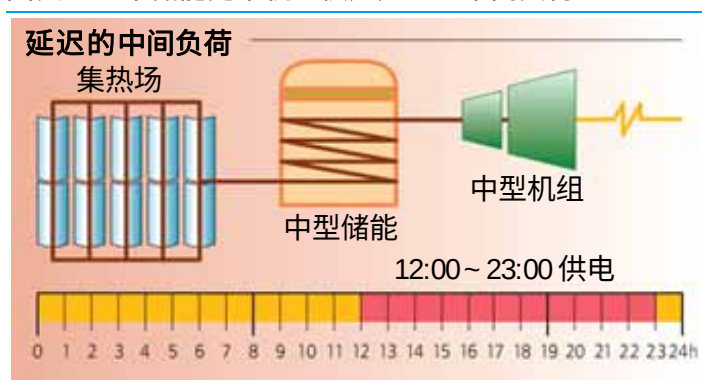
- 按需定制的储能容量：同样以抛物面槽式 CSP 电站为例，在槽式聚光集热场规模不变的情况下（即发电量不变），通过配置不同容量的储热系统和不同额定功率的涡轮发电机组，可以使 CSP 电站以不同的输出功率和时间段进行发电，以满足完全不同的四类用电需求。

图表30：小储能配中机组供应中间负荷



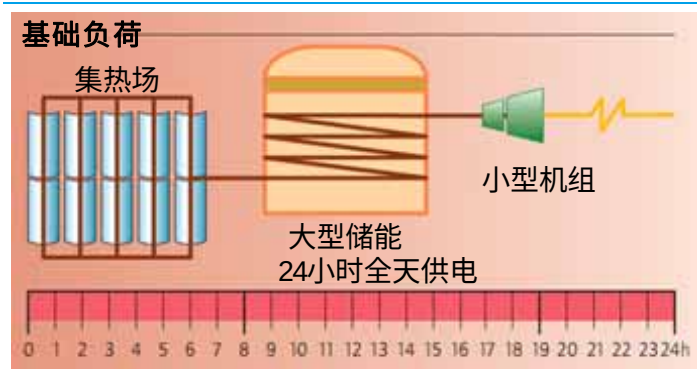
来源：国金证券研究所

图表31：中储能配中机组供应延迟的中间负荷



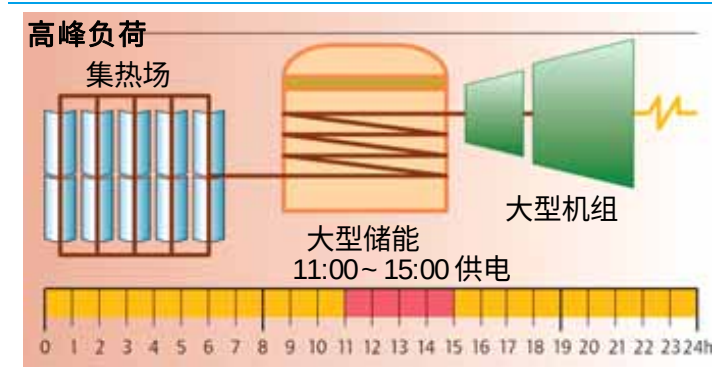
- **小型储能+中型机组**的配置模式使 CSP 电站的供电时间覆盖了用电高峰和部分中等负荷需求的时段，这种模式具有最小的投资规模和最低的发电成本。
- **中型储能+中型机组**的配置则是为了满足傍晚时段第二符合高峰的用电需求，这种模式的 CSP 电站从日出时开始储热，此时不向外供电，到中午才开始储热和发电同时进行，日落之后则依靠之前储存的热量继续向负荷供电直至夜间。
- **大型储能+小型机组**是为了实现 24 小时不间断供电的配置模式，这种模式的 CSP 电站中，储热系统将占建设成本的很大比重，如果能有效提高系统的工作温度（储热温度），则所需的储热介质就会相对较少，成本也就能有一定的降低。通常这种模式的发电成本要略低于前两种主要供应中间负荷用电需求的配置模式。
- **大型储能配+大型机组**配置的 CSP 电站是为了仅在一天中极端高峰负荷出现的少数几个小时供电的设计模式，这显然是投资最大的一种模式，但是其所供应的高峰期电能也是一天中价值最高的一部分。

图表32：大储能配小机组供应基础负荷



来源：国金证券研究所

图表33：大储能配大机组供应高峰负荷



- **“热电倍数(Solar Multiple)”**：是指在一天中太阳辐射最强的时刻，CSP 电站的整个聚光集热场所能输出的热功率和后端发电机组的额定功率的比值。
 - 由于一天中的太阳辐射强度是有波动的，为了提供能够时刻“喂饱”后端发电机组额定输出功率的热量，不带储热设施的 CSP 电站的热电倍数通常在 1.1~1.5 倍；
 - 而配备了大容量储热设施的 CSP 电站，其热电倍数则能做到 3~5 倍。以集热塔式 CSP 电站为例做直观表达：加入大容量储热设施后，能够为同一座集热塔（及其后端发电机组）配置更多的定日镜，从而降低单位电能的生产成本。
- 另外，实验证明，热量储存循环中的能量损耗比其他电源系统所使用的储能方式的损耗要低得多（如电池储能、抽水蓄能），使得 CSP 电站的“蓄热储能”成为最有效、最经济的一种发电站储能形式。
- 综上，储热系统对于 CSP 电站最大的意义其实在于：足够的储热容量使 CSP 电站能够输出更稳定、更具可调度性的电能，以使其在将来能够作为基础支撑电源与传统火电厂竞争，并最终从一定程度上取代以燃烧化石燃料为一次能源的高碳排放、高污染的火电厂。

CSP 电站还能用于制备氢气等清洁燃料和进行海水淡化

- **制备氢气**：氢气是一种理想的清洁燃料，“水”是燃烧氢气产生能量的唯一副产物，而目前大规模制备氢气的唯一方法是电解水。使用太阳能发出的电力来电解水制备大量氢气，并将其运送到各工业部门、家庭、交通工具以供使用，是将来以太阳能取代化石燃料的一条重要途径。

- 以目前的技术水平，以太阳能电力制备氢气的整个能量转换效率在10%左右（太阳辐射能 → 燃烧氢气获得的能量），CSP 电站运行中所产生的高温可以降低电解水时的耗电量，提高能量转换效率。

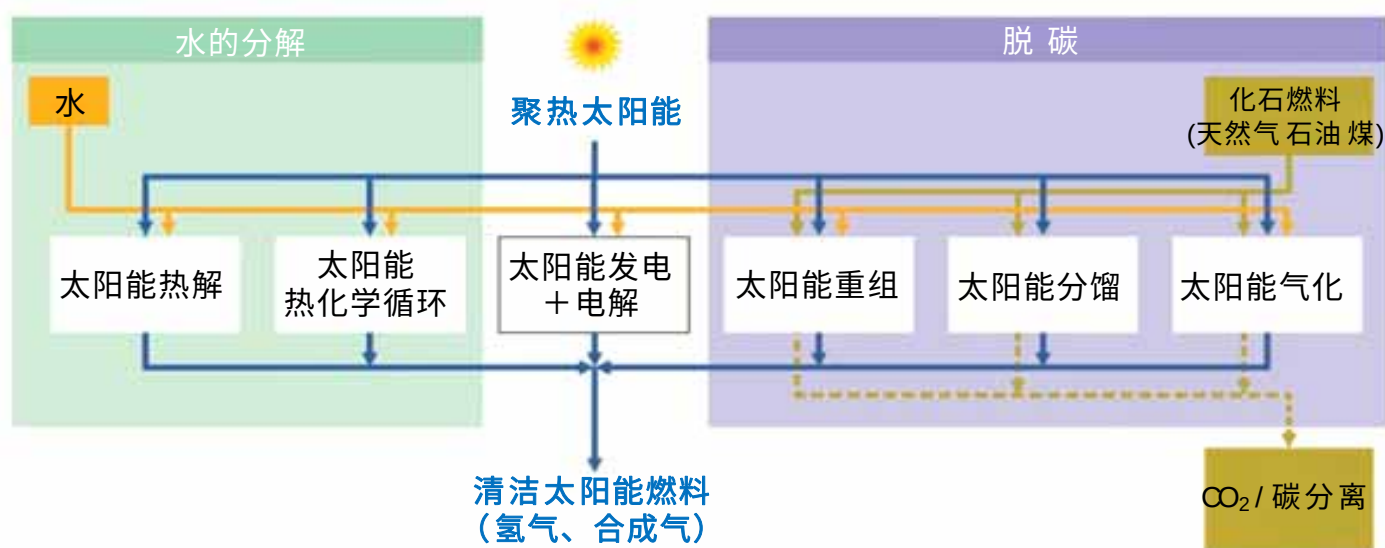
图表34：美国在建和建成的CSP 电站



来源：国金证券研究所

- 此外，如下图所示，CSP 电站同样有潜力利用太阳能对天然气、石油、煤炭等传统化石能源进行去碳化加工，以生产氢气或含碳量相对较低的合成气。但这些化学途径中，有些需要极高的温度（如太阳能热解需要 2000°C 以上的高温）；有些需要复杂的化学反应过程（如热化学循环，过于复杂的反应过程势必会降低能量转化效率）。
- 虽然，在利用聚光光热太阳能生产清洁燃料的领域，仍有许多研究工作有待完成（如提高电解水制氢气的效率），但长远来看，每一种对太阳能的新型利用方式的出现总是显得意义非凡。
- **CSP 电站制氢成本：**以目前的技术，在 CSP 电站中进行电解水制备氢气的成本大约是 6~8 美元/kg H₂，美国能源部和欧盟委员会对未来制氢的成本都已有明确的目标：美国的目标是到 2017 年达到 3 美元/kg；欧盟的目标则相对保守，在 2020 年达到 3.5 欧元/kg。
- **海水淡化：**适合建造大型 CSP 电站的地区通常是干旱或半干旱地区，十分缺乏淡水，因此，将涡轮机排出的低压蒸汽导入“多级蒸馏系统 (MED)”，利用其余热进行海水淡化，也是充分发挥 CSP 电站技术特长的一种重要方式。
- 利用 CSP 电站的蒸汽余热进行海水淡化生产势必会减少电厂的一部分发电量，但有研究表明，这种“电水共产”的方式在综合成本上仍然会有一定的优势。

图表35：利用聚光光热太阳能生产清洁燃料的不同热化学途径

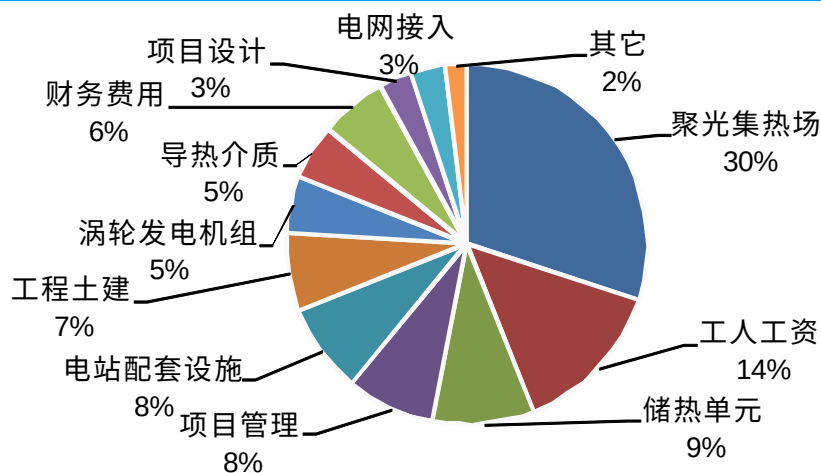


来源：国金证券研究所。注：“合成气”指氢气和一氧化碳的混合物

CSP 电站的运行经济性和成本下降分析

- **建设成本区间：**以技术相对成熟的抛物面槽式 CSP 电站为例，目前已投产的项目的建设成本在\$4.2/W ~ \$8.4/W 之间，成本的差异主要由项目所在地的直射阳光资源水平、劳动力和土地成本、储热系统和集热场的规模（最重要的一项因素）所决定。
- 建设在高直射阳光地区、不带储热系统的槽式 CSP 电站项目位于该成本区间的低端，而建在直射阳光条件相对较差地区、配备大容量储热系统的项目则位于成本区间的高端。

图表36：带7小时储热容量的50MW 槽式 CSP 电站的建设成本结构

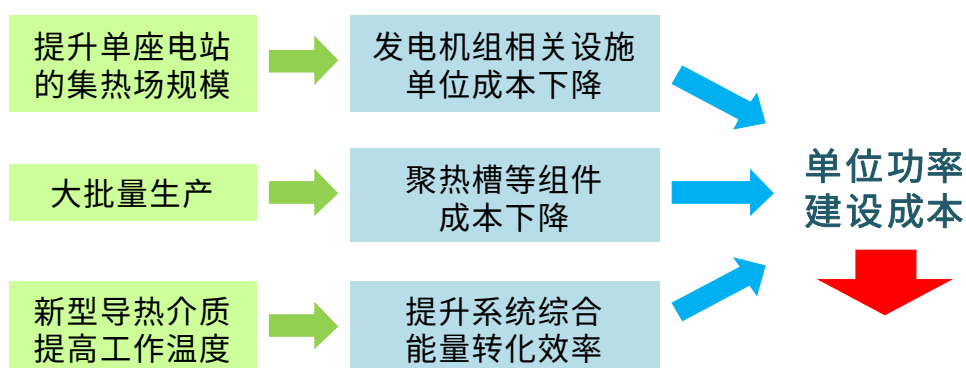


来源：国金证券研究所

- **成本下降路线：**CSP 的技术复杂程度与 CPV 相比要低得多，因此，CSP 电站的成本下降途径也较为简单，概括来说就是两条路：**规模化生产和提高能量转化效率。**
- 研究表明，当一座槽式 CSP 电站的规模从 50MW 提高到 100MW 时，其单位功率的建造成本将下降 12%；提高到 200MW 时则能有 20% 的下降。
- 电站的规模每增加一倍，与发电机组、电站配套设施、电网接入相关的单位功率投资将能下降 20%~25%。

- 技术提供商之间竞争的加剧、相关组件的大批量生产、更易获得的信贷资金，也都将成为驱动 CSP 电站建设成本下降的重要因素。
- **提高 CSP 电站热循环的工作温度**是提升系统能量转化效率最有效的手段，因为越高的温度产生的蒸汽质量也越高，后端涡轮发电机的效率也将越高，而**越高的能量转化效率就意味着越低的系统造价和发电成本**。
 - 以融盐取代目前槽式 CSP 电站所用的合成油作为导热介质是提高系统工作温度的理想手段，相对合成油 400℃的工作温度，融盐的工作温度可以达到 550℃以上，效率的提高将是非常可观的。
- 总体而言，在未来 10 年内，即使是四种技术路线中相对最成熟的槽式 CSP 电站，其单位功率的建设成本也有 30%~40%的下降空间。

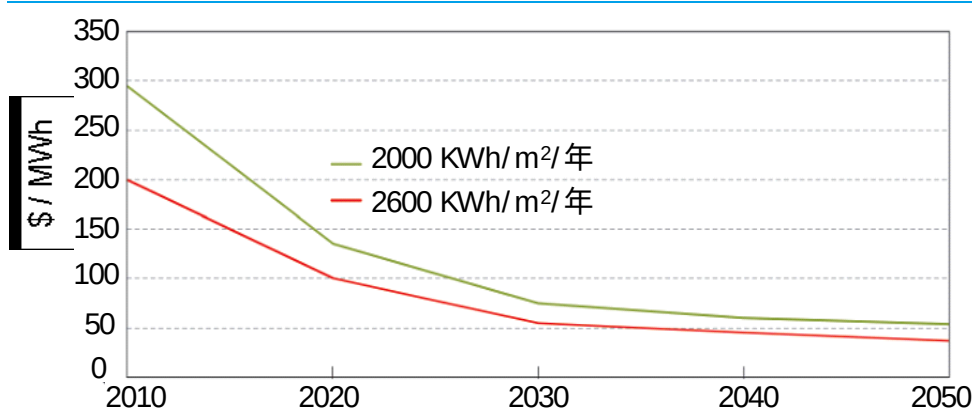
图表37：抛物面槽式 CSP 电站的成本下降路径



来源：国金证券研究所

- **原材料供应**：对于建设 CSP 电站而言，槽式系统的聚光集热场和塔式系统的定日镜场是对原材料消耗量最大的部分，而金属薄板和平板玻璃都是供应极其充足的原材料。CSP 电站一旦开始大规模部署，作为系统储热介质的融盐或将是唯一可能存在供应问题的原材料，融盐目前最主要的用途是农用化肥，但用作 CSP 电站储热介质的融盐需要具有极高的纯度。

图表38：不同直射阳光资源条件下的 CSP 电站发电成本下降趋势 (\$/MWh)



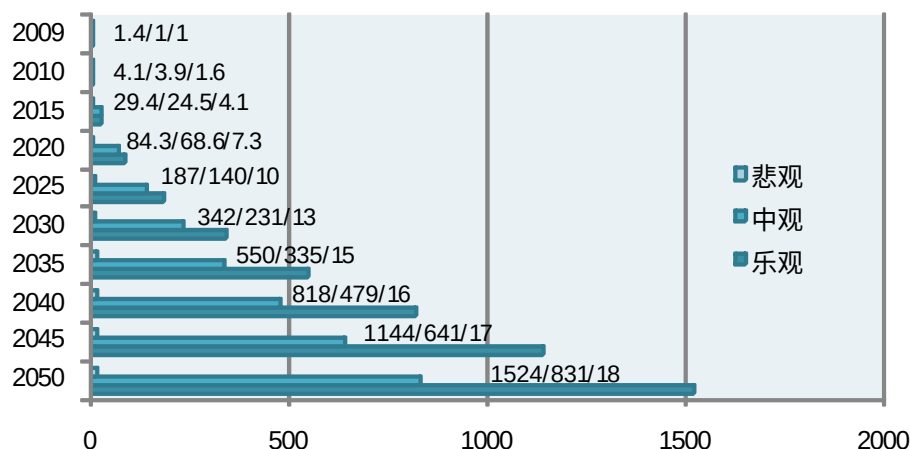
来源：国金证券研究所

- **发电成本**：以平准化电力成本（LCOE）衡量的大型槽式 CSP 电站发电成本目前处在\$200~300/MWh 的水平，并主要受电站所在地的直射阳光资源水平的影响。当为 CSP 电站配置大容量储热系统时，虽然储热系统本身和为其增加的集热场面积将明显抬高电站的单位装机容量建设成本，但由于发电利用小时数的提高，单位电量发电成本的变化将十分有限。
- 长期看，随着 CSP 电站成本的逐步降低和火电价格的不断提升，CSP 发电的价格优势将逐渐显现。

全球 CSP 电站项目发展现状及前景展望

CSP 装机规模将迎来爆发式增长，各项技术类型占比格局发生明显变化

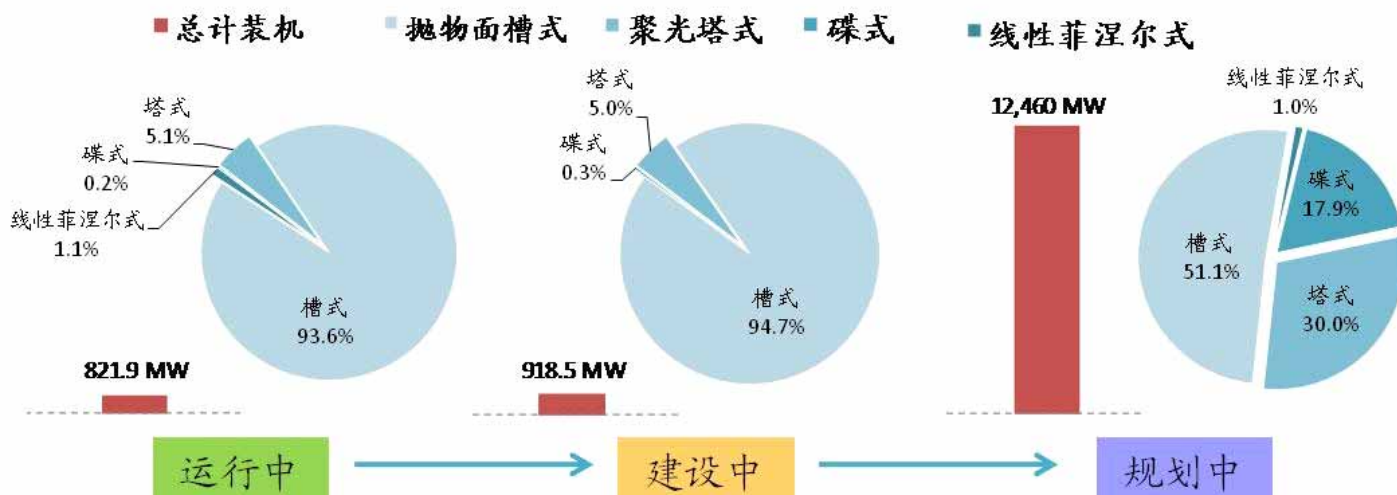
图表39：至 2050 年全球 CSP 电站累计装机容量预测（单位：GW）



来源：Green Peace, SolarPACES, 国金证券研究所

- 最早的商业 CSP 系统早在 1984 年就在美国加州投产（带有联邦和州政府的财政激励和长期电价合同），后来由于化石能源价格的下跌，政府取消了对 CSP 项目的支持。
- 2006 年，随着发达国家对可再生能源使用比例的强制要求和相关激励性合同电价政策的出台，CSP 在以西班牙和美国为代表的市场开始复兴。
- 目前，全球运行中和建设中的 CSP 电站已分别超过了 800MW 和 900MW 的装机规模，规划中的工程（包括已签合同或开发协议的 2013 年之前动工项目）则高达 12.5GW。

图表40：全球 CSP 电站规模及各种技术类型所占比例



注：1. 项目统计包含商业电站和大型试验场；2. “规划中”项目指已签合同或发展协议的 2013 年前动工项目。

来源：国金证券研究所

- 槽式系统因技术成熟度高，在运行中和建设中的 CSP 电站中占比分别接近 94%和 95%；而技术的成熟同时也意味着该类型 CSP 系统进一步提升效率的空间已十分有限，因此只能通过更大规模的生产来降低一些成本。
- 相对于槽式系统的“线聚光”，采用“点聚光”的塔式和碟式系统能够具有更高的能量转换效率，其技术也逐渐获得认可，采用这两项技术的多座商用电站（或大型实验电站）已于近几年建成。

- 在已完成规划的项目中，塔式和碟式系统的占比迅速攀升至 30%和 18%，其价格竞争力也正逐渐接近槽式系统的水平。
- 我们认为，随着塔式和碟式系统设备生产规模的扩大，加之其系统效率仍有相当的提升空间，此类 CSP 电站的建设和发电成本下降的速度将明显快于槽式系统，最终呈现出明显的价格竞争力应当只是时间问题。

我国的 CSP 产业正在起步

- 2009 年科技部成立“太阳能光热产业技术创新战略联盟”，开始发动一轮光热攻坚战。该联盟成员目前包括中科院电工所、华电集团、皇明太阳能、金晶集团、西安航空动力集团、大明玻璃、中国电力工程顾问集团等 41 家企业、大学和研究所。
- 中科院太阳能热利用及光伏系统重点实验室也于近日正式向国际能源署（IEA）下设的 SolarPACES 协会提交申请，以国家名义加入这个已有 16 个西方成员国的专注 CSP 发电及相关技术研发的国际合作组织。

雄心勃勃的德国 Desertec 计划

- 德国于 2009 年 7 月启动了在北非沙漠的超大规模太阳能计划，代号为 Desertec，计划到 2050 年项目总投入将达到 4000 亿欧元，项目完成后将提供整个欧洲 15%的电能消耗，即年供电量 700TWh，度电价格也将降至极具竞争力的 €0.05 /KWh。
- 根据计划，以 CSP 电站为主的太阳能电站将会部署在 17,000 平方公里的北非撒哈拉沙漠上，产生的电能通过高压直流输电网络输送到欧洲、中东和北非国家；4000 亿欧元的总投资中约 3500 亿将用于太阳能电站和风电场的建设，500 亿用于高压直流输电线路的建设。
- 该计划由德国保险业巨头 Munich Re 牵头，参与者多是欧洲的大型企业，如以 Deutsche Bank, Munich Re 为代表的金融机构；以 Siemens, ABB 为代表的电力设备巨头；以 E.ON, Abengoa Solar, Solar Millennium 为代表的太阳能技术龙头。
- 包含项目技术细节和财政预算的详细计划预计将于 2012 年完成。

图表41：以 CSP 电站为主的覆盖欧洲、中东、北非的可再生能源供电网络



来源：desertec.org, 国金证券研究所

- Desertec 计划可谓是 CSP 电站建设的“航母级”工程，项目聚集了大量相关领域内的领先企业（包括技术及设备提供商、金融服务机构等），随着项目的逐步开展，相信将会对 CSP 技术的进步起到巨大的推动作用。

政府的支持将对 CSP 的推广起到至关重要的作用

- 与其他类型的新能源发电类似，CSP 的推广也离不开政府在政策和资金上的大力支持，包括但不限于对电站建设的信贷支持、投运后的优惠采购电价等。
- 槽式和塔式 CSP 电站为了实现高效率运行，其设计规模通常都较大（100MW 以上），因此单座电站的建设投资额动辄数亿、甚至数十亿美元。一些为提高系统效率而采用了新型技术的 CSP 电站项目，通常很难获得银行的商业贷款，因此，来自政府的直接信贷或贷款担保支持，将是大量规划中的项目能够顺利开工建设的重要前提。
 - 美国能源部可谓是此类激励政策的开路先锋，其于 2009 提出的“贷款担保项目”至今已为 12 个清洁能源项目提供了数十亿美元的贷款担保，其中数额最大的两笔被分别授予了西班牙 Abengoa Solar 和美国 BrightSource Energy 公司，均用于在美国西南部建造大型 CSP 电站，两笔信贷担保的金额分别高达 14.5 亿和 13.7 亿美元。
 - 其中，Abengoa 的项目是一座位于亚利桑那州的 280MW 抛物面槽式 CSP 电站，BrightSource 的项目则是位于加州的合计功率约 400MW 的三座集热塔式 CSP 电站。
 - 从中我们不难看出美国政府对 CSP 发展的积极态度，以及对技术路线选择的倾向性：即同时支持技术成熟稳定的槽式系统和效率更高的塔式系统。

图表42：收到美国能源部信贷担保的 CSP 电站项目简况

项目名称	Ivanpah	Solana
项目地点	美国，加州	美国，亚利桑那州
年均直射阳光	2,717 KWh/m ²	2,700 KWh/m ²
开发商	BrightSource Energy	Abengoa Solar
技术路线	集热塔式	抛物面槽式
上网时间	2012年	2013年
装机容量	约400 MW	280 MW
最高工作温度	550°C	371°C
储能（全功率）	无	6小时
冷却方式	干式冷却	湿式冷却
年度转化效率	18%	15%
年发电量	1,079 GWh	903 GWh
建造成本(\$/W)	3.4	3.57
合同电价(\$/KWh)	0.11 (est.)	0.14

来源：国金证券研究所

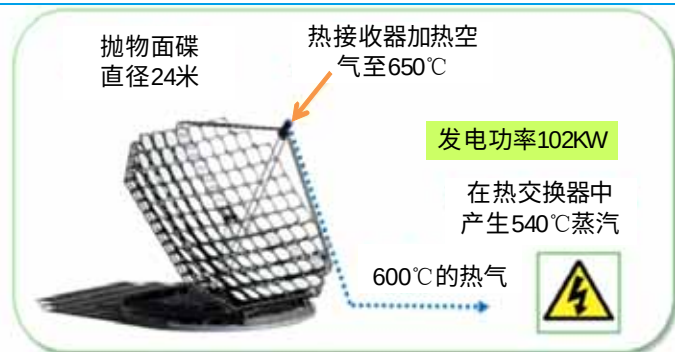
- 此外，针对 CSP 电站的技术特点（如在发电的同时利用余热加工生产清洁燃料），也应设计相应的激励政策，比如对 CSP 电站生产的氢气等清洁燃料给予一定的价格补贴，以促进这方面技术的进步，从而充分发挥 CSP 的技术优势，使其能够达到更高的综合经济效益。

CSP 相关 A 股上市公司分析

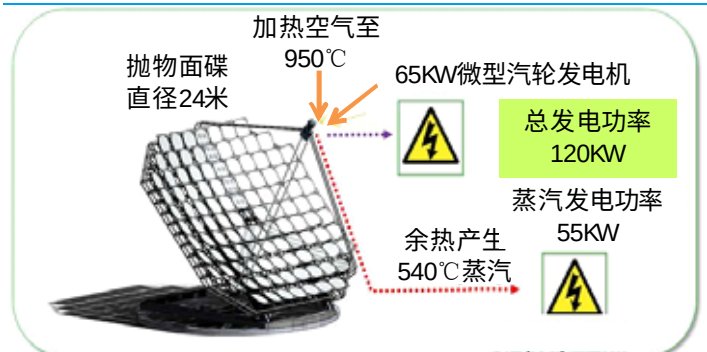
三花股份 (002050.SZ)

- 三花股份在 2009 年 12 月公告出资 1050 万美元，通过认购和受让两种方式，合计获得以色列 HelioFocus 公司 30% 股权，HelioFocus 的原大股东 IC Green Energy（以色列最大的控股公司 Israel Corp. 的全资子公司）也同时增资 231 万美元，增资后持有公司 42.28% 股权。
 - HelioFocus 是一家开发碟式系统的 CSP 技术研发公司，其第一代产品将使用直径 24 米的碟式聚光器产生高温气体为传统电厂增容；第二代产品则将为每个碟形聚光器单独配置微型涡轮发电机来直接发电。其产品目前仍处于技术研发阶段，尚没有商业化应用的项目。
- 公司投资该项目是基于“投资具有技术领先性的新能源技术”的理念，出于对公司进军新能源产业的长远发展考虑。同时，公司也将派出技术团队参与 HelioFocus 的产品研发过程，并寻求将先进太阳能热利用技术与公司传统业务相结合的可能性。
 - 而对于 HelioFocus 来说，除了能够获得投资以外，三花股份的低成本制造能力和对潜在中国市场的开发能力，将成为未来其产品得到商业化应用后的优势所在。
 - 按照公司公告，如果项目研发进展顺利，HelioFocus 公司预计将于 2012 年产生收入，2013 年开始盈利。
- 虽然碟式系统是目前四种 CSP 技术路线中理论和实验效率最高的一种，但其“高效率 and 低成本”始终没有得到商业电站甚至大型实验项目的验证，其运行可靠性和实际的经济性仍然有待考证。
 - 此外，HelioFocus 计划研发的产品和目前技术相对成熟的采用斯特林发动机的主流碟式 CSP 系统在原理上也有一定的不同，项目存在一定的技术研发风险。

图表43：HelioFocus 第一代产品



图表44：HelioFocus 第二代产品



来源：国金证券研究所

航空动力 (600893.SH)

- 2009 年 12 月，航空动力 (600893.SH) 通过非公开增发募集资金 20.49 亿元拟投资四个项目，其中 9700 万元用于投资建设“斯特林太阳能发动机生产及示范工程项目”（该项目总投资 1.1 亿元）。
 - 斯特林发动机是碟式 CSP 系统的核心设备，其技术特点与公司传统产品燃气涡轮发动机有一定的相似之处；公司生产设备的加工特点也符合作为高精度中小型设备的斯特林发动机对生产工艺的要求。
 - 公司自 2005 年起开始研制用于碟式 CSP 系统的斯特林发动机的主要部件及零件，2006 年开始整机研制，期间积累了宝贵的专业知识和研制经验，为整机生产提供了重要保障。

- 2009 年末，公司研制的首台斯特林太阳能发动机，机械性能试车一次成功，标志着公司在太阳能动力装置及精密部件制造技术领域取得重要突破，成为国家太阳能光热产业技术联盟首批入会单位。
- 公司的增发项目计划建设一条小规模生产线，生产 50 台斯特林太阳能发动机，并利用现有电网建设一座 1000KW 太阳能示范站。通过示范电站的考核，为今后大规模生产斯特林太阳能发动机及建立大型太阳能电站准备条件、积累经验。
- 斯特林发动机工作环境较为恶劣，始终处于高温、高压状态，因此对整机设计、材料、生产工艺及装配有很高要求，核心技术不易被模仿。
- 公司若能顺利完成该产品的研制，并具备批量生产的能力，那么将在碟式 CSP 系统关键设备的国产化进程中取得明显的先发优势，产品无论是出口欧美还是用于国内 CSP 电站的建设，都有望给公司带来客观的收益。

长期竞争力评级的说明：

长期竞争力评级着重于企业基本面，评判未来两年后公司综合竞争力与所属行业上市公司均值比较结果。

公司投资评级的说明：

强买：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 20%以上；
买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 10%—20%；
持有：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -10%—10%；
减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 10%—20%；
卖出：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 20%以上。

行业投资评级的说明：

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%以上；
持有：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明：

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的惟一因素。本报告亦非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向任何人作出邀请。国金证券未有采取行动以确保于此报告中所指的证券适合个别的投资者。国金证券建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。国金证券及其关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息、所载资料或意见。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载的观点并不代表国金证券的立场，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

上海

电话：(8621)-61038311

传真：(8621)-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：200011

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号紫竹
国际大厦 7 楼**北京**

电话：(8610)-66215599-8832

传真：(8610)-61038200

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100032

地址：中国北京西城区金融街 27 号
投资广场 B 座 4 层**深圳**

电话：(86755)-82805115

传真：(86755)-61038200

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳福田区金田路 3037 号
金中环商务大厦 2805 室