

# 太阳能光热产业技术创新战略联盟简报

太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处 编印

通信地址：北京市中关村北二条六号（100190） 网址：[www.nafste.org](http://www.nafste.org)

中国科学院电工研究所2号楼223室 电话/传真：010-82547214

2012年第12期

（总第37期）

2012年9月15日

## 工作动态



### 2012年太阳能热发电技术三亚国际论坛召开



2012年8月21日至23日由中国可再生能源学会、中国工程热物理学会及科技部高新技术发展及产业化司联合主办，中国科学院电工研究所、科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟承办，海南省可再生能源协会、皇明太阳能股份有限公司和国家太阳能热利用工程技术研究中心协办

的“2012年太阳能热发电技术三亚国际论坛”在海南省三亚市三亚湾海居铂尔曼度假酒店隆重召开。论坛开幕式由中国科学院电工研究所李耀华所长主持。中国工程热物理学会理事长、论坛主席徐建中院士、海南省人民政府副省长林方略、中国可再生能源学会秘书长李宝山、科技部高新司

能源处处长郑方能、欧洲太阳能热发电协会 (ESTELA) 副主席 Nikolaus Benz 博士、三亚市人民政府副市长李柏青等领导 and 专家出席开幕式、致辞并对此次论坛的召开表示热烈祝贺。出席开幕式的领导和专家还有科技部国际合作司欧洲处处长周隆超、科技部高技术中心能源处处长陈硕翼、科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长王志峰博士、海南省科学技术厅副厅长兼海南省知识产权局局长杨天梁、海南省住建厅副厅长陈孝京、海南省工信厅副巡视员符传智、中国科学院高技术局材料处处长曹红梅、中国科学院高技术局能源处江丽霞等。来自国内外太阳能热利用领域的专家学者、投资公司及企业代表共 350 余人参加了此次论坛。

本届论坛的主题是“将太阳能热发电技术推向商业化”，主要研讨内容为太阳能热发电的技术、经济以及产业政策。旨在加强国内外太阳能热发电技术相关领域之间的联系与交流，推动我国太阳能热发电技术的商业化进程。为期 3 天的论坛有一个主会场和两个分会场，分“开幕式及院士专家主题报告”、“太阳能热发电技术商业化面临的重大问题”、“太阳能热发电技术基础研究”、“太阳能热发电系统及评估技术”、“太阳能热发电吸热技术”、“太阳能槽式集热管及储热技术”、“太阳能热发电产业发展与商业化及战略研究（科技部

太阳能光热产业技术创新战略联盟专场）”、“太阳能聚光技术及新型应用”共 8 个会议主题。

出席论坛的政府单位与行业协会有：科技部高新技术发展及产业化司、科技部国际合作司欧洲处、科技部高技术中心能源处、中国科学院高技术局能源处、中国科学院高技术局材料处、海南省人民政府、海南省科学技术厅、海南省知识产权局、三亚市人民政府、襄阳市招商局、欧洲太阳能热发电协会 (ESTELA)、日中经济协会北京事务所、中国可再生能源学会、科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟、海南省可再生能源协会等。

出席论坛的研究院所与大学主要有：台湾工业技术研究院、甘肃省建材科研设计院、中国科学院工程热物理研究所、中国电力科学研究院、中国科学院电工研究所、湖北省电力勘测设计院、暨南大学产业经济研究院、江苏省产品质量监督检验研究所、江西蓝天学院、北京工业大学、北京有色金属研究总院、东莞理工学院广东省分布式能源重点实验室、华北电力大学、吉林省气候中心、兰州交大国家绿色镀膜工程中心、韩国国立科技大学、美国休斯敦大学、兰州理工大学、南京工业大学、内蒙古电力勘测设计院、清华大学电子、上海交通大学、天津大学、武汉理工大学、西安交通大学、西安理工大学、西

安科技大学、云南师范大学、浙江大学、攀枝花学院、上海电气集团股份有限公司中央研究院、中国电力工程顾问集团、中国科学院等离子所、西北电力设计院、中国建筑材料科学研究总院、中石化石油勘探开发研究院、中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中山大学、重庆大学、中国科学院化学研究所等。

出席论坛的企业和公司有：肖特玻璃科技（苏州）有限公司、西班牙阿本萨工程公司、西门子（中国）有限公司、阿本戈太阳能技术（北京）有限公司（Abengoa Solar）、艾默生过程控制有限公司、马耳他威尔得有限公司 Welldone Malta El Sur Ltd.、爱能森科技集团、MAN Diesel&Turbo、欧瑞康莱宝真空（天津）国际贸易有限公司、包头市液压机械有限公司、甘肃新泉风力发电有限公司、国电龙源电力技术工程有限责任公司、北京奥普科星技术有限公司、北京华士德科技发展有限公司、北京精诚彩龙钢结构技术开发有限公司、北京国电智深控制技术有限公司、北京华创维想科技开发有限责任公司、北京桑达太阳能技术有限公司、北京天瑞星真空技术开发有限公司、北京曙光新航科技有限公司、北京新源赛风技术有限公司、常州朗力化学有限公司、常州龙腾太阳能热发电设备有限公司、大连重工

机电成套设备有限公司、大连华锐重工集团股份有限公司、德阳拜尔光热有限责任公司、中国东方电气集团有限公司、东方电气集团东汽投资发展有限公司、东莞市康达机电工程有限公、东莞市隆泰美东镜业有限公司、东莞中能光伏科技有限公司、法国电力集团北京办事处、广东五星太阳能股份有限公司、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、哈威油液压技术（上海）有限公司、海南天能电力有限公司、杭州和利时自动化有限公司、航天神州投资管理有限公司、湖北贵族真空科技股份有限公司、湖北长耀明太阳能股份有限公司、华夏幸福基业投资开发股份有限公司、皇明太阳能股份有限公司、汇银集团、吉林省天合风电设备有限公司、江苏力沃新能源科技股份有限公司、江苏太阳宝新能源有限公司、江联重工股份有限公司、江苏金通灵合同能源管理有限公司、江阴凯迈机械有限公司、江阴市京澄玻璃有限公司、金昌金川万方实业有限责任公司、金昌镍都矿山实业有限公司、金华金大光能科技有限公司、科隆展览（北京）有限公司、鲁能集团新能源分公司、美国格拉斯泰克有限公司上海代表处、内蒙古施德普太阳能开发有限公司、内蒙古金岗重工有限公司、宁夏光合能源科技有限公司、青岛奥博新能源科技有限公司、山东金晶科技股份有限公司、山东电力工程咨询员有限公司、

山东高盛玻璃科技股份有限公司、山东力诺光热集团有限公司、山西利虎玻璃（集团）有限公司、陕西宝光真空电气股份有限公司、上海电气电站集团、上海电气工程设计有限公司、上海锅炉厂有限公司、上海晶电新能源有限公司、上海旭孚太阳能工程有限公司、上海兆阳新能源科技有限公司、深圳市杰之洋玻璃有限公司、深圳市联讯创新工场科技开发有限公司、神化国华（北京）电力研究院有限公司、石家庄中大力诺太阳能工程有限公司、双良节能系统股份有限公司、双流绿色能源博览会有限公司、苏州首诺导热油有限公司、台玻悦达太阳能镜板有限公司、陶氏化学（中国）有限公司、天津瑞能电气有限公司、威士伯（上海）贸易有限公司、武汉圣普太阳能科技有限公司、义乌鑫辉工艺品有限公司、浙江大河镜业有限公司、浙江大明玻璃有限公司、浙江中控太阳能技术有限公司、中广核太阳能开发有限公司、中国大唐集团新能源股份有限公司、中国东方电气集团有限公司、中国风电集团、中国华电工程（集团）有限公司、中海阳新能源电力股份有限公司、中金盛唐新能源科技（北京）有限公司等。

参加本次论坛的媒体有海南日报、科学网、《太阳能发电》杂志、低碳世界、每日光伏新闻等。

开幕式当天上午的院士专家主题报告

会由联盟邵继新秘书长主持。欧洲太阳能热发电协会(ESTELA)主席 Nikolaus Benz 博士、中国科学院电工研究所王志峰研究员、美国休斯敦大学 Lorin Vant-Hull 教授、中国工程热物理学会理事长徐建中院士在论坛开幕式分别作了主题报告发言。

本届论坛部分代表的发言内容和观点总结如下：

### 8 月 21 日上午 院士专家主题报告

Nikolaus Benz 博士（欧洲太阳能热发电协会副主席）



Nikolaus Benz 博士报告了欧洲太阳能热发电的技术和产业进展状况：

肖特公司是一家国际性多元化的高科技制造集团，1884 年成立于德国。所制造的 PTR70 型集热管，占当前太阳能热发电市场的 70% 以上份额，已有 90 余万支销往世界各地的太阳能热发电项目。第三代 PTR70 型槽式真空集热管的发射率小于 9.5%，吸收率大于 95.5%；涂有减反射涂

层的改进型玻璃罩管，透过率大于 96.5%；新型波纹管专利技术，可使有效吸热面积增加到 96.7%；新型遮光环专利技术，可使有效吸热面积增加到 97.9%；新的吸气技术使得集热管工作寿命大幅提升。

欧盟 2008 年公布的可再生能源行动方案表明：到 2020 年，可再生能源将占到 20% 的能源消耗。其中可再生能源发电将在电力能源消耗中所占比例达 34%，由太阳能热发电提供的电力至少为 7GW。

西班牙的太阳能热发电项目在欧洲规模最大，当前在西班牙注册的太阳能热发电站，必须在 2013 年底前全部上网，累计容量为 2225MW，其中 94% 为槽式电站，2% 为塔式电站，3% 为碟式斯特林电站，这些电站中，62% 是配有储热系统的。

德勤研究分析 2010 年太阳能热发电产业对西班牙的经济影响数据显示，对 GDP 的贡献为 16.5 亿欧元。

**王志峰 理事长（科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟）**



以延庆太阳能热发电项目执行情况为例，报告了太阳能热发电的技术在中国的发展进程：

依据传热介质、工作温度和系统发电效率的不同，中国科学家绘制了太阳能热发电技术发展路线图，将太阳能热发电技术划分为四代：延庆太阳能热发电项目研发掌握的是以水和导热油为传热介质的第一代技术，工作温度 230-430℃，年光电转换效率约 12%。延庆正在对分别以熔融盐、高温空气、金属粒子作为传热介质的第二代、第三代和第四代技术展开研究，工作温度分别为 375-530℃、650-950℃ 和 800-1100℃，年光电转换效率分别可达约 20%、30% 和 35%。

“十一五”期间，国家科技部对太阳能热发电技术分别设立 863 计划和 973 计划进行支持，重点对采用水/水蒸气为工质的塔式技术和导热油为工质的槽式技术进行研究示范，并建立太阳能热发电研发基地；对第三代技术空气吸热器进行了探索，对太阳能热发电技术中的关键科学问题开展研究。

“十二五”期间，国家科技部又对以熔融盐为工质的塔式太阳能热发电系统立项研究，并将建立 10MW 级的示范电站；对 MW 级的槽式电站关键技术、系统集成和燃煤互补等重大方向也立项支持；在分布式太阳能热发电方面，也立项支持了碟式斯

特林系统、有机朗肯循环、单螺杆/菲涅耳系统的研发工作；同时，对大容量跨季节储热技术也设立了支撑计划支持。

延庆塔式太阳能热发电站项目 2007 年 1 月底正式启动，项目获得了国家科技部、中国科学院、北京市科委、北京市发改委、北京市延庆县人民政府的立项和建设支持，2009 年获得北京市发改委的工程核准批复，开始开工建设，几年来一路攻克了遇到的诸多难题，终于在 2012 年 5 月至 8 月间将整个系统调试发电成功。这座国内首个 MW 级太阳能热发电站由中国科学院电工研究所、皇明太阳能股份有限公司、中国华电工程（集团）公司等国内 11 家单位共同参加研发建设，电站设计、电站主设备供应、电站安装等重要环节均由国内单位完成。通过数年研究积累，中科院电工所已经成为太阳能热发电技术领域国际上有重要影响力的科研机构，SCI 论文数量在世界著名太阳能热发电研发机构排名中名列第二，仅次于德国宇航中心（DLR）。通过电站研究建设，在太阳能聚光吸热耦合技术、太阳能电站设计和集成技术等核心技术方面取得诸多创新成果。

**Lorin Vant-Hull 教授(美国休斯敦大学)**

Lorin Vant-Hull 教授是塔式太阳能热发电技术的创始人之一，参与了美国数十个太阳能热发电项目的设计工作。Lorin Vant-Hull 教授以塔式太阳能热发电为例，

报告了聚光太阳能热发电的现状、问题和展望：



早在上世纪 70 年代，光伏、风电、光热发电都获得了较高的重视和较大的项目支持，风电和光伏目前均已有较大规模的发展进步，但是光热热电相比而言进展甚微。其原因是光热发电系统复杂、高效率需要高的工作温度、需要大的容量，导致投资大、风险大，从而致使研发投入有限。

太阳能热发电系统效率的提高，需要聚光比和工作温度协同提高才能有效实现。

美国太阳能热发电技术的研发工作进展得益于联邦政府的资金支持。通过税收抵免和购电协议的方式，资助了 SEGS I 14MWe 的电站项目实施。随后陆续在上世纪八九十年代期间，建立了一系列的大型太阳能热发电电站，总装机达到 365MW。美国能源部支持了塔式太阳能热发电的研发示范项目，曾计划设计 100MWe 带有储热系统的塔式太阳能热发电系统。通过支持

三大核心部件研发和关键系统集成技术，建立了 10MWe 水工质的 Solar One 电站，后来在此基础上又翻新为熔融盐工质的 Solar Two 电站。但是由于政策的缘故，以及第一批商业化电站投资太大，美国政府没有实施随后的研发计划。太阳能热发电的技术研发与产业化工作在西班牙得以持续的推进，阿本戈公司建立了 PS10 和 PS20 水工质电站，SENER 公司建立了 20MWe 的熔融盐电站，并带有 15 小时的储热。

2005 年后，eSolar 公司在美国建立了 5MWe 模块化的水蒸汽工质电站 Sierra SunTower，采用 24,000 面 0.8 平米小定日镜，可实现 20,000 倍的聚光，电力供应南加州 Edison 公司，可满足 4000 户家庭使用。

美国 BrightSource 目前正在实施 390MWe Ivanpah 项目，目前第三个中央吸热塔已经在建设。

SolarReserve 公司的 Crescent Dunes 太阳能热发电项目位于内华达州，电站发电量 110MWe，可满足 75,000 家庭在用电高峰期的电量。该电站带有 3000MWhr 的储热系统。与 NV 能源公司签署了 25 年全额购电，该电站预计 2013 年底建成，正在进行中央吸热塔的建设。

徐建中 院士（中国工程热物理学会理事长）

首先代表工程热物理学会向各位参会



嘉宾表示热烈欢迎，向海南省、三亚市有关部门和电工所表示衷心感谢。这次会议是我们在这里组织召开的第六次会议。今年，全球太阳能热发电有了一些新的进展，特别是我们国家的 863 项目 1MW 塔式太阳能热发电站也成功发电，标志着我们中国也成为国际上少数几个掌握太阳能热发电技术的国家。

太阳能热发电突出优势是可以通过储热平稳持续的发电。目前我们国家在化学储能方面支持了不少新的项目，但是在太阳能热发电站中应用可能还存在一些规模方面的限制。所以从国家的角度来看，当前还应该重视物理储能技术的发展。973 顾问组 9 月份将召开会议，将着重讨论储能技术。太阳能热发电中，储热技术，包括材料、热化学、传热机制等问题，需要重点考虑。所以大家在储热问题方面要做好准备，争取立一批项目。另外一点，实

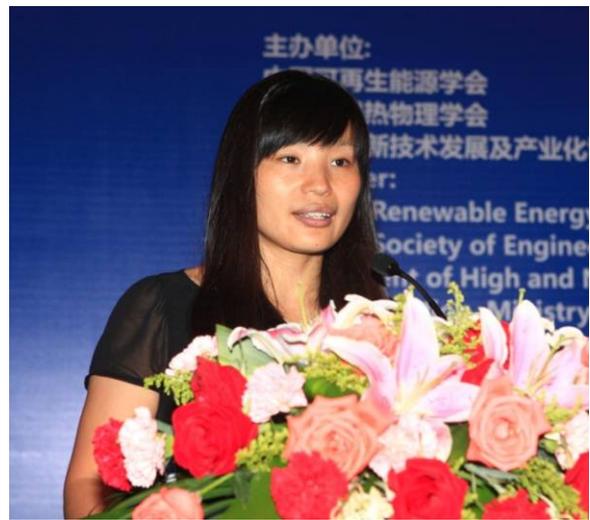
现太阳能热发电的产业化，需要有步骤的进行，需要吸收其他行业由于一拥而上带来的产能过剩的深刻教训。当前，太阳能热发电需要与化石能源电站互补，燃煤电站已经有成熟的基础，另外对储能的要求低，所以太阳能与化石能源的互补，对当前推动太阳能热发电产业发展而言，一种很重要的方式，当然也包括多能源互补的系统。

此外，行业中也有机构对太阳能热化学发电系统进行研究工作，例如澳大利亚，我们也应该开展一些这个方向的研究，利用热化学反应，可以大幅改善吸热储热环节的性能，这样对发电效率总体提高很有好处，这是将来很重要的发展方向。另外，除了太阳能发电以外，太阳能制冷，海水淡化，也有很大的现实意义。

上个世纪，人们认为发电量的多少是一个国家发展程度表征。现在应该看可再生能源在总能耗中的比例，这才能代表一个国家的发展程度。所以除了太阳能热发电，其他方面的太阳能热利用也有重要的发展意义。希望大家结合太阳能的特点，有序开展工作，把产业化很好的结合起来。希望大家在三亚过得愉快，为太阳能事业做出贡献。

## 8月21日下午 太阳能热发电产业发展及商业化进程

## 杜凤丽 副主任（湖北省黄冈市发展和改革委员会）



太阳能热利用的产业化推进，需要充分发挥行业优势，市场化运作，规模化经营，专业分工，各相关行业良好配合。目前太阳能的热利用市场，可以大致分为中低温（40℃-250℃）和高温热发电（250℃-800℃）。现阶段，我国太阳能热发电产业发展的基本情况是：随着延庆八达岭太阳能热发电的建成发电，标志着中国已经掌握太阳能热发电系统集成能力。在玻璃反射镜、高温真空集热管、核心部件研发制造方面国内已有大批企业投入研发并成功实现小批量生产，目前设计产能已经可以匹配当前国内项目开发总量。在试验系统方面，中科院电工所、新疆天能新能源技术有限公司、常州龙腾、北京天瑞星真空技术公司、兰州大成、华电工程、西安航空动力、浙江华仪康迪斯、上海齐耀动力、益科博、浙江三花、中科力函、皇明太阳能已经开发出槽式、菲涅耳式、碟式

各类系统。在项目实施方面，浙江中控在青海德令哈、天威集团在甘肃嘉峪关、大唐集团在内蒙古鄂尔多斯、华电工程在甘肃金塔、中广核太阳能在青海德令哈、中电投在青海格尔木、哈纳斯在宁夏盐池、华能在三亚均有项目在建。

黄冈市人民政府办公室今年制定并颁布发布《黄冈市太阳能光热产业发展规划（2012-2020年）》，明确了发展定位：在太阳能低温产业方面，重点发展太阳能与建筑一体化；在太阳能中温产业方面，重点推进太阳能工业用热技术及示范；在太阳能高温产业方面，重点发展太阳能热发电关键部件的研发制备。目前已经完成光热产业园的初步规划。

**卢智恒 博士（阿本戈太阳能技术（北京）有限公司）**

阿本戈公司在光热发电和光伏发电方面，已经有近 20 年的开发历史，目前在有 643MW 电站正在运行，另有 1010MW 电站正在建设。拥有国际一流的技术研发团队，掌握塔式、槽式、聚光光伏、储能等各种核心技术：

在欧洲，有两座全球最早商业化的塔式电站正在运行；9 座单个 50MW 的槽式电站正在运行；4 座槽式电站正在建设，5 座聚光光伏电站正在运行。

在北美，拥有一座 280MW 的全球最大的槽式电站，该电站有 6 小时的储热系统。

在非洲和中东地区，在阿尔及利亚建有 150MW 的太阳能燃气联合循环电站，其中太阳能热发电所占比例为 20MW；阿布扎比 100MW Shams-1 电站是中东第一座太阳能热发电站；在南非有一座 50MW 的塔式和一座 100MW 的槽式电站正在建设。

阿本戈目前正在推广太阳能燃煤联合循环电站，将常规火电站与太阳能聚光场有机结合，这种技术既可以在新的太阳能混合电站中应用，也可以对已有的常规火电站进行改造。该技术可以延长常规火电站的使用寿命，也可以获得更加廉价平稳的可再生能源电力，对电网没有冲击。

**Avi Nachmias 销售总监（西门子（中国）有限公司）**



西门子在槽式真空集热管研发方面不断的增加接收性能（吸收率、透过率）、减少损耗（热发射率、热对流、边缘热损失、膨胀节遮挡），不断的提高可靠性（机械封接持久性、耐候性、真空度）、减少性能衰减，简化维护工艺，相比过去的产品和技

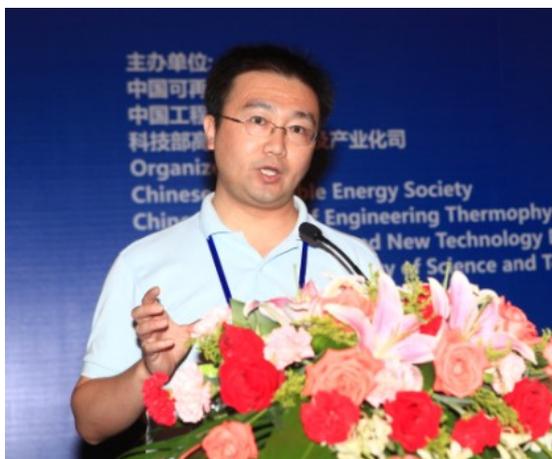
术，针对 60MW 不带储热的槽式发电系统，采用高性能的集热管每年可以增加七百万人民币的收益，集热管的使用寿命超过 25 年。

#### Juhaven 董事长（汇银集团）



汇银专注于研制高性能的槽式高温真空集热管，选择性吸收涂层可以在空气中稳定工作，吸收率 96%，400℃时的辐射率 10%；增透膜可使透过率超过 97%；玻璃与金属熔接强度优于 10,000N 拉力；优化减少了不同膨胀系数玻璃过渡环节。汇银对真空集热管所有元器件都进行了严格的检测。

#### 王朝阳 董助（浙江大明玻璃有限公司）



在槽式太阳能热发电站建造成本构成中，反射镜约占总承包的 15-20%左右，并且对整个 CSP 电站的效率，使用寿命等有着重要的影响。如何生产高品质、高反射率，并且更长使用寿命的 CSP 反射镜是一个关键环节。目前世界范围内的槽式反射镜市场主要由 FLABERG（40%）、RIOGLASS（50%）等生产商主要占有，平板反射镜市场由 SAINT-GOBAIN(30%)、GUARDIAN(30%)主要占有。生产线主要部署在欧洲和美国。目前相比热弯和夹层技术，钢化成型技术成为未来反射镜的主要发展趋势。国内槽式反射镜的生产商有大明玻璃、台玻、武汉圣普、中海阳、山西利虎等。基于国内劳动力成本较低、超白玻璃降价趋势明显、固定资产投资成本低、等因素，反射镜在国内本土化制造具有明显成本优势；经过多年发展，国际上已经形成了相对成熟的生产工艺，并有成熟的原料供应商；设备效率、精度、灵活性高具有技术后发优势，可以开发出更适应中国气候和环境的反射镜。此外，在运输与供货方面，本土化生产的反射镜也有明显的便捷性。现阶段，由于行业政策不明，我国至今尚未出台明确的光热发电电价补贴政策，产业推动缓慢，中国迫切需要建设真正的商业化运营的电站，从而带动反射镜的规模化生产，进而促进热发电成本的降低。

## 8 月 22 日上午 太阳能热发电技术的基础研究 (973 项目专题)

973 专题研讨会由项目首席科学家黄湘研究员主持，出席会议的专家代表有项目专家委员会组长王志峰研究员、项目专家委员会成员徐建中院士、各课题负责人和主要学术骨干共计 30 余人，以及参加第六届三亚太阳能热发电国际会议的代表共 180 余人。

### 黄湘 研究员 (中国科学院电工研究所)

太阳能热发电由于电力平稳输出的突出特点，前景广阔。当前制约太阳能热发电发展的主要技术障碍是：聚光成本高，在不稳定太阳辐照下的系统光学效率和热功转换效率低。为此本项目以构建光、热、功间的内部关联机制为牵引，以探索光能到热能高效输运与转换的时空协同规律为主线，以关键材料创新与能量高效转换相耦合为突破口，同时关注热发电与生态环境作用机制，完善和发展太阳能热发电理论，并对新原理、新方法和新材料进行实证。期望通过本项目的实施在未来 5 年将平均发电成本降低 30%。项目执行 2 年来，已全部按进度开展并完成了研究计划任务，取得较好阶段性成果。各课题累计投入 2369 人月的工作时间；累计发表论文 106 篇，其中在能源学科和太阳能学科等国际顶级刊物 *Solar Energy*、*Applied Energy*、*Int. J. Heat and Mass Transfer* 等发

表 SCI/EI 收录论文 61 篇；在国际学术组织任职 2 项，特邀报告 20 次；申请国家发明专利 35 项。在随后的项目执行期内，项目将针对国际槽式、塔式的快速发展，在完成课题的同时，加快研究步伐，保持研究技术的领先性；通过不断建成的示范项目，可以验证已有的理论原理及实验数据的准确性，同时通过交流，也把实验验证的数据提供给示范项目；鼓励具有原创性技术和突破性技术的支持；坚持原理先行，实验验证，示范确证的研究道路，扎实做好基础工作；坚持做好设备检测、测试和系统性能测试分析研究，加快标准、规范的编制。

接下来，973 课题的 6 个子课题分别作了研究进展的报告。

### 魏秀东 副研究员 (中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)

课题一《太阳辐射高效聚集与镜场时空协同理论》近两年的研究内容开展和完成情况主要包括：①提出了新型非球面聚光概念，聚光面形采用非旋转对称的非球面，跟踪方式采用目标定位跟踪 (Target-aligned tracking)，可有效校正球面象散，提高定日镜聚光性能。推导了非球面定日镜聚光过程的光线追迹公式和目标定位跟踪公式，编写了非成像太阳聚光器的设计和性能分析软件 (NISCD 1.0)，申请了软件著作权。国内外定日镜大多采用球

面设计，虽然较易于加工与装调，但在工作时段内光斑尺寸变化较大，溢出损失较严重；提出并设计了轮胎面定日镜，与球面定日镜相比，全视场范围内的焦斑尺寸变化量较小，减小了溢出损失，同时采用小尺寸球面反光镜拼接轮胎面定日镜，使轮胎面定日镜的加工成为可能。②完成了聚光与吸热协同设计理论研究，提出镜场效率因子和吸热器采光口作为镜场布置边界限制条件，确保定日镜布置在效率较高的区域内，避免了截断效率计算，提高了计算响应速度；提出了系统聚光与吸热的协同设计方法，推导了光场聚光过程的光线追迹公式，独立编写了镜场时空协同设计软件 SFDM 1.0, 具有镜场设计和各种参数分析优化功能，可分析光斑接收面上能流分布，进行聚光与吸热协同优化；独立编写了非成像太阳聚光器的设计和性能分析软件(NISCD1.0)，软件可对球面及非球面聚光器（包括轮胎面、自由曲面等）进行建模，模拟聚光器的光斑能流分布，分析聚光器的光学性能，申请了软件著作权。在镜场设计方面，国外开发的设计软件主要有 HFLCAL、WinDELSOL、SENSOL 等，均处于实验室阶段，软件普遍存在的问题是计算精度和响应速度之间的矛盾。本成果提出利用腔式吸热器采光口与定日镜年均效率因子相结合的镜场边界限制方法，提高了镜场光学效率和计算响应速度，

基于蒙特卡罗光线追迹法建立了镜场聚光的数学模型，编写了镜场时空协同设计软件，并利用已公布的西班牙 PS10 镜场数据对软件的镜场设计模块进行了验证，软件已达到国际先进水平。③提出了聚光器子镜面形和拼接角度检测方法，并在检测过程中对聚光器进行装调。通过摄像机拍摄接收屏上的光斑，并进行图像处理，确定被测反射镜与基准反射镜实际光斑的相对位置，并与理想光斑位置进行比较，从而获得被测反射镜的角度倾斜误差。根据测得的角度倾斜误差，指导被测反射镜进行角度调整，使被测反射镜的倾斜角度达到设计值。④完成了聚光器控制电路设计及控制软件的编写。聚光场跟踪控制系统采用集中管理、分布式控制的方法，通过 MODBUS RTU 协议和 RS-485 总线将各个聚光器连接成网络，使用 PC 机实现整个系统运行的监控和操作。各外部接口与 CPU 处理器之间均用光耦器件隔离，保证控制器工作的可靠性和稳定性。

#### 李增耀 教授（西安交通大学）

课题二《吸热过程光-热耦合特性及复杂非稳态传热机理》近两年的研究内容和研究进展主要有：①完成了空气吸热器传热与阻力实验系统设计、关键设备选型及太阳模拟器加工；采用改进蒙特卡洛法（MCM）对光线在半透明介质内的传递、吸收过程进行模拟，结合控制容积法和谱

带模型，研究了太阳能热发电吸热器石英玻璃窗辐射与导热的耦合换热。在等壁温和等热流边界条件下，运用十四面体模型模拟多孔材料结构，研究空气流经多孔材料时的压降特性、多孔材料内部的流速特点以及空气与多孔材料之间的换热规律。基于多尺度重构算子，将人工压缩方法（ACM）和格子-Boltzmann 方法（LBM）通过分区计算，界面耦合的方式进行多尺度耦合模拟，实现了 LBM-ACM 的耦合计算，用于研究空气流经多孔吸热材料的多尺度传热过程。② 开发了一套用于太阳能热利用与热发电领域中计算多阶多表面复杂太阳能聚焦集热系统光线传播过程、集热特性与太阳能热流分布的软件；提出了一种多阶多表面复杂太阳能聚焦集热系统设计方法。③ 提出了腔体式吸热器热性能计算的数学模型。目前国内外对腔式吸热器热效率的研究主要集中在两个方面：吸热器辐射热损失和吸热器自然对流热损失。大部分的研究只针对其中一个方面，而且吸热器内壁面的温度是给定的。现有的吸热器热效率的研究也几乎没有考虑吸热器内布置有吸热管道的情况。但是太阳能腔式吸热器由于内部温度很高，而且将放置在高空中，周围空气流动剧烈，辐射损失和对流损失的量应该都很大，故对吸热器热效率的研究应该同时考虑辐射热损失和对流热损失。而且吸热器内部的温度

分布跟吸热器开口处的阳光能流密度以及吸热管的布置有直接关系，故吸热器内壁面的温度应该通过开口处的阳光条件来计算获得而不应该直接给定，同时还应该考虑吸热管道的内部换热规律，获取吸热管道向工质的传热量和管道壁温。只有将这些都考虑进来，才能比较真实地模拟太阳能腔式吸热器的换热情况，得到比较准确的吸热器热效率。本课题提出的吸热器热性能计算的数学模型，结合了内部辐射换热计算、吸热管道内的流动沸腾传热规律和吸热器的对流热损失计算，以开口处的阳光能流密度分布作为给定条件，所以能够比较真实地模拟吸热器的换热情况，其模拟结果更加具有价值和指导意义。④ 开展了腔体式吸热器启动过程性能研究。由于气候天气等自然原因，太阳光具有不连续性的缺点，所以太阳吸热器需要频繁地进行启动和停止。目前国内外对太阳能吸热器的启动这方面的研究甚少，对太阳能吸热器启动安全规范方面的研究就更少了。但是吸热器作为太阳能热发电系统光热转化的关键设备，它的安全稳定运行是至关重要的。本课题对吸热器启动过程的性能进行模拟，获得吸热器在启动过程各个时刻开口处的阳光能量以及吸热器的热效率。为吸热器启动技术的发展提供理论指导。⑤ 建立了碟式太阳能热发电系统物理模型及光学模型，采用蒙特卡罗光线追

迹方法，模拟了太阳辐射由聚光器到吸热器直至最终吸收的整个光学传播过程，计算获得了碟式吸热器内表面的太阳辐射热流密度分布情况；建立和完善了一整套基于二维网格的网格数、光子数和解的无缝传递的考核理论及实现方法，将 MC 与 FLUENT 的跨接由二维网格拓展到情况更为复杂的三维网格，解决了三维计算中的网格生成技巧及如何将 MC 所得解精确导入 FLUENT 中进行计算的问题；考虑实际碟式吸热器内壁面的非均匀热流密度分布，对碟式吸热器内的自然对流及表面辐射传热过程进行了数值模拟，计算了系统在不同参数条件下的内表面温度，对流及辐射换热的耦合规律。⑥ 完成了槽式真空吸热管实验系统设计、关键设备选型及实验台初步调试；以出口温度为 400℃ 过热蒸汽的一次通过式槽式水工质直接产生蒸汽 (DSG) 系统太阳能集热器为研究对象，基于管内流动和传热特点，建立了集热器的稳态传热模型；建立了以水为工质的太阳能真空集热管内多孔介质强化换热模型，对采用不同 Da 数和 Rrat (填充比) 的多孔介质强化传热方案时的管内湍流强制对流换热进行了三维数值模拟；通过电加热模拟方法，测试了在不同真空状态下吸热管 (吸热管外径 70mm、吸热钢管内径为 54mm) 的热损失。

**陆建峰 副教授 (中山大学)、吴玉庭 教授 (北京工业大学)**

共同对课题三《高温传热蓄热过程多尺度结构中流动与传递规律》近两年的研究进展作了介绍:① 根据混合熔融盐阴阳离子间的相互作用，提出高温传热蓄热材料的物相计算方法和相图构成，发展熔融盐材料的优化设计理论；依据优化设计理论确定构成混合熔融盐的最佳工艺配比及反应条件，并利用添加剂材料进行高温熔融盐材料改性，实验表征和理论分析高温熔盐的热物性，为高温传热蓄热过程研究奠定了材料科学基础；提出高温传热蓄热材料的物相计算方法和相图构成规律，形成熔融盐材料的设计理论。根据相图分布获得熔融盐的熔点等热物性参数，为熔融盐材料设计提供理论依据；研制数十种高温混合碳酸熔盐，测试并获得熔盐的熔点、分解温度、比热、熔化潜热和使用温度范围，提出热物性计算关联式；研究发现多数三元混合碳酸盐具有比较接近的熔点 (400 °C 左右) 与分解温度点 (800-850 °C)；合作构建一套高温粘度测量设备，不仅可测量低粘度液体 (最低 0.4cp)，而且可测量最高温度达 1200°C 的熔盐；② 实验研究混合熔盐的管内对流换热性能，分析熔盐层流、湍流和过渡流的流动传热规律及其无量纲准则数实验关联式；研究强化换热管内熔盐传热规律及其实验关联

式，分析不同结构与运行参数对传热的影响规律，揭示不同熔盐传热管的强化机理；建立熔盐自然对流换热实验台，获得预测自然对流换热性能的实验关联式；设计和改造两套对流传热实验平台，分别采用低电压高电流加热方式与套管加热方式，最高工作温度达 580°C；③ 提出斜温层混合蓄热与球型堆积床潜热蓄热的过程机理，探索多尺度结构的形成机制、结构形态及其对传热蓄热性能影响，形成高温传热蓄热过程多尺度结构的设计方法；④ 以变物性高温熔融盐为传热蓄热介质，对多尺度蓄热器进行整体性能测试，包括蓄/放热效率、换热系数等，并确定各参数对熔融盐在多尺度结构中流动与传热性能的影响趋势与作用规律。建立多孔介质内传热蓄热材料传递现象的宏观分析模型，并根据蓄热器内蓄热传热的宏观测试结果验证模型有效性。探索强化传热蓄热过程的传质机理与方法，提出熔盐蓄热系统的流动和热性能评价指标，优化熔盐蓄热系统。利用高温熔盐吸热传热蓄热测试平台对多孔介质中熔融盐进行整体性能测试与研究，获得熔盐温度分布与传热变化规律。课题三发表的关于熔融盐传热特性方面的系列研究论文被美国爱达荷国家实验室 2009 年出版的两篇科技报告进行了大篇幅引用，充分展示了 973 项目的研究水平。此外，该课题还制备出熔点低于 100 摄氏度、分

解温度高于 600 摄氏度的混合熔盐，这对在太阳能热发电技术向高效和高温方向发展提供了技术保障。

**徐二树 研究员（中国科学院电工研究所）**

课题四《大规模太阳能热发电系统集成及调控策略》近两年的研究进展情况主要有：① 完成光—热—功能量转化微型实验台的搭建、调试及实验方案。在研究光热转换、热功转换的内在作用规律的基础上，提出了光—热—功能量转化微型实验台的设计方案，建立了光热转换实验装置，初步开展了 15kW 槽式集热器光—热转化的热力性能实验，并考察了太阳辐照强度对槽式真空集热管集热效率的影响。② 建立聚光岛性能测试的理论方法和测试平台。在分析聚光岛、吸热岛、热能岛能量聚集、传输和转换机理的基础上，针对聚光岛、吸热岛、热能岛特点，提出了聚光岛、吸热岛、热能岛性能测试方案。聚光岛主要以定日镜聚光形成光斑的能流密度、定日镜跟踪精度性能为核心，建立了相应的测试理论和以朗伯靶、CCD 相机构成的测试平台。③ 在定日镜跟踪精度研究方面，开发及验证了一种带镜面偏心距及其它固定几何误差定日镜的准确方位—俯仰跟踪公式。此外，以延庆八达岭实验基地为平台，建立了塔式实验电站，为储热、热功转换过程的性能测试奠定了基础。④ 建立塔式太阳能热发电系统聚光岛、吸

热岛的动态仿真数学模型。太阳能热发电是多物理过程、非稳态、强非线性耦合的复杂系统，针对太阳能变化的间歇性、不稳定性特点，根据太阳与地球位置变化基本规律，依据经典的太阳直射辐射模型，建立了模拟太阳能辐照的数学模型算法；利用非光线成像原理，深入研究了太阳能塔式电站定日镜镜面面型和反射光斑位置、形状随时间变化规律，建立了塔式电站定日镜的通用仿真数学模型；基于非成像光学、热力学、传热学和流体力学的基本原理，根据八达岭 1MW 塔式电站吸热器、蓄热系统的结构和工作原理，采用模块化的建模方法，建立了八达岭塔式电站腔式吸热器、和双级蓄热系统的全工况仿真数学模型；分析太阳能热发电系统的量流结构，研究太阳能热发电系统内在作用规律。⑤ 开发腔式吸热器热性能评价模型，并对塔式太阳能热发电站系统进行能量分析和火用分析。在分析聚光岛、吸热岛、热能岛能量聚集、传输和转换机理的基础上，针对聚光岛、吸热此外，在吸热岛、热能岛方面，依据成熟的热力学、传热学理论，建立了腔式吸热器的热性能评价模型，并基于此模型对塔式电站各个子系统进行了基于热力学第一定律和第二定律的能量分析。⑥ 针对新型二级储热系统开发动态仿真模型，研究其内在工作机理。开发了基于能量守恒的动态仿真模型，并

应用此模型对混凝土-蒸汽蓄热器二级储热系统的放热过程进行了模拟研究。研究中重点分析了放热过程中蒸汽蓄热器的蒸汽发生量、发生温度和压力等的变化规律。并考察了混凝土模块的放热特点和放热机理。研究表明此低成本的混凝土-蒸汽蓄热器二级储热系统能够有效的应用在以水蒸气为吸热工质的塔式太阳能热发电系统中。⑦ 分析太阳能热发电系统的量流结构，研究太阳能热发电系统内在作用规律。在掌握对现有塔式电站流程基础上，以布雷顿热力循环、朗肯循环为核心，从太阳能聚光、蓄热、热功转换三个主要能量转化过程为研究对象，采用序贯模块，对西班牙 PS10，美国 SOLAR ONE, SOLAR TWO，和德国 SOLARGATE 进行了热力学性能模拟。结果基本与文献相符。分析中，将能的品位分析方法引入太阳能热发电系统集成研究。通过聚光、集热、热-功转化的能量品位变化，找到发生不可逆损失的根源，发现太阳能热发电效率提高的突破口。⑧ 研究光热转化、热量传输、热量蓄存及热功能量转换匹配机制。分析太阳能热发电系统的量流结构，研究太阳能热发电系统内在作用规律，以八达岭塔式电站为对象，在建立太阳辐射、定日镜、吸热器、蓄热系统模型、汽轮发电机组模型的基础上，利用热力系统流体网络模型、进行了光热转化、热量传输、热量蓄存及热

功能量转换耦合，初步建立了八达岭塔式太阳能热发电系统全工况动态仿真模型，利用 STAR-90 仿真平台开发了国内首台太阳能热发电仿真机。基于研究分析，本课题提出了几种新型的太阳能热发电系统。

课题今后研究重点为：掌握更深入的调控和集成技术；建立 MW 级热功率熔融盐吸热-储热-蒸汽发生综合实验平台，掌握熔融盐电站系统集成及调控技术。

#### 吴建锋 教授（武汉理工大学）

课题五《高温传热蓄热材料设计与性能调控原理》近两年的研究进展主要为：

① 在高温传热蓄热材料设计与性能调控原理研究方面，针对不同材料类型，开展了深入研究并取得了如下创新成果：② 陶瓷储热材料方面。本研究以氧化铝、碳化硅、氧化锆为主要原料设计的 ASZ 系列陶瓷储热材料具有储热密度大、抗热震性能好、导热系数高、强度高、耐高温、耐腐蚀等优点，为国内外首创。首次采用沙漠砂等低品位原料制备低成本、高性能的陶瓷储热材料。③ 合金储热材料方面。目前最常用的熔融盐类储热材料，但是熔融盐类储热材料存在腐蚀性、毒性及性能老化等问题，容易造成热交换管道的严重腐蚀。金属基相变储热材料与其相变具有储热密度大、热循环稳定性好、导热系数高、相变过冷度小、使用寿命长等优点，在高温

相变储热材料的应用中具有较大优势。本课题组目前已经设计了一系列的铝合金储热材料，获得了相关的热物理参数，并在满足熔点在  $400\sim 800^{\circ}\text{C}$  之间，相变潜热  $> 300\text{J/g}$  的条件下，选择了较优良的材料，对其在实际应用中还应具备的其它性能进行了研究，包括导热性，热膨胀性，热稳定性以及与管道材料的相容性，结果证明了铝合金作为高温储热材料具有适中的相变温度，较大的相变潜热和储热密度，较高的导热系数，较好的稳定性以及较小的热膨胀性，因此选择铝合金为高温相变储热材料具有一定的科学性和先进性。在储热装置设计与模拟方面，本课题组已经设计了一套利用气体作为传热介质的太阳能储热装置和一套储热器充热、放热过程的测试与评价装置，并申请了专利，在储热系统的模拟方面，利用传热学理论和 ANSYS 软件可对空气-管道-铝合金储热材料以及整个储热系统进行建模，通过探索合适的网格划分进行数值模拟，从而可以掌握储热系统中的传热规律。上述几方面相互关联、相互作用，通过储热器充热、放热过程的测试与评价装置评价储热材料和储热装置的设计，从而对储热材料和储热装置进行优化，同时，将测试与评价装置的结果与储热系统的模拟结果相对比，可以分析测试与评价装置在实际应用中的精确性，对其进行调整与改善，增添了设

计的合理性。这种对 Al 合金相变储热材料在高温相变储热应用方面进行系统的研究方法具有先进性。④ 混凝土储热材料方面。研究的混凝土储热材料的热导率达到  $2.3\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，这个数值是德国热力学技术研究院 Doerte Laing 等人制备的储热混凝土材料的热导率（ $350\text{ }^\circ\text{C}$  下测试为  $1.0\text{w}/(\text{m}\cdot\text{k})$ ）2 倍多，石墨粉的加入大幅度提高了材料的热导率。⑤ 高反射率聚合物太阳能反光薄膜方面。首先将纳米 Ag 颗粒进行活化改性，再将纳米银用化学镀的方法镀到轻质透明塑料膜上。轻质透明塑料膜具有良好的弯曲性，加工简便，价格低廉等优点。镀银后的塑料膜具有较高的反射率，且在塑料膜上涂覆一层氟碳树脂保护层，使薄膜具有自洁性和耐沙蚀性。

#### 吴治永 博士（中国科学院电工研究所）

课题六《规模化太阳能热发电系统的环境适应性》近两年的研究进展为：① 开展了聚光镜场对土地环境的影响研究。目前国内外没有对聚光场引起的土地温湿度变化进行研究。目前公开的资料显示国内外没有用 DES 方法对聚光镜场的风环境进行研究的；未公开的资料显示，德国 DLR 和斯图加特大学的研究人员，正在用数值模拟的方法，对槽式聚光镜场的风环境进行数值模拟研究。对遮阳引起的土壤温湿度变化机理的研究和对多钝体结构——聚光镜场的数值模拟研究，在国际上都处于

领先行列。② 开展了太阳能热发电站的空冷技术研究。本课题在国际上首次提出在采用导热油、熔融盐等吸热储热介质的槽式及塔式电站中，根据一天中环境温度的变化来设置储热系统地放热发电模式，以充分利用夜间低温特性来提高光热电站的发电效率并尽量减少空冷带来的效率损失。③ 开展了太阳能热发电站的选址技术研究工作。选址影响因素对太阳能热发电站的成本有着很重要的影响，因此建立电价与选址影响因子之间的数学物理模型显得尤其关键。目前国内外同类研究工作还处于如何提高系统效率降低太阳能热发电成本阶段，而并未将电价与选址影响因素直接建立数学物理模型进行分析研究，因此此项工作目前具有很强的创新性，值得深入研究。④ 开展了熔融盐储热材料失效机理及其环境适应性研究。确定了研究方案和技术路线。材料的微观结构决定了材料的性能，储热材料在长期热循环后热物理性能的改变主要是材料的微观结构发生改变导致，废弃的熔融盐储热材料失效后基体主要成分并未发生变化。因此要研究废弃的硝酸盐储热材料的掺入量对重新制备的硝酸盐储热材料工艺和产品性能的影响。在此基础上，研究一套在硝酸盐储热材料生产工厂可以实施的废弃物循环利用配方和工艺技术，确定相应的工艺技术指标，全面比较利废和非利废的材料生产成

本。可将废弃硝酸盐储热材料分离后再利用。

## 8月22日上午 太阳能热发电系统评估

**吴玉庭 教授（北京工业大学）**

介绍了单螺杆膨胀的分布式太阳能热电联供系统的研发及应用。首先从发展分布式太阳能热电联供系统的必要性、建筑节能的重要技术途径、分布式太阳能热电联供系统原理介绍了研究的背景；其次详细的分析了分布式太阳能热电联供系统类型，其中包括数倍聚光集热太阳能热电联供系统、槽式聚光集热太阳能热电联供系统、线性菲涅尔聚光太阳能热电联供系统、碟式聚光集热太阳能热电联供系统。并详细的介绍了各种方式的特点。再次探讨了分布式太阳能热电联供系统关键技术，包括适合分布式的聚光吸热技术 Solar Collecting Technology、500 千瓦系列膨胀动力装置 Single Screw Expander from 1 to 500 kW、热力循环分析与优化 Cycle analysis and optimization、熔盐传热蓄热技术 Molten salt heat transfer and storage、热电联供系统集成优化与运行调控策略的研究 Operation Control。并对每一项进行了实验和仿真的验证。最后介绍了科研成果包括参与国家标准的制定以及科研成果的转化。

**侯宏娟 副教授（华北电力大学）**

主要介绍了槽式太阳能集热场辅助燃

煤发电系统的应用概况。详细分析了槽式太阳能集热器的特点及应用的广泛性。报告人指出槽式太阳能集热器发电的缺点并提出了解决方案，即槽式太阳能集热场辅助燃煤发电。结合西藏太阳能辅助 300MW 燃煤发电工程对槽式太阳能的各个模块、不同工况进行了详细的分析。同时也对太阳能辅助燃煤机组动态性能进行了仿真。最后介绍了研究成果的拟用方向。

**杨兴洋 硕士（天津大学）**

主要介绍了太阳能三联供系统在 ORC 采用正辛烷，正壬烷和正癸烷三种工质时的循环性能和经济性进行了研究。报告模拟了不同入口温度、不同压力是三联供系统的效率。并对模拟数据进行详细的分析。

**Young Chil Park 教授（Seoul National University of Science and Technology）**

介绍了韩国塔式太阳能热发电站的概况。着重讲解了太阳跟踪模块的原理 BCS(Beam Characterization System)和方法。报告中包含实验验证以及对实验数据的分析和计算。提出了一些对误差的补偿方法。

**陈小安 教授（重庆大学）**

介绍了定日镜聚光效率的研究背景，其次介绍了聚光效率模型强调了风载及跟踪误差的影响；报告对各种影响因素也进行了分析。最后详细分析了采用曲面拟合方法对包含镜面变形及跟踪误差的解决方

案，并对入射光线、反射光线、效率进行计算。

**魏秀东 副研究员**（中科院长春光学精密机械与物理研究所）

主要介绍了条纹反射测量法的理论基础及其设备的试制。报告介绍了槽式曲面反光镜面形检测方法包括激光扫描采点法、摄影测量法、条纹反射法并分析了每种方法的特点。详细分析了条纹反射法的原理并根据此方法进行样机的试制。报告对测量软件的测量结果做了分析。

**白素莲 高工**（北京华创维想科技开发有限责任公司）

阐述了辐射测量的目的及其必要性。作者列举了几种采用遮挡原理反演计算出来的日照时数的设备。报告详细的说明了采用遮挡的方法求出的日照时数的公式及原理。分别在能见度差时、能见度好时、多云转阴时根据实测的数据和计算的数据进行比较。

**8月22日下午 太阳能热发电吸热技术**

**白凤武 副研究员**（中国科学院电工研究所）

对碳化硅泡沫陶瓷性能进行了介绍，然后对中科院电工所在空气吸热器方面的研究做了介绍，主要包括抗热震性实验、一维性能分析，重点介绍了电工所承担的1MW空气吸热器系统的设计和试验研究。报告认为，碳化硅泡沫陶瓷很适合作为容

积式空气吸热器的吸热体材料，吸热体厚度、孔隙特征参数是吸热器设计的关键，并根据目前的1MW系统的试验结果，充分验证了以空气为传热流体的塔式太阳能热发电的技术可行性，国内已具备工业化推广应用空气吸热器的基础。

**魏葳 博士**（浙江大学）

介绍了浙江大学研究纳米流体的基础物性、团聚情况及稳定性分析、辐射特性、纳米流体在太阳能利用中的应用探索、纳米流体在集热器中的辐射传递理论分析和直接吸收式太阳能集热器，并认为采用纳米流体设计的吸热器具有优良的特性：良好的传热性能、直接吸热、具有光谱选择性、具有更高的吸收率、集热器中温度更均匀、小尺寸的颗粒能够通过泵和管路而不造成不利的影

**郭凯凯 博士**（浙江大学）

介绍了一种新型固体颗粒式太阳能吸热腔的实验与模拟研究近展。固体颗粒式吸热器一个主要优点是能避免热斑（heat spot）的影响，而研究表明，热斑是影响吸热器安全和寿命的主要问题。研究方法上，用蒙特卡洛的光学追迹方法与热力学模型进行耦合分析，建立了吸热腔的计算模型，并实验进行了验证。

**常春 博士**（中国科学院电工研究所）

首先介绍了有助于降低太阳能热发电成本的几个关键要素，引出开展熔融盐传

热、储热技术研究的重要意义。随后介绍了熔融盐传热、储热技术的国内外研究及应用进展情况，重点介绍了中国科学院电工研究所在熔融盐传热、储热技术以及熔融盐吸热器研制、熔融盐吸热器热性能测试等方面开展的研究工作和取得的阶段性成果：在国家 863 计划的支持下，中国科学院电工研究所已经成功研制出一台 100kW 的熔融盐吸热器，并完成了其热性能实验测试；在国家自然科学基金支持下，针对熔融盐吸热器的实际运行工况，得出了非均匀非稳态热流边界条件下吸热管内的换热特性和管壁温度分布规律；在北京市科委的重大项目支持下，中国科学院电工研究所将进一步对 MW 级熔融盐吸热、储热系统进行研制。

#### **屠楠 博士（西安交通大学）**

从国际上看，虽然研究的主流认为熔融盐吸热器、空气吸热器为发展的方向，因为能达到更高的工质温度。但是，就目前来看，水工质腔式太阳能吸热器也有一定的优势，并有较丰富的研究和应用经验。报告介绍了西安交通大学建立的水工质腔式太阳能吸热器实验平台和实验结果，并用数值模拟研究了水工质腔式太阳能吸热器不同蒸发量下的热性能。得到了有用的研究结论：当腔式吸热器的几何结构和工作压力确定后，蒸发量的增加能提高吸热器的热效率，对于本试验台中的吸热器结

构，当蒸发量小于 100kg/h 时，吸热器的热效率低于 75%，当蒸发量大于 200kg/h 时，吸热器的热效率达到 85%以上。自然对流热损失约为辐射热损失的 4 倍，是热损失的主要形式；蒸发量的增减对吸热管温度的影响很小，对吸热器周围空气速度场和温度场的影响也很小，即蒸发量的大小对吸热器的热损失影响不大。

#### **刘庆 博士（天津大学）**

报告了天津大学在碟式太阳能接收器的热性能方面的研究工作，建立了碟式太阳能接收器的传热模型，并进行了实验研究，研究了不同接收器口直径、不同角度和吸热器处于不同温度下的热损，建立了热损计算关联式。

#### **8 月 22 日下午 太阳能槽式集热管及储热技术**

#### **陈步亮 总经理（中国航天天瑞星公司）**

首先对神舟集热管热学与光学性能的测试与分析做了报告，神舟 DLR 集热管的热损测试采用：热平衡方法，并展示了测试结果和数据。DLR 光学效率测试采用对比法，介绍并分析了集热管真空度、端部结构、涂层发射率等影响集热管热损性能的要害，玻璃管透射率、涂层吸收率影响集热管光学效率的要害，涂层的高温稳定性、真空度的维持、各关键部件的工作寿命等决定集热管工作寿命的要害。展示了天瑞星 TRX 集热管相对市场上集热管的

散热损失小，寿命长的优势。

### **周广彦 总经理（山东力诺光热集团有限公司）**

介绍了玻璃金属封接技术是决定高温发电管使用寿命的最主要因素之一，也是目前制约国内高温发电管产业化发展的最主要瓶颈。然后介绍封装机理：洁净的纯金属表面与玻璃无法封接起来，湿润角很大，必须先将金属表面氧化为低价金属氧化物，取得与玻璃表面类似的结构。对比了匹配封接、过渡式匹配封接、压力封接、非匹配封接各自优缺点，综合考虑工艺成熟度、耐温性、封接处应力、成本，匹配封接方式是目前高温发电管最合适的一种封接方式。之后介绍了与清华合作进行新型玻璃研发的历程，得到了热膨胀系数匹配较好，玻璃灯工性能良好、理化性能良好的新型玻璃，并准备打造高温热发电管外管生产线。

### **黄锋（南京旭城新能源）**

对高温太阳能真空集热管新型玻璃和金属封接方案做了报告，作为槽式太阳能光热发电的核心部件，关键技术在于玻璃和金属封接。玻璃和金属封接方式决定了产品的关键技术指标，玻璃和金属膨胀系数不同是两者封接的主要矛盾。对比了常见封接方案，熔封仍是中高温产品中最成熟的封接方案。并介绍了熔封方案特点和存在问题：手工完成导致效率低，封接部

位需承担产品自身重量导致损坏率高，抗热冲击温度等指标难满足光热发电要求。

提出了利用钼箔和石英玻璃夹封的成熟的非匹配封接工艺，高硼硅玻璃与钼箔封接用于高温真空管。由于钼箔与石英玻璃浸润性良好，同时可以通过结构来解决钼箔难以支撑产品本身的重量的问题。若实现产业化将大幅度优于现有产品的关键技术指标，即将进入小批量生产阶段。

### **李建斌 高工（皇明太阳能股份有限公司）**

依据国外槽式集热器热性能测试平台及ASHRAE 93-2003标准，提出跟踪型太阳能中温集热器性能测试的参数及准确度；确定跟踪型太阳能中温集热器性能测试原理、测试方法及测试仪器；性能测试体系包括：（1）吸收比、发射比的测试；（2）抗机械冲击性的测试；（3）镜面反射率衰减的测试；（4）跟踪精度的测试；（5）热性能测试。

建立跟踪型太阳能中温集热器寿命的评价方法及评估体系；设计了双轴跟踪下测试槽式集热器测试时间常数、稳态效率、入射角修正系数的平台，具体包括集热器系统、温控系统、旋转平台。提供了试验方法和计算方法。因平台还未搭建完成，实际测试工作有待继续进行。进一步将建立跟踪型太阳能中温集热器性能测试的标准和规范。

## 朱伟 技术总监（上海旭孚太阳能工程有限公司）

对集热场跟踪总体方案，包括东西跟踪和南北跟踪在跟踪角度、单双油缸跟踪、聚光效率和成本进行了对比分析。对控制方案的集中控制和分散控制在 LOC 能否单独计算角度，质量和成本上进行了对比。然后介绍了回路跟踪总体方案：可实现跟踪系统的有效、可靠的高效率的组控，场控和区控；集热区的上位或者主控系统例如 DCS 必须能识别每个具有唯一性跟踪器；每个唯一的跟踪器能够根据客户的要求和主控制系统通过统一的总线系统通讯；不同组控，场控和区控制都可以实现单独的通讯和控制；并分别介绍了跟踪方案 - TF100，跟踪方案 - TF150 的各自特点。集热器跟踪基本技术要求：本地控制系统、上位机、液压油缸、液压站。最后介绍了项目案例。

## 金翼 博士（英国利兹大学 - 中科院过程所储能科学与技术联合研究中心）

介绍了热电材料用于发电装置的原理和转化效率，出功、成本及优，并展示了热电联产系统和余热回收系统的实例。对光伏技术介绍了单晶硅材料的电转化效率，并提出高聚光度和低工作温度可提高光伏电池的性能，优化能隙对于电池的转换效率的提高有一定的作用。从聚光式光伏电池的实例说明成本与效率关键在于

——开发新材料和采用新过程工艺。现有技术所能捕获的太阳能的量非常有限，这就对材料和过程提出了挑战。TE 材料—提高转化效率，减低成本，增大输出功，优化系统过程，建立动态热管理技术；PV 材料—提高转化率，减低成本，建立热管理。最后提出将 TE 和 PV 结合起来组成集成系统将是一个解决目前 PV 和 TE 技术缺陷的有效办法，直接接触法可能需要研发出具有更高 ZT 值的光伏材料，带有制冷和储热装置的分频技术是一个有效的方案。

## 喻志强 博士（西安交通大学）

对于由不同结构参数构成的组合式多孔材料，数值研究了在等热流和等壁温边界条件下其流动与换热特性。通过计算，分析得出了组合形式对其流动与换热性能的影响。运用场协同原理和(火积)耗散极值原理对组合式多孔材料中流动与换热性能的数值模拟结果进行评价，并通过平板和开缝翅片案例进行验证。研究过程中所得结论如下：1) 综合考虑多孔材料中流动与换热性能，选择多孔材料时，D-M-S 优先考虑；2) “由密到疏”组合形式中流动与换热性能最优，反之最差；3) 不同边界条件下采用的评价指标可以对换热性能进行准确地评价；4) 分析得出场协同原理和(火积)耗散极值原理之间具有一致性的特点。

## 8月23日上午 中国太阳能热发电产业发展与商业化及战略研究（科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟专场）



会议共有四项议程：1、联盟秘书长邵继新汇报自2011年三亚会议以来联盟秘书处的工作情况；2、联盟副秘书长李兴汇报联盟会费收支审计情况；3、与会代表座谈讨论联盟下一步工作；4、王志峰理事长做会议总结发言。

### 联盟工作总结



自2011年8月三亚会议以来，联盟的主要工作包括：1) 成功组织举办了2011年太阳能热发电技术三亚国际论坛。论坛

期间与会人士围绕太阳能作为新能源的开发利用前景、太阳能热发电技术的商业化开发模式等内容进行了深入的探讨、交流，发布了一批科研新成果。此次论坛得到各与会领导嘉宾、光热产业界同仁的一致好评和大力支持；2) 成功组织举办了2012中国国际太阳能光热产业新技术新材料新产品新设备展览会（简称“中国际光热四新展”），此次四新展着力于展示光热行业的“新技术、新材料、新产品和新设备”，展会共吸引了来自国内外从事太阳能光热行业的参展商31家，展览净面积达849平方米。国务院参事、中国可再生能源学会理事长石定寰、科技部政策法规司巡视员李新男等领导和专家参观了展会；3) 成功举办了“第一期太阳能光热利用技术培训班”，来自全国各地的110名学员参加了学习培训，并获得了由光热联盟颁发的结业证书；4) 对联盟自筹经费项目“太阳能中温工业应用标准与规范研究”课题进行中期审查。专家组组长中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会主任朱俊生、项目管理委员会主任王如竹、项目管理委员会副主任邵继新等人参加了调研与评审；5) 联盟组织和协调申报了“太阳能槽式集热发电技术研究及示范”等四个国家科研项目；6) 联盟积极准备接受科技部评估；7) 积极开展宣传服务工作，截至目前秘书处共编辑出版了35期联盟简报，联盟

官方网站 (<http://www.nafste.org>) 自建立以来一直受到我国和世界各国太阳能光热领域相关机构和人士的广泛关注; 8) 组织成员单位去武汉理工大学参观学习; 9) 组织编写了《太阳能热发电产业及投资分析报告》等三本产业发展报告和专辑; 10) 联盟积极开展相关太阳能光热标准的制订工作, 联盟组织编写的《聚光型太阳能热发电术语》标准颁布于 2012 年 8 月 1 日起正式实施。2012 年 8 月 2 日联盟标准化工作专家组讨论通过了联盟标准化章程、标准化工作专家组管理办法, 初步审定了联盟标准“抛物面槽式吸热管技术条件”; 11) 积极开展国际交流活动, 组织成员单位参加 SolarPACES2011 会议并赴意大利参观考察; 12) 积极开展与地方政府共建交流工作, 2011 年光热联盟与黄冈市人民政府签订了全面合作框架协议, 并帮当地政府编制了《黄冈市太阳能光热产业发展规划》, 目前双方正围绕共建黄冈光热产业园等各项工作展开合作; 13) 召开促进“十二五”国家科技项目执行辅导班; 14) 帮助企业编制战略研究报告; 15) 联盟将组织召开“2012 年太阳能热利用兰州论坛暨太阳能光热产业技术创新战略联盟研究生学术研讨会”。

### 联盟会费收支审计情况汇报

太阳能光热产业技术创新战略联盟是由积极投身于太阳能光热产业技术进步、

从事相关技术与产品研发、生产、服务、投资的企业、科研院所和大专院校等具备独立法人资格的单位自愿组成的技术创新合作组织。联盟会费使用本着精简节约、全部服务于联盟成员单位、联盟活动不以营利为目的的原则。太阳能光热联盟截止 2011 年 12 月 31 日共计收入为 970,000 元, 其中 2010 年会费收入 380,000 元, 2011 年会费收入 495,000 元, 2011 年为香港丹枫控股有限公司提供咨询服务收入 95,000 元。太阳能光热联盟截止 2011 年 12 月 31 日共支出 443,631.19 元, 具体明细包括秘书处房租、设备支出、秘书处日常办公费用、秘书处工作人员差旅、通讯支出、联盟会议支出、专家委员会会议支出、联盟集体活动费用支出、秘书处工作人员工资支出和社保支出。联盟会费收支审计报告随时接受各成员单位的查询。

### 各参会代表发言讨论

**王志峰理事长:** 在《可再生能源发展“十二五”规划》中, 到 2015 年太阳能热发电装机容量达 100 万千瓦。目前, 国内外的企业家对太阳能热发电产业的市场有很大期望, 但我国还没有合理的上网电价, 这也是导致光热市场不能启动的重要原因之一。我国须尽快出台合理的上网电价政策, 以满足市场发展、制造业和科研工作的需要。

经过与各相关领导专家以及光热产业

界同仁的商讨，太阳能光热产业技术创新战略联盟将组织编写“太阳能热发电国家激励政策建议书”，以早日实现2015年国内太阳能热发电装机容量达100万千瓦的目标。建议书本着“以质量为保障、以技术为基础、以政策为导向”的原则。2012年7月16日太阳能光热产业技术创新战略联盟标准委员会正式成立，目前已开展相关标准的编制工作。延庆八达岭太阳能热发电实验电站首次太阳能发电实验获得成功，可向各单位提供材料、部件、器件等的测试工作以及相关中试机会。所有这些都为建议书的编写提供了良好的技术基础和保障。

为保证建议书的准确性和权威性，联盟将组织专门的建议书编写工作组，并邀请有关国家部门参与编写工作。建议书编写相关经费包括人员费、咨询费、购买数据的费用、考察调查费用、组织会议的费用、宣传费用、出版费等。望各单位积极参与，提出意见、建议并给予相关支持。

**徐建中院士：**在温家宝总理代表政府提出的七大战略性新兴产业中，节能环保产业排在第一位。发改委、工信部等部门正考虑面向全国征集节能减排示范工程。报告中应结合国内光热产业现状，做出全面的技术经济分析，提出发展战略及发展路线图，突出发展光热产业的必要性、重要性和紧迫性，积极争取中央和地方政府

在科技、政策以及法规方面的支持。目前能源局正委托工程热物理所编写2050年能源战略发展规划和路线图，领导对能源产业的发展非常重视，所以目前是向国家提交建议书的很好时机。

建议书中应把热发电产业将来的发展趋势及每个阶段可能遇到的问题都考虑到，在各重要场合，要着重强调热发电技术的优势、光热产业的重要性以及对国家的重要作用。延庆八达岭太阳能热发电实验电站首次发电实验已获得成功，我们要充分发挥电站的示范作用，收集运行经验、积累技术经验，这对光热产业的发展具有极其重要的意义。

**哈尔滨汽轮机厂有限责任公司代表：**

在土地使用方面，热发电企业征地时希望政府给予优惠政策；税收方面，希望政府给予新能源企业相关优惠政策；建议列出电价进度表，通过十年左右的时间，争取把电价降到0.7元/kWh左右。

**兰州交大国家绿色镀膜工程中心代表：**2012年5月9日兰州大成两组各150m的槽式集热系统和两组各96m的线性菲涅尔集热系统成功串联实现发电，并成功并网到工厂的低压电网。虽然过去六年里，中国在光热发电方面没有真正的商业化项目，但是在热发电方面我们有了强有力的技术基础。5月24日，中共中央政治局委员、国务委员刘延东在甘肃省委领导的陪

同下到兰州大成调研聚光太阳热能示范项目及关键装备研发情况。各级领导对热发电行业的前景非常看好，同时对光热行业提出了实现产业化的期望，希望在联盟的带动下，能够逐步实现光热行业的产业化。兰州大成愿意参与热发电相关标准的制定工作，同光热行业的相关企业共同努力，共同推动中国热发电事业的发展。

**皇明太阳能股份有限公司代表：**希望国家尽快出台相关的电价政策。编写建议书的时候重点突出国外专家的意见建议及来自国际方面的压力，此外需要重点强调的一点是光热和光伏目前的起跑线不一致。

**清华大学代表：**建议突出热发电的优势，例如电网接入稳定等，这样在争取相关政策时会更加有利。

**上海交通大学代表：**光热行业作为一个新兴的产业，开始阶段不可能同时具备低电价、高的技术成熟度以及完整的产业链，所以建议书中应说明光热发电的现状、中期发展状况及产业前景，突出热发电在环境保护方面无可比拟的优越性。在技术经济性方面，光热行业虽发展时间较短，但在发展产业需求、应对气候变化和丰富能源结构等方面有很大优势；从长远发展来看，整个行业要注意避免一哄而上和低水平重复建设的问题。此外建议书中应突出联盟成员单位较强的自主创新意识。

**北京工业大学代表：**光伏和风力发电等产业已经得到相关国家和地方政策的支持，太阳能热发电产业作为刚刚兴起的产业，所以亟需相关国家政策的支持，北京工业大学愿意参与、承担建议书的编写工作。

**黄冈市光热联盟代表：**现在是我们争取国家相关政策支持的很好的契机。从宏观上，可请院士向国务院主管领导提出建议，同时我们上交建议书。在媒体宣传方面，可请专业媒体或公关公司长期通过各种媒体宣传手段对光热产业进行宣传。

**内蒙古电力勘测设计院代表：**建议书中应确定电价并阐述依据。西北地区太阳能资源丰富但经济欠发达，产业基地和产业项目可考虑建在西北地区以减少运费、降低成本。同时建议加大对光热行业的宣传力度。

**兰州理工大学代表：**光热发电价格、政策及质量体系对于光热产业的发展具有决定性作用，兰州理工大学愿积极参与光热联盟意见书的编写工作。

**上海晶电新能源有限公司代表：**建议书中应重点突出两个问题：1、国家为什么要支持热发电产业，包括热发电产业能给国家带来什么好处，以及国家出台扶持政策后可能会出现的问题；2、国家如何扶持热发电产业，建议书中要说明真实的价格成本和成本构成，同时可建议国家在政策

方面规避某些价格，以降低价格成本。

**包头市液压机械有限公司代表：**电价问题是决定热发电产业发展的关键问题，因此争取到合理的电价对光热产业的发展非常重要。与光伏相比，光热产业比较复杂，涉及的专业较多，投资较大，希望我们能够争取较高的电价，同时希望能够引进国外技术以及元器件。

**中国华电工程（集团）有限公司代表：**报告中不建议提出具体的电价。报告要重点突出太阳能热发电技术对国家发展的重要性以及与国家现行政策的一致性。

**武汉圣普太阳能科技有限公司代表：**目前西班牙、美国的光热行业发展的较好，报告中建议国家投资引进国外示范电站，从而更好的消化、吸收国外先进技术，缩短我国光热行业的产业化进程。

**中国电力科学研究院代表：**建议书中可突出太阳能光热发电与现有电网的良好匹配性以及发电的连续稳定性，突出光热发电对偏远地区能源利用的重要作用。

**国电龙源电力技术工程有限责任公司代表：**就目前国际上太阳能热发电技术的核心装备和技术来看，热发电市场处于垄断局面，而不是商业化竞争局面，因此目前不是大规模推广光热技术的最好时机，我们需适当放慢步伐，保证电价逐步到位。

**大唐新能源股份有限公司代表：**目前

国内热发电技术并不成熟，建议批判性的引进吸收国外技术、工艺和理念。希望在座的各位专家能够对鄂尔多斯项目提出较好的建议以保证项目的稳步推进。

**每日光伏新闻记者：**可以通过与地方政府合作，通过建立产业园的方式逐步形成合理的电价。

**杭州大明玻璃有限公司代表：**电价取决于电站建设成本。建议加强与国外企业合作，争取拿到并参考国外成熟的运营商的成本分析，同时结合国内光热产业实际情况，组织各产业链上的各相关企业共同讨论后，向国家提出热发电成本下降的趋势。

### 王志峰理事长总结性发言

建议书应本着“以质量为保障、以技术为基础、以政策为导向”的原则。其中技术主要指自主创新技术，同时我们也不排斥引进吸收国外先进技术。现在不少企业完成了可研报告，希望建立 10-100MW 级规模的太阳能热发电站。科技部在“十二五”已立项支持了两个 10MW 塔式热发电项目和槽式及分布式热发电项目。这些具有一定商业规模的电站成功后，对国家政策会起到相当大的促进作用。

目前外企的技术尚未进入中国，光伏和风电在上网方面遇到了一定问题。光热产业的发展具备“天时、地利、人和”等各项因素的完美结合，我们在发展产业时，

一定要有政策性指引，又要有防止政策失败的预案，避免一哄而上。希望联盟各成员单位积极推荐优秀人才，尽快参与到建议书的编写工作中。希望光热行业在大家的支持下，健康、有序、阳光的发展！

## 8月23日上午 太阳能聚光技术及新型应用

**何斌 总经理（东莞中能阳光能源科技有限公司）**

东莞中能光伏科技有限公司前身是东莞市和信玻璃有限公司，成立于2006年，主要从事太阳能集热发电技术的研发，以及应用系统的生产、安装及技术服务。核心产品包括太阳能集热发电用跟踪及聚光、集热系统；环境试验仪器用特种导电、电磁屏蔽、隔音隔热玻璃。公司目前拥有国家实用新型专利19项，发明8项，是中科大/中科院太阳能光热利用示范中心，深圳清华大学研究院等多个科研院所的产学研合作伙伴及博士、硕士生实习基地。公司拥有经长期改进且经验证的新型的太阳能跟踪技术及碟式、槽式、线性菲涅尔聚光系列技术，部份技术是国际独创的低成本高性价比的生产工艺技术。在太阳能热利用技术领域的核心产品和服务包括：全天候仿生智能太阳跟踪技术；高性能微分弧点支撑边部翻转成形—槽式抛物聚光系统；碟式抛物聚光系统；多碟共焦高倍聚光系统；微弧线性菲涅耳聚光系统。仿生智

能太阳跟踪技术，利用全反射临界角把任意角度的阳光分为两种情况，全反射或透射，控制器芯片得到的是“有”或“无”的数字突变信号，跟踪精度极高，可达0.02度。高性能微分弧点支撑边部翻转成形槽式抛物聚光系统，平面强化镜利用微分弧点支撑边部翻转成型，成形弧度可通过四个螺丝微调，使之达到最佳聚光状态，灵活似用手卷成形，表面性能好、反射率高、抗风抗砂石冲击、易清洁。

**陈俊律 博士（东南大学）**

苏南地区温室大棚太阳能跨季节蓄能系统的可行性研究。结合苏南地区气候特征和太阳能资源情况，分析了设施农业用能的需求分析模型、太阳能系统设计方法、能量匹配性设计方法、跨季节储能系统设计方案，并对方案可行性进行了论证。研究显示：太阳能低温蓄热技术在现在设施农业中应用前景广阔；采用匹配的集热装置、蓄热系统，跨季节的存储的太阳能能够满足设施农业的用热需求；满足苏南地区1000 m<sup>2</sup>标准温室大棚冬季用能的需求至少需要200 m<sup>2</sup>集热面积。

**宋记锋 博士（华北电力大学）**

利用定日镜的楼宇自然光照明实验，将定日镜应用于楼宇采光。在楼顶安装定日镜，并通过折射传输到底层中厅，并进行了实验研究。重点分析了在大跨度钢梁刚度较低，定日镜转动时中心变化对钢梁

产生一定起伏影响条件下，通过控制程序的动态补偿进行偏差纠正。实验结果显示：光斑中心最大误差 0.1 米，折合角度 0.08 度，主要原因是基座钢梁的跨度较大，非刚性连接，挠度变化较为复杂，算法补偿难以做到精准，对于工程项目来说，该偏差可以接受。总体而言，通过控制程序的自适应补偿，利用定日镜对楼宇进行大面积采光技术可行，要注意在镜面设计时使用预应力抵抗重力变形。

#### 赵静 博士（兰州理工大学）

介绍了兰州理工大学在太阳能集中供热系统设计及跨季节储热技术方面的研究工作。报告首先对适用于跨季节储热的不同中低温显热（水、土壤、岩石）和潜热（不同的水合盐）储热材料和储热方式进行了分析。热水储热的研究目标主要是降低围护结构成本，减少热损，提高储放热性能。其中，提高储放热性能主要依赖于水的温度分层程度，温度分层明显则储放热性能好；反之，则其性能较差。十二水磷酸氢二钠对  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  过冷的抑制效果最好，九水硅酸钠的抑制效果较好，而三氧化二铝和七水硫酸锌的效果不明显。CMC、聚丙烯酰胺和明胶对改善  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  相分离都有明显的效果，而且添加增稠剂可进一步改善  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  体系的过冷性能。将两种水合盐混合，得到了相变温度分别为

42℃、56℃、49℃、44℃ 的材料组合，而且发现两种盐混合还能解决单一水合盐普遍存在的相分离问题。在太阳能集中供热系统设计方面，介绍了集中供热系统中太阳能保证率的设计因素分析和优化方法。最后，简要介绍了兰州理工大学跨季节储热示范工程（CSHPSS）方面的进展，系统集热面积 1000 m<sup>2</sup>，储热容积 3817m<sup>3</sup>，供暖面积 10000 m<sup>2</sup>，太阳保证率>60%。

#### 原郭丰 博士（中国科学院电工研究所）

深入分析了我国太阳能中低温热利用技术研究和应用现状，并就中国科学院电工研究所在中低温热利用方面的研究工作进行了介绍。2011 年，我国太阳能热水器企业总数约 2800 家，其中主机企业 1600 家，配件企业 1200 家，已经形成了从配套材料、配件零部件和现代化设备供应较为完善的产业制造链体系。从研发、制造、销售到市场服务也形成了运营服务链体系，总就业人员 330 万人以上。2010 年我国真空管镀膜生产线 1700 条，年产真空管 3.7 亿支。从建筑能耗分配来看，我国建筑采暖能耗几乎占到全国建筑总能耗的 50%，约 2.6 亿吨标煤/年，由此造成的年碳排放量达到 8 亿吨，采暖能耗是生活热水能耗的 10 倍，太阳能建筑采暖是未来太阳能产业拓展以及升级的重要方向！未来要解决的问题：面向采暖系统的设备/系统可靠性与经济性；多层/高层建筑太阳能建筑

一体化设计\能量计量\能源管理技术；适应于工程化发展的产业链配合/细化分工和集成能力建设；储热技术发展；标准体系和图集。工业用热温度大部分在 80℃~250℃之间。工业系统热连续性较好，不存在系统闲置问题，总体能源利用效率较高；工厂已经具备常规稳定能源系统，对波动性可再生能源系统适应性较好，有利于替代技术的发展。我国工业领域的热能太阳能替代处于起步阶段，以 2007 年全国工业用热 10%为替代基准，我国工业领域太阳能集热器安装量将超过 10 亿平米，潜力巨大。在我国太阳能热发电市场起步前夕，大力发展太阳能供热热能替代技术，是培育、发展和消化吸收我国中高温集热管、热弯玻璃等跨中高温热能利用领域的材料、装备和产业技术发展的重要产业支撑。中温集热器装备的高效、低成本化及批量化制造问题：面对复杂多样的工业热源系统开发相应的热能替代方案；通过示范工程的建设形成可靠的装备制造与系统集成能力；面向制冷、海水淡化等间接应用的终端装备开发；性能评价与测试方法、测试平台和标准体系。第二部分，介绍了中国科学院在电工研究所在中温太阳能集热器、太阳能空气集热器热性能测试平台、水集热器测试平台、太阳能中温集热器热性能测试平台等太阳能中低温集热器稳态热性能测试平台建设方面的研究和建设工

作，同时介绍了电工研究所在太阳能集热器性能动态测试方面的基础研究工作进展。在太阳能海水淡化领域，2009 年完成了基于 HD 技术的吨级太阳能海水淡化系统示范，并在相关示范的技术上提出了基于空气介质的多效蒸发冷凝海水淡化系统及基于高效雾化分离技术的海水淡化系统，综合降低基于空气系统的淡水能耗及零排放。最后，介绍了太阳能电水联产技术研究及示范系统建设进展。

太阳能热发电技术三亚国际论坛发起于 2007 年，每年一届，是目前亚洲地区举办的唯一有关太阳能热发电技术的大型国际年会。较之以往各届论坛，这次会议的主要特点是：

### 一、主题突出、内容丰富、形式多样。

本届论坛的主题是把太阳能热发电技术推向商业化。国内外的参会代表们就“太阳能热发电技术商业化面临的重大科学技术问题”、“太阳能热发电技术及装备”、“太阳能热发电系统及储能”、“太阳能热发电技术基础研究”等八个会议主题进行了深入研讨和热烈交流，涵盖太阳能聚集—光热转化—热功转换及设备部件生产及政策等全部关键环节。会议期间也展示了一批国内外最新的科研成果。

### 二、规格更高、规模更大、影响深远。

在科技部、能源部和对中国太阳能热发电技术和产业的支持和扶持下，国内投

入到太阳能热发电技术研发和市场开拓的产学研从业规模迅速壮大。特别是科技部高新技术发展及产业化司作为主办单位组织了本届论坛，给论坛带来重要的政策导向，引起全国政产学研各界及国际能源领域的高度重视。8月23日上午召开科技部太阳能光热产业技术创新战略联盟专场，总结联盟近一年的工作开展情况，汇报了联盟会费收支审计情况，并且对联盟下一步的重点工作进行了热烈讨论。

### **三、会风务实、紧凑有序、反响强烈。**

为期2天半的会议分别在一个主会场和两个分会场召开，与会人士围绕太阳能作为新能源的开发利用前景、太阳能热发电技术的商业化开发模式等内容进行了深入的研讨交流。无论是领导讲话还是会议

讨论，整个会议体现了实事求是、求真务实的精神。

本届论坛得到了肖特太阳能 CSP 有限责任公司、西门子（中国）有限责任公司、阿本戈集团有限公司、汇银集团、浙江大明玻璃有限公司、黄冈市光热产业园、江苏太阳宝新能源有限公司和北京曙光新航科技有限公司等单位的出资赞助。论坛主办方希望通过此次论坛，为与会代表提供一个交流合作的平台，并通过来自政府、国内外金融、企业、研究机构等各界人士的努力，推进我国太阳能热发电技术产业化、商业化进程，为全球节能减排，为我国经济可持续发展，建设环境、资源友好型社会做出贡献。