

· 学科进展与展望 ·

太阳能热发电系统基础理论与关键技术战略研究

纪 军¹ 何雅玲^{2*}

(1 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085;

2 西安交通大学能源与动力工程学院, 西安 710049)

[摘 要] 太阳能热发电技术是将太阳能转化为热能, 然后利用热力循环的方法带动发电机发电的热发电技术的简称, 是太阳能的高品位利用方式。本文总结了我国在太阳能热发电研究领域的总体布局, 分析了太阳能通过热的形式转换成电能需要经过的多个能量转换环节及其涉及的大量基础科学问题, 指出了各个能量传递与转换环节的热传递机理及热流特性, 光-热-电转换系统的集成理论以及关键材料和技术是太阳能热发电技术中急需解决的重要基础问题, 最后给出了国家自然科学基金委员会今后在太阳能热发电领域的优先资助方向。

[关键词] 太阳能热发电, 能量转换, 基础理论

1 引言

随着工业飞速发展, 资源消耗日益加剧, 能源危机日益严重。以石油、煤炭、天然气为代表的化石能源的有限性和对环境的污染性, 已经成为制约人类发展的关键因素。2006年BP世界能源统计年鉴的数据显示, 世界石油总储量仅可供开采40年^[1]。我国人均能源拥有量仅为世界平均值的一半, 2006年原油产量为1.84亿吨, 石油进口依存度已达47%, 预计到2010年, 中国的石油需求将达3.2亿吨, 其中50%以上将依赖国外进口。能源问题已成为我国经济持续发展的瓶颈。另外, 我国能源消费结构极不合理, 石油、天然气、煤炭等化石燃料占能源消费的比重较高, 其中煤炭占70%以上, 以煤为主的能源构成是我国大气严重污染的主要根源, 随着化石燃料消费总量的增加, 来自环境破坏方面的压力将进一步加重。为我国应对能源和环境问题, 将大力支持可再生能源的开发利用, 把可再生能源发展作为增加能源供应、调整能源结构、保护环境、消除贫困、促进可持续发展的重要措施^[2,3]。

可再生能源包括生物质能、水能、风能、海浪能、海洋温差能和太阳能等。在各种可再生能源中, 太阳能是最普遍、最安全、最丰富、最洁净、最永久的能

源。我国全国总面积2/3以上地区年日照时数均大于2200h, 各地的太阳辐射年总量约为 3.3×10^6 — 8.4×10^6 kJ/m², 其中西藏西部、新疆东南部、青海西部、甘肃西部等地区, 年辐射总量可达 6.7×10^6 — 8.4×10^6 kJ/m², 具有丰富的太阳能资源^[4]。据国土资源部发布的2004年国土资源公报, 全国荒漠化土地面积已达262万平方公里, 每年新增荒漠化面积2400多平方公里, 大部分在太阳能资源丰富的西部地区。仅新疆地区, 166万平方公里的土地面积中就有荒漠戈壁111万平方公里, 按每年发电量160 kWh/m²估算, 全年发电量约达到 1.8×10^6 亿kWh, 相当于2000个三峡的发电量。

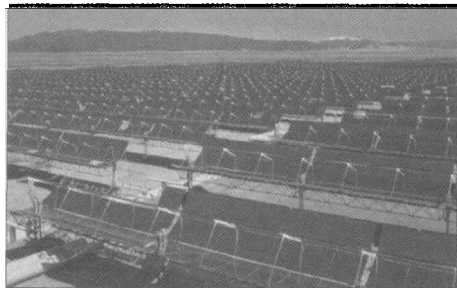
目前太阳能利用主要有3种方式:(1)转化为电能, 包括太阳能光伏发电(通过半导体光伏电池直接把太阳辐射能转化为电能)和太阳能光热发电(将太阳能转化为热能, 然后利用热力循环的方法带动发电机发电);(2)转化为热能, 包括太阳能灶, 太阳能温室, 太阳能空调, 海水淡化, 太阳能建筑等;(3)转化为化学能, 包括光合作用, 能源植物, 太阳能制氢等。光热发电由于其发电方式与传统发电方式相同, 具有生产适应性强, 易于并入电网, 适于大规模生产等特点, 在世界范围内得到了广泛关注。

* 2004年度国家杰出青年科学基金获得者。

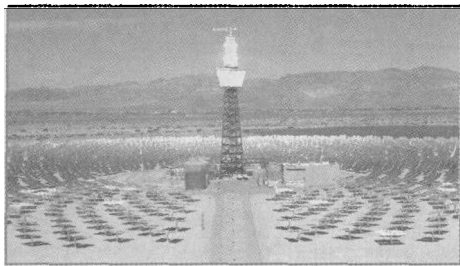
本文于2009年9月14日收到。

2 太阳能热发电技术的研究进展

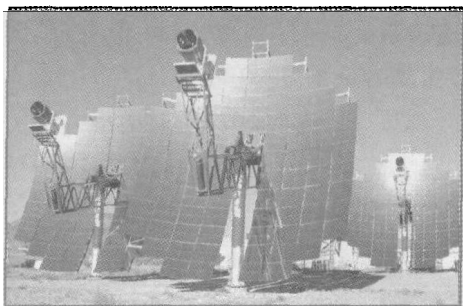
根据太阳能聚光形式的不同,聚焦式太阳能热发电系统通常分为3种(见图1):槽式线聚焦、塔式定日镜和碟式点聚焦。



(a) 槽式



(b) 塔式



(c) 碟式

图1 聚焦式太阳能热发电系统^[5]

20世纪70年代初石油危机爆发后,世界发达国家如美国、西班牙、德国等都将太阳能热发电技术作为国家研究开发的重点,逐步开始规模化发展太阳能热发电技术。据不完全统计,在最近20多年期间,全世界建造的太阳能热发电站约有20余座(主要为槽式),最大发电功率为80 MW。以色列和美国联合组建的路易兹太阳能热发电有限公司在1985—1991年,先后在美国加州沙漠相继建成并投入并网运营的有9座抛物槽式太阳能热发电站,总装机容量达353.8 MW。20世纪90年代后,在可持续发展背景下,太阳能热发电技术得到了世界各国的高度重视。日本在1993年实施了“新阳光计划”,德国等欧共体国家及一些发展中国家也纷纷制定了相应的发展计划。1996年美国制定了1996年到

2015年的太阳能热电技术开发计划,计划的最终目标是使太阳能热发电的成本降低到5美分/kWh以下,到2020年建立20 GW的太阳能热发电站。1996年联合国在津巴布韦召开“世界太阳能高峰会议”,会上讨论了《世界太阳能10年行动计划》、《国际太阳能公约》、《世界太阳能战略规划》等重要文件。2001年世界太阳能会议将太阳能热发电动力系统列为21世纪建立绿色能源动力系统的主要发展目标之一^[6]。

在各国政府及相关部门的支持下,太阳能热发电技术研究及其示范电站建设,得到了蓬勃发展,世界银行投资2亿美元支持印度、埃及、摩洛哥和墨西哥等发展中国家进行太阳能热发电开发。欧盟在其第六框架计划里加强了太阳能热发电技术的研究,主要是中心收集塔式和抛物槽式系统。主要研究问题包括:降低抛物槽集热器成本和改善性能;开发用于中心收集塔系统的太阳能集热器(主要是空气集热器)的研发;减低其他新型或创新元件(例如反射镜)的成本^[7]。并计划到2010年建立20—30个商业化太阳能热发电电站,发电总功率至少达到1 GW,目标是将电站投资成本降为2500欧元/kW,发电成本短期为8欧分/kWh,长期为4美分/kWh。国际能源机构成立了Solar PACES国际合作组织来共同研究开发太阳能热发电技术,到2002年已有14个国家加入。2005年,美国斯特林能量系统公司与南加州爱迪生电力公司签署购电协议,在20年内,将在加利福尼亚州南部沙漠建成面积4500英亩的碟式-斯特林太阳能热发电站,装机容量将达到500 MW。西班牙、意大利、澳大利亚、埃及、印度、希腊、以色列等国都正在建设或筹建太阳能热发电示范电站。

世界银行和欧洲太阳能研究机构对今后15年和20年世界太阳能热发电装机容量进行了预测,两者的预测相当接近:在2015年世界太阳能热发电的装机总容量将超过5000 MW,而在2025年更将是达到近50 000 MW的水平。按照欧盟和美国的分析,2015年全世界的太阳能热发电的市场将达到130亿美元,而在2025年将达到1000亿美元。

3种聚焦太阳能热发电系统的发电性能比较如表1所示,槽式热发电系统工作温度较低、技术比较成熟,是实现了商业化运行的太阳能热发电系统,塔式热发电系统的成熟度不如抛物面槽式热发电系统;槽式和塔式系统适用于大型热发电电站,以斯特林发电机为热机的抛物面碟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,大规模应用技术尚不成熟。另外,从年均发电效率来看,槽式系统和塔式系统大致相当,均在13.5%左右,而碟式系统的年均效率较高,在18.5%左右。在3种发电系统中,塔式系统的发电成本最低,槽式次之,而碟式系统的发电成本最高。

表1 三种聚焦式太阳能热发电系统性能比较^[9,9]

	抛物面槽式	塔式	碟式
装机容量	30—320 MW	10—200 MW	5—25 kW
工作温度(°C)	390	565	750
最高效率	20%	23%	29.4%
年均效率	11%—16%	7%—20%	12%—25%
商业化程度	已商业化 可获得	规模化 示范站	原理机 示范样机
技术开发风险	低	中	高
蓄热条件	有限	可以	电池蓄能
混合循环的设计潜力	可以	可以	可以
开发成本(美分/千瓦时)	4.0—1.3	2.4—0.9	12.6—1.1

我国的太阳能热发电技术的研发尚处于起步阶段,在过去的一段时间里,许多研究单位都进行了太阳能热发电技术的基础理论与实验研究,并建立了相应的热发电模拟系统,积累了一定的工作经验。“十五”期间,建成了70 kW的塔式太阳能热发电系统和1 kW的斯特林碟式太阳能热发电系统;“十一五”期间,将于2010年建成一座MW级的塔式电站。

我国在太阳能热发电系统性能、工艺、材料、部件及相关技术上与国外还存在很大差距,而且国外对太阳能热发电的技术、设备等都存在技术保密问题,很难实现技术引进。另外,国外技术本身也尚未成熟,产业化尚存在困难,还有待于关键技术的更大突破。另一方面,即使能够将国外技术直接照搬过来,在我国特殊气候条件下是否适用还需研究,与塔式、碟式系统相比,槽式系统的抗风性能最差,目前的槽式电站多处于少风或无风地区,而我国阳光富足地区往往多风,大风甚至沙尘暴频起,所以直接照搬国外系统及其技术,其适用性值得怀疑^[10]。

3 国家相关科技计划的部署情况

目前,太阳能热发电成本比常规化石燃料发电成本高出许多,需要大力加强太阳能热发电技术基础性研究,培养自主研发能力,找准切入点,建立具有自己特色的太阳能热发电技术,提高现有热发电系统效率、降低热发电成本,提高我国新能源的利用水平,实现太阳能热发电技术的大规模、低成本应

用。这将是解决国家在能源领域重大需求的重要保证。因此,加大在太阳能热发电技术领域的投入,促进太阳能热发电基础理论和关键技术的研究,推动太阳能热发电技术的产业化,不仅是关系到我国能源战略和能源安全的一项紧迫任务,同时也是维持经济可持续发展、保护生态环境、提升我国国际地位的重要保障。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中明确指出“今后重点研究开发大型风力发电设备,高性价比太阳能光伏电池及利用技术,太阳能热发电技术,太阳能建筑一体化技术,生物质能和地热能等开发利用技术”。国家自然科学基金委员会工程与材料科学部在工程热物理与能源利用学科发展战略研究报告(2006—2010年)中,将太阳能的能量转化利用过程的相关热物理科学问题研究作为当前优先资助领域。

在政府的政策导向指引下,我国科技部和国家自然科学基金委员会均对太阳能发电技术研究给予了大力支持。到目前为止,科技部批准的有关太阳能利用方面的“973”、“863”项目共9项,其中“973”项目2项,“863”项目7项。“973”项目包括,以中国科学院和教育部为依托单位,以中国科学院研究生院、南开大学、中国科学院半导体研究所、中国科学院化学研究所、中国科学院物理研究所、中国科学院合肥物质科学研究院为主要承担单位的“大面积低价长寿命太阳电池关键科学和技术问题的基础研究”和以教育部为依托单位,以武汉理工大学、浙江大学、中国科学院上海硅酸盐研究所、山东大学为主要承担单位的“高效热电转换材料及器件的基础研究”。“863”项目包括,“高效率、低成本非晶硅/晶硅异质结太阳能电池的研究”,“太阳能电池多晶硅片制造关键设备(铸锭炉)及工艺技术”,“高效新型薄膜硅/晶体硅太阳电池的研究”,“高性价比双面薄硅太阳电池新技术的研究”,“基于西部地区利用的槽式聚光复合太阳能热电联供系统研发”,“微结构异质结界面柔性太阳能电池及其制造工艺”,“太阳能热发电技术及系统示范”。上述项目布局主要集中在光伏发电领域,对于光热发电系统的研究,仅有1项“863”支撑项目,该项目将在北京建立一套塔式太阳能热发电系统示范性电站,预计占地12000平方米,采用塔式聚光,塔高100米,发电功率1 MWe。另外,国家自然科学基金委员会近年来也在不断加大太阳能光伏-光热发电项目的支持力度,仅2007—2009年的3年时间内,就资助了相关项目90余项,其中包括重点项目“太阳能的分频利用和热发

电中的热物理基础科学问题研究”,“太阳能聚集、高温热转换与蓄热的关键热科学问题研究”,“太阳能热电-光电复合发电技术及其关键材料的基础研究”等。国家自然科学基金委员会将在“十二五”期间继续加大对太阳能热发电项目的支持力度,促进太阳能热发电基础理论和关键技术的研究。

4 热发电基础理论与关键技术研究

太阳能热发电是太阳能利用的高品位方式,太阳能通过热的形式转换成电能需要经过多个能量转换过程,涉及到大量的基础科学问题,有待尽快开展相应的基础理论与关键技术研究。从光-热-电转化的过程来看,太阳能热发电系统主要包括以下几个过程:(1)光的捕获与转换过程;(2)热量的吸收与传递过程;(3)热量储存与交换过程;(4)热电转换过程。各个能量传递与转换环节的热传递机理及热流特性,光-热-电转换系统的集成理论以及关键材料和技术是太阳能热发电技术中需要解决的重要基础问题。

4.1 光的捕获与转换过程

现有的太阳能跟踪方式主要有2种:单轴跟踪系统(槽式热发电系统)、双轴跟踪系统(塔式热发电系统及碟式热发电系统)。虽然,对太阳能跟踪系统的研究已经进行了几十年,然而目前的聚光跟踪系统仍存在结构复杂、跟踪成本高、聚光效率低的问题。上世纪80年代自适应光学在近代精密光学中取得很大成功,但由于控制系统极其复杂且价格高昂,在太阳能上应用一直是个难题。新的高次曲面比传统几何镜面(球面或抛物面等)的聚光倍数可提高几倍甚至十几倍。即使在入射角变化的情况下,也能够有效地消除太阳光斑的像差,从而使聚光的倍数大大增加,并且可以实现聚光与跟踪同时进行的设计模式^[10]。高次曲面镜面的研制,以及自适应光学在自动跟踪控制系统中的低成本应用是提高太阳能聚光跟踪系统效率、降低成本的重要保障。因此,需要开发适用于太阳能聚光系统的高次曲面,寻找低成本的高次曲面加工工艺,探讨自适应光学在太阳能跟踪系统中的应用,实现对太阳辐射高精度低成本的跟踪预测,进而提高聚焦温度,减少光学损失。

4.2 热量吸收与传递过程

吸热器是太阳能热发电系统的关键部件,也是太阳能热发电系统中最具技术挑战性的研究课题。吸热器的传热具有以下4个特点:能量分布时间和

空间的高度不均匀性;较高的工作温度;极高的热流密度;辐射-传导-对流相互耦合的能量传递过程。因此,需要开展吸热器及传热管路的复杂多物理传递规律研究,针对不同的吸热器形式(真空管吸热器、管式吸热器^[11]、容积式吸热器^[12,13]等)建立描述太阳能吸热器能量传递过程的数学物理模型;对不同吸热器、不同传热介质(水、空气、熔盐等)在高温高热流密度条件下的复杂耦合传热过程进行实验研究和模拟预测,分析太阳辐射热流密度及其分布、腔体表面的辐射及反射性能、管路材料热物性参数、多孔介质性能(孔隙率、热物性参数等)、传热介质辐射和热物性等因素对吸热器吸热性能的影响;探索吸热器内能量传递的机理和规律,探索减小吸热器热损失、强化换热过程、提高吸热器接纳光通量的方法和途径。在上述研究基础上,获得吸热器内严重不均匀性及高温高热流密度下辐射-传导-对流耦合作用下的复杂体系非稳态传热过程机理及其强化换热方案。

4.3 热量储存与交换过程

由于在太阳能热电系统中太阳能利用受到昼夜、天气等因素的影响具有时间间歇性,因此需要通过蓄热技术来保证发电系统的连续运行。另外,采用蓄热器还可以减小涡轮发电机装机容量,降低造价。熔融盐熔点符合热动力循环温度要求、具有较低的饱和蒸气压、价格相对低廉且易获得,是一种理想的蓄热材料,不管是槽式太阳能热发电还是塔式热发电,熔融盐蓄热技术都被看作是一种先进的蓄热技术,它对于提高系统发电效率,提高系统发电稳定性和可靠性具有重要意义。熔融盐传热蓄热技术已在美国 Solar Two 和意大利 ENEA 工程中得到成功应用,美国加州 Barstow Solar Two 的塔式热发电系统,采用 150 万千克硝酸盐作为传热与蓄热材料,储热量达到 113 MWt,可向透平发电机组连续供汽 3 小时^[14]。

蓄热器内存在大温差对流换热过程,其流动和换热特性规律研究是提高能量储存与交换效率的重要途径。因此,需要对熔融盐对流传热规律进行系统深入的研究,获得不同流动状态、不同温度范围内的混合熔盐强制对流换热规律;进行熔盐强化传热的机理和方法研究,探讨各种强化传热方法(波纹管、内肋片管、异型管、管内加泡沫陶瓷、泡沫金属等)对熔盐对流传热的强化效果,并结合熔盐对流传热的规律,寻找高效低成本的熔盐强化传热方法和设备,为熔盐蓄热器、熔盐换热器的设计提供理论指

导和依据。同时对其他蓄热与传热流体的热物理性质进行研究,寻求能量密度高、储热与传热强、稳定性好、比热容高、导热性能好、可多次重复使用的蓄热介质;对高效相变蓄热技术进行理论与实验研究,研制高效环保的相变蓄热材料及高效可靠的蓄热设备。

4.4 热电转换过程

太阳能热发电系统中的动力循环主要有朗肯循环、斯特林循环、有机朗肯循环及其相互组合构成的联合循环,太阳能和常规能源构成的混合循环等。为了提高热电转换效率,需要对热电转换过程进行研究,开发新型高效热力发电循环系统。

(1) 太阳能和化石能源互补混合热力循环

由于太阳能能流密度较低而且受到昼夜、天气等因素的影响,太阳能与常规能源组合来形成新的热力学循环,从多能源互补的能量梯级利用理念出发,综合交叉能源科学与化学科学等理论和方法,以太阳能集热与化石燃料化学能品位互补的能量转化过程为突破口,研究太阳能集热与用能系统的物理能品位匹配方法,探索多能源品位互补的热化学能量释放新机理,阐明太阳能和化石燃料化学能品位互补的能的综合梯级利用原理。

(2) 常规循环和 ORC 循环联合发电循环

常规的太阳能热发电循环的发电效率较低、成本过高,很难在现阶段实现大规模的商业化应用。太阳能分散性强、能流密度低的特性,适合得到低温热源,与低温有机工质朗肯循环(ORC)有着潜在的联系。有机工质由于其低沸点、高压力的特性,在低温热源条件下,也可以获得较高的蒸气压力差,推动汽轮机做功。采用常规太阳能热发电循环和低温有机制冷剂朗肯循环联合发电系统,通过有机朗肯循环对余热进行再利用,从而提高太阳能热发电系统的发电效率、降低发电成本。选择合适的 ORC 工质,设计高效 ORC 汽轮机,实现常规热发电循环和 ORC 循环之间的合理匹配,是目前需要解决的重要问题。

(3) 热电-光电复合发电系统

太阳能热电-光电复合发电系统由聚光系统、分光系统、聚光光伏系统、热电系统、冷却系统以及其他辅助系统组成。在聚光、分光条件下,各子系统中的能量传输特性和能量转换特性,是提高复合发电系统效率、降低系统成本的基础性科学问题。需要对太阳能热电-光电复合发电原理与能量流程进行深入研究,揭示其中能量分配和转换的基本规律,完

善复合发电原理,为复合发电系统的优化奠定理论基础;构建太阳能热电-光电复合发电效率模型与优化设计理论,研究各子系统的特性参数对系统总转换效率的影响,建立太阳能高效热电-光电复合发电系统的优化设计方法,实现各子系统间的最佳匹配;建立复合发电系统的可靠性分析与评价模型,为提高太阳能热电-光电复合发电系统的可靠性提供重要的理论指导。

4.5 光-热-电转换系统的集成理论

太阳能光热发电效率大幅度提高的基础研究,涉及到辐射能的采集与转换过程、热能吸收与传递过程,热能的存储与交换过程、热机动力循环发电过程等多个环节。优化太阳能热电系统中各关键部件结构,采用新型热力循环并预测其性能是一项艰巨的基础研究任务,需要通过理论分析、物理建模与数值模拟相结合才能达到。为了能对太阳能热发电系统有一个整体的评价,需要建立从太阳能的捕获-吸收-存储到水蒸气的产生这一系列过程的一体化模型,将场模拟与集中参数法相结合,先建立稳态模型,然后发展到非稳态模型,以对较长时间内的太阳能发电系统有一个较完整全面的性能预测与评价。

4.6 关键材料及技术问题

太阳能热发电技术领域有 3 大材料是制约其技术进步的关键因素:(1) 中高温太阳能选择性吸热材料;(2) 高性能、低成本太阳能反射材料,太阳能聚光反射镜长期暴露在室外空气环境中,反射材料除了要求具有高的太阳光反射率外,还要具有很强的抗风沙、耐潮湿、耐腐蚀、耐磨擦等特性;(3) 高效蓄热传热、储热材料研究。对此 3 种材料开展应用基础研究和关键技术攻关对推动太阳能热发电的大规模应用具有重要的战略意义。

5 太阳能热发电技术研究优先领域

我国的太阳能热发电技术的研发尚处于起步阶段,在太阳能热发电系统性能、工艺、材料、部件及相关技术上与国外还存在很大差距,还有很长一段路要走。因此,需要结合应用技术的开发,进一步加强太阳能热发电基础理论与关键技术研究^[15]。

国家自然科学基金委员会近期在以下方面考虑优先资助^[16]:(1) 低成本高效率太阳能跟踪方式及聚光曲面开发与加工工艺研究;(2) 吸热器内复杂体系非稳态传热过程机理和规律研究;(3) 高温太阳能集热器与热力机的匹配耦合问题、可靠性问题;(4) 高效相变蓄热材料蓄放热特性及强化传热的机

理、蓄热技术及机理研究；(5) 热机循环工质筛选等研究；(6) 新型动力循环及混合动力循环研究；(7) 光-热-电转换系统的集成一体化研究；(8) 不同气候条件下热发电系统的性能优化, 动态特性研究等；(9) 关键材料及技术工艺研究等。

通过以上研究, 解决太阳能规模化热发电中不断出现的新能量转换过程、新设备、新工艺、新材料等方面的基础科学问题, 从而不断提高太阳能发电效率, 降低发电成本, 为实现能源结构多元化, 提高太阳能利用程度和水平发挥积极作用。

参 考 文 献

- [1] 王立敏. 高油价影响下的2005年世界能源市场——BP世界能源统计2006总览. 国际石油经济, 2006, 7: 34—39.
- [2] 张国宝. 应对能源和环境问题必须大力发展可再生能源. 可再生能源, 2005, (6): 3—4.
- [3] 严陆光, 崔容强. 21世纪太阳能新技术. 2003年中国太阳能学会学术年会论文集. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.
- [4] 魏一鸣, 范英, 韩智勇等著. 中国能源报告(2006)——战略与政策研究. 北京: 科学出版社.
- [5] Geyer M, Mancini T. Progress and advances of concentrating solar power technologies. Report on the Solar Power 2006 conference in San Jose, 2006.
- [6] 袁建丽, 林汝谋, 金红光等. 太阳能热发电系统与分类. 2007, 4: 30—33.
- [7] 张军, 李小春等. 国际能源战略与新能源技术进展. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] Mariyappan J. Solar thermal thematic review. London: Imperial College, 2001.
- [9] Aabakken J. Power technologies energy data book. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, Golden, 2006.
- [10] 王亦楠. 对我国发展太阳能热发电的一点看法. 中国能源, 2008, 28(8): 5—10.
- [11] 乔力, 葛新石, 程署霞等. 管簇结构腔体式吸收器热性能的数值模拟. 太阳能学报, 1995, 16: 21—28.
- [12] 刘志刚, 张春平, 赵耀华等. 一种新型腔式吸热器的设计与实验研究. 太阳能学报, 2005, 26(3): 332—337.
- [13] Kumar N S, Reddy K S. Numerical investigation of natural convection heat loss in modified cavity receiver for fuzzy focal solar dish concentrator. Solar energy, 2007, 81(7): 846—855.
- [14] James E, Pacheco. Demonstration of solar-generated electricity on demand: The Solar Two Project. Journal of Solar Energy Engineering, 2001, 123(5): 124—127.
- [15] Aitken D W. 走向拥有更多可再生能源的未来. 国际太阳能协会白皮书, [Http://whitepaper.ises.org](http://whitepaper.ises.org), 2004.
- [16] 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. 工程热物理与能源利用. 北京: 科学出版社, 2006.

STRATEGIC RESEARCH ON BASIC THEORY AND KEY TECHNOLOGY OF SOLAR THERMAL POWER GENERATION SYSTEM

Ji Jun¹ He Yaling²

(1 Department of Engineering and Materials, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085;

2 School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract Solar thermal power generation technology is a high-grade solar energy utilization technology by which the solar energy is first transformed into thermal energy and then the thermal energy is partially used to drive a generator to produce electric power via a thermodynamic cycle. In the present paper, the overall layout in the research field of solar thermal power generation technology in China is summarized. The energy conversion processes from solar energy into electrical energy via thermal energy and the related basic scientific issues are analyzed. It is pointed out that the basic research needs in the solar thermal power generation technology are the heat transfer mechanism and heat flux characteristics in the energy transfer and conversion processes, the integration theory in the conversion of system of light-heat-electricity, and key materials and technology. At last, the priority in funding areas in the field of solar thermal power generation of the National Natural Science Foundation of China is presented.

Key words Solar thermal power generation, energy conversion, basic theory