

附件：

太阳能发电科技发展“十二五”专项规划

一、形势——挑战与机遇

（一）国际形势

世界太阳能科技和应用发展迅猛，2008 年金融危机后，德国、日本、美国等纷纷调高发展目标。预计太阳能发电将在 2030 年占到世界能源供给的 10%，对世界的能源供给和能源结构调整做出实质性的贡献。

到 2010 年，世界光伏累计装机容量已接近 40GW，近十年平均年增长 45%，成为发展速度最快的产业之一。光伏电池生产主要集中在中国、日本、德国、美国等国家，德国、西班牙等国为主要应用市场。晶体硅太阳能电池市场份额超过 85%，其商业化最高效率已经达到 22%，技术向着高效率和薄片化发展，未来 10-20 年内仍将是市场主流；薄膜太阳能电池市场份额约占 15%，铜铟镓硒薄膜电池商业化最高效率达到 13.6%，技术向着高效率、稳定和长寿命的方向发展。得益于产业发展和技术进步，光伏发电成本将持续下降，2015 年光伏电价有望降至 0.15 美元/kWh。

太阳能热发电近年在欧美地区快速发展。截至 2011 年 4 月，全球太阳能热发电累计装机容量为 1.26GW，在建的太阳能热发电站超过 2.24GW，年平均效率超过 12%。面向承担基础电力负荷的“大容量—高参数—长周期储热”是国际太阳能热发电的技术发展趋势。目前，太阳能热发电成本价格在 0.2 欧元/kWh，到 2020 年有望降低到 0.05 欧元/kWh。

在太阳能建筑供能方面，面向区域性建筑供暖是太阳能低温热利用的重要发展方向。目前全球已陆续建成面积万平方米级以上跨季节储能的区域性太阳能建筑供热系统 12 座。年太阳能保证率超过 50%，万立方米规模化储能系统单位建设成本降低到 50 欧元/m³。

在太阳能中温技术与工业节能应用方面，目前全球已陆续建立了百余个太阳能热利用工业领域应用工程，涵盖了 11 个工业领域，应用和示范的太阳能空调项目超过 300 个。

（二）国内形势

我国政府长期以来对太阳能开发利用给予高度重视，近年来太阳能技术、产业和应用取得了全面进步。

2010 年，多晶硅实际产量 45000 吨，自给率从 2007 年的 10% 提高到 2010 年的 50%；自 2002 年以来，我国太阳能电池产量均以 100% 以上的年增长率快速发展，2010 年产量 8.7GW，占到世界总产量的 50%，连续四年产量世界第一，商业化晶体硅太阳能电池光电转换效率已接近 19%，硅基薄膜电池商业化最高效率达到 8% 以上，生产设备也已经从过去的全部引进到现在 70% 的国产化率。2009 年，我国政府开始实施“金太阳示范工程”，通过光伏产品的规模化应用带动国内太阳能发电的商业化进程和技术进步。2010 年国内新增光伏装机 500MW，累计装机达到 800MW，500kW 级光伏并网逆变器等关键设备实现国产化，并网光伏系统开始商业化推广，光伏微网技术开发与国际基本同步。

我国太阳能热发电技术研究起步较晚，目前仍无在运行太阳能热发电站。“八五”以来，科技部就关键部件在技术研发方面给予了持续支持，“十一五”期间启动了 1MW 塔式太阳能热发电技术研究及系统示范。目前，大规模发电技术已有所突破，部分关键器件已产业化。

在太阳能建筑供能方面，我国的被动太阳能建筑技术已经基本发展成熟。但在区域太阳能建筑供暖技术和应用领域仍为空白。目前在区域太阳能建筑集中供暖的核心技术跨季节储能方面只有小规模的研发，还没有大系统的设计、建设和运行经验。

在太阳能中温技术与工业节能应用方面，我国的太阳能热利用技术在工业领域的应用还几乎是空白。目前仅有几例应用，太阳能空调应用示范项目约 50 个，缺少大系统的设计、建设和运行经验。

（三）问题和需求

要实现太阳能从补充能源到主要能源，必须大幅度降低成本，为此需要依靠技术进步和大规模的推广应用。目前我国太阳能产业和市场的问题及需求如下：

1、太阳能硅材料及关键配套材料

我国具有自主知识产权的规模化多晶硅生产工艺研发及装备制造仍处于起步阶段，在生产成本、产品质量、综合利用等方面与国际先进水平仍存在明显差距。

我国太阳能电池关键配套材料产业的发展也相对落后，一些关键配套材料，如银浆、银铝浆材料、TPT 背板材料、EVA 封装材料等还大量依赖进口，必须加快技术研发，提高质量，实现关键配套材料的国产化，进一步降低太阳能电池生产成本。

2、太阳电池

晶体硅高效电池方面，国际发达国家商业化效率已达 20% 以上，我国仍处于空白

状态；薄膜电池方面，非晶硅/微晶硅叠层电池和国际上有差距，国际上已经产业化的碲化镉薄膜和铜铟镓硒薄膜电池，在我国还没有商业化生产线；新型电池仍然没有掌握国际上已经产业化的薄膜硅/晶体硅异质结电池、高倍聚光电池、柔性电池的中试和生产技术，染料敏化电池也需要向实用产品发展。在全光谱电池、黑硅电池等前沿技术研究方面，也与国际水平存在一定差距。

3、生产装备

晶体硅电池部分关键生产设备性能与国际先进水平存在相当差距，成套生产线自动化程度低；薄膜电池的关键设备和生产线主要依靠进口。缺乏国产化整线集成解决方案。

4、光伏系统

在大型并网光伏电站、光伏微网、区域建筑光伏系统及光伏直流并网系统等光伏大规模利用的设计集成、关键设备、功率预测和并网技术方面与国外先进技术水平有一定差距，综合利用方面还缺少经验。

5、太阳能光热利用

我国目前还没有商业化运营的太阳能热发电站，缺乏系统设计能力和集成技术，高温聚光、吸热和储热技术不成熟。区域太阳能建筑供暖技术、太阳能中温技术与工业节能应用在我国仍为空白。

6、测试及平台

我国在标准电池计量、电池、组件测试等方面需要进一步完善，系统模拟和测试技术能力刚刚起步，大型逆变器的研究测试和室外实证性的研究测试示范基地仍然处于空白。

二、指导思想与目标

（一）指导思想

总体按照“一个目标，二项突破，三类技术、四大方向”的指导思想。一个目标：实现太阳能大规模利用，发电成本可与常规能源竞争；二项突破：突破规模化生产和规模化应用技术；三类技术：全面布局开展晶体硅电池、薄膜电池及新型电池技术研发；四大方向：全面部署材料、器件、系统和装备科技攻关。

（二）基本原则

（1）坚持以降低终端发电成本为中心

针对产业发展瓶颈技术，部署关键技术研发、核心工艺设计和重大装备研制，实

现发电成本的持续下降。

(2) 坚持技术创新与示范工程相结合

以金太阳示范工程等牵引，实现以典型示范工程带动前沿关键技术突破、以产品推广应用拉动光伏全产业链快速健康发展。

(3) 坚持面向全产业链布局攻关

以材料、电池、系统及装备为经线的太阳能全产业链布局；以晶硅、薄膜和新型电池为纬线的三类太阳电池技术统筹布局。按照研发、示范和推广应用三个层次循序推进。

(4) 坚持多层次技术研发和产业服务体系并举

建立包括产业联盟、平台基地、人才机制、标准规范和政策法规的可持续发展支撑体系。

(三) 规划目标

“十二五”期间，实现光伏技术的全面突破，促进太阳能发电的规模化应用，晶硅电池效率 20% 以上，硅基薄膜电池效率 10% 以上，碲化镉、铜铟镓硒薄膜电池实现商业化应用，装机成本 1.2~1.3 万元/kW，初步实现用户侧并网光伏系统平价上网，公用电网侧并网光伏系统上网电价低于 0.8 元/kWh，基本掌握多种光伏微网系统关键部件及设计集成技术，实现示范应用。太阳能热发电具备建立 100MW 级太阳能热发电站的设计能力和成套装备供应能力，无储热电站装机成本 1.6 万元/kW；带 8 小时储热电站装机成本 2.2 万元/kW，上网电价低于 0.9 元/kWh。突破太阳能中温热能在工业节能中的应用技术和太阳能建筑采暖的长周期储热技术，并示范应用。初步建立太阳能发电国家标准体系和技术产品检测平台，形成我国完整的太阳能技术研发、装备制造、系统集成、工程建设、运行维护等产业链技术服务体系。

关键指标如下：

(1) 实现多晶硅材料生产成本降低 30%，配套材料国产化率达到 50%；

(2) 晶体硅太阳电池整线成套装备国产化，具备自主知识产权的晶硅整线集成“交钥匙”工程能力；

(3) 单晶硅电池产业化平均效率突破 20%，拥有自主知识产权的非晶硅薄膜电池产业化平均效率突破 10%；

(4) 突破 100MW 级并网光伏电站、100MW 级城镇多点接入生态居住小区光伏系统技术、10MW 级光伏微网系统与 10MW 级区域建筑光伏系统关键技术及设备；

(5) 突破 100MW 级太阳能热发电关键技术及装备并建立核心产品生产线、测试平台和示范系统；通过系统集成掌握电站设计、优化和运行技术。

(6) 突破区域建筑跨季储热供暖技术及设备；

(7) 完善太阳能中温热利用技术，并建立工业应用示范；

(8) 突破太阳能分布式发电技术；

(9) 建成太阳能利用实证性研究示范基地。

(10) 在光伏直流并网发电、太阳能热与化石燃料互补发电等创新性研究方面取得进展。

三、重点方向

(一) 材料方向

在光伏产业链上，硅材料主要涉及太阳能电池用的多晶硅提纯和下游的硅片、单晶和多晶铸锭。发展高效节能低成本多晶硅材料的清洁生产技术和太阳能电池关键配套材料制备技术，将有利于降低太阳能电池生产成本和实现硅材料生产的环境友好。相关内容包括：改良西门子法、硅烷法、物理、化学冶金法多晶硅材料生产技术，太阳能电池用银浆、银铝浆、TPT 背板材料、EVA 封装材料、薄膜电池用 TCO 玻璃基板等关键配套材料制备技术等。

(二) 器件方向

太阳能发电效率的提高和生产成本的降低将直接影响发电成本。晶体硅电池正朝着高效率、薄片化和低成本三个方向进行改进；低能耗、低成本的薄膜太阳能电池技术正朝着高效率、稳定和长寿命的方向努力。相关内容包括：效率 20% 以上低成本超薄晶体硅电池产业化制造技术，效率 10% 以上薄膜电池产业化制造技术，高倍率聚光电池及发电关键技术，柔性衬底硅基薄膜太阳能电池中试制造技术，非真空电沉积柔性 CIGS 薄膜太阳能电池中试制造技术，量子点电池、热光伏电池、硅球电池、多晶硅薄膜电池、有机电池等新型太阳能电池的前沿制备技术，高温直通式真空管及槽式聚光集热实验平台等。

(三) 系统方向

突破光伏规模化利用的成套关键技术与装备，建成多种形式的光伏发电示范工程，能够有效推动光伏发电技术在我国的大规模应用；开展太阳能热利用关键装备和系统集成科技攻关，依托规模化示范工程建设，能够推动太阳能热利用技术与产业发展。相关内容包括：100MW 级大型并网光伏电站系统及设备技术，100MW 级城镇多点

接入生态居住小区光伏系统技术,10MW 级光伏微网系统及设备技术,区域性高密度光伏建筑并网系统及设备技术,10MW 级次高参数太阳能热发电技术,硅基高可靠光伏建筑一体化关键技术、大型多能互补光伏并网系统技术、光伏直流并网发电技术、分布式太阳能热发电技术,太阳能储热技术,太阳能中温热在工业节能中的应用技术等。

(四) 装备方向

太阳能光伏生产设备是贯穿整个产业链的基础,目前亟需突破产业链部分环节核心设备的瓶颈,提升其关键生产设备的性能和成套生产线的自动化程度。相关内容包括:晶体硅太阳能电池整线成套装备集成技术,效率 10%以上年产能 40MW 硅基薄膜太阳能电池制造技术,效率 10%以上年产能 30MW 碲化镉薄膜太阳能电池制造技术,效率 8%以上年产能 5MW 染料敏化太阳能电池制造技术,薄膜硅/晶体硅异质结电池中试制造技术,硅基高可靠 BIPV 系列组件制造装备技术等。

四、重点任务

(一) 重点任务

- (1) 掌握太阳能材料、器件、系统核心技术和工业生产线的关键工艺及装备;
- (2) 突破太阳能发电系统规模化利用的关键技术及装备;
- (3) 建设国家重点实验室、工程中心和产业化基地;
- (4) 完善太阳能产品及系统的检测技术和认证标准;
- (5) 集成示范太阳能开发利用的新技术、新设备。

(二) 任务分解

“十二五”期间,根据四个研究方向和五项重点任务,在太阳能科技领域分解出 19 项研究内容,其中:材料方向 2 项,器件方向 8 项,系统方向 9 项,装备方向研究内容分布在前三项中。

1、材料方向

- (1) 高效节能多晶硅材料大规模清洁生产关键技术研究

提升改良西门子工艺大规模低成本清洁生产关键技术,突破硅烷法工艺规模化生产,探索物理、化学冶金法等低成本新工艺技术。

- (2) 太阳能电池关键配套材料制备技术研究

突破太阳能电池用银浆、银铝浆、TPT 背板材料、EVA 封装材料、薄膜电池用 TCO 玻璃基板等关键配套材料制备技术。

2、器件方向

（1）新型太阳能电池中试及前沿技术研究

建成年产能 2MW 的薄膜硅/晶体硅异质结太阳能电池中试示范线，中试效率达到 18.5%；建成年产能 1MW 的柔性硅薄膜太阳能电池卷对卷制造中试示范线，电池稳定效率达到 10%；掌握高倍聚光太阳能电池及应用技术，建成年产能 5MW 的中试线，电池效率超过 35%。

（2）效率 20%以上低成本晶体硅电池产业化成套关键技术研究及示范生产线

在产业化平均效率指标上，单晶硅电池达到 20%，多晶硅电池达到 19%，主要新型技术设备实现国产化；晶体硅电池成本降至 7 元/W，硅片厚度降至 160 微米；推动高效电池技术在全国范围内的大规模产业化，实现年产能 100MW。

（3）规模化铜铟镓硒薄膜太阳能电池成套制造工艺技术研发

突破规模化铜铟镓硒（硫）薄膜太阳能电池生产线中的关键设备设计与制造瓶颈，开发具有国际水平的成套工艺技术，建成年产能 5MW 卷对卷式柔性衬底 CIGS 薄膜电池生产线、MW 级柔性铜铟镓硒硫薄膜太阳能电池生产线、电化学法沉积 CIGS 薄膜太阳能电池示范生产线、涂覆-热处理法制备 CIGS 太阳能电池示范生产线和集电管式 CIGS 薄膜太阳能电池示范生产线，并形成批量产品。

（4）效率 10%以上规模化薄膜太阳能电池成套制造工艺技术研发

研制具有自主知识产权的年产能 40MW 硅基薄膜太阳能电池生产线关键设备和年产能 30MW 碲化镉薄膜太阳能电池生产线关键设备，完成硅基薄膜太阳能电池和碲化镉薄膜太阳能电池成套工艺技术研发，产业化组件效率 10%以上，生产成本低于 5 元/W。

（5）年产能 5MW 效率 8%染料敏化太阳能电池组件成套制造技术研发

掌握染料敏化剂、电解质、光阳极等关键材料的批量生产工艺和合成技术，研制染料敏化太阳能电池配套材料批量生产的关键设备，解决 MW 级染料敏化太阳能电池关键技术及生产工艺设备，掌握大面积电池产业化制作技术，建成年产能 5MW 的染料敏化太阳能电池生产线。

（6）效率 10%以上 50MW 非晶/微晶硅叠层薄膜太阳能电池成套制造工艺技术研发

研究高效电池用非晶硅材料、硅薄膜材料、ZnO 透明导电薄膜制备工艺等技术，建成年产能 50MW 硅非晶/微晶硅叠层薄膜太阳能电池生产线，组件稳定效率 10%以上，成本低于 5 元/W。

（7）高倍聚光太阳电池成套制造工艺技术研发及示范

掌握 GaInP/GaInAs/Ge 三结太阳电池制造工艺技术，建成年产能大于 5MW 的聚光多结太阳电池中试生产线及聚光电池可靠性测试平台和户外实测平台，掌握 1200 倍聚光光伏系统设计技术，研制大功率 CPV 并网逆变器。

（8）太阳能槽式集热发电技术与示范

面向商业化槽式聚光集热技术研究，突破高温真空集热管和高精度聚光器成型关键工艺、批量化生产技术和关键装备，建立 MW 级槽式聚光集热集成实验示范系统。

3、系统方向

（1）大型光伏并网系统设计集成技术研究示范及装备研制

瞄准 100MW 级大型并网光伏电站技术研究，掌握 100MW 级并网光伏电站的单元设计集成与工程化技术及关键设备，区域高密度多接入点建筑光伏、双模式建筑光伏系统集成技术及关键设备。安全并网及电能质量调节技术，高海拔地区功率预测和生态环境监测技术，建立实证性研究示范基地。

（2）高稳定性光伏微网系统技术与示范

突破包括光伏的多能互补微网的稳定性技术，掌握系统集成与工程技术、稳定控制技术和电能质量调控技术，研制完成微网能量管理系统、电能质量调节系统及微网型光伏电站自动化在线测控系统，建成 10MW 级光/水互补微网系统、数 MW 级多能互补的微网系统、100MW 级多点接入区域光伏示范系统。

（3）适合于微网运行的大功率光伏控制/逆变器关键技术研究及设备研制

突破自同步电压源逆变器及高效光伏充电控制器的关键技术，掌握自同步电压源逆变器多机稳定并联运行技术及与最大功率跟踪相结合的高效智能光伏充电技术，完成自同步电压源逆变器及高效光伏充电控制器的产品化研究，具备批量化生产能力；提出改进自同步电压源并网逆变器下垂控制器实现方法，完成自同步电压源逆变器及高效光伏充电控制器的产业化研究。

（4）10MW 级太阳能塔式热发电技术与示范

面向高参数-高效率-稳定输出的太阳能热发电技术研究，突破次高参数熔融盐吸热-储热塔式发电关键技术及设备，建立 10MW 示范熔融盐塔式示范电站。

（5）大型多能互补光伏并网系统技术与示范

面向大型光伏电站与大型风电场、与水电站、与太阳能热电站的互补并网发电应用，突破互补发电系统的设计集成与并网技术，多种电源功率预测技术、联合控制技

术、能量优化管理技术，建立多种互补发电系统示范。

（6）硅基高可靠光伏建筑一体化（BIPV）关键技术及示范

瞄准太阳能光伏建筑一体化组件及应用技术，突破硅基高可靠 BIPV 系列组件制造装备及生产线关键工艺技术，完成系列化 BIPV 构件产业制造并形成规模应用标准和规范。

（7）分布式太阳能热发电技术

面向 100kW 级分布式太阳能热发电技术研究，突破有机朗肯、碟式斯特林、单螺杆膨胀机、太阳能热电半导体发电技术等分布式发电重大装备设计与制造技术，并进行实证性试验与示范。

（8）太阳能储热技术与规模化应用

掌握低温段（20-95℃）和高温段（450℃以上）储热材料设计、制备、大容量储热系统热损抑制、区域集中供热系统集成、能量输配与管理技术，形成分布式和大容量集中太阳能储热与供热系统示范。

（9）太阳能中温技术与工业应用

面向太阳能中温热利用的实用化和产业化技术研究，突破太阳能 80℃-250℃ 中温集热器、中温储热、太阳能空调和系统集成技术和装备，建立太阳能中温集热系统工农业生产领域应用示范。

“十二五”期间，还需要在光伏直流并网发电等新技术、新系统方面进行创新性探索研究。

（三）从基础到产业化的全链条规划

太阳能级硅材料方面，重点研究高效节能多晶硅材料的产业化技术。太阳电池方面，重点研究高效、低成本、超薄晶硅太阳电池和高效薄膜太阳电池的产业化技术，着力发展新型太阳电池关键技术。光伏系统及平衡部件方面，重点研究 100MW 级并网光伏电站、高密度区域建筑光伏系统、光伏微电网系统技术和大型多能互补光伏并网系统技术与关键设备的产业化技术。太阳能热利用方面，重点研究太阳能热发电和太阳能热利用技术与关键设备的产业化技术。

五、保障措施

围绕《专项规划》和“十二五”科技重点发展的部署，制定保障措施，加大实施力度，切实形成有利于自主创新的新体制和新机制。

1、加强科技专项的组织领导和统筹协调。设立计划实施领导小组，强化政府的科

技宏观管理能力，实行重点计划重点落实与协调，切实保障计划顺利有效实施；在技术层面，设立总体技术专家组，完善专家管理机制，从系统角度把握科技发展的宏观与微观技术网络，有效提高专项资金使用效率，保证计划的有效推进；成立光伏和光热两个项目办公室，建立科技统计、技术预测、第三方独立评估、信用管理等制度，加强对科技投入的统筹管理，完善项目管理后评价机制及问效问责制，加强对计划实施全过程的监督和绩效评估，从而降低项目风险。

2、加强科技投入力度，鼓励各类社会资本投入。大幅度增加重点项目科技投入，强化重点项目科技投入滚动增长的保障和后评估机制。加大对技术创新平台的支持力度和广度，加强对基础研究、前沿高技术研究、科技基础条件建设、人才培养的支持，引导行业部门、地方政府、产业联盟、企业及其他各类社会资本加大科技投入，建立各类研究开发和服务平台，支持在高等教育中强化太阳能相关学科设置，重点解决太阳能利用未来的重大科技问题。

3、制定和落实促进科技专项实施的各项激励政策。结合科技项目的实施，有计划地推进示范项目与金太阳示范工程的结合，通过工程实施实现对科研成果先进性和有效性的验证；建立产业发展预警机制，充分重视太阳能服务业的发展；同时，鼓励企业充分利用财税、金融、政府采购等政策，以企业投入为主，有针对性地解决产业发展中的重大技术问题，从而打破国外的技术垄断，保障光伏市场的规范性和成果转化的高效性。

4、充分发挥金太阳示范工程的带动作用。以金太阳示范工程带动太阳能开发利用技术的进步；以技术进步推动和保障金太阳示范工程的顺利实施；依托金太阳示范工程建立和完善服务支撑体系。

5、建成第三方的与国际对等的权威检测机构。建立国家级的光伏系统及平衡部件的实证性研究基地和大型光伏并网逆变器的测试平台，用于现场考验光伏组件、平衡部件以及光伏发电系统的实际运行效果，分析评价各类产品与技术的性能及其变化趋势，提升部件及系统的测试、分析和判断能力，为我国未来大型光伏系统新技术提供开放式、公益性的实证基地，为我国光伏产品提供第三方、公正、权威的测试条件。

6、充分发挥国家高新技术产业开发区、国家级高新技术产业化基地的作用，加快成果产业化，推动创新型产业集群建设工程，围绕本专项确定的主要目标，合理选择技术路径和产业路线，采取有效措施，促进产业集群的形成和创新发展。