

# 浙江省技术发明奖推荐书

(2019 年度)

## 项目基本情况

推荐号：

奖励类别：发明奖：技术发明

|   |                                 |                       |     |        |
|---|---------------------------------|-----------------------|-----|--------|
| 推荐单位<br>(盖章)  | 杭州市人民政府                         | 推荐奖励等级                | 一等奖 |        |
| 项目名称<br>(中文)  | 大规模塔式太阳能热发电关键技术及产业化             |                       |     |        |
| 主要完成人员  | 金建祥、徐能、黄文君、宓霄凌、周慧、胡中            |                       |     |        |
| 主要完成单位<br>(本省第一完成<br>单位盖章)  | 浙江中控太阳能技术有限公司、浙江大学              |                       |     |        |
| 主题词   | 太阳能热发电；大规模；塔式；聚光集热；熔盐储能；控制装置及应用 |                       |     |        |
| 学科分类<br>名称  | 1                               | 工学-控制科学与工程-检测技术与自动化装置 | 代码  | 081101 |
|   | 2                               | 工学-动力工程及工程热物理-热能工程    | 代码  | 080702 |
|   | 3                               |                       | 代码  |        |
| 所属国民经济行业  | 04 电力，热力，燃气及水生产和供应业             |                       |     |        |
| 任务来源  | 国家科技计划                          |                       |     |        |
| 具体计划、基金名称和编号（不超过 300 字）   |                                 |                       |     |        |
| 具体计划：<br>1、国家 863 计划先进能源技术领域重点项目，名称：基于小面积定日镜的 10MW 塔式太阳能热发电技术研究及示范，编号：2013AA050200（课题编号 2013AA050201）。<br>2、浙江省重大科技专项重大工业项目，名称：模块化高效太阳能光热发电成套装备研制与示范应用，编号：2012C01003。 |                                 |                       |     |        |

## 项目简介

塔式太阳能热发电具有发电效率高、电力品质好、可储能等优势，可与风电、光伏互补实现新能源有效消纳和电网稳定，是目前唯一有望承担基荷的可规模化发展的绿色新能源。项目面向新能源生产的重大需求，经过六年技术开发和应用研究，解决了塔式太阳能大规模化定日镜集群协同高精度聚光控制、大容量安全、低成本储能、高安全性运行三大技术难题，成功研制了塔式太阳能热发电核心装备和软件体系，形成自主知识产权的核心技术体系，对我国建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系具有重大意义。项目研究应用中，形成了三大系统性核心技术：

**1、规模化定日镜集群高精度协同聚光技术：**发明了具有自主动态跟踪、精度自校正功能的智能定日镜装备，以其为聚光单元建立聚光空间运动模型，提出了基于太阳位置和目标动态轨迹自主跟踪算法；提出了基于机器视觉的定日镜偏差检测与最优参数拟合校正算法，解决了定日镜高精度开环控制的难题，使定日镜跟踪动态精度达 1.7mrad，实现了远距离定日镜聚光集热长期稳定控制策略；开发了定日镜驱动的分布式通讯网络和协同控制系统，实现数万面定日镜集群的高精度聚光和规模化集热。

**2、安全可靠的大容量低成本熔盐储能技术：**提出熔盐储能系统和蒸汽储能系统互补的调度运行方法，高效低成本解决太阳辐射能不稳定与电网稳定用电需求之间的矛盾；提出了具有温度可控的预热缓冲的熔盐管路与高温大容量（565 度，五千立方级）液态熔盐存储设备的设计方法及太阳能熔盐吸热器安全可靠的输盐方法，解决了太阳能热发电高温熔融盐系统热冲击大和高热应力下对装备的寿命影响；发明了基于熔盐储能的高参数，可大范围快速变负荷的换热技术，实现了与传统火电相比更优的负荷调节深度和调节速度。

**3、高温吸热器的网格化能量协调控制技术：**针对太阳辐射能变化幅度大而快的动态特点，建立高聚焦比聚光能量模型和高精度能流密度分布算法，实现多约束条件下镜场集热能量的优化设计；提出了高温吸热器与大规模镜场能量投射网格化动态能量协调控制方法，率先提出镜场能量调度的动态指向点策略，实现吸热器表面能量的均匀化和温度变化的精确控制，减少吸热器的热冲击，保证了系统的安全性和光资源的利用率；提出双回路并联吸热器和吸热管束柔性结构设计技术，保证吸热管内介质流动的均匀性，满足设备长期运行高安全性和高可靠性要求。

项目成果成功应用于中控德令哈 10MW 塔式熔盐光热电站、中控德令哈 50MW 塔式熔盐光热电站和中电建共和 50MW 塔式熔盐光热电站，其中中控德令哈 10MW 塔式熔盐光热电站

于 2016 年 8 月 20 日成功并网发电，技术性能指标达到了同类技术的国际领先水平，是我国首座、全球第三座成功投运的规模化储能光热电站，截至日前已实现连续稳定运行两年多。

项目申请发明专利 104 项（已授权 49 项）、获其他知识产权 69 项、发表论文 15 篇，参与制定 IEC 国际标准 1 项、国家标准 3 项、行业标准 3 项。

2016 年-2018 年项目成果累计实现销售合同 10.33 亿，销售收入 4.6 亿。同时，本项技术与多个地方政府签订总计 100 万千瓦的开发合作协议，预计将实现产值 300 亿元。

## 第三方评价

评价结论、检测结果等（限 1200 字）

### 1、检测报告

#### （1）测定定日镜跟踪

报告：测定太阳定日镜跟踪（I）、测定太阳定日镜跟踪（II）

检验机构：中国科学院电工研究所

#### （2）测试太阳能直接反射比

编号：SHIN180200443CCM\_CN

报告：SGS 太阳光直射反射比测试报告

检验机构：通标标准技术服务(上海)有限公司

#### （3）测试定日镜性能

编号：2016-1462、2014-3181、2016-3755

报告：SHE101 定日镜检验报告、SHE202 定日镜检验报告

检验机构：浙江科正电子信息产品检验有限公司、国家电子计算机外部设备质量监督检验中心

#### （4）测试电站各项性能

王志锋和王跃社等专家进行的现场见证测试报告

### 2、知识产权情况

申请发明专利 104 项（已授权 49 项）、获实用新型专利 48 件，软件著作权 21 项、发表论文 15 篇，参与制定 IEC 国际标准 1 项、国家标准 3 项（其中 1 项已发布）、行业标准 3 项（其中 2 项已发布）。

### 3、国家高技术研究发展计划（863 计划）课题验收结论书

验收单位：科学技术部 863 计划先进能源技术领域办公室

项目名称：基于小面积定日镜的 10MW 塔式太阳能热发电技术研究及示范

鉴定意见：研制了用于太阳能热发电的 2 平方米定日镜，跟踪精度优于 4mrad；实现了单镜场 1.4 万台定日镜的分布式控制；完成了熔盐蓄热技术研究和 10MW 级蓄热工艺路线设计，熔盐蓄热满足机组 80% 额定负荷发电超过 2 小时；进行了基于小面积定日镜的太阳能吸热、蓄热装备设计与研制，熔盐吸热器工作温度 550℃，高温蓄热器平均工作温度 517℃、蒸汽发生器产汽温度 512℃，建成了 10MW 级水、熔盐双塔结构塔式太阳能热发电站，设计点的系统发电效率达到 15.9%。

### 4、浙江省科技计划项目验收证书

验收证书编号：浙科验字[2014]2554 号

验收单位：浙江省科学技术厅

项目名称：模块化高效太阳能光热发电成套装备研制与示范应用

计划编号：（2012C01003）

鉴定(验收)意见如下：经浙江科正电子信息产品检验，定日镜现场宽温、防尘、防腐蚀等性能符合国家相关标准要求。项目经德令哈现场应用表明，该模块化光热发电成套装备的技术指标达到了设计要求。

## 5、科技查新报告

报告编号：201833B2112068

查新机构：浙江省科技信息研究院

项目名称：太阳能热发电关键技术与装备研发

报告结论：委托项目采用“基于机器视觉的自主校正”和“反射光线汇聚焦距”技术，在上述所检文献中除委托单位专利外未见述及。

## 6、荣誉与奖励

模块化高效太阳能光热发电成套装备研制与示范应用项目获 2015 年杭州市科技进步一等奖。

## 7、社会评价

德令哈光热电站年均参观人数超 2000 人次，参加国家“十二五”科技创新成就展，向国内外展示我国光热自主技术成果，参与 1 项国际标准、3 项国家标准、3 项行业标准的编制，极大促进了光热标准体系的建设。

(1) 国际 IEC 标准-General requirements for the design of solar tower plants (委员会草案)

(2) 国家标准-塔式太阳能光热发电站设计标准 (已发布)

(3) 国家标准-太阳能发电工程项目规范 (已完成大纲审查)

(4) 国家标准-光热调度命名规则 (已立项)

(5) 行业标准-光热发电工程安全验收评价规程 (已发布)

(6) 行业标准-光热发电工程安全预评价规程 (已发布)

(7) 行业标准-太阳能热发电项目监测评估规程 (已立项)

电站累计四次被中央电视台报道：

2013 年，CCTV-13-《日出东方》及《江山多娇》

2016 年，CCTV-1-《新闻联播》

2017 年，CCTV-13-《还看今朝-喜迎十九大特别节目》

2017 年，CCTV-9-《超级工程 (第三季) 纵横中国》

用户评价：设备运行稳定，系统可靠性高，各项参数指标正常，效果良好。

## 社会效益和间接经济效益

1、该项目攻克了塔式熔盐太阳能光热发电的核心技术，解决了目前新能源领域的“最大难题”——能量储存。依靠成本相对低廉的储热装置，可以实现电力输出“连续、稳定、可控”，是电力系统友好型电源，既可以承担基荷，也具备较为灵活的调峰能力，可作为未来电网的主力电源。光热发电与光伏、风电配套建设，能够显著缓解光伏和风电的出力波动，大幅提高电力系统的消纳能力，减少弃风、弃光。光热发电的这些特点和优势，使其有望成为大规模替代化石能源的清洁能源技术。该项目的实施，对推动能源革命、促进能源安全、调整能源结构、改善生态环境等具有十分重要的意义。

2、项目的实施可以有效改善高原生态环境，还形成光热发电系统集成、电站运营等新兴产业，增加雇用大量的生产制造、建设施工人员，创造大量就业岗位，提升高原地区就业机会，有效促进西部地区经济和产业的发展。

3、光热发电行业产业的延伸链长，可以带动众多相关行业和产业，有助于拉动国内经济和相关产业发展，促进供给侧结构性改革。在科技引领下，随着光热技术的突破，光热产业的发展对消化水泥、钢铁、玻璃、化工等产业的过剩产能将起到积极作用，同时还可以带动光热聚光、吸热、储换热及发电行业高端制造、新材料等产业的快速发展，同时从而以科技为源动力，带动我国优势制造行业的技术创新升级和绿色发展。

## 本项目曾获科技奖励情况

| 获奖项目名称                  | 时间           | 奖项名称     | 奖励等级 | 授奖部门（单位） |
|-------------------------|--------------|----------|------|----------|
| 模块化高效太阳能光热发电成套装备研制与示范应用 | 2015年<br>12月 | 杭州市科技进步奖 | 一等奖  | 杭州市人民政府  |
|                         |              |          |      |          |

本表所填科技奖励是指：

1. 省、自治区、直辖市政府和国务院有关部门、中国人民解放军设立的科技奖励；
2. 设区的市人民政府设立的科技奖励。

## 主要知识产权证明目录

(主要知识产权证明目录(指直接支持本项目主要技术发明的、已授权且仍然有效的知识产权,包括发明专利、植物新品种权等。(不超过10件,至少要有一项在有效期内的授权发明专利)推荐技术发明奖必须拥有经国家知识产权局授权,且仍然有效的发明专利。发明专利、植物新品种权等),括号内可删除)

| 知识产权类别 | 知识产权具体名称                  | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 权利人           | 发明人(培育人)                   |
|--------|---------------------------|--------|------------------|------------|---------------|----------------------------|
| 发明专利   | 基于参照镜的日光反射镜闭环控制系统及其方法     | 中国     | ZL201010214185.8 | 2012-04-11 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 金建祥、祝雪妹、黄文君、杨先骏            |
| 发明专利   | 一种光斑实时可调的定日镜调节方法          | 中国     | ZL201210294572.6 | 2017-04-05 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 金建祥、付杰、沈焕波、黄文君             |
| 发明专利   | 一种用于太阳能热发电系统的换热系统         | 中国     | ZL201610176190.1 | 2019-01-22 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 金建祥、余志勇、徐能、周慧、陈明强、周楷、唐亚平   |
| 发明专利   | 一种应对云层遮挡的塔式太阳能热发电系统       | 中国     | ZL201310439355.6 | 2016-08-17 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 徐能;易富兴;付杰;唐亚平;周慧;程实        |
| 发明专利   | 一种可实现定日镜变速的方法             | 中国     | ZL201310725553.9 | 2016-09-28 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 徐能;张旭中;林垂真;江远财;胡玉超;黄圆明     |
| 发明专利   | 一种具备负荷调节功能的换热系统           | 中国     | ZL201610176072.0 | 2018-04-17 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 余志勇、徐能、周慧、陈明强、周楷、唐亚平、王伟    |
| 发明专利   | 一种可提高传动精度的定日镜传动系统         | 中国     | ZL201210233191.7 | 2016-03-02 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 黄文君、张旭中、江远财、黄圆明、徐能、杨渊思     |
| 发明专利   | 一种定日镜跟踪系统消隙装置             | 中国     | ZL201210233194.0 | 2016-02-17 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 黄文君、张旭中、江远财、黄圆明、徐能、项翀      |
| 发明专利   | 一种用于塔式太阳能热发电的定日镜及其仰角驱动装置  | 中国     | ZL201510068561.X | 2018-09-28 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 黄文君、张旭中、徐能、黄圆明、宓霄凌、胡玉超、蒲华丰 |
| 发明专利   | 塔式太阳能热发电系统的定日镜精度动态校验方法与系统 | 中国     | ZL201210423344.4 | 2015-01-21 | 浙江中控太阳能技术有限公司 | 刘志娟、宓霄凌、游瑞、胡中、徐能、金建祥       |

**承诺:** 上述第八部分的知识产权用于报奖的情况,已征得未列入项目完成单位或完成人的发明人(培育人)、权利人的同意。

第一完成人签字:

### 主要完成人员情况表

| 姓名  | 排名 | 主要贡献   |
|-----|----|--|
| 金建祥 | 1  | <p>项目负责人、项目整体解决方案的领导和总设计师，组织整个项目团队进行项目研发和产业化工程建设；重点负责定日镜追日及其定日镜镜场控制的研究，在技术发明点一、基于具有自校正、自主跟踪功能的智能定日镜的规模化高精度聚光控制技术以及技术发明点二、安全、可靠运行的大容量低成本熔盐储能技术的研究方面做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 70%，取得专利号为</p> <p>ZL201010214185.8（排名：1/4）、ZL201210294572.6（排名：1/4）、ZL201610176190.1（排名：1/7）、ZL201210423344.4（排名：6/6）等发明专利 10 项。</p>  |
| 徐能  | 2  | <p>为技术研究开发验证和示范工程的负责人，组织整个项目团队进行项目技术开发和产业化工程建设，在技术发明点一、基于具有自校正、自主跟踪功能的智能定日镜的规模化高精度聚光控制技术以及技术发明点三、高温吸热器的网格化能量协调控制技术的研究方面做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 70%，取得专利号为</p> <p>ZL201310439355.6（排名：1/6）、ZL201310725553.9（排名：1/6）、ZL201610176072.0（排名：2/7）、ZL201610176190.1（排名：3/7）、ZL201210233191.7（排名：5/6）</p> <p>ZL201210233194.0（排名：5/6）、ZL201510068561.X（排名：3/7）、ZL201210423344.4（排名：5/6）等发明专利 26 项，发表论文 8 篇。</p> |
| 黄文君 | 3  | <p>项目主要技术人员，在技术发明点一、基于具有自校正、自主跟踪功能的智能定日镜的规模化高精度聚光控制技术以及技术发明点二、安全、可靠运行的大容量低成本熔盐储能技术的研究方面做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量</p>   |



|     |   |  |
|-----|---|--|
|     |   | 占其工作总量的 75%，做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 70%，取得专利号为 ZL201210233191.7（排名：1/6）、ZL201210233194.0（排名：1/6）、ZL201510068561.X（排名：1/7）、ZL201010214185.8（排名：3/4）、ZL201210294572.6（排名：4/4）等发明专利 24 项，发表论文 5 篇。 |
| 宓霄凌 | 4 | 项目主要技术人员，在技术发明点一、基于具有自校正、自主跟踪功能的智能定日镜的规模化高精度聚光控制技术以及技术发明点二、安全、可靠运行的大容量低成本熔盐储能技术的研究方面做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 65%，取得专利号为 ZL201210423344.4（排名：2/6）、ZL201510068561.X（排名：5/7）等发明专利 9 项，发表论文 3 篇。     |
| 周慧  | 5 | 项目主要技术人员，在技术发明点二、安全、可靠运行的大容量低成本熔盐储能技术以及技术发明点三、高温吸热器的网格化能量协调控制技术的研究方面做出主要贡献，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 65%，取得专利号为 ZL201610176072.0（排名：3/7）、ZL201610176190.1（排名：4/7）等发明专利 9 项。                              |
| 胡中  | 6 | 项目主要技术人员，在技术发明点一、基于具有自校正、自主跟踪功能的智能定日镜的规模化高精度聚光控制技术，在该项技术研发工作中投入的工作量占其工作总量的 60%，取得专利号为 ZL201210423344.4（排名：4/7）等发明专利 5 项。   |

## 主要完成单位情况表

|  |                  |      |      |               |        |
|--|------------------|------|------|---------------|--------|
| 单位名称   | 浙江中控太阳能技术有限公司    |      |      |               |        |
| 排 名  | 1                | 法人代表 | 金建祥  | 所在地           | 杭州市滨江区 |
| 单位性质   | 民营企业             |      | 传 真  | 0571-81118226 |        |
| 联 系 人  | 王伊娜              | 联系电话 |      | 移动电话          |        |
| 通讯地址   | 浙江杭州滨江区六和路 309 号 |      |      |               |        |
| 电子信箱   |                  |      |      | 邮政编码          | 310053 |
| 对本项目主要技术发明和推广应用的支撑作用情况（限 300 字）  |                  |      |      |               |        |
| <p>浙江中控太阳能技术有限公司为本成果的主要管理单位，为本项目提供了人才、资金、研发场地、设备、仪器、检测手段及研发所需的情报资源和创新平台、创新制度和氛围，为项目专利申报实施、产品研发、应用研究、产业化生产、市场推广应用做出了支撑作用。</p>   |                  |      |      |               |        |
| <p>声明：<br/>           本单位同意完成单位排名，严格按照《浙江省科学技术奖励办法》及相应规定，省科学技术厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及其相关材料，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科技成果保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。推荐的项目主要创新内容、列入计数的知识产权和发表的论文为本项目独有，且未在已获国家、省科技奖励项目或本年度其它推荐项目中使用。如推荐项目发生争议，将积极配合工作，协助调查处理。如有不符，本单位愿意承担相应责任。</p> |                  |      |      |               |        |
| 法人代表签字   |                  |      | 单位公章 |               |        |
| 年 月 日  |                  |      |      |               |        |

## 主要完成单位情况表

|  |                  |      |      |               |        |
|--|------------------|------|------|---------------|--------|
| 单位名称   | 浙江大学             |      |      |               |        |
| 排 名  | 2                | 法人代表 | 吴朝晖  | 所在地           | 杭州市西湖区 |
| 单位性质   | 大专院校             |      | 传 真  | 0571-87951111 |        |
| 联 系 人  | 黄文君              | 联系电话 |      | 移动电话          |        |
| 通讯地址   | 浙江省杭州市余杭塘路 866 号 |      |      |               |        |
| 电子信箱   |                  |      |      | 邮政编码          | 310058 |
| 对本项目主要技术发明和推广应用的支撑作用情况（限 300 字）  |                  |      |      |               |        |
| <p>参与项目的技术研究，为多项技术研究提供理论支持。具体负责和完成了以下内容：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、国内外技术调研及光资源影响的分析研究；</li> <li>2、太阳能聚光理论与算法的研究芯片的数字电路前端设计和后端设计；</li> <li>3、熔盐特性理论与测试；</li> <li>4、网络化数据库技术研究。</li> </ol>  |                  |      |      |               |        |
| <p>声明：</p> <p>本单位同意完成单位排名、严格按照《浙江省科学技术奖励办法》及相应规定，省科学技术厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及其相关材料，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科技成果保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。推荐的项目主要创新内容、列入计数的知识产权和发表的论文为本项目独有，且未在已获国家、省科技奖励项目或本年度其它推荐项目中使用。如推荐项目发生争议，将积极配合工作，协助调查处理。如有不符，本单位愿意承担相应责任。</p> |                  |      |      |               |        |
| 法人代表签字   |                  |      | 单位公章 |               |        |
| 年 月 日  |                  |      |      |               |        |