



项目批准号	51976058
申请代码	E060701
归口管理部门	
依托单位代码	10220608A0487-0919



5 1976058 1003 681

# 国家自然科学基金委员会 资助项目计划书

资助类别：面上项目

亚类说明：

附注说明：

项目名称：非均匀时变能流下熔融盐吸热器热输运特性与光热耦合调控机制研究

直接费用：63万元 执行年限：2020.01-2023.12

负责人：徐二树

通讯地址：北京市昌平区回龙观北农路2号

邮政编码：102206 电 话：010-61773918

电子邮件：xuershun@ncepu.edu.cn

依托单位：华北电力大学

联系人：武润莲 电 话：010-61772304

填表日期：2019年08月27日

国家自然科学基金委员会制



## 国家自然科学基金委员会资助项目计划书填报说明

- 一、项目负责人收到《关于国家自然科学基金资助项目批准及有关事项的通知》（以下简称《批准通知》）后，请认真阅读本填报说明，参照国家自然科学基金相关项目管理办法及《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》（请查阅国家自然科学基金委员会官方网站首页“政策法规”栏目），按《批准通知》的要求认真填写和提交《国家自然科学基金委员会资助项目计划书》（以下简称《计划书》）。
- 二、填写《计划书》时要求科学严谨、实事求是、表述清晰、准确。《计划书》经国家自然科学基金委员会相关项目管理部门审核批准后，将作为项目研究计划执行和检查、验收的依据。
- 三、《计划书》各部分填写要求如下：
  - （一）简表：由系统自动生成。
  - （二）摘要及关键词：各类获资助项目都必须填写中、英文摘要及关键词。
  - （三）项目组主要成员：计划书中列出姓名的项目组主要成员由系统自动生成，与申请书原成员保持一致，不可随意调整。如果批准通知中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目有调整项目组成员相关要求的，待项目开始执行后，按照项目成员变更程序另行办理。
  - （四）资金预算表：根据批准资助的直接费用，按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》填报资金预算表和预算说明书。国家重大科研仪器研制项目、重大项目还应按照预算评审后批复的直接费用各科目金额填报资金预算表、预算说明书及相应的预算明细表。
  - （五）正文：
    1. 面上项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目：如果《批准通知》中没有修改要求的，只需选择“研究内容和研究目标按照申请书执行”即可；如果《批准通知》中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目明确要求调整研究期限和研究内容等的，须选择“根据研究方案修改意见更改”并填报相关修改内容。
    2. 重点项目、重点国际（地区）合作研究项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，根据《批准通知》的要求填写研究（研制）内容，不得自行降低、更改研究目标（或仪器研制的技术性能与主要技术指标以及验收技术指标）或缩减研究（研制）内容。此外，还要突出以下几点：
      - （1）研究的难点和在实施过程中可能遇到的问题（或仪器研制风险），拟采用的研究（研制）方案和技术路线；
      - （2）项目主要参与者分工，合作研究单位之间的关系与分工，重大项目还需说明课题之间的关联；
      - （3）详细的年度研究（研制）计划。



3. 国家杰出青年科学基金、优秀青年科学基金和海外及港澳学者合作研究基金项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，按下列提纲撰写：
  - (1) 研究方向；
  - (2) 结合国内外研究现状，说明研究工作的学术思想和科学意义（限两个页面）；
  - (3) 研究内容、研究方案及预期目标（限两个页面）；
  - (4) 年度研究计划；
  - (5) 研究队伍的组成情况。
4. 国家自然科学基金基础科学中心项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，应当根据评审委员会和现场考察专家组的意见和建议，进一步完善并细化研究计划，作为评估和验收的依据。按下列提纲撰写：
  - (1) 五年拟开展的研究工作（包括主要研究方向、关键科学问题与研究内容）；
  - (2) 研究方案（包括骨干成员之间的分工及合作方式、学科交叉融合研究计划等）；
  - (3) 年度研究计划；
  - (4) 五年预期目标和可能取得的重大突破等；
  - (5) 研究队伍的组成情况。
5. 对于其他类型项目，参照面上项目的方式进行选择和填写。



简表

申请者信息	姓 名	徐二树	性 别	男	出生年月	1962年07月	民 族	汉族
	学 位	博士			职称	研究员		
	是否在站博士后	否			电子邮件	xuershun@ncepu.edu.cn		
	电 话	010-61773918			个人网页			
	工 作 单 位	华北电力大学						
	所 在 院 系 所	能源动力与机械工程学院						
依托单位信息	名 称	华北电力大学					代码	10220608A0487
	联 系 人	武润莲			电子邮件	wrlzpl@126.com		
	电 话	010-61772304			网站地址	http://kjc.ncepu.edu.cn/		
合作单位信息	单 位 名 称							
	中国科学院电工研究所							
项目基本信息	项 目 名 称	非均匀时变能流下熔融盐吸热器热输运特性与光热耦合调控机制研究						
	资 助 类 别	面上项目				亚 类 说 明		
	附 注 说 明							
	申 请 代 码	E060701:太阳能						
	基 地 类 别	新能源电力系统国家重点实验室						
	执 行 年 限	2020.01-2023.12						
	直 接 费 用	63万元						



## 科学问题属性

- ☐ “鼓励探索，突出原创”：科学问题源于科研人员的灵感和新思想，且具有鲜明的首创性特征，旨在通过自由探索产出从无到有的原创性成果。
- ☐ “聚焦前沿，独辟蹊径”：科学问题源于世界科技前沿的热点、难点和新兴领域，且具有鲜明的引领性或开创性特征，旨在通过独辟蹊径取得开拓性成果，引领或拓展科学前沿。
- ☒ “需求牵引，突破瓶颈”：科学问题源于国家重大需求和经济主战场，且具有鲜明的需求导向、问题导向和目标导向特征，旨在通过解决技术瓶颈背后的核心科学问题，促使基础研究成果走向应用。
- ☐ “共性导向，交叉融通”：科学问题源于多学科领域交叉的共性难题，具有鲜明的学科交叉特征，旨在通过交叉研究产出重大科学突破，促进分科知识融通发展为完整的知识体系。

请阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）：

发展可再生能源已成为全球能源转型及实现应对气候变化目标的重大战略举措，也是我国推进能源生产和消费革命、推动能源转型的重要措施。我国已陆续出台了系列政策、规划，将可再生能源领域相关技术列为科技创新重点战略方向，迫切需要实施可再生能源的基础研究，引领国家绿色低碳能源战略实施及生态文明建设。太阳能光伏发电技术是可再生能源利用技术，已明确列入“国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)”。2016年12月16日颁布的《太阳能发展“十三五”规划》，明确指出在“十三五”前半期，积极推动1500MW左右的太阳能光伏发电示范项目建设，掌握关键核心技术，培育和增强系统集成能力，形成设备制造产业链，促进产业规模化和产品质量提高，带动生产成本降低，初步具备国家市场竞争力。本研究以系统综合效率高、成本降低空间大、最具商业前景的熔融盐塔式太阳能热发电技术为对象，围绕“多变量非稳定耦合扰动下聚光系统光斑能流密度的分布和变化规律”、“塔式太阳能热发电光热耦合时空协同调控机制”关键科学问题，通过构建多因素作用的关联模型和定日镜的动态仿真模型，研究聚光系统光斑能流密度的非均匀特性和时变规律；通过实验研究和仿真建模研究熔融盐吸热器的变工况动态特性，揭示非均匀时变能流密度下外置式熔融盐吸热器多场耦合复杂换热过程热输运规律；基于STAR-90仿真平台，构建聚光系统和熔融盐吸热器的一体化实时动态仿真模型，光热时空协同，研究非均匀时变能流密度下熔融盐吸热器的热输运规律，建立熔融盐塔式太阳能热发电光热耦合过程时空协同调控机制，突破制约熔融盐塔式太阳能热发电的关键瓶颈难题，为规模化熔融盐塔式太阳能热发电系统集成设计和可靠运行提供理论依据，为太阳能热发电的产业化奠定基础。该研究科学问题的属性属于“需求牵引，突破瓶颈”。



## 项目摘要

### 中文摘要:

熔融盐吸热器管内均匀吸热与聚光系统非均匀时变能流之间的时空不匹配性, 给熔融盐塔式太阳能热发电系统集成设计、运行调控带来了诸多的挑战。本项目将围绕熔融盐塔式太阳能热发电光热能量转换环节能流“时空不匹配性”展开相关研究。利用八达岭10,000m<sup>2</sup>定日镜场, 研究多变量扰动下聚光系统能流的非均匀时变特性; 利用1MWt熔融盐吸热器实验台, 研究非均匀时变能流下吸热器的热输运机理; 基于自主研发的STAR-90实时仿真平台, 构建熔融盐塔式太阳能热发电光热能量转换一体化实时动态仿真模型, 通过光热时空协同, 研究吸热器壁面能流密度的非均匀时变特性和变化规律, 研究非均匀时变能流密度下吸热器壁面温度分布和变化规律, 研究非均匀时变能流下吸热器热输运特性, 建立熔融盐塔式太阳能热发电光热时空协同耦合调控机制。

### Abstract:

The mismatch of the central receiver between its inside heat transfer and outside unsteady and transient input concentrated sunlight brings significant challenges to the whole system design and operation. Thus, the proposed project will be focused on such incompatibility of the molten salt solar central receiver, which including: based on the Badaling 10,000 m<sup>2</sup> heliostat field, studying the uneven transient characteristic of the concentrated heat flux disturbed by multivariable; based on a developed 1 MWt molten salt receiver platform, investigating the thermal transporting mechanism of the receiver under uneven transient heat flux condition; based on the self-developed STAR-90 software, developing a real-timely and dynamically simulating model to calculate the solar-thermal energy transfer; studying the uneven transient feature of the heat flux on the absorbing surface of the receiver; revealing the variety of temperature distribution of the receiver tubes; figuring out the thermal transportation characteristic of the receiver irradiating by the uneven transient heat flux and establishing the regulatory mechanisms for coupling the concentrating sunlight and heat in both temporal and spatial context.

**关键词(用分号分开):** 热发电; 熔融盐吸热器; 聚光系统; 调控机制; 仿真

**Keywords(用分号分开):** Concentrating Solar Thermal Power; Molten Salt Receiver; Concentrating System; Regulatory Mechanism; Simulation



## 项目组主要成员

编号	姓名	出生年月	性别	职称	学位	单位名称	电话	证件号码	项目分工	每年工作时间(月)
1	徐二树	1962.07	男	研究员	博士	华北电力大学	010-61773918	130603196207160916	项目负责人	10
2	陈海平	1963.03	男	教授	博士	华北电力大学	010-61772905	130603196303080932	热力系统建模	6
3	郭明焕	1977.06	男	副研究员	博士	中国科学院电工研究所	010-82547139	610103197706273618	聚光系统实验与仿真	6
4	孔艳强	1989.11	男	博士后	博士	华北电力大学	13051274409	370881198911113535	控制策略研究	8
5	张强	1990.01	男	博士生	硕士	华北电力大学	18500140102	120225199001214075	建模仿真	10
6	王新宇	1995.09	男	硕士生	学士	华北电力大学	18813020194	372321199509290034	实验研究	10
7	王皓	1996.12	男	硕士生	学士	中国科学院电工研究所	18698467103	150125199612073013	定日镜建模	10
8	王小惠	1995.03	女	硕士生	学士	华北电力大学	18810791890	150928199503171565	吸热器动态实验	10
总人数		高级		中级		初级		博士后	博士生	硕士生
8		3						1	1	3



## 国家自然科学基金项目直接费用预算表（定额补助）

项目批准号：51976058

项目负责人：徐二树

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
1	项目直接费用合计	63.0000
2	1、设备费	6.0000
3	(1)设备购置费	2.0000
4	(2)设备试制费	0.00
5	(3)设备升级改造与租赁费	4.00
6	2、材料费	7.8500
7	3、测试化验加工费	4.5000
8	4、燃料动力费	5.82
9	5、差旅/会议/国际合作与交流费	17.23
10	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	8.00
11	7、劳务费	12.00
12	8、专家咨询费	1.60
13	9、其他支出	0.00





## 预算说明书（定额补助）

（请按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》等的有关要求，对各项支出的主要用途和测算理由，以及合作研究外拨资金、单价 $\geq 10$ 万元的设备费等内容进行必要说明。）

一、直接费用 合计费用为 63.00 万元。

1、设备费 合计费用为 6.00 万元。

1) 设备购置费，2.00 万元。

(1) 辐射测量仪，1.60 万元。单价：16,000.00 元/台，需要 1 台。

(2) 流量计，0.40 万元。单价：4,000.00 元/台，需要 1 台。

2) 设备试制费合计费用，0 万元

3) 设备改造与租赁费，4.00 万元

(1) 系统仿真硬件升级，4.00 万元。由于集热场模拟需要的计算量非常大，原有计算机计算性能不能满足要求，需要升级计算硬件系统，包括：PowerEdge R930 服务器 1 台，价格为 38,000.00 元/台；交换机 1 台，价格为 2,000.00 元/台。

2、材料费 合计费用为 7.85 万元。

(1) 测太阳光聚光能流密度值，用美国 Vatel 热流密度传感器 2 个，1,2300 元/个，合计 2.46 万元。

(2) 弱光照度传感探头，3.50 万元。定日镜场的月光聚光法测量吸热器表面的聚光能流密度分布，需要用到大量的弱光照度传感探头，以阵列的方式直接测量，需用 50 行 $\times$ 10 列=50 个探头，单价：700.00 元/个，50 个 $\times$ 700.00 元/个=35,000 元。

(3) 快速反应铠装热电偶，1.20 万元。该材料单价为 1,500.00 元/个，需要 8 个，共计 1.20 万元。

(4) 劳保用品及五金配件，0.69 万元。

3、测试化验加工费 合计费用为 4.50 万元。

(1) 用于定日镜场镜面精度测量，拟请北京天拓测绘公司测量，一次 4.5 万元。

4、燃料动力费合计费用为5.82万元。聚光系统能流实验和熔融盐吸热器多工况实验用到。耗电30,000kWh，单价：0.78元/kWh，0.78元/kWh $\times$ 30,000kWh=2.34万元。实验用水6,000吨，单价：5.8 元/吨，5.8 元/吨 $\times$ 6,000吨=3.48万元。

5、差旅、会议、国际合作交流费 合计费用为17.23万元。



旅费合计费用为 8.19 万元。

(1) 市内交通费，共计 1.56 万元。去太阳能实验基地和市内公交、地铁等。

(2) 调研差旅，2.00 万元。4 年共 10 人次， 2,000 元/人次。

(3) 项目年度检查、课题研讨会，2.00 万元。10 人次参会，2,000 元/人次。

(4) 外埠交通费，2.63 万元，(a) 高级人员差旅费：4 人次  $\times$  (530 元/天 $\times$ 3 天+1,500 元)=1.236 万元。(b) 普通人员差旅费：8 人次 $\times$ (380 元/天 $\times$ 3 天+ 600 元)=1.392 万元。

会议费合计费用为 4.14 万元。组织 2 次项目交流及协调会，每次 8 人，每次 2 天，共计 16 人次 $\times$ 2 天/次 $\times$ 450 元/人天=1.44 万元。参加 4 次国内太阳能热发电会议，每次 5 人，每次 3 天，共计 20 人次 $\times$ 3 天/次 $\times$ 450 元/人天=2.70 万元。

国际合作与交流费合计费用为 4.90 万元。(1) 参加 SolarPACES 会议 2 次，4.20 万元。每次会期 5 天，往返机票 9500 元/人次，食宿折合人民币 1600 元/人天。注册费折合人民币 7,000 元/人次。 $2 \times (5 \times 1,600 + 9,500 + 7,000) = 4,9000$  元

6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费 合计费用为 8.00 万元。(1) 论文发表，共计 2.00 万元。(2) 专利与软件著作权，2.40 万元。(3) 科技查新，1.0 万元。该文献资料费用为每次 2,000.00 元，共 5 次。(4) 打印复印、邮寄、购买图书等，1.00 万元。(5) 资料调研网络费，0.40 万元。(6) 英文论文语言润色费用，1.20 万元。

7、劳务费合计费用为 12.00 万元。

参研博士生 1 人、硕士生 3 人。博士 800 元/人月，硕士 600 元/人月，工作时间是 10 月/年，总共 4 年。博士：1 $\times$ 800 $\times$ 4 $\times$ 10=3.20 万元；硕士：3 $\times$ 600 $\times$ 4 $\times$ 10=7.20 万元；开展定日镜场聚光实验以及 1MWt 熔融盐太阳能聚光吸热器系统的多工况实验，是综合实验过程，研究生和电站现场的勤杂人员都需要参与其中。(1)临时用工人员的劳务费 400 元/人天 $\times$ 40 人天=1.6 万元。

8、专家咨询费合计费用为 1.60 万元。每年 2 人次，每次 2 天，每人每天 1,000 元。

9、其他支出 无。

二、自筹资金 无。

项目负责人签字：

科研部门公章：

财务部门公章：



## 报告正文

研究内容和研究目标按照申请书执行。



## 国家自然科学基金资助项目签批审核表

<p>我接受国家自然科学基金的资助，将按照申请书、项目批准意见和计划书负责实施本项目（批准号：51976058），严格遵守国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、财务等各项规定，切实保证研究工作时间，认真开展研究工作，按时报送有关材料，及时报告重大情况变动，对资助项目发表的论著和取得的研究成果按规定进行标注。</p> <p>项目负责人（签章）： 年 月 日</p>		<p>我单位同意承担上述国家自然科学基金项目，将保证项目负责人及其研究队伍的稳定和研究项目实施所需的条件，严格遵守国家自然科学基金委员会有关资助项目管理、财务等各项规定，并督促实施。</p> <p>依托单位（公章） 年 月 日</p>					
本栏目由基金委填写	<p>科学处审查意见：</p>						
	<p>建议年度拨款计划（本栏目为自动生成，单位：万元）：</p>						
	年度	总额	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
	金额						
本栏目主要用于重大项目等	<p>科学部审查意见：</p> <p>负责人（签章）： 年 月 日</p>						
	<p>相关局室审核意见：</p> <p>负责人（签章）： 年 月 日</p>						
本栏目主要用于重大项目等	<p>委领导审批意见：</p> <p>委领导（签章）： 年 月 日</p>						