

一、项目名称

基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明技术体系构建与应用

二、申报奖种及等级

山东省科技进步奖 二等奖

三、提名者及提名意见

提名者：山东省科学院

提名意见：该项目提名书及其附件材料真实有效，均符合填写要求。按照规定，对该项目的拟提名情况进行了公示，公示期间无异议。

山东省科学院能源研究所等单位立足于我国经略海洋重大战略需求，以发展海洋领域节能高效照明技术为目标，经过多年攻关，构建了基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术体系，并实现了大规模推广应用。主要科技创新有：（1）构建了基于洛伦兹混沌循环的微通道无动力液冷高热流传热理论体系，突破了微小空间内高热流散热技术瓶颈，并深度融合 LED 芯片散热需求，独创了大功率 LED 芯片微通道高热流散热技术；（2）研发了海洋大功率 LED 照明装置系统性防腐技术，保障了照明系统高效稳定运行；（3）研制了大功率 LED 数字化智能驱动电源，开发了海洋大功率 LED 照明系统高效集成技术，形成海洋领域 LED 节能照明系列产品并实现了产业化应用。项目填补了我国在海洋大功率 LED 照明领域的技术空白，实现了同类进口产品的国产化替代，近三年推广应用产生经济效益约 9.3 亿元，

为涉海企业节约了大量照明能耗，经济与社会效益显著。

第三方评价认为，项目突破了半导体照明向大功率方向发展的技术瓶颈，解决了海洋大功率 LED 散热的行业难题，对海洋产业的发展具有显著推动作用，整体技术达到了国际先进水平，在大功率 LED 无动力液冷散热技术方面达到了国际领先水平。项目成果获国家发明专利 12 项、实用新型专利 10 项，在国内外权威期刊发表 SCI/EI 论文 58 篇。

提名该项目申报山东省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

大功率照明是海上作业和海岸工程等涉海领域的基础保障，目前我国 90% 以上的海洋大功率照明采用传统金属卤化物照明，存在耗能高、光污染严重等问题，迫切需要开发节能高效的新一代海洋大功率照明技术。现有照明技术中，LED 照明因其能耗低（较金卤灯节能 60%）、无紫外线等优势，被我国《国家中长期科技发展规划纲要》列为优先发展主题，成为了替代传统照明的首选方案。但海洋环境特殊属性对 LED 照明功率、亮度和抗腐蚀等提出了更加苛刻的要求，国内现有技术与发达国家存在明显的差距，亟待在理论与技术方面取得突破，促进我国海洋大功率照明技术更新换代。

目前大功率 LED 照明技术在海洋特殊环境下使用时面临的瓶颈问题主要包括：（1）海洋环境对照明亮度和功率要求高，大功率 LED 芯片在微小空间内具有极高的发热量，这是 LED 芯片超温损坏的根源；（2）在高盐、高湿环境下，LED 照明装置极易发生腐蚀失效；（3）

在海洋孤立电网中，大功率 LED 驱动系统转换效率较低，大量电能以无效功形式损失。

在国家 863 计划、国家自然科学基金等课题的支持下，本项目经过十余年攻关，系统解决了上述难题，构建了基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明技术体系，实现了技术的自主研发并进行了产业化推广。项目主要创新点如下：

- 1、独创了大功率 LED 微通道无动力液冷高热流散热技术。基于洛伦兹混沌循环原理，构建了微通道无动力液冷高热流传热理论体系，率先揭示了在无外部动力条件下微通道内热量高效输运机制，为微小空间内发热量的快速输运奠定了共性理论和技术基础；深度结合 LED 芯片散热需求，独创了大功率 LED 芯片微通道散热技术，实现了单体 1000 W 以上 LED 长期运行时芯片结温保持 90℃ 以下，在相同散热效果下产品重量为国际同类产品的 50%，突破了海洋大功率 LED 芯片散热技术瓶颈；

- 2、开发了海洋高盐高湿环境中大功率 LED 照明装置系统性防腐技术。针对海洋高盐高湿的苛刻工作条件，研发了环境友好的氟塑料与碳纤维复合型低热阻防腐材料、缓蚀阻垢导热介质，开发了耐腐蚀且散热性能强的大功率 LED 照明装置，连续使用寿命超 5 年，保障了海洋大功率 LED 照明系统长期稳定运行；

- 3、研制了海洋孤立电网条件下 LED 高功率因数驱动技术并开发了海洋大功率 LED 照明系列产品。基于三相维也纳方法和 APFC 架构，创制了大功率 LED 数字化驱动技术，功率因数超 0.99，价格仅为同

类进口产品的 1/3；开发了海洋大功率 LED 照明系统高效集成技术，形成了千瓦级集鱼照明、万瓦级港口照明等系列 LED 产品。

项目技术在山东省和江苏省多家企业得到大规模应用，企业三年内实现经济效益约 9.3 亿元，应用情况获得新华社、山东省政府官网、大众日报等媒体报道。项目实施过程中，获国家发明专利授权 12 项、实用新型专利 10 项，发表 SCI/EI 论文 58 篇，关键技术经专家鉴定达到国际领先水平，填补了我国在海洋大功率 LED 照明领域的技术空白，实现了同类进口产品的国产化替代。同时，项目成果为涉海企业节约了大量照明能耗，在资源节约、海洋环境保护等方面具有突出的经济价值与社会效益。

五、主要知识产权和标准规范等目录

按照手册要求填写，不超过 10 件，以表格形式体现（以下为例，自行编排）。（字体：仿宋四号）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成单位是否参与	第一完成人是否参与
发明专利	氟塑料换热结构的制备方法	中国	ZL201810420732.4	2019-11-15	3597168	山东省科学院能源研究所	刘志刚, 梁世强, 许敏	有效	是	是
发明专利	有机载冷/导热介质及	中国	Z1201611244904.	2019-11-15	3599785	山东省科学院能源研究所	姜桂林; 刘志刚; 张承武;	有效	是	是

	其制备方法		4				高博; 吕明明; 张思卓; 徐裕隆			
发明专利	毛细通道换热器及其制备方法	中国	CN201910584003.7	2020-12-04	4133014	中国科学院工程热物理研究所; 衡水中科衡发动力装备有限公司	梁世强; 蔡浩飞; 朱玉铭; 姜玉雁; 郭永献	有效	否	否
发明专利	氟塑料换热结构	中国	ZL201610506809.0	2018-11-20	3156236	山东省科学院能源研究所	刘志刚; 梁世强; 许敏; 张承武	有效	是	是
发明专利	微小空间内温度精确测量装置及探头和测温方法	中国	ZL201110364336.2	2013-5-8	1192228	山东省科学院能源研究所	刘志刚, 张承武	有效	是	是
发明专利	一种蒸汽滴状冷凝换热表面的制备方法	中国	ZL200810222340.3	2011-02-02	736591	中国科学院工程热物理研究所	梁世强; 陈亮; 淮秀兰	有效	否	否
发明专利	一种毛细管换热器管板和毛细管的焊接方法	中国	CN201910111087.2	2019-06-14	4012075	中国科学院工程热物理研究所; 衡水中科衡发动力装备有限公司	梁世强; 蔡浩飞; 朱玉铭; 姜玉雁; 郭永献	有效	否	否

发明专利	一种化学吸收式制冷工质对	中国	CN201110080317.7	2015-01-07	1561861	中国科学院工程热物理研究所	梁世强; 桂小红; 成克用; 陈伟	有效	否	否
发明专利	一种在铜质换热器表面固载离子液体的方法	中国	ZL200810056728.0	2008-1-24	729698	中国科学院工程热物理研究所, 江苏中国科学院能源动力研究中心	梁世强; 淮秀兰; 蔡军; 陶毓伽; 李志刚	有效	否	否
实用新型专利	一种大功率 LED 散热/余热利用系统	中国	ZL201921702523.5	2020-06-16	10762747	山东省科学院能源研究所	贾磊, 刘志刚, 吕明明	有效	是	是

六、主要完成人情况表 (姓名、国籍、身份证号、排名、技术职称、工作单位、二级单位、完成单位、参加本项目的起止时间、对本项目技术创造性贡献、曾获省级以上科技奖励情况)

按照手册要求填写, (字体: 仿宋四号), 举例如下:

1. 姓名: 刘志刚; 国籍: 中国; 排名: 1/9; 技术职称: 研究员; 行政职务: 副所长; 工作单位: 山东省科学院能源研究所; 二级单位: 无; 完成单位: 山东省科学院能源研究所; 参加本项目的起止时间: 2006.1-2020.12; 具体贡献: 该完成人是本项目的科研带头人, 是总体技术思路 and 理论体系的提出者, 负责制定总体研究方案和技术路

线，是本项目主要科技创新（一）、（二）和（三）的主要贡献者，投入本项目工作量约为本人工作量的 80%。提出了微通道无动力液冷高热流散热方式和基于耐腐蚀氟塑料与高导热碳纤维复合材料的新型低热阻防腐技术，解决了大功率 LED 芯片散热以及防腐效果与散热效果呈负相关的技术难题；组织完成大功率 LED 系统在鱿鱼钓船、港口照明等场合的应用示范工程建设 3 项，并与企业合作，联合推进技术产品的产业化实施，是第 1、2、4、9 和 10 项主要知识产权的主要贡献者，3 项鉴定成果的主要完成人；曾获奖励情况：2019 年获山东省自然科学二等奖，首位完成人。

2. 姓名：吕明明；国籍：中国；排名：2/9；技术职称：副研究员；行政职务：强化传热研究室副主任；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2015.12-2020.12；具体贡献：作为项目的主要完成人对主要科技创新点（一）和（二）做出了重要贡献，对微肋阵等微通道散热结构内的流动换热特性进行了研究，获得了微通道内流体流动特性与传热行为的微观内在关联，为发展用于海洋大功率 LED 照明芯片散热的微空间无动力液冷技术提供了理论支撑；参与开发了微通道散热系统专用的缓蚀阻垢、环境友好型水性系列导热介质。是第 2、9 和 10 项主要知识产权的贡献者，是鉴定成果“300W 以上功率 LED 灯散热系统”、“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：无

3. 姓名：梁世强；国籍：中国；排名：3/9；技术职称：副研究员；

行政职务：无；工作单位：中国科学院工程热物理研究所；二级单位：无；完成单位：中国科学院工程热物理研究所；参加本项目的起止时间：2006.6-2020.12；具体贡献：本项目的完成人员，对主要科技创新点（一）做出贡献，提出了毛细管换热器管板和毛细管的焊接的新方法，研究了不同参数微通道散热系统的换热特征，优化了微通道换热系统的制备方法，有效提高了 LED 照明装置微通道散热系统的稳定性，是第 3，6，7 和 8 项主要知识产权的贡献者；曾获奖励情况：无。

4. 姓名：段炼；国籍：中国；排名：4/9；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2018.9-2020.12；具体贡献：对主要科技创新点（三）做出了突出贡献，负责项目产品的技术集成与应用推广，在项目的产业化过程中起到了关键的推动作用，是第 10 项主要知识产权的贡献者，是鉴定成果“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：无。

5. 姓名：姜桂林；国籍：中国；排名：5/9；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2012.1-2020.12；具体贡献：对主要科技创新（二）做出了突出贡献，针对系统内部防腐，研发出水性环保、导热性能优异、缓蚀阻垢性能长效的纳米流体导热介质，本项目中为主要知识产权 2 的第 1

完成人、鉴定成果“300W 以上功率 LED 散热系统”、“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：无。

6. 姓名：季璨；国籍：中国；排名：6/9；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2017.7-2020.12；具体贡献：对主要科技创新点（一）做出了突出贡献，基于创新的微槽群、微肋阵等微通道强化换热结构，构建了微空间内流动与换热三维综合数学物理模型，获得了流动与传热行为的微观内在关联，是鉴定成果“300W 以上功率 LED 散热系统”和“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：无。

7. 姓名：侯延进；国籍：中国；排名：7/9；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2016.9-2020.12；具体贡献：对主要科技创新（三）做出了突出贡献，研发了大功率 LED 专用电源、LED 芯片运行情况在线监测系统，负责电气部分产业化技术开发及技术支持，是鉴定成果“300W 以上功率 LED 散热系统”、“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：2020 年获中国商业联合会科学技术奖，首位完成人。

8. 姓名：黄继凯；国籍：中国；排名：8/9；技术职称：助理研究员；

行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2018.9-2020.12；具体贡献：对主要科技创新（三）做出了突出贡献，参与研发了千瓦级 LED 集鱼照明系统，负责将高热流散热微结构技术与流动减阻技术集成到无动力液冷散热系统中，对散热系统性能进行测试和优化，是鉴定成果“基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术”的主要完成人；曾获奖励情况：无。

9. 姓名：王里根；国籍：中国；排名：9/9；技术职称：无；行政职务：办公室主任；工作单位：山东院乔实业集团有限公司；二级单位：无；完成单位：山东院乔实业集团有限公司；参加本项目的起止时间：2017.06-2020.12；具体贡献：对主要科技创新（三）做出了贡献，参与了项目的应用示范与产业化推广，测试、分析了鱼类生长情况与光参数之间的关系，作为骨干完成了大功率 LED 照明系统在海水养殖领域的示范与工程化应用；曾获奖励情况：无。

七、主要完成单位情况表（单位名称、排名、对本项目科技创新和推广应用情况的贡献）

按照手册要求填写，（字体：仿宋四号），举例如下：

1. 山东省科学院能源研究所：山东省科学院能源研究所作为本项目的第一完成单位，全面负责本项目整体理论体系和总体技术思路的建立以及总体研究方案和技术路线的制定，为本项目科研创新、成果转化提供了全方位的条件支持。对主要科技创新（一）、（二）和（三）做出了重要贡献。创新性的提出了微通道无动力液冷高热流散热技

术,解决了大功率 LED 芯片散热的技术难题;自主研发了海洋 LED 照明系统低热阻防腐技术,保障了海洋照明系统长效稳定运行;研发了大功率 LED 数字化智能驱动电源,突破了孤立电网下高效驱动与控制技术瓶颈,开发出了海洋大功率 LED 照明系统高效集成技术,研制出了新一代海洋大功率 LED 照明系统系列产品,包括用于海洋捕捞和港口照明的千瓦级 LED 集鱼照明系统、万瓦级 LED 高杆照明系统等,建立了多项示范工程,并与企业合作积极推进了技术的产业化推广。在项目实施过程中,获得发明专利授权 15 项,发表 SCI 论文 50 余篇,培养研究生 30 余名。

2. 中国科学院工程热物理研究所:中国科学院工程热物理研究所作为本项目的第二完成单位,与山东省科学院能源研究所合作开发出基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明关键技术,对主要技术创新点(一)做出了突出贡献:提出了适用于大功率 LED 的毛细管换热器管板和毛细管的焊接方法、毛细通道换热器及其制备的新方法,显著提高了微通道散热系统的换热性能,保障大功率 LED 照明装置稳定运行。

3. 山东院乔实业集团有限公司:该项目的第三完成单位,与山东省科学院能源所合作推广基于微通道高热流散热的海洋大功率 LED 照明系统在海洋捕捞、渔业养殖以及港口照明等领域的应用,是本项目主要科技创新(三)的贡献单位。

八、完成人合作关系说明

本项目完成单位山东省科学院能源研究所、中国科学院工程热物

理研究所经过多年联合攻关，开发出海洋大功率 LED 照明系统关键技术体系并实现产业化。山东省科学院能源研究所流动与强化传热实验室刘志刚主任/研究员等与中国科学院工程热物理研究所传热中心梁世强副研究员自 2006 年开始合作，共同完成多项科研课题与知识产权。刘志刚与梁世强合作立项/完成了国家 863 课题(2007AA05Z259)、山东省联合基金项目 (ZR2018LE016)、山东省重点研发计划 (2019GSF109019) 以及山东省科学院创新工程 (大功率 LED 灯高效散热关键技术研发与示范)，共同授权发明专利 2 项，联合发表 SCI 论文 1 篇，在主要技术创新 (一) 中山东省科学院能源研究所与中国科学院工程热物理研究所有明确合作。

山东省科学院能源研究所流动与强化传热实验室刘志刚主任/研究员等与山东院亦实业集团有限公司王里根主任自 2017 年开始合作，共同完成大功率 LED 照明系统在海水养殖领域的工程示范与产业化推广，在主要科技创新 (三) 中山东省科学院能源研究所与山东院亦实业集团有限公司有明确合作。

作为山东省科学院能源研究所强化传热团队成员，刘志刚、吕明明、段炼、姜桂林、季璨、侯延进、黄继凯从 2005 年开始，先后陆续进入山东省科学院能源研究所，共同从事微通道强化传热、导热介质与 LED 驱动技术方面的科研工作，共同完成了多项该领域的纵/横向课题，包括山东省重点研发计划 (300W 以上功率液冷无动力 LED 灯散热系统、高导热环保型中高温太阳能导热介质)、山东省科学院创新工程 (大功率 LED 灯高效散热关键技术研发与示范) 等，合作完

成了多项论文、专利等成果，在主要技术创新（一）、（二）、（三）中有明确合作。