

推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称	高效水平轴海流能发电技术及其系列装备的岛礁应用
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>海流能是一种取之不尽、用之不竭的海洋可再生能源。海流能发电装备是创新设计与先进制造、新能源、海洋战略国家重大需求的“交汇点”，也是“机电液测控”学科前沿的“交叉点”。项目打破欧美长期技术封锁，针对海流发电机组作为能源装备的高效性、海洋极端服役环境装备的可靠性、供电装备的功率稳定性“三大（类）科学技术难题”，历经十多年基础研究，技术创新和工程应用验证，形成“高效水平轴海流能发电技术及其系列装备的岛礁应用”技术成果和有自主知识产权的海流发电机组系列，并在浙江舟山、山东青岛等海域建成国内最大规模列阵运行的海流能水下发电场。项目在大驱动力液压变桨、动密封新概念新结构、高效防水发电机、海流能海岛独立供电系统等方面取得原创性技术成果，在国内外产生广泛学术影响，获授权国家发明专利、软件著作权 20 多项，发表 SCI 和 EI 收录论文 50 多篇，取得了显著的经济效益、社会效益和国防效益。</p> <p>对照技术发明奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家技术发明奖一等奖。</p>	

项目简介:

海流能是一种取之不尽、用之不竭的海洋可再生能源。项目研究可高效捕获流动海水动能的海流发电关键技术及系列化装备，是国际学术前沿和研究热点，也是创新设计与先进制造、新能源、海洋战略国家重大需求的“交汇点”，“机电液测控”学科的“交叉点”。在国家自然科学基金重点项目、国家 863 计划重点项目课题、国家海洋局海洋可再生能源专项、军委科技委创新局项目支持下，采用国际主流高效水平轴技术路线，历经十年持续研究，攻克海流发电机组作为能源装备的高效性、作为海洋极端服役环境装备的可靠性、作为供电装备的功率稳定性“三大（类）科学技术难题”，实现若干关键技术原始创新和“机电液测控系统”集成创新，形成“高效水平轴海流发电技术及其系列装备的岛礁应用”技术成果，打破了欧美多年的技术垄断，显著提升了中国海流能利用整体技术水平和国际学术影响力。项目持续研制的 5kW、30kW、60kW、120kW、300kW、600kW 和 650kW 半直驱、液压传动、机械传动机组系列，以及涉海特种仪器专用 50W、500W、2kW、75kW 直驱机组系列，为我国海洋国土、海洋仪器和海防设施，提供了一类特色能源系列化装备，为解决我国东海、南海岛礁能源有效供给难题提供了全新的技术方案。项目主要创新成果如下：

(1) 率先提出“大长径比约束”整机优化设计概念、方法和流程。在同等功率“型族”中优选“最小化”径向尺寸以减小化挡水面积，适度增加机组轴向长度，优化传动效率、散热性能和强度指标，形成以流场顺畅、高效可靠为特征的“狭长型”水平轴半直驱海流发电机组系列，受到国内外同行广泛关注。

(2) 提出非定常效应叶片翼型三维构造方法，通过全流场 CFD 数模、数值样机和水动试验，形成完整的海流能机组叶轮设计体系，叶片效率指标（CP 值）达到国际先进水平。

(3) 首创海流能装备液压变桨对流机构与控制技术。在轮毂狭小空间内完成大推力桨叶 180 度旋转闭环控制与驱动，实现双向对流发电、变速增效发电、机组安全发电三大功能。

(4) 发明并率先实现基于“内压大于外压”概念和三层组合方法的主轴动密封结构，数年实海况运行表明可保证机组安全。

(5) 发明并研发出一种采用外转子结构和离心密封防水工艺的直驱型海流发电机组，从原理上去除机械密封阻尼，实现特种海洋仪器“海能海用”、分布供能、隐蔽供能、低速启动、可靠防水的技术特征。

(6) 创立国内目前唯一包含实验室验证、厂区真机测试和实海况试验三项功能的海流装备设计验证体系。

比较之国内外同类技术，项目原创并形成高效系列化海流发电机组，应用于东海舟山、黄海胶东、南海××岛礁和海域，建成国内最大规模水平轴海流机组发电场。**创单机实际装机功率最大，单机发电功率最大，累计发电时间最长，累计发电量最大，首次多机组列阵运行发电，首次稳定并入国家电网，首次海流/风电/光伏/储能联合海岛微网供电 8 项全国纪录；军民两用机组应用于我国海域特种仪器供电；**提升了我国海洋能利用整体技术水平和国际影响力，推进了装备标准化、系列化、产业化进程。近三年新增销售额超过 10 亿，新增利润超过 2 亿。项目获国家发明专利、软件著作权 20 多项，发表 SCI/EI 论文 50 多篇。

客观评价：

1 学术评价

项目组海流能利用研究始于 2004 年。提出“大长径比整机设计概念”、液压大推力变桨机构、压差防渗动密封结构等原创性发明。迄今研制了 50-500W, 5kW、25kW、30kW、60kW、120 kW 和 650kW 系列机组产品。最早实现实海况稳定运行的 60kW 机组是目前国内实际发电时间最长、累计发电量最大的海洋能发电机组。研制的 120kW 并网型机组是目前国内实际发电功率最大的海洋能发电机组。项目获国家发明专利、软件著作权 20 多项, 发表多篇高影响因子 SCI 论文。有关工作得到国家科技部、国家自然科学基金委、国家海洋局和国内外同行专家的高度评价：(1) 以全票获 A 通过国家自然科学基金重点项目验收。(2) 国家海洋局“专报”表彰项目突出工作。(3) 中国代表(哈电副总师)向国际 IEC/TC114 标委会主席团推介浙大机组, 认为是一种“最有前途的机型”。(4) 海洋能“鼻祖”英国数十位著名大学专家和企业界朋友来访交流并专门发出学术访问邀请。(5) 国家自然科学基金委、科技部、海洋局、舟山市等领导、行业专家、企业代表和海洋能热心人士上百起、超千人参观浙大舟山等“水下发电站”。(6) 项目学术带头人在中国 2016 海洋能年会、中葡 2016 年可再生能源研讨会和 OI China2015 国际会议做主旨报告, 扩大了中国海洋能研究的学术影响。

2 鉴定会

2014 年 12 月 26 日, 中国机械工业联合会杭州组织并主持召开了“水平轴半直驱海流发电装备及技术”科技成果鉴定会。由科学院院士、资深教授、研究员组成的鉴定委员会一致认为：“该项目技术难度大, 机电液集成程度高, 取得了多项重大技术创新和突破, 关键技术达到国际先进水平, 其中大长径比半直驱结构、液压变桨和压差防渗的主轴组合密封具有原创性。一致同意通过鉴定。”

3 查新

项目经教育部科技查新工作站国内外查新, 结论有：

(1) 相关文献中均未提及水平轴海(潮)流能机组“大长径比”半直驱传动设计, 即将低传动比齿轮箱结合低速发电机构建成半直驱传动结构, 并通过“最小化”径向尺寸, 适度增加机组主体长度, 形成大长径比狭长型的机组主体结构形式, 从而减小机组挡水面积, 提高能量捕获。(2) 未见国内有关海(潮)流能发电的液压变桨技术的文献报道, 未见有关水平轴式海(潮)流能发电的液压变桨技术和装置的中外文文献报道。(3) 仅见 1 篇由国电联合动力技术有限公司申请的潮汐能发电机组组合密封结合“内压大于外压”密封技术的专利文献报道, 但该专利申请时间晚于此查新项目组专利的申请时间。(4) 未见有关创立“机电液测控网”集成的海流能发电装备设计验证系统, 包括实验室半物理仿真、厂区真机试验与实海况运行试验三大功能在内的相对完善的试验体系的文献报道。

4 专业部门检测

对 60kW 机组及其运行状态进行了第三方检测与验证：(1) 中国船级社(见《试验见证报告》), (2) 浙江省机电产品质量检测所(见《检测报告》)和(3) 海洋能专家现场检测。其中中国船级社见证报告的结论：机组自启动流速 0.65~0.71m/s, 18 小时记录时间段累计发电量为 247kWh。另在报告记录数据中流速低于 0.5m/s 时, 仍能发电运行。以中国船级社《试验见证报告》的试验数据进行分析得到, 叶轮的能量捕获效率超过 40%。以上第三方检测验证结果表明项目研制机组能稳定发电, 其低速启动性能, 特别是叶轮捕获效率达到国际同类机组先进水平。

5 国家、地方管理部门评价

(一) 国家海洋局——在 2016 年 6 月 20 给中央政治局、书记处题为“我国海洋可再生能源开发利用取得新突破”的《海洋专报》开篇提到：“浙江大学在舟山海域建

成了海流发电示范电站，累计发电量刷新了我国海流能装置发电记录……，是目前国内实际发电时间最长，发电量最大的机组，其稳定运行时间和能源转化效率等指标达到国际领先水平。该技术具有在东海推广的前景，有望实现海洋能海岛（礁）独立供电，也可服务于“一带一路”沿线国家海洋能开发利用。

（二）浙江省舟山市海洋与渔业局——就项目社会、经济效益出具证明，要点包括：（1）“十年磨一剑，久久为功；（2）海洋新能源，“地标渐成”；（3）产业转型路，服务社会；（4）海洋新科技，军民两用。

（三）有关项目通过国家自然科学基金委、国家科技部、国家海洋局组织的验收，均获得好评。

推广应用情况：

1、主要经济效益。研发生产高效水平轴潮流能机组系列化主机装备及关键部件，实现其产品系列化。其中机械传动、密封、变桨、加载测试和漂浮式海试平台组件技术分别在南京高精船用设备有限公司、浙江中盛船舶设备有限公司和浙江运达风电股份有限公司推广用；电气、控制部件、外转子密封防水发电机技术分别在阳光电源股份有限公司、杭州江河水电科技有限公司得到推广应用。上述项目应用推广近三年来新增销售额超过 10 亿，新增利润超过 2 亿。

2、主要社会效益。建成完善浙江舟山摘箬山岛海流能独立供电/风光流储多能互补供电应用系统，连续发电运行时间创纪录，满足海岛居民、海洋科技活动日常用电需求。建成浙江摘箬山岛、岱山岛和山东斋堂岛海上试验场（站），满足哈尔滨电机厂有限责任公司、国电集团企业、杭州江河水电科技有限公司、国家海洋技术中心等企业事业单位海流发电装备实海况试验运行的实际需求。

3、主要国防效益。发明研制特种仪器“海能海用”供电单元，为中国船舶工业系统工程研究院、中船重工集团 726 所等单位在东海和南海目标海域的国防海洋测量/护卫装置及其网络系统提供电力，解决低流速高效发电、隐蔽式就地取能等关键技术难题。应用推广工作得到军委创新项目、国家海洋能专项和××预研项目的支持，为实现有关部门“坚守东海，移师南海”的战略性推广应用要求打下坚实基础。

主要知识产权证明目录:

[1]发明专利,一种低速半直驱海流能发电装置,中国,ZL201110269038.5,2013-09-18,刘宏伟,李伟,林勇刚,徐全坤,石茂顺,黄炜;

[2]发明专利,一种水平轴海流能发电装置的变桨距机构,中国,ZL201110272173.5,2014-03-19,徐全坤,刘宏伟,李伟,石茂顺,林勇刚,黄炜;

[3]发明专利,一种潮流发电机组的变桨毂,中国,ZL200910097050.9,2010-09-22,马舜,李伟,刘宏伟,林勇刚;

[4]发明专利,一种潮流能发电装置的控制方法,中国,ZL201310469887.4,2016-05-11,李伟,刘宏伟,徐全坤,林勇刚,石茂顺;

[5]发明专利,离网型海流能发电装置及其控制方法,中国,ZL201210545434.0,2015-02-1,刘宏伟,徐全坤,石茂顺,李伟,林勇刚,丁金钟;

[6]发明专利,海流能发电装置及其控制方法,中国,ZL201310007287.6,2014-12-24,周宏宾,石茂顺,刘宏伟,李伟,林勇刚,徐全坤,丁金钟;

[7]发明专利,一种海流能发电装置的水下密封方法,中国,ZL201210121456.4,2013-03-13,顾海港,刘宏伟,李伟,石茂顺,林勇刚,徐全坤,李飞龙;

[8]发明专利,自变距双向流海流电站专用透平,中国,ZL201010128488.8,2011.12.21,张雪明,朱挽强,张萧,陈健梅,董永军;

[9]发明专利,海洋潮流能水平轴自补偿双向整体调向发电装置,中国,ZL201110250050.1,朱挽强,张雪明,徐明奇,张萧,董永军;

[10]软件著作权,多参数关联的复杂产品装配性能预测软件系统,中国,2013SR087292,浙江大学(刘振宇)

主要完成人情况：

1. 李伟，排名 1，教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，是该项目的主要负责人和学术带头人，对发明点 1、2、3、4、6 均有重要的贡献，对项目技术创新、规划管理负重要责任，并具体负责发电装备的整机设计和电气控制，在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 80%以上。
2. 刘宏伟，排名 2，副教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，是项目所列主要核心发明专利的发明人和论文的作者之一，对发明点 2、3、4、6 均有重要的贡献，主要负责项目中海流能机组变桨控制及其整机试验相关的技术研究，该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 90%。
3. 张雪明，排名 3，教授，东北师范大学，是项目的第二单位的主要负责人，对发明点 5、6 均有重要的贡献，主要负责项目中海流能机组直驱发电机及其整机试验相关的技术研究，在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 80%以上。
4. 林勇刚，排名 4，副教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，是项目所列主要核心发明专利的发明人和论文的作者之一，对发明点 2、4、6 均有重要的贡献，主要负责项目中海流能发电机组叶片及其整机试验相关的技术研究，该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 90%。
5. 刘振宇，排名 5，教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，是项目的主要参加者之一，对发明点 1, 2 均有重要的贡献，主要负责项目中海流能机组数字化样机整机设计与装配及其叶轮水动力分析的技术研究，在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 70%以上。
6. 顾海港，排名 6，高级工程师，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，是项目的主要参加者之一，对发明点 4, 6 均有重要的贡献，主要负责项目中海流能机组密封及其整机试验相关的技术研究，该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 90%。

完成人合作关系说明：

完成人李伟、刘宏伟、林勇刚、刘振宇、顾海港均为浙江大学教师。第一完成人李伟是刘宏伟、林勇刚的博士导师和顾海港的硕士导师，共同承担多项国家项目、申请授权发明专利和发表科技论文。李伟、刘振宇均为国家自然科学基金委“机电液”创新群体主要成员，是海流发电技术装备数字化设计与装配方面的合作者，共同进行海流能发电机组数字化设计和叶轮水动力分析的研究。五位老师是目前浙江大学海流能研究团队核心成员。

第三完成人张雪明为东北师范大学教授，浙江大学和东北师范大学是我国最早从事水平轴海流能发电机组研究的科研单位，双方有着长期合作的工作基础，共同承担并完成了国家科技部支撑计划项目“20kW 海流能装置关键技术与示范”（见附件），目前双方的合作集中在浙江省舟山市摘箬山岛、山东省青岛市斋堂岛海流能发电场建设等方面，并继续共同致力于低速高效高可靠性海流发电技术的南海岛礁应用。