附件2：

**技术发明奖公示内容**

**项目名称：高效率水平轴海流能发电技术与系列装备**

**项目简介：**

海流能属取之不尽、用之不竭的海洋可再生能源。水平轴海流发电机组是提取流动海水动能并转换为电能的重要装备，该装备技术被欧美长期垄断，对我国事实上禁运，该项目实施前，国内仅有垂直轴技术，效率不及水平轴的**50%**，英、美、德等现有水平轴装备仅限机械传动或直驱方式，存在的能量提取与转换效率低、极端海况之下可靠性低和间歇能量供电稳定性低三大国际性难题未得到有效解决，因此，必须自主发明创造。

该项目历经十多年研究，聚焦水平轴海流发电装备“能量提取转换高效性、极端海况服役可靠性、间歇能量供电稳定性”三大关键技术，另辟蹊径，走“**高效率半直驱水平轴**”设计创新之路，攻克了海流发电整机设计核心技术，发明了关键部件，形成我国自主研发制造能力，推进了装备产业化、系列化进程。

项目主要发明和创新包括：

**发明点1：高效传动与变桨增效技术。**针对能量提取与转换效率低的难题，揭示了半直驱结构长径比约束增效机理，精准寻求传动旋转系高增速提效与低增速可靠的平衡点，发明了“大长径比”半直驱高效传动技术和大推力液压变桨对流增效技术，有效减小了有害无效挡水面积，在轮毂狭小空间内完成桨叶180度旋转，相比常规变桨，推力面积比显著提高。

**发明点2：可靠动密封技术。**针对极端海况下可靠性低的难题，发明了“压差防渗”三层组合动密封技术；发明了离心密封防水工艺和外转子电机技术**，**突破了水下主轴动密封可靠性瓶颈，从根本上去除主轴机械密封阻尼和渗水忧患，大幅提高机组运行寿命。

**发明点3：均衡稳定供电技术。**针对间歇能量供电稳定性低的难题，发明了机液并联混合传动技术及液压柔性储能的海流能发电装备**，**突破海流能功率随流速3次方关系大幅变化时稳定供电的技术瓶颈。

项目发明催生了单机功率**5kW**到**650kW**高效水平轴海流能系列装备面世，为我国岛礁建设和海防设施提供特色能源装备，有效破解特种仪器海上供电难题。项目建成海流能水下发电场，技术成果应用于南京、合肥、舟山等多家企业，近三年经济效益显著。项目发展了水平轴海流发电技术，显著提升了我国海洋能利用整体水平和国际影响力。

机械工业联合会组织的成果鉴定认为该项目“**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**”。**项目获2016年教育部科技一等奖。**

**客观评价**

1 学术评价

项目组海流能利用装备研究始于2004年。提出“大长径比半直驱整机设计”、液压大推力变桨机构、压差防渗动密封结构等原创性概念和技术发明。迄今研制了50-500W特种海上仪用直驱机组，5kW、25kW、30kW、60kW、120 kW和650kW系列化半直驱海流发电机组产品。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（2016年7月）的海洋能发电机组。研制的百千瓦并网型机组则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、超千人参观浙江大学舟山“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（技术评价）

2014年12月26日，中国机械工业联合会在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报告。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**

项目关键技术催生高效水平轴海流发电机组系列装备及其机械传动、电气控制、变桨单元、密封部件和漂浮式海试平台组件等产品，产生显著的经济效益，其中：半直驱传动技术、液压变桨、密封部件和漂浮式海试平台、海流能机组离/并网控制技术和电子变流器装置、外转子密封防水发电机技术应用到企业内，形成产品。上述项目推广应用，近三年新增销售额超过20亿元，新增利税超过2亿元。

项目历经十年研究，渐次形成5kW 、30kW、60kW、120kW、300kW、600kW、650kW水平轴半直驱机组系列及涉海特种仪器专用50W、500W、2kW、75kW机组系列，在浙江、山东海域建成水下发电场，实现海流能海岛独立供电，为岛礁建设和海防设施提供特色能源装备，有效破解特种仪器海上供电难题。特别是浙大舟山海上海流能发电试验基地，为多个国内主要海洋能研究单位的新型海流发电装备提供重要技术和实海况试验条件支撑，社会效益明显。

**主要知识产权证明目录**

1. 发明专利，一种水平轴海流能发电装置的变桨距机构，中国，ZL201110272173.5，2014.3.19，1365727，浙江大学，徐全坤，刘宏伟，李伟，石茂顺，林勇刚，黄炜
2. 发明专利，一种海流能发电装置的水下密封方法，中国，ZL201110287674.0，2013.3.13，1151871，浙江大学，顾海港，刘宏伟，李伟，石茂顺，林勇刚，徐全坤，李飞龙
3. 发明专利，一种离网型混合传动海流能发电装置及其控制方法，中国， ZL201310166789.3，2015.5.27，1679462，浙江大学，涂乐，石茂顺，李伟，林勇刚，刘宏伟
4. 发明专利，一种潮流能发电装置的控制方法，中国，ZL201310469887.4，2016.5.11，2062273，浙江大学，李伟，刘宏伟，徐全坤，林勇刚，石茂顺，黄炜
5. 发明专利，一种低速半直驱海流能发电装置，中国，ZL201110269038.5，2013.9.18，1273547，浙江大学，刘宏伟，李伟，林勇刚，徐全坤，石茂顺，黄炜
6. 计算机软件著作权，复杂产品数字化装配工艺设计与仿真分析软件系统[简称：ZJUDMU-Process]，中国，2013SR087148，2013.8.20，0592910，浙江大学
7. 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， ZL201110250050.1，2013.5.22，1200509，东北师范大学，朱挽强，张雪明，徐明奇，张萧，董永军
8. 发明专利，离网型海流能发电装置及其控制方法 ，中国，ZL201210545434.0，2015.2.11，1583561，浙江大学，刘宏伟，徐全坤，石茂顺，李伟，林勇刚，丁金钟
9. 发明专利，一种模拟风力及海流载荷的多自由度动力加载装置，中国，ZL201210121456.4，2014.8.27，1471052，浙江大学；浙江运达风电股份有限公司，林勇刚，殷秀兴，叶杭冶，李伟，刘宏伟

10、发明专利，一种低速直驱液压型海流发电装置及其控制 ，中国，ZL201310116749.8，2015.10.21，1821706，浙江大学，刘宏伟，石茂顺，李伟，楼杉

**主要完成人情况**

1. 李伟，排名1，无，教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，十多年来一直从事海流能利用相关技术研究工作，是该项目主要负责人，对发明点1、2、3均有重要贡献，是该项目所列主要核心发明专利的发明人和论文作者之一，对项目技术创新、规划管理负重要责任，并具有负责发电装备的整机设计和电气控制，参与国际IEC/TC114委员会海洋能转换设备标准制定，在该项目技术研发工作中投入的工作时间占本人工作时间的 80%以上。
2. 刘宏伟，排名2，无，副教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，十多年一直从事海流能相关技术研究。是该项目所列主要核心发明专利的发明人和论文作者之一，对发明点 1， 2， 3 中主要技术均有重要的贡献，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，在该项目技术研发工作中投入的工作时间占本人工作时间的 90%。
3. 张雪明，排名3，无，教授，工作单位：东北师范大学，完成单位：东北师范大学，作为项目合作单位的技术负责人，十多年一直从事海流能相关技术研究。主要负责项目中海流能机组直驱电机及整机试验相关的技术研究，是项目所列相关发明专利的发明人和论文的作者之一，对创新点 2、 3 中主要技术作出创造性贡献。该项目技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 70%。
4. 林勇刚，排名4，无，教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，十多年一直从事海流能相关技术研究。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，是该项目所列主要核心发明专利的发明人和论文作者之一，对发明点 1， 2， 3 中主要技术均有重要的贡献，在该项目技术研发工作中投入的工作时间占本人工作时间的 90%。
5. 雷勇，排名,5，无，教授，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学，多年来一直从事电气控制和通讯技术研究，对项目创新点 1 和 3 均有贡献，在本项目承担海流能机组运行控制和远程监控技术研究，负责120kW和650kW 机组稳定运行算法程序，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. 刘振宇，排名6，副院长，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，主要负责项目中叶轮水动力分析、海流能机组数字化样机及整机设计与装配相关技术研究，在该项目技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量 70%以上。

**完成人合作关系说明**

完成人李伟、刘宏伟、林勇刚、雷勇、刘振宇均为浙江大学教师，流体动力与机电系统国家重点实验室固定成员。第一完成人李伟是刘宏伟、林勇刚的博士导师，共同承担多项国家项目、申请授权发明专利、发表科技论文以及获得2016教育部科技进步奖一等奖；雷勇自海外归国回来后参加海流能机组运行控制和远程监控研究，负责相关项目1项，与李伟、刘宏伟、林勇刚共同申报2017年海洋科学技术奖一等奖（已公示）；李伟、刘振宇均为浙江大学机械学科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（见合同），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岛礁应用研究。