**大禹水利科学技术奖科技进步奖**

（ 2022 年度）

**公示材料**

**清华大学**

**西华大学**

**新疆新华木扎提河水电开发有限公司**

**中交天津航道局有限公司**

**黄河水利水电开发集团有限公司**

**2022.6.6**

1. **成果基本情况**

|  |  |
| --- | --- |
| **成果名称** | 水力机械空化磨损控制关键技术及应用 |
|  **主要完成人** | 王正伟、刘小兵、彭崇、秦亮、肖明、罗永要、华红、李昌权、宋希杰、曾永忠、毕慧丽、么娆、马新红、李金峰、曹蕾、詹奇峰、杨静、刘健、罗斌、王忠强 |
|  **主要完成单位** | 清华大学、西华大学、新疆新华木扎提河水电开发有限公司、中交天津航道局有限公司、黄河水利水电开发集团有限公司 |
| **提名单位**  | 清华大学 |
| **成果类别****（单选）** |  ✓技术推广成果  |
| **专业领域** | 1． 水利机械  |
| **研究方向** | 1． 水力机械与机电  |
|  **任务来源** | **D. 自然基金资助** **E. 其他单位委托**   |
| **依托项目计划（合同）名称和编号** | **起始时间** | **完成时间** |
| 国家自然科学基金-重点项目[51439002]：离心泵流动不稳定性机理及其控制 | 2015年1月 | 2019年12月 |
| 国家自然科学基金-面上项目[51279172]：水轮机转轮叶片表面、沙粒和空化相互作用机理研究 | 2013年1月 | 2016年12月 |
| 新疆新华木扎提河水电开发有限公司科技项目：新疆木扎提河三级水电站10MW机组转轮研发 | 2016年3月 | 2016年12月 |
| 克州新隆能源开发有限公司：新疆夏特高水头多泥沙水电站水轮机内部沙水流动的数值模拟及泥沙磨损的数值与实验研究 | 2017年7月 | 2018年6月 |
| 中交天津航道局科技项目：通程轮泥泵水力和结构分析及优化设计研究 | 2010年11月 | 2011年12月 |

**二、成果创新**

|  |
| --- |
| 本申请项目属于水利机械专业领域的水力机械与机电研究方向。我国约1/3河流中泥沙含量较高，含沙水流对水力机械过流部件的冲蚀磨损是多泥沙河流中机组的主要破坏形式之一，例如新疆南疆地区河流上的电站、黄河流域的部分水电站及提水泵站等水力机械。疏浚行业、吹填造陆、建筑等工程，需要沙浆浓度可达30%以上的渣浆泵来实现介质输送。水力机械常运行于小流量或大流量工况，非设计工况下可能发生挟沙空化现象，导致机组由于磨损与空蚀的作用而失效。工程上实践了多种喷涂抗磨涂层增加使用寿命的措施，但通过转轮本身的叶型设计降低泥沙磨损率的方法是从根源上提高抗磨性能，多相流动磨损控制是行业的关键工程难题。本研究建立了三维挟沙空化多相流动的数理分析模型，开展了流动机理及分析方法研究，形成了不同浓度水力机械流道和转轮抗泥沙磨损和磨蚀的设计方法，为多泥沙工况机组的长期安全稳定运行提供技术支撑。本项目自2005年以来，在国家重点自然科学基金、新疆木扎提河水电站和夏特水电站、大型挖泥船用泥泵、小浪底水电站等工程支持下，围绕挟沙空化非定常流动分析评估和优化方法进行攻关，实现了机理方法研究和工程研发应用。主要创新点如下：1）建立了水力机械非稳态过程含间隙流动的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，发展了水-汽-沙多相质量、动量传递的相间作用机制的分析方法，实现了磨损与空蚀形态的准确预测；2）发展了水力机械挟沙空化和水气沙三相流动数值计算方法，实现了含沙空化非稳态三相流的计算，明确了空化发生后泥沙颗粒运动及流动分离结构变化规律，揭示了叶轮内挟沙空化流动下的压力脉动特性和流动分离特性。建立了基于真机流场相似的泥沙磨损绕流试验方法及系统，发展了泥沙磨损与磨蚀分析技术，揭示了漩涡挟气和空化漩涡对粒子瞬时冲击角度和速度的影响，实现了磨损率的精确预测；3）提出了多泥沙抗磨转轮设计理念和方法，揭示了转轮叶型对磨损率的影响机理，实现了不同运行条件下抗磨转轮的成功设计及工程应用。本项目研究成果已申请专利8项，出版专著3部，发表文章多篇。研究成果已成功应用于木扎提水电站机组抗磨蚀转轮研发、大型疏浚用泥泵、小浪底水电站机组磨损磨蚀运行区划分、映秀湾电站机组磨损特性分析等多个水利水电工程实践中，实现了水力机械多相流动磨损磨蚀科学技术的理论计算分析评估方面的重大进步，具有广阔的推广应用前景，社会经济效益显著。  |

**三、主要知识产权和标准等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 发明专利 | 一种适应高水头、高转速和高含沙量的抗磨损混流式水轮机 | 中国 | CN110439722B | 2020-06-23 | 第3854751号 | 清华大学、新华水力发电有限公司 | 王正伟、杨静、罗永要、刘健、彭崇、王岩东 | 专利权维持 |
| 发明专利 | 一种模型混流式水轮机转轮内部叶道涡测试的系统 | 中国 | CN106286082B | 2019-09-03 | 第3514239号 | 西华大学 | 曾永忠、刘小兵、邓万权、宋占宽、佘瑶 | 专利权维持 |
| 发明专利 | 一种反击式水轮机及其活动导叶及其补气孔设计方法 | 中国 | CN106485013B | 2019-12-06 | 第3622941号 | 西华大学 | 曾永忠、刘小兵、宋占宽、佘瑶 | 专利权维持 |
| 发明专利 | 基于压力脉动的叶片泵驼峰点及不稳定流动的检测方法 | 中国 | CN109404303B | 2020-05-15 | 第3796306号 | 西华大学 | 卢加兴、刘小兵、曾永忠、华红、余志顺、付宇帆 | 专利权维持 |
| 发明专利 | 一种防止水渠渠底泥沙淤积的方法及排沙系统 | 中国 | CN105369769B | 2018-05-04 | 第2911541号 | 西华大学 | 张聪、刘小兵、曾永忠 | 专利权维持 |
| 实用新型 | 一种水力机械泥沙磨损实验装置 | 中国 | CN209640134U | 2019-11-15 | 第9624787号 | 西华大学、国网四川省电力公司电力科学研究院 | 华红、刘小兵、曾永忠、余志顺、卢加兴、邓万权、吉雷、姚兵、张治忠、余学军、杨建明、韩晓言、丁理杰、王亮、赵琴、杜海 | 专利权维持 |
| 实用新型 | 一种水力机械开放式泥沙磨损试验系统 | 中国 | CN209878527U | 2019-12-31 | 第9849857号 | 西华大学、国网四川省电力公司电力科学研究院 | 华红、刘小兵、曾永忠、余志顺、卢加兴、邓万权、吉雷、姚兵、张治忠、余学军、杨建明、韩晓言、丁理杰、常晓青、赵琴 | 专利权维持 |
| 实用新型 | 一种挖泥船泥泵功率无线测量装置 | 中国 | CN202768365U | 2013-3-6 | 第2747160号 | 中交天津航道局有限公司 | 秦亮、贾瑞旗、何成连、赵凤友、田慧静 | 专利权维持 |

**四、主要完成单位情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **单位名称** | **单位性质** | **所在地** | **通讯地址** | **对成果创造性贡献** |
| 1 | 清华大学 | 大专院校 | 北京 | 北京市海淀区清华大学 | 作为成果的主要完成单位，对创新点1，2，3做出贡献，主要负责建立了水力机械非稳态过程含间隙流动的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，水力机械三维挟沙空化与磨损联合破坏时空耦合数值分析方法，提出并实践了多泥沙抗磨转轮设计理念和方法。 |
| 2 | 西华大学 | 大专院校 | 四川成都 | 四川省成都市郫都区红光大道9999号 | 作为主要完成单位，主要负责创新点1，2的创新性研究工作。（1）建立了Lagrangian颗粒动力学模型、固液两相k-ε湍流模型以及Eulerian- Lagrangian湍流混合数值计算方法，提出了水轮机泥沙磨损试验与寿命预估方法，研发了水轮机泥沙磨损控制技术，磨损预估准确度达到95%以上，较其它模型提高了10%以上，解决了水轮机泥沙磨损试验及寿命预估精度低的难题，为大型水轮机泥沙磨损控制提供了技术保障。 （2）提出了水轮机内部非稳定流计算方法，首创了水轮机活动导叶精准补气减振技术。提出了水轮机叶道涡计算和测试方法，建立了叶道涡识别及其稳定性判别准则，研发了三维空间分层同步可视化速度场测试系统。为混流式水轮机水力振动控制提供了技术保障。 （3）发明了基于压力脉动的叶片泵驼峰点及不稳定流动的检测方法，以及抑制泵叶轮叶片背面空化的叶轮及其设计方法。推动本项目研究成果成功应用于映秀湾电厂，对映秀湾电厂安全稳定运转起到至关重要的作用，取得了良好的经济和社会效益。广泛推广将有利于我国多泥沙电站机组转轮的长期安全高效运行。 |
| 3 | 新疆新华木扎提河水电开发有限公司 | 央企 | 新疆阿克苏 | 新疆维吾尔自治区阿克苏地区温宿县复兴大道553号新疆新华阿克苏事业部 | 对创新点3做出贡献，参与木扎提电站1号、2号抗磨转轮的研制及性能分析，指导抗磨转轮研发及后续运行监测工作。 |
| 4 | 中交天津航道局有限公司 | 国有企业 | 天津 | 天津市滨海新区天津港保税区航运中心9号楼 天航大厦 | 参与通途轮6000kw、通程轮5000kw等多台套大型泥泵研制及性能分析，负责泥泵～驱动电机（柴油机）～土质～管线系统匹配分析，提出关键设计参数，提供试验及应用平台，提供现场人机油料等保障，负责现场调试工作，指导泥泵挖泥试验及后续挖泥船多工况施工工艺制定并实施 |
| 5 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 国有企业 | 河南济源 | 河南省济源市小浪底枢纽管理区 | 对创新点2做出贡献，主要负责水力机械挟沙磨损分析研究，主要开展了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算，对机组过流部件磨蚀情况进行了跟踪、实测和分析，综合机组效率、振动、应力、磨蚀、叶片裂纹等因素，实践了分区运行，为多泥沙河流水轮机的安全稳定性控制与优化积累了经验，提供了借鉴与思路 |

**五、 主要完成人员名单**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓名** | **性别** | **出生年月** | **技术职称** | **文化程度（学位）** | **工作单位** | **对成果创造性贡献** |
| 1 | 王正伟 | 男 | 1966.3 | 教授 | 博士 | 清华大学 | 作为成果的主要完成人，对创新点1，2，3做出贡献，主要负责建立了水力机械非稳态过程含间隙流动的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，水力机械三维挟沙空化与磨损联合破坏时空耦合数值分析方法，提出并实践了多泥沙抗磨转轮设计理念和方法 |
| 2 | 刘小兵 | 男 | 1965.1 | 教授 | 博士 | 西华大学 | 作为成果关键完成人，对创新点1，2做出贡献，主要负责建立了水轮机固液两相流k-ε双方程湍流模型，建立了固液湍流混合数值计算方法，提出了水轮机泥沙磨损试验与寿命预估方法，研发了水轮机泥沙磨损控制技术，提出了叶道涡识别及其稳定性判别准则，提出了基于压力脉动的叶片泵驼峰点及不稳定流动的检测方法，以及抑制泵叶轮叶片背面空化的叶轮及其设计方法。参与项目研究期间，主持国家重点研发专项子课题、国家自然基金项目、省部重点项目等30余项；授权发明专利7项；出版专著教材3部，发表高水平论文100余篇，制定标准1件 |
| 3 | 彭崇 | 男 | 1972.8 | 高级工程师 | 学士 | 新疆新华木扎提河水电开发有限公司 | 对创新点3做出贡献，参与木扎提电站1号、2号抗磨转轮的研制及性能分析，指导抗磨转轮研发及后续运行监测工作。 |
| 4 | 秦亮 | 男 | 1979.2 | 正高级工程师 | 博士 | 中交天津航道局有限公司 | 参与通途轮6000kw、通程轮5000kw等多台套大型泥泵研制及性能分析，负责泥泵～驱动电机（柴油机）～土质～管线系统匹配分析，提出关键设计参数，负责现场调试工作，指导泥泵挖泥试验及后续挖泥船多工况施工工艺制定 |
| 5 | 肖 明 | 男  | 1968.2 | 正高级工程师 | 工程硕士 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 对创新点2做出贡献，负责水力机械挟沙磨损分析研究，主要开展了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算，参与试验成果分析，对机组过流部件磨蚀情况进行跟踪、检查、测量和分析，参与绘制机组运行区域，根据运行区域优化调整机组运行工况、过流部件抗磨涂层选型及喷涂区域 |
| 6 | 罗永要 | 男 | 1980.7 | 副研究员 | 博士 | 清华大学 | 对创新点3做出贡献，参与木扎提电站抗磨转轮的研制 |
| 7 | 华红 | 女 | 1988.12 | 讲师 | 硕士 | 西华大学 | 作为成果主要完成人，主要对创新点2做出贡献，主要提出了水轮机泥沙磨损试验与寿命预估方法，研发了水轮机泥沙磨损控制技术，针对汶川5.12地震后河流泥沙含量显著增多，水轮机关键过流部件泥沙磨损严重的问题，利用映秀湾电站运行数据和水文资料，预估了水轮机转轮叶片年磨损量，并依据国家相关标准，预估了水轮机大修周期时间，为电站实施停机避沙峰提供了重要的决策依据。授权专利2件；出版专著1部，发表论文10余篇 |
| 8 | 李昌权 | 男 | 1976.11 | 高级工程师 | 无 | 新疆新华木扎提河水电开发有限公司 | 对创新点3做出贡献，参与木扎提电站1号、2号抗磨转轮的研制及性能分析，指导抗磨转轮研发及后续运行监测工作。 |
| 9 | 宋希杰 | 男 | 1990.1 | 无 | 博士 | 清华大学 | 作为成果的主要完成人，对创新点1，2做出贡献，主要负责建立了水力机械非稳态过程含间隙流动的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，开展了水力机械三维挟沙空化与磨损数值分析方法及计算研究  |
| 10 | 曾永忠 | 男 | 1969.5 | 副教授 | 硕士 | 西华大学 | 作为成果主要完成人，在创新点2中，主要负责建立了水轮机泥沙磨损测试方法，提出了基于试验与真机流场相似的水轮机泥沙磨损绕流试验方法，研发了与数值计算相结合的水轮机泥沙磨损绕流试验系统，发明了基于 PIV 粒子成像测速技术的叶道涡可视化速度场测试装置，成功解决了激光片光源因穿透不同介质发生折射导致测量误差增大的关键技术难题；发明了通过水轮机活动导叶向转轮和尾水管精准补气减振降噪功能的新结构及其数值计算方法，首次提出了该新结构补气减振降噪效果的评价准则。主持省部等项目10余项；授权专利4件，出版专著1部，发表论文30余篇。 |
| 11 | 毕慧丽 | 女 | 1986.8 | 工程师 | 硕士 | 清华大学 | 对创新点3做出贡献，参与木扎提电站抗磨转轮的研制 |
| 12 | 么娆 | 女 | 1997.12 | 无 | 学士 | 清华大学 | 对创新点1，2做出贡献，主要负责建立了水力机械非稳态过程含间隙流动的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，开展了水力机械三维挟沙空化与磨损数值分析方法及计算研究，对水气沙三相间作用机理及相间质量传递、动量传递计算方法进行了阐述和说明 |
| 13 | 马新红 | 男  | 1972.6 | 正高级工程师 | 学士 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 对创新点2做出贡献，参与了水力机械挟沙磨损分析研究，主要开展了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算 |
| 14 | 李金峰 | 男 | 1987.10 | 高级工程师 | 硕士 | 中交天津航道局有限公司 | 参与泥泵性能分析，负责搜集整理泥泵、驱动运行时间，研究土质变化对泥泵管路系统流量、压力、功率等带来的变化，参与现场调试工作 |
| 15 | 曹蕾 | 女 | 1989.1 | 高级工程师 | 博士 | 清华大学 | 对创新点1，2做出贡献，负责建立了水力机械的三维挟沙空化多相流动数理分析模型，开展了水力机械三维挟沙流动分析研究 |
| 16 | 詹奇峰 | 男 | 1974.1 | 正高级工程师 | 学士 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 对创新点2做出贡献，参与了水力机械挟沙磨损分析研究，主要开展了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算，对机组过流部件磨蚀情况进行跟踪、检查、测量和分析，参与绘制机组运行区域，优化了机组过流部件抗磨涂层选型及喷涂区域 |
| 17 | 杨静 | 女 | 1985.2 | 高级工程师 | 博士 | 清华大学 | 主要对创新点3做出贡献，作为主要完成人参与木扎提电站高水头多泥沙电站水轮机设计方案，完成木扎提电站水轮机水力设计及性能分析 |
| 18 | 刘健 | 男 | 1954.10 | 教授级高级工程师 | 学士 | 清华大学 | 主要对创新点2、3做出贡献，作为主要完成人参与木扎提电站高水头多泥沙电站水轮机设计方案，完成木扎提电站水轮机水力设计及性能分析 |
| 19 | 罗斌 | 男 | 1973.12 | 高级工程师 | 硕士 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 对创新点2做出贡献，参与了水力机械挟沙磨损分析研究，参与了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算，对机组过流部件磨蚀情况进行跟踪、检查、测量和分析，优化了机组过流部件抗磨涂层选型及喷涂区域 |
| 20 | 王忠强 | 男 | 1972.02 | 高级工程师 | 硕士 | 黄河水利水电开发集团有限公司 | 对创新点2做出贡献，参与了水力机械挟沙磨损分析研究，主要开展了小浪底电站机组在不同水头下的运行稳定性现场实测和分析计算，对机组过流部件磨蚀情况进行跟踪和分析，参与绘制机组运行区域 |