

附件：

## 2025 年度四川省科学技术奖拟提名项目公示信息

### (十三) -2

#### 一、项目名称

基于快速调节的水力发电机组稳定运行调控关键技术及应用

#### 二、项目简介

在新型电力系统加速构建、新能源大规模并网的背景下，水电作为兼具清洁低碳属性与灵活调节能力的核心电源，其稳定运行与快速响应水平直接关系到电网安全韧性与能源供应保障。四川作为全国水电资源第一大省，其水电装备的高效调控能力不仅是本省能源结构优化的关键，更对全国电力系统的平稳运行具有战略意义。

然而，随着电网调峰、调频需求日益迫切，水电机组频繁面临启停、负荷突变等快速调节工况，对水电机组的稳定运行带来挑战。目前行业长期存在三大核心技术瓶颈：一是快速调节过程中全流道复杂暂态流场难以精准模拟，传统仿真方法常基于稳态模拟，无法支撑精准调控；二是稳定性演变机理认知不足，压力脉动、水力激振等水力机组失稳根源难以溯源，缺乏精细化评估手段；三是工况调节“快”与“稳”的矛盾突出，追求调节速率易导致机组失稳，侧重稳定性则降低响应效率，制约了水电调节潜力的充分释放。

针对上述难题，本项目构建了从模拟方法、机理解析到控制的完整技术体系。

首先，创新了水电机组三维暂态模拟求解与动边界建模方法，突破传统一维或准三维仿真局限，通过网格运动、拉伸、重构等关键技术，实现固体边界大尺度运动下网格的自适应调整，并作为导叶、桨叶、转轮等活动部件的动边界数学模型，建立涵盖引水管路、蜗壳、转轮到尾水管的全过流系统三维数值模型。采用先进多尺度流场求解器，精准捕捉涡旋时空演化与压力脉动、涡带演变等物理现象，模拟结果与试验值吻合度达95%以上，攻克了复杂暂态流场“看不清、模不准”的行业痛点。

其次，基于高精度仿真数据，借助刚性涡旋输运理论等分析方法，系统揭示复杂水力边界与调节机构动作对机组暂态性能的影响机制，厘清了三维多尺度流场的时空演化规律，建立了流场演化与机组振动、摆度等外部可测参数的定量关联模型，明确压力脉动、水力激振力等稳定性参数剧烈波动的物理根源，实现稳定性风险的精准溯源与早期预警，将稳定性认知提升至基于物理机理的精细化评估新高度。

最后，提出了工况调节速率与稳定性的精细化协同控制技术，构建了量化评价调节速率、调节品质和稳定性水平的指标体系，通过优化导叶、桨叶、球阀等机构的动作规律，主动干预流场演变，缩短稳定时间并抑制失稳幅值。应用该

技术后，机组在额定负荷范围内的过渡过程时间平均缩短 11.1%，关键部位压力脉动幅值降低 20%以上，主轴摆度值降低 15%，实现了“又快又稳”的协同控制目标。

本项目获授权发明专利 11 件，登记软件专著权 2 项，实用新型专利 1 件，出版专著 4 部，发表论文 55 篇。核心技术已在四川、江苏、河北等多省份的 9 家企业 14 个工程中广泛应用，提高了水力机组响应电网快速调节需求的能力，并使得机组运行稳定性提高，延长机组大修周期、减少非计划停运，运维成本大幅降低。累计实现直接经济效益超 16.7 亿元，降本效益 1766.94 万元。本项目技术有效增强电网对新能源波动的平抑能力，夯实能源供应安全基础，助力“双碳”目标落地与“西电东送”战略实施，引领水电行业技术升级，提升我国清洁能源调控领域核心竞争力。

### 三、主要知识产权和标准规范等目录

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 (标准批 准发布部 门)	发 明 人 (标准起 草单 位)	发明专 利(标 准)有 效状态
发明专利	一种水轮机调速器的选型方法	中国	ZL201910152934.X	2022.04.05	ZL201910152934.X	西华大学	余波，王懿，苏婷，黄宗柳	有效
发明专利	一种水力机械叶片磨损测试装置及测试方法	中国	ZL202210448410.7	2022.04.26	ZL202210448410.7	西华大学	黄宗柳，钭江龙，史广泰，舒泽奎，孙国栋	有效
发明专利	一种水轮机调节系统二型模糊控制参数的优化	中国	ZL202210477900.X	2024.12.24	ZL202210477900.X	河海大学	阚璐，杜贻钊，冯陈，徐康明，许庭原，陈	有效

	方法						龙，罗旭东，王君玮，黎军杰	
发明专利	一种带有悬浮导向固定装置的水力发电机	中国	ZL201610279717.3	2019.01.22	ZL201610279717.3	河海大学	阚澜，陈荣杰，郑源，刘珂，杨磊，陈宇杰，林国鹏	有效
发明专利	一种带等速螺旋形叶片的水平轴潮流能水轮机	中国	ZL201610073229.7	2017.12.26	ZL201610073229.7	河海大学	阚澜，郑源，何中伟，付士凤，刘惠文，陈荣杰，陈会向，田甜	有效
发明专利	一种超低水头倒灌式钟型水轮机	中国	ZL201610380621.6	2018.07.13	ZL201610380621.6	河海大学	陈会向，周大庆，俞芸芸，刘敏	有效
发明专利	一种野外便携式水力风力互补发电装置	中国	ZL201410063582.8	2016.01.20	ZL201410063582.8	河海大学	陈会向，周大庆，郑源，沈萍菲，杨坤	有效
发明专利	一种带蜗牛螺旋形叶片的水平轴潮流能水轮机	中国	ZL201610074881.0	2017.12.26	ZL201610074881.0	河海大学	阚澜，郑源，何中伟，付士凤，刘惠文，陈会向，陈荣杰	有效
软件著作权	轴流泵智能优化水力设计软件 V1.0	中国	2024SR1411317	2024.09.24	2024SR1411317	河海大学	阚澜，李也，陈会向，钱尚拓，徐辉，郑源，冯建刚	有效
软件著作权	轴流泵参数化水力设计软件 V1.0	中国	2024SR1319989	2024.09.06	2024SR1319989	河海大学	阚澜，李也，陈会向	有效

#### 四、论文专著目录

序号	论文(专著) 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx年xx 卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作 者(含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内作者	他引 总数	检索 数据库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
1	水力机组安装检修与维护/ 彭小东, 黄宗柳, 李正贵, 李丽霞, 杨林	—	2024.10.01	彭小东	彭小东	彭小东, 黄宗柳, 李正贵, 李丽霞, 杨林	—	—	否
2	低扬程与低水头水力机械瞬态过程水力特性/阚阚, 陈会向	—	2023.12.01	阚阚	阚阚	阚阚, 陈会向	—	—	否
3	PLC 及其在水电站的应用/ 刘一均, 罗余庆, 杨鸽	—	2014.08.01	刘一均	刘一均	刘一均, 罗余庆, 杨鸽	—	—	否
4	Transient characteristics during power-off process in a shaft extension tubular pump by using a suitable numerical model/Renewable Energy/Kan Kan, Chen Huixiang, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Binama Maxime, Dai Jing	2021, 164:109-121.	2021.01.05	阚阚	阚阚	Kan Kan, Chen Huixiang, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Binama Maxime, Dai Jing	157	SCI 1 区, ESI 高被引论文	否
5	Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions/Energy/Kan Kan, Zhang Qingying, Xu Zhe, Zheng Yuan, Gao Qiang, Shen Lian	2022, 255: 124532.	2022.08.13	阚阚	阚阚	Kan Kan, Zhang Qingying, Xu Zhe, Zheng Yuan, Gao Qiang, Shen Lian	133	SCI 1 区, ESI 高被引论文	否

序号	论文(专著) 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx年xx 卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作 者(含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内作者	他引 总数	检索 数据库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
	Yuan, Gao Qiang, Shen Lian								
6	Energy loss mechanisms of transition from pump mode to turbine mode of an axial-flow pump under bidirectional conditional/Energy/Kan Kan, Xu Zhe, Chen Huixiang, Xu Hui, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Muhiirwa Alexis, Maxime Binama	2022, 257:12463 0	2022.10.20	阚 阚	郑源	Kan Kan, Xu Zhe, Chen Huixiang, Xu Hui, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Muhiirwa Alexis, Maxime Binama	114	SCI 1 区， ESI 高被 引论 文	否
7	Pump as turbine cavitation performance for both conventional and reverse operating modes: A review/Renewable & Sustainable Energy Reviews/Kan Kan, Binama Maxime, Chen Huixiang, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Su Wentao, Muhiirwa Alexis	2022, 168: 112786.	2022.08.03	阚 阚	阚 阚	Kan Kan, Binama Maxime, Chen Huixiang, Zheng Yuan, Zhou Daqing, Su Wentao, Muhiirwa Alexis	138	SCI 1 区， ESI 高被 引论 文	否
8	Energy performance evaluation of	2023, 35:015125 .	2023.02.10	阚 阚	阚 阚	Kan Kan, Zhao Feng, Xu	82	SCI 2 区， ESI	否

序号	论文(专著) 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx年xx 卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作 者(含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内作者	他引 总数	检索 数据库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
	an axial-flow pump as turbine under conventional and reverse operating modes based on an energy loss intensity model/Physics of Fluids/Kan Kan, Zhao Feng, Xu Hui, Feng Jiangang, Chen Huixiang, Liu Weidong				Hui, Feng Jiangang, Chen Huixiang, Liu Weidong			高被引论文，2025江苏省自然学科百篇优秀学术成果论文	
9	Transient characteristics during the co-closing guide vanes and runner blades of a bulb turbine in load rejection process/Renewable Energy/Chen Huixiang, Zhou Daqing, Kan Kan, Guo Junxun, Zheng Yuan, Binama Maxime, Xu Zhe, Feng Jiangang	2021, 165:28-41.	2021.01.05	陈会向	周大庆	Chen Huixiang, Zhou Daqing, Kan Kan, Guo Junxun, Zheng Yuan, Binama Maxime, Xu Zhe, Feng Jiangang	37	SCI 1区	否
10	Numerical simulation of transient flow in a shaft extension tubular pump unit during runaway process caused by power failure/Renew	2020, 154:1153-1164.	2020.06.16	阚阚	郑源	Kan Kan, Zheng Yuan, Chen Huixiang, Zhou Daqing, Dai Jing, Binama Maxime, Yu An	69	SCI 1区	否

序号	论文(专著) 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx年xx 卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作 者(含共 同)	第一作 者(含 共同)	国内作者	他引 总次数	检索数 据库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
	able Energy/Kan Kan, Zheng Yuan, Chen Huixiang, Zhou Daqing, Dai Jing, Binama Maxime, Yu An								

## 五、主要完成人

姓名	排名	技术职称	完成单位	工作单位
阚 阚	1	教授	河海大学	河海大学
黄宗柳	2	副教授	西华大学	西华大学
陈会向	3	副教授	河海大学	河海大学
陈 荣	4	副教授	四川水利职业技术学院	四川水利职业技术学院
江 竹	5	教授	西华大学	西华大学
张忠武	6	高级工程师	四川省新能源动力股份有限公司	四川省新能源动力股份有限公司
刘一均	7	副教授	四川水利职业技术学院	四川水利职业技术学院
彭小东	8	副教授	西华大学	西华大学
蒋魏泽	9	高级工程师	中国华电集团有限公司 四川分公司	中国华电集团有限公司 四川分公司

## 六、完成单位

排名	单位名称
1	西华大学
2	河海大学
3	四川水利职业技术学院
4	四川省新能源动力股份有限公司
5	中国华电集团有限公司四川分公司