

# 2020 年度四川省科技进步奖提名项目公示材料

## 一、项目名称

高效无堵塞多相流叶片泵的关键技术研究及应用

## 二、提名单位意见

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关信息均符合四川省科技厅《关于做好 2020 年度四川省科学技术奖提名工作的通知》的填写要求。

同意推荐。

## 三、项目简介

多相流叶片泵是一类用于抽送含有气体、固体颗粒悬浮物或纤维状悬浮物液体的叶片式泵，在污水处理、造纸、化工等许多行业有广泛的用途。在其研制过程中涉及复杂的多相流流体力学、机械、材料、控制等多学科交叉的关键技术问题，国内一直未系统地掌握其核心技术。本项目围绕污水处理行业和造纸工业需求的多相流叶片泵研制中的一系列关键共性技术和涉及的特殊技术问题进行研究开发，主要研究内容和创新包括：①多相流叶片泵的初始流道水力数字化设计方法；②满足多相流叶片泵性能要求的多工况和多目标优化设计建模；③基于复杂多相流动数值模拟预测的高效无堵塞多相流叶片泵的优化设计方法与技术；④配套的搅拌器水力设计方法；⑤适合于多相流叶片泵的流动数值模拟方法及磨损预测等相关模型；⑥高可靠性、长寿命的自润滑冷却双机械密封；⑦提高抗堵塞和防缠绕能力的“半开式双叶片叶轮+带有滑动机构释放槽”的组合叶轮结构设计；⑧针对复杂曲面的叶轮和过流部件的快速和准确成型方法与技术。

自 2010 年起，本项目依托四川省机械研究设计院项目-“切割型潜水排污泵研制”（2011K1106）、“高效半开式无堵塞污水泵及控制系统产业化”（2013K1312），四川省教育厅项目—“中浓纸浆泵内气液分离两相流动特性及作用机理研究”（172467），结合四川省科技攻关项目-“切割型潜水排污泵产业化”、中国制造 2025 四川行动计划项目—“半开式双叶片无堵塞污水泵研制”等的研究，通过四川省机械研究设计院、西华大学和新达泵阀股份有限公司的合作攻关，针对污水处理和造纸工业有广泛需求的高效、无堵塞、耐磨损的多相流叶片泵研制过程中的一系列关键技术进行研究开发，实现了“基于多相流理论的初始流道设计+数值模拟与性能预测+迭代优化设计”的多相流叶片泵数字化研发过程，创新与完善了高效无

堵塞泵设计理论与方法，成功研制出了系列化产品。经具有法定资质的第三方检测机构检测表明：其污水泵的效率超过国际先进水平，纸浆泵的效率达到国际先进水平，整体性能指标达到并部分指标优于国际先进水平。项目研制的产品不仅性价比明显优于国内外同类产品，而且其耐磨损能力、运行稳定性、含大尺寸纤维状污物工况的适应性也优于国外同类产品，深受用户好评。通过多年来的自主攻关，掌握了这两大类型的多相流叶片泵研制的核心技术。经四川工信科学技术评估有限责任公司组织专家组评价认为：“项目成果总体技术处于国际先进水平”，掌握了自主知识产权，极大提高了我国泵行业的自主创新能力。

项目形成了一批自主知识产权，共申请 30 项国家专利，获授权发明专利 3 件、实用新型专利 22 件，发明专利进入实审 5 件，制定企业标准 1 项。发表论文 36 篇（SCI 收录 5 篇、EI 收录 6 篇）。

项目边开发边推广应用，产品已在达州水务集团公司、云南格林环保产业有限公司、辽宁振兴生态造纸有限公司等数十家单位投运多年，累计实现销售收入 3.66 亿元，产生了显著的经济和社会效益。项目技术可在市政、矿山、轻工、化工、水利等领域中进一步推广应用。

#### 四、第三方客观评价

2020 年 5 月 6 日，四川工信科技技术评估有限责任公司在成都组织专家对四川省机械研究设计院、西华大学和新达泵阀股份有限公司共同完成的“高效无堵塞多相流叶片泵的关键技术及应用”项目进行了科技成果评价，评价委员会听取了项目完成单位的研究工作总结和技术研究报告，审阅了相关资料，经质询讨论形成评价意见如下：

一、提供的资料齐全，符合科技成果评价要求。

二、该项目针对污水处理行业和造纸工业需求的多相流叶片泵研制中的一系列关键共性技术和涉及的特殊技术问题进行了研究开发，成功研制出了系列化的高效无堵塞多相流叶片泵产品，其主要创新点如下：

1. 提出了一种基于复杂多相流动数值模拟预测的高效无堵塞多相流叶片泵的多目标及多工况优化设计方法，并建立了多目标的性能优化模型及磨损预测等模型；
2. 提出一种基于特征参数统计回归分析的多相流叶片泵初始流道水力数字化设计方法，可根据多相流叶片泵的主要设计性能指标要求快速计算确定流道的几何参数；
3. 提出一种与多相流叶片泵匹配的搅拌器设计方法，搅拌器叶片型线设计采用等螺距与变螺距相结合的方法；

4. 开发了一种提高抗堵塞和防缠绕能力的“半开式双叶片叶轮+带有滑动机构释放槽”的组合叶轮结构；

5. 针对于多相流叶片泵的轴封要求，研制出了一种长寿命、高可行性的串联式自润滑冷却双机械密封；

项目形成了一批自主知识产权，已获授权国家发明专利 3 件、实用新型专利 22 件，发明专利进入实审 5 件，制定企业标准 1 项，发表论文 36 篇（其中：SCI 收录 5 篇、EI 收录 6 篇）。

三、项目产品已在四川达州水务集团公司、云南格林环保产业有限公司、辽宁振兴生态造纸有限公司等数十家单位投运，并在相关行业得到推广应用。经第三方检测表明：其污水泵的效率超过国外先进水平，纸浆泵的效率达到了国外先进水平。不仅性价比明显优于国内外同类产品，而且其耐磨损能力、运行稳定性、含大尺寸纤维状污物的工况适应性也优于国外同类产品。项目取得了较为显著的经济效益和社会效益，具有很好的推广应用前景。

综上所述，评价委员会认为：项目成果总体技术处于国际先进水平。

## 五、推广应用情况

本项目边开发边推广应用，产品已在达州水务集团公司、云南格林环保产业有限公司、成都天投实业有限公司下属的华阳镇二江寺污水处理厂和天府新区新兴镇污水处理一厂、成都市排水有限责任公司下属的成都市第十污水处理厂（中和污水处理厂）及辽宁振兴生态造纸有限公司等数十家单位投运。据各用户反应：使用过程中，未发生堵塞，振动和噪声小，运行稳定。产品的可靠性、流量、扬程、效率等性能均优于国外同类产品。

## 六、主要知识产权证明目录

表 6-1 主要专利清单

序号	知识产权名称	专利号	专利产权类型	状态	授权/受理日期
1	一种气液分离输送泵	ZL201610554171.8	发明专利	授权	2019.03.29
2	一种离心泵叶轮	ZL201310163172.6	发明专利	授权	2016.04.13
3	一种自缓冲多级安全阀	ZL201110418274.9	发明专利	授权	2015.01.07
4	一种切割型离心潜污泵	201810034812.6	发明专利	实审	2018.06.27
5	一种极低比转速离心泵叶轮	201710103432.9	发明专利	实审	2017.08.30
6	一种流体输送结构	201610553202.8	发明专利	实审	2016.12.14
7	多通道离心泵叶轮	201811433402.5	发明专利	实审	2019.04.11
8	带小翼叶片的旋流泵叶轮	201811433258.5	发明专利	实审	2019.02.27
9	一种潜污泵切割装置	ZL201721707761.6	实用新型	授权	2018.11.06

10	一种潜污泵的自适应调节口环结构及潜污泵	ZL201821555545.9	实用新型	授权	2019.05.03
11	一种切割型离心潜污泵	ZL201820059464.3	实用新型	授权	2018.09.07
12	一种潜污泵群远程监控系统	ZL201820059255.9	实用新型	授权	2018.09.07
13	一种自适应高效潜水混合搅拌器	ZL201820564182.9	实用新型	授权	2018.12.14
14	一种新型潜水搅拌器	ZL201820368786.6	实用新型	授权	2018.11.06
15	一种新型潜污泵	ZL201820689970.0	实用新型	授权	2018.11.27
16	对旋轴流式潜污泵	ZL201720225164.3	实用新型	授权	2018.01.12
17	一种极低比转速离心泵叶轮	ZL201720171272.7	实用新型	授权	2017.11.24
18	一种水泵抗浮装置	ZL201721636991.8	实用新型	授权	2018.07.17
19	一种机械软启动泵机组	ZL201720941385.0	实用新型	授权	2018.02.06
20	一种磁涡流式软启动泵机组	ZL201720941438.9	实用新型	授权	2018.02.02
21	一种用于泵机组的启动器	ZL201720674355.8	实用新型	授权	2018.01.12
22	一种地下室抗浮释压装置	ZL201721576051.4	实用新型	授权	2018.06.05
23	一种单级双吸离心泵	ZL201720538064.6	实用新型	授权	2017.12.08
24	一种单级双吸离心泵叶轮	ZL201820699324.2	实用新型	授权	2018.12.04
25	轴套车磨夹具	ZL201920519643.5	实用新型	授权	2019.11.22
26	双吸离心泵镗杆定位套	ZL201920519641.6	实用新型	授权	2019.11.29
27	双吸离心泵镗杆传动盘	ZL201920527891.4	实用新型	授权	2019.11.26
28	双吸离心泵支撑定位机构	ZL201920524384.5	实用新型	授权	2020.4.17
29	双吸离心泵切槽镗杆装置	ZL201920520288.3	实用新型	授权	2020.4.17
30	双吸离心泵镗杆装置	ZL201920528471.8	实用新型	授权	2020.4.17

表 6-2 主要论文清单

序号	知识产权名称	知识产权类型	法律状态	日期
1	Study on performance characteristic of medium consistency pump	SCI 期刊论文 Advances in Mechanical Engineering (DOI: 10.1177/1687814017691892)	刊出	2017.3
2	Optimal design and experiment of exhaust vent on impeller of medium consistency pulp pump	SCI 期刊论文 Advances in Mechanical Engineering (DOI: 10.1177/1687814018765557)	刊出	2018.6
3	Experimental investigation of flows inside draft tube of a high-head pump-turbine	SCI 期刊论文 RENEWABLE ENERGY (ISSN: 0960-1481)	刊出	2019.4
4	Structural Analysis of MOP Rotor for Steam Turbine with Fluid-Structural Interaction	SCI 期刊论文 Advances in Vibration Engineering (ISSN: 0972-5768)	刊出	2011.9
5	Numerical investigation of performance improvement and erosion characteristics of vortex pump using Particle model	SCI 期刊论文 Shock and Vibration (DOI: 10.1155/2020/510326)	刊出	2020.3
6	Fluidization Characteristics of Medium-High-Consistency Pulp Fiber Suspensions with an Impeller	EI 期刊论文 International Journal of Rotating Machinery (DOI: 20162302469233)	刊出	2016.6
7	PIV measurement and study on turbulence generator flow field of medium consistency	EI 期刊论文 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (DOI:	刊出	2018.7

	pump	10.1088/1755-1315/163/1/012120)		
8	CFD simulation of degas process in medium consistency pump and experiment	EI 期刊论文 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (DOI: 20183305698247)	刊出	2018.7
9	Hydraulic optimization of impeller blade in reactor coolant pump base on Kriging model	EI 期刊论文 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (DOI: 20191406738543)	刊出	2019.3
10	Dynamic Characteristics Analysis of an Oil Turbine	EI 期刊论文 Procedia Engineering (DOI: 10.1016/j.proeng.2012.01.676)	刊出	2012.2
11	Hydrodynamic Design of Thrust Ring Pump for Large Hydro Turbine Generator Units	EI 期刊论文 International Journal of Fluid Machinery & Systems (DOI: 10.5293/IJFMS.2015.8.1.046)	刊出	2015.8
12	中浓纸浆泵运行性能试验研究	中文核心期刊论文 《机械工程学报》	刊出	2016.11
13	含气率对混流泵压水室流场的影响分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.3
14	中浓纸浆泵内部气液分离数值模拟与试验	中文核心期刊论文 《排灌机械工程学报》	刊出	2017.4
15	分流叶片对离心泵非定常空化流动特性影响分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.4
16	基于固液两相流的离心泵内部流场数值分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.5
17	不同含气率下混流泵叶轮内流场特性分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.5
18	分流叶片进口直径对离心泵空化特性影响	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.9
19	湍流发生器中气泡水平向心运动试验	中文核心期刊论文 《排灌机械工程学报》	刊出	2017.11
20	中浓纸浆泵湍流发生器关键尺寸的计算与试验	中文核心期刊论文 《工程热物理学报》	刊出	2017.12
21	中浓纸浆泵湍流发生器的设计与验证	期刊论文 西华大学学报	刊出	2018.1
22	基于正交试验的纸浆泵叶轮排气孔参数设计及试验	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2018.7
23	切割型双叶片排污泵设计与试验	中文核心期刊论文 《机械设计》	刊出	2018.8
24	切割型双叶片潜污泵设计和数值模拟	期刊论文 《机械》	刊出	2018.5
25	基于 CFX 的某型推流式潜水搅拌机导流罩位置对工作效率的影响	期刊论文 《机械》	刊出	2019.7
26	交错叶片式双吸泵流动特性分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2017.6
27	固相颗粒对离心泵内部流场影响的数值分析	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2019.4
28	采用开缝叶片流动控制的低比转速离心泵数值模拟与试验研究	中文核心期刊论文 《热能动力工程》	刊出	2019.6
29	采用近似模型和 NSGA_遗	中文核心期刊论文	刊出	2019.7

	传算法的旋流泵性能优化研究	《水泵技术》		
30	基于遗传算法的核电站反应堆冷却剂泵叶轮叶片多目标优化设计	中文核心期刊论文 《动力工程学报》	刊出	2019.8
31	交错叶片叶轮对双吸离心泵蜗壳内压力脉动的影响研究	中文核心期刊论文 《中国农村水利水电》	刊出	2014.7
32	交错布置叶片对双吸离心泵压力脉动特性的影响研究	中文核心期刊论文 《大电机技术》	刊出	2014.11
33	叶片交错布置对双吸离心泵外特性影响	期刊论文 《机械》	刊出	2014.7
34	离心泵流场仿真有限元分析	期刊论文 《机械》	刊出	2016.12
35	基于湍流数值模拟的双吸离心泵性能预测	期刊论文 《机械》	刊出	2017.8
36	双吸离心泵优化分析	期刊论文 《机械》	刊出	2018.8

表 5-3 主要企业标准清单

序号	知识产权名称	编号	标准类型	发布日期	实施日期
1	CJQ 型潜水排污泵	Q/915100004507139646.2-2018	企业标准	2018.09.20	2018.10.20

## 七、主要完成人情况

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	刘雪垠	男	1982.5	高级工程师	硕士	四川省机械研究设计院	项目主持人、负责项目整体实施 对创新点 3、4、5 做出贡献
2	赖喜德	男	1962.9	教授	博士	西华大学	设计理论及优化设计方法研究 对创新点 1、2、3 做出贡献
3	宋冬梅	女	1986.12	中级	硕士	四川省机械研究设计院	产品水力设计及数值仿真分析 对创新点 3、4、5 做出贡献
4	叶道星	男	1987.10	副教授	博士	西华大学	产品水力设计及数值仿真计算 对创新点 1、2、3 做出贡献
5	赵其春	男	1964.6	高级工程师	硕士	四川省机械研究设计院	项目策划组织实施、企业标准起草 对创新点 3、5 做出贡献
6	何智东	男	1973.6	中级	其他	新达泵阀股份有限公司	产品制造工艺设计 对创新点 5 做出贡献
7	费宇	男	1972.6	高级工程师	博士	四川省机械研究设计院	产品设计方案、企业标准制定 对创新点 3、4 做出贡献
8	曾梦玮	女	1989.2	中级	学士	四川省机械研究设计院	产品设计及数值仿真 对创新点 3、4 做出贡献
9	陈健	男	1966.5	高级工程师	学士	四川省机械研究设计院	产品结构及工艺设计 对创新点 3、5 做出贡献
10	杨怀学	男	1966.6	中级	学士	新达泵阀股份有限公司	产品工艺及工装设计 对创新点 3、5 做出贡献
11	苟秋琴	女	1987.8	讲师	硕士	西华大学	理论研究及数值仿真 对创新点 1、2 做出贡献
12	戴莉斯	女	1987.1	中级	硕士	四川省机械研究设计院	产品结构设计 对创新点 3、4 做出贡献
13	肖夏	男	1986.2	中级	硕士	四川省机械研究设计院	理论研究及数值模拟 对创新点 3、4 做出贡献
14	陈小明	男	1987.6	讲师	硕士	西华大学	理论研究及数值模拟 对创新点 1、2 做出贡献
15	傅强	男	1970.2	中级	硕士	四川省机械研究设计院	理论研究及监控系统设计 对创新点 3、5 做出贡献
16	岳婷	女	1991.7	中级	硕士	四川省机械研究设计院	产品结构设计

							对创新点 3、5 做出贡献
17	冷强	男	1984.5	中级	学士	四川省机械研究设计院	密封系统设计 对创新点 5 做出贡献
18	邓宏盛	男	1992.9	初级	硕士	四川省机械研究设计院	理论研究、监控系统设计 对创新点 3 做出贡献
19	尹盛	男	1975.10	高级工程师	学士	四川省机械研究设计院	项目管理、协调 对创新点 3 做出贡献
20	李黎文	女	1985.2	工程师	学士	四川省机械研究设计院	项目管理、协调 对创新点 3 做出贡献
21	彭绪丰	男	1965.8	中级	学士	新达泵阀股份有限公司	产品检验、试验 对创新点 5 做出贡献

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	完成单位	邮政编码	详细通信地址	联系人	主要贡献
1	四川省机械研究设计院	610063	成都市锦江区墨香路 48 号	刘雪垠	项目牵头单位, 组织并负责项目创新点 3、4、5 关键技术研究
2	西华大学	610039	成都市金牛区土桥金周路 999 号	赖喜德	主要研发单位, 在创新点 1、2、3 相关技术研究方面做出了重要贡献
3	新达泵阀股份有限公司	635000	达州市高新区汇通大道东段 9 号	何智东	主要研发单位, 在创新点 5 相关技术研究与推广应用方面做出了重要贡献



## 九、完成单位合作关系说明

本项目既涉及多相流叶片泵研发中的一些共性关键技术研究开发，又涉及污水处理行业和造纸工业特殊技术问题研究，还涉及到产品研制和推广应用。在多相流叶片泵研制过程中涉及复杂的多相流流体力学、机械、材料、控制等多学科交叉的关键技术问题，既包括应用基础研究、共性关键技术研究、又涉及到产品研制与推广应用。多相流叶片泵产品研制包括从流道水力设计、产品结构、产品制造及试验等过程。必须进行多专业领域协同研究开发与攻关，因此采用产学研结合攻关方式进行组织实施。

自 2010 年起，四川省机械研究设计院根据市场需求，立项开展“切割型潜水排污泵研制”（2011K1106）、“高效半开式无堵塞污水泵及控制系统产业化”（2013K1312）等项目研究。根据研究开发工作需要，2012 年四川省机械研究设计院、西华大学和新达泵阀股份有限公司达成了合作攻关协议，西华大学负责“流道水力数字化设计方法、数值模拟仿真分析及流道设计优化”等工作，新达泵阀股份有限公司和西华大学开展复杂曲面叶轮的数字化制造工作。在项目的实施过程中，由四川省机械研究设计院负责整个项目的方案制定与实施，主要负责高效无堵塞多相流叶片泵产品开发、水力设计及试验、污水泵和纸浆泵产品研制、系列化产品的开发和推广应用。西华大学主要负责项目中部分有关应用基础研究、泵的优化设计理论研究、数值模拟仿真分析及流道设计优化等工作，辅助四川省机械研究设计院跟踪行业先进技术。新达泵阀股份有限公司负责产品制造，与四川省机械研究设计院一起完成产品开发和推广应用。

由于该项目涉及多领域的共性关键技术研究，在研发过程中四川省机械研究设计院与西华大学合作成功申报相关科研项目，得到了四川省科技厅（2018YS2H0006）“切割型潜水排污泵产业化”、四川省经信委（2019CD00215）“半开式双叶片无堵塞污水泵研制”、四川省教育厅（172467）“中浓纸浆泵内气液分离两相流动特性及作用机理研究”、流体及动力机械教育部重点实验室（Z1620408）-“中浓纸浆泵中气液两相流流动特征研究”等科研基金的支持。

该成果的核心内容都是合作完成科研项目产出，为以上单位共同所有，所列完成人均参与项目的技术骨干。成果申报中的单位和人员选择与排名，是根据贡献大小由项目主持单位与各项目协作和参与单位共同商议决定的。