

2019 年度浙江省科技进步奖提名公示表

一、成果名称

高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化

二、提名单位及提名意见

提名单位	浙江省教育厅
提名意见（限 600 字）	
<p>自吸排污泵由于其具备良好的无堵塞性能和自吸性能，被广泛应用于市政排涝、污水处理、电力能源等领域，是国家制造业技术水平的重要体现。针对现有自吸排污泵存在的机组效率低、自吸性能差、易堵塞、易磨损等关键技术问题开展研究，提出了双叶片离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计方法，用于自吸排污泵的水力设计，产品整体效率提升了 5%-10%；创建了基于遗传算法动态修正的两组双流体模型，用于自吸过程的两相瞬态流动模拟及自吸性能的预测，提高了自吸时间的预测精度；设计了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，解决了液体泄漏损失大、叶轮卡死及轴封过度磨损等工程问题，实现了自吸排污泵全年不间断稳定运行；开发了仿生非光滑表面水力元件减阻抗磨技术，降低了泵内过流部件表面磨损率，泵的使用寿命提高了近一倍。</p> <p>开发了 50 个规格的全新系列高效自吸排污泵产品，获国家发明专利 12 项，参编国家及行业标准 2 项，出版学术著作 3 部，发表学术论文 45 篇，其中 SCI 收录 20 篇。项目成果成功应用于南方中金环境股份有限公司、利欧集团浙江泵业有限公司、温州自吸泵业制造有限公司等企业，产生了巨大的经济与社会效益，新增直接经济效益达到 11 亿元。</p> <p>该项目推动了我国水力机械技术发展，促进了泵行业技术进步，推动了市政排涝、污水处理、电力能源等相关应用领域的技术升级，实现了能源高效利用和设备安全稳定运行，总体技术达到国际先进水平。</p> <p>提名该成果为省科技进步奖 <u>二</u> 等奖。</p>	

三、成果简介

主要技术内容、授权知识产权情况、技术指标、应用推广及取得的经济社会效益等（限1000字）

国家“十三五”规划和《国家新型城镇化规划（2014-2020年）》中指出要加速推进城镇污水处理设施和管网建设改造工作，大规模的市政污水设施建设使得对自吸排污泵的需求日益增长。自吸排污泵由于其具备良好的无堵塞性能和自吸性能，被广泛应用于市政排涝、污水处理、电力能源等领域，是国家制造业技术水平的重要体现。项目以自吸排污泵为研究对象，从水力元件全局自寻优设计方法、多相流数值计算方法、切割式叶轮防缠绕密封技术和非光滑减阻抗磨技术等方面开展相关研究工作，该项目的创新性研究内容为：

1. 水力元件全局自寻优设计方法。提出了基于叶片平均环量和叶片损失理论双叶片离心叶轮自寻优设计方法，研发了基于面积逐次逼近算法的离心泵蜗壳数学模型构建方法，解决了传统设计方法中存在的设计效率低、周期长、经验依赖性强等技术问题，全面提升了自吸排污泵的水力效率，产品整体效率与国内外同类产品相比提升了5%-10%。

2. 基于遗传算法动态修正的两组双流体气液两相流计算方法。在两组-双流体模型的基础上，通过引入遗传算法对气液界面输运方程中的控制变量进行动态修正，实现了泵内自吸过程瞬态流动特性的精确预测，解决了自吸性能无法精确预测的工程问题，预测精度达到了5%，有效提高了泵的自吸性能。

3. 切割式叶轮防缠绕密封技术。设计了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，有效降低了液体的泄露损失，提升了水力效率；采用切割式的盖板及密封环结构有效实现了对纤维状杂物的切割，解决了叶轮的卡死及轴封过度磨损等工程问题，实现了全年不间断稳定运行。

4. 过流部件减阻抗磨技术。开发了仿生非光滑表面水力元件减阻抗磨技术，用于抗磨蚀自吸排污泵水力模型开发，降低了泵内过流部件表面磨损率，泵的使用寿命提高了近一倍。

开发了50个规格的全新系列高效自吸排污泵产品，本项目共获国家发明专利12项，参编国家及行业标准2项，出版学术著作3部，发表学术论文45篇，其中SCI收录20篇。项目成果应用于南方中金环境股份有限公司、利欧集团浙江泵业有限公司、温州自吸泵业制造有限公司等企业，产生了巨大的经济与社会效益，新增直接经济效益达到11亿元。

该项目推动了我国水力机械技术发展，促进了泵行业技术进步，推动了市政排涝、污水处理、电力能源等相关应用领域的技术升级，实现了能源的高效利用和设备的安全稳定运行，总体技术达到国际同类产品先进水平。

四、第三方评价

评价结论、检测结果等（限 1200 字）

1. 成果鉴定

浙江省技术经纪人协会在杭州组织由长江学者王福军教授担任主任的鉴定委员会对浙江工业大学等单位完成的“高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化”项目成果进行鉴定。鉴定委员会听取了项目工作和技术总结、产品检测等报告，审阅了相关资料，经质询和讨论，形成如下鉴定意见：项目在双叶片离心叶轮水力设计方法、气液两相流数值计算方法、叶轮机械结构、减阻抗磨技术等方面取得了突破性的技术创新，项目成果总体达到国际先进水平。（附件 2）

2. 产品性能测试

(1) ZWII 50-20-20 自吸排污泵：国内权威测试机构浙江省机电产品质量检测所的测试结论为：流量为 $20.25\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 20.25m，效率为 53.3%，自吸时间 84s，自吸高度 7.1m，所检测项目达到技术协议要求。（附件 2）

(2) ZWII 100-100-15 自吸排污泵：国内权威测试机构浙江省机电产品质量检测所的测试结论为：流量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 16.01m，效率为 65.3%，自吸时间 109s，自吸高度 6.8m，所检测项目达到技术协议要求。（附件 2）

(3) ZWII 200-300-15 自吸排污泵：国内权威测试机构浙江省机电产品质量检测所的测试结论为：流量为 $299.17\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 14.96m，效率为 75.3%，自吸时间 74.2s，自吸高度 6.6m，所检测项目达到技术协议要求。（附件 2）

3. 科技查新结论

本项目委托教育部科技查新工作站（L45）对本项目的关键技术进行国内外查新，其结论为：基于叶片平均环量和叶片损失理论双叶片离心叶轮自寻优设计方法和基于面积逐次逼近算法的离心泵蜗壳数学模型构建方法的自吸排污泵水力元件全局自寻优设计方法；基于空泡直径自识别动态调整算法的单组-两组双流体模型的气液两相数值计算方法；切割式防缠绕叶轮双密封结构；仿生非光滑表面减阻抗磨技术。上述技术特征，除委托单位已有专利、论文和成果文献公开外，在所检索到的其他相关文献中未见具体述及。（附件 2）

4. 行业评价

(1) 全国泵标准技术委员会评价报告：该项目研制的无堵塞自吸排污泵符合国家相关标准，经过与国内外同类产品对比分析，产品性能达到国际先进水平。（附件 2）

(2) 中国水利企业协会流体装备委员会评价报告：该项目研制的无堵塞自吸排污泵符合国家相关标准，产品相关技术指标处于同类产品国际先进水平。（附件 2）

5. 用户评价

(1) 永嘉县科达铸造有限公司：新产品结构合理，运行可靠，效率高，振动噪声小，运行三年多，未见相关故障，产品便于安装维护，效率提升显著。（附件 2）

(2) 凯泉集团有限公司：新产品性能稳定，效率与国内外同类产品相比有所提升，产品无堵塞性能好，振动噪声低，便于安装维护，售后服务及时，是公司的指定供应商。（附件 2）

(3) 温州龙一漆包线有限公司：使用产品三年来，产品总体性能稳定，效率高，无堵塞性能好，抗磨损性能好，产品运行安全稳定。（附件 2）

五、推广应用情况、经济效益和社会效益

1. 完成单位应用情况和直接经济效益

单位名称	新增应用量			新增销售收入(单位:万元)			新增税收(单位:万元)			新增利润(单位:万元)		
	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年
温州自吸泵业制造有限公司	0	0	0	208.56	338.37	565.06	13.04	21.51	34.17	7.9	15.96	25.96
南方中金环境股份有限公司	0	0	0	5730	8463	13470	328	503	805	1490	2285	3502
合计	0	0	0	5938.56	8801.37	14035.06	341.04	524.51	839.17	1497.9	2300.96	3527.96
	0			28774.99			1704.72			7326.82		

2. 推广应用情况和经济效益（非完成单位）

应用单位名称	起止时间	单位联系人、电话	新增应用量			新增销售收入(万元)			新增税收(万元)			新增利润(万元)		
			2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年
新界泵业集团股份有限公司	2016.1-2018.12	许敏田， 0576-86333138	0	0	0	5895	8570	13640	376	504	840	1710	2398	3819
贝德科技有限公司	2016.1-2018.12	罗卫华， 18057021777	0	0	0	1321	1724	2320	101	129	174	396	517	696
利欧集团浙江泵业有限公司	2016.1-2018.12	林仁勇， 0576-89986163	0	0	0	8352	13460	21735	515	819	1338	2339	3903	6086
合 计：			0	0	0	15568	23754	37695	992	1452	2352	4445	6818	10601
			0			77017			4796			21864		

3. 社会效益和间接经济效益（限 600 字）

主要社会效益包括：1) 实施企业形成了无堵塞自吸排污泵自主研发和产业化体系，建立了稳定的自吸排污泵研发队伍，已成长为国内知名的自吸排污泵供应企业。2) 在浙江水泵行业中起到了产学研合作创新的示范作用，促进了传统行业的转型升级。3) 显著提高了我国自吸排污泵的技术能力，树立了高端自吸排污泵的自主品牌形象。4) 实现了自吸排污泵产品从仿制到自主化，再到产品技术创新超越的突破，在国内外市场上形成了较好的竞争力。5) 产品在大型市政排污和排涝工程中的得到了广泛的应用，对污水处理和五水共治提供了支撑。

间接经济效益包括：通过项目的实施，相关企业新增间接经济效益约 4.08 亿元，其中：1) 通过新产品的广泛应用，单位产品的平均能耗降低约 10%（水力效率计算得出），按照单台泵平均功率 7.5kW，每年连续运行 5000h，则每台泵平均每年可节省电能 3750kWh(=7.5*5000*0.1)，按照每度电 1 元的标准计算，则平均一台泵一年可节省 3750 元；三年来，累计销售约 10 万台，则电费总共可节省 3.75 亿元。2) 新产品采用仿生抗磨技术，与老产品相比，产品平均使用寿命大致提升近一倍，按照过流部件的配件价格，则平均每台泵每年可减少使用成本约 200 元，则共计 2000 万元。3) 新产品具有良好的无堵塞性和自清洁性，运行稳定可靠，使得用户维护成本降低 30%，则平均每台泵每年可减少维护费用 130 元，则共计 1300 万元。

六、主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	权利人	发明人(培育人)
发明专利	高抗汽蚀的自吸离心泵	中国	ZL201610832895.4	2018.8.24	浙江工业大学	周佩剑, 吴振兴, 牟介刚, 简捷, 郑水华, 谷云庆, 吴登昊
发明专利	一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法	中国	ZL201510593811.1	2017.9.26	浙江工业大学之江学院	吴登昊, 任芸, 牟介刚, 杨友东, 蒋兰芳, 谷云庆
发明专利	一种基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法	中国	ZL201410331312.0	2016.6.22	浙江工业大学之江学院	吴登昊, 任芸, 杨友东, 蒋兰芳, 刘健
发明专利	一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法	中国	ZL201510591035.1	2018.6.12	浙江工业大学之江学院	任芸, 吴登昊, 牟介刚, 杨友东, 蒋兰芳, 谷云庆
发明专利	基于仿生的水下射流表面减阻测试装置	中国	ZL201511015655.7	2018.2.13	浙江工业大学	谷云庆, 牟介刚, 施郑赞, 范天星, 吴登昊, 郑水华, 周佩剑, 陈真富, 吴振兴, 唐佳新
发明专利	一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置	中国	ZL201610526081.8	2018.11.13	浙江工业大学	谷云庆, 牟介刚, 施郑赞, 王浩帅, 吴登昊, 郑水华, 周佩剑, 简捷, 赵李盼
发明专利	一种短距离管道内壁仿生沟槽表面加工装置及其加工方法	中国	ZL201710059722.8	2018.6.5	浙江工业大学	谷云庆, 刘涛, 牟介刚, 郑水华, 周佩剑, 吴登昊, 牟成琪, 张文奇, 杜魏媛, 张冯焯, 王曼

七、代表性论文专著目录

作者	论文专著名称/刊物	年卷期 页码	发表时间 (年、月)	SCI 他引次数	他引 总次数
----	-----------	-----------	---------------	----------	-----------

Wu Denghao, Ren Yun, Mou Jiegang, Gu Yunqing	Investigation of the correlation between noise & vibration characteristics and unsteady flow in a circulator pump/Journal of Mechanical Science and Technology	2017, 31(5): 2155-2166	2017.5	2	3
谷云庆, 牟介刚, 代东顺, 郑水华, 蒋兰芳, 吴登昊, 任芸, 刘福庆	基于蚯蚓背孔射流的仿生射流表面减阻性能研究/物理学报	2015, 64(2): 024701	2015.1	19	19
牟介刚, 吴振兴, 周佩剑, 谷云庆, 吴登昊, 任芸	自吸离心泵蜗壳内瞬态流动特性/上海交通大学学报	2018, 52(4): 461-468	2018.4	0	0
合 计:				21	22

八、主要完成人员情况

排名	姓名	行政职务	技术职称	现从事专业	工作单位	二级单位	完成单位	对本成果主要科技创新的创造性贡献
1	牟介刚	无	教授	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	<ol style="list-style-type: none"> 1.项目总体负责人,全面负责项目技术研发的总体思路、技术路线和推广应用; 2.提出并实现了双叶片离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计方法、兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构等关键技术,发明了双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法和仿生射流的减阻表面测试装置,研发了高抗气蚀的自吸离心泵,对第1、2、4项创新点做出了重要贡献。 3.主要参与发明专利《高抗汽蚀的自吸离心泵》、《一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法》、《一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法》、《基于仿生的水下射流表面减阻测试装置》和《一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置》等; 4.在项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的70%以上。
2	吴登昊	无	副教授	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	<ol style="list-style-type: none"> 1.项目总体技术方案制定与实施,负责图纸的绘制、样机的测试以及相关技术文档的编写; 2.提出并实现了双叶片离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计方法,创建了两组双流体多相流模型,发明了双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法和基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法,对第1、2、3项创新点做出了重要贡献。 3.完成和参与专利成果《高抗汽蚀的自吸离心泵》、《一种双叶片无

								堵塞离心叶轮水力设计方法》、《一种基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法》、《一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法》、《基于仿生的水下射流表面减阻测试装置》、《一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置》； 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 75%以上。
3	李敬堂	总经理	工程师	流体机械及工程	温州自吸泵业制造有限公司		温州自吸泵业制造有限公司	1.项目总体生产方案制定与实施，负责生产工艺的编写、样机的制作和测试； 2.提出并实现了自吸排污泵叶轮及泵体铸造方法，研发了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，对第 1、3 项创新点做出了重要贡献。 3.负责完成了项目实施所需的生产加工设备，协助完成相关技术方案的实施； 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 80%以上。
4	谷云庆	无	讲师	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	1.负责项目减阻抗磨技术方案制定和实施； 2.提出并实现了仿生非光滑表面水力元件减阻抗磨技术，研发了基于仿生的水下射流表面减阻测试装置和基于仿生射流的减阻表面的测试装置，对第 1、4 项创新点做出了重要贡献。 3.完成和参与专利成果《高抗汽蚀的自吸离心泵》、《一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法》、《一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法》、《基于仿生的水下射流表面减阻测试装置》、《一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置》和《一种短距离管道内壁仿生沟槽表面加工装置及其加工方法》； 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。
5	赵才甫	总工程师	高级工程师	流体机械及工程	南方中金环境股份有限公司		南方中金环境股份有限公司	1.负责项目生产方案制定与实施，负责生产工艺的编写、样机的制作和测试； 2.提出并实现了离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计方法，研发了泵体新型法兰结构和生产加工夹具，对第 1、3 项创新点做出了重要贡献。 3.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。
6	郑水华	院长助理	副教授	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	1.负责项目多相流数值计算方案制定与实施，完成多相流数理模型的建立与验证； 2.创建了动态修正的两组双流体气液两相流计算方法，研发了高抗汽蚀的自吸离心泵和基于仿生射流的减阻表面的测试装置，对第 2、4 项创新点做出了重要贡献。 3.主要参与专利成果《高抗汽蚀的自吸离心泵》、《基于仿生的水下射流表面减阻测试装置》、《一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置》； 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。
7	任芸	无	副教授	流体机械及工程	浙江工业大学之江学院	机械工程学院	浙江工业大学之江学院	1.负责项目流数值计算方案制定与实施，完成多相流数理模型的建立与验证； 2.创建了动态修正的两组双流体气液两相流计算方法，研发了基于旋转和曲率修正的离心泵数值模拟设计方法，对第 1、2 项创新点

								做出了重要贡献。 3.完成和参与专利成果《一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法》、《一种基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法》、《一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法》； 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。
8	周佩剑	无	讲师	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	1.负责项目产品技术方案制定与实施,完成自吸排污泵测试样品的设计与实验验证; 2.研发了高抗气蚀的自吸离心泵和基于仿生射流的减阻表面的测试装置,对第2、4项创新点做出了重要贡献。 3.主要参与专利成果《高抗汽蚀的自吸离心泵》、《基于仿生的水下射流表面减阻测试装置》、《一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置》和《一种短距离管道内壁仿生沟槽表面加工装置及其加工方法》; 4.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。
9	徐茂森	无	助理研究员	流体机械及工程	浙江工业大学	机械工程学院	浙江工业大学	1.负责项目具体测试方案制定与实施,完成离心泵性能测试及多相流测试与分析; 2.参与完成了动态修正的两组双流体气液两相流计算方法和基于旋转和曲率修正的离心泵数值模拟设计方法,对第1、2项创新点做出了重要贡献。 3.在该项目研发工作中本人投入的工作量占工作总量的 70%以上。

九、主要完成单位情况表

排名	单位名称	对本成果科技创新和推广应用支撑作用情况(限 300 字)
1	浙江工业大学	主要负责项目总体设计、关键技术攻关、项目实施和推广应用。主要贡献有： 1.提出了双叶片离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计方法，研制了全系列自吸排污泵产品，产品整体效率提升了 5%-10%。 2.创建了动态修正的两组双流体气液两相流计算方法，完成了泵自吸过程的两相瞬态流动模拟及自吸性能的预测，提高了自吸时间的预测精度。 3.设计了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，解决了液体泄漏损失大、叶轮卡死及轴封过度磨损等工程问题，实现了自吸排污泵全年不间断稳定运行。 4.开发了仿生非光滑表面水力元件减阻抗磨技术，用于抗磨蚀自吸排污泵水力模型开发，降低了泵内过流部件表面磨损率，泵的使用寿命提高了近一倍。

2	温州自吸泵业制造有限公司	<p>主要负责项目技术方案的实施和产品的试制与测试。主要贡献有：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成了全系列自吸排污泵产品的试制和测试，参与并完成了双叶片离心叶轮自寻优及蜗壳面积逐次逼近优化设计技术。 2. 设计并完成了泵气液两相综合性能测试平台，实现了泵自吸性能的精确测量。 3. 设计了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，解决了液体泄漏损失大、叶轮卡死及轴封过度磨损等工程问题，实现了自吸排污泵全年不间断稳定运行。 4. 利用仿生非光滑表面水力元件减阻抗磨技术，开发了系列抗磨蚀水力部件，降低了泵内过流部件表面磨损率，大幅提高泵的使用寿命。
3	南方中金环境股份有限公司	<p>参与了项目技术方案的实施和产品的试制与测试。主要贡献有：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 参与完成了全系列自吸排污泵产品的试制和测试，研发了泵体新型法兰结构和生产加工夹具。 2. 协助完成了水力元件全局自寻优设计方法和切割式叶轮防缠绕密封技术，为项目的新产品提供重要的生产设备和测试设备。 3. 参与设计了兼顾密封和防缠绕的切割式叶轮结构，解决了液体泄漏损失大、叶轮卡死及轴封过度磨损等工程问题，实现了自吸排污泵全年不间断稳定运行。 4. 应用项目关键技术，开发了全新系列高效不锈钢冲压泵产品，大幅提升了水泵的效率。
4	浙江工业大学之江学院	<p>参与了项目关键技术的论证及相关数值计算方案的验证。主要贡献有：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 负责项目流数值计算方案制定与实施，完成多相流数理模型的建立与验证。 2. 创建了动态修正的两组双流体气液两相流计算方法，研发了基于旋转和曲率修正的离心泵数值模拟设计方法。 3. 参与完成了全新水力模型的设计及数值分析工作，开展了大量的泵内流可视化研究工作。

十、完成人合作关系说明（含情况汇总表）

项目名称：高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化

项目完成单位：浙江工业大学、温州自吸泵业制造有限公司、南方中金环境股份有限公司、浙江工业大学之江学院

项目实施周期：2014.7-2016.12

针对自吸排污泵存在的效率低、自吸性能差、易堵塞和易磨损等工程技术难题，浙江工业大学与温州自吸泵业制造有限公司、南方中金环境股份有限公司、浙江工业大学之江学院等单位通过共同立项、共享科技成果、联合指导研究生等形式，长期保持着紧密的产学研合作关系，本项目成果来源于各完成人的长期通力合作和单位间的协同创新。

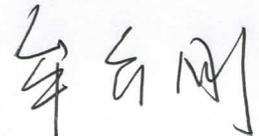
项目完成人牟介刚（1）、吴登昊（2）、李敬堂（3）、谷云庆（4）、赵才甫（5）、郑水华（6）、任芸（7）、周佩剑（8）、徐茂森（9）等组成联合攻关团队，致力于研发国际一流的高效无堵抗磨自吸排污泵系列产品，建立了高效、高可靠性离心泵系列产品研发平台和学术团队，在2014年至2016年间共同完成了“高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化”项目，在产品研发、技术创新、人才培养、工艺创新等方面取得一系列成果。

2018年12月，由长江学者王福军教授等组成的专家团队对“高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化”项目进行了技术成果鉴定。该项目由牟介刚（1）、吴登昊（2）、李敬堂（3）、谷云庆（4）、赵才甫（5）、郑水华（6）、任芸（7）、周佩剑（8）、徐茂森（9）等共同分工合作完成，经鉴定，该项目技术创新性强，应用效果好，达到了国际先进水平。

为保证项目的顺利实施，由浙江工业大学与温州自吸泵业制造有限公司于2015年4月共同签订了技术合作协议，在整个项目实施过程中，针对双叶片离心泵的水力优化设计方法，项目完成人吴登昊（2）、任芸（7）、牟介刚（1）、谷云庆（4）申请并授权了相关发明专利“一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法”和“一种基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法”；针对自吸性能的技术问题，周佩剑（8）、牟介刚（1）、郑水华（6）、谷云庆（4）和吴登昊（2）等人申请并授权了发明专利“高抗汽蚀的自吸离心泵”；针对自吸性能的预测以及泵内流动特性的精确捕捉技术问题，任芸（7）、吴登昊（2）、牟介刚（1）、谷云庆（4）等申请并授权了发明专利“一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法”；针对仿生减阻抗磨关键技术，谷云庆（4）、牟介刚（1）、郑水华（6）、吴登昊（2）、周佩剑（8）等申请并授权了发明专利“基于仿生的水下射流表面减阻测试装置”、“一种基于仿生射流的减阻表面的测试装置”和“一种短距离管道内壁仿生沟槽表面加工装置及其加工方法”。同时基于上述研究成果，牟介刚（1）、吴登昊（2）、谷云庆（4）、郑水华（6）、任芸（7）等共同发表了论文“Investigation of the correlation between noise & vibration characteristics and unsteady flow in a circulator pump”和“基于蚯蚓背孔射流的仿生射流表面减阻性能研究”。

承诺：本人作为成果第一完成人，对本成果完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料编号	备注
1	科技成果鉴定	牟介刚, 吴登昊, 李敬堂, 谷云庆, 赵才甫, 郑水华, 颜士富, 王国良, 任芸, 周佩剑, 徐茂森, 李凯, 盖雪晶	2015 年 4 月至 2018 年 12 月	高效减阻抗磨自吸排污泵装备关键技术及产业化	附件 1	
2	产业合作	牟介刚, 吴登昊, 郑水华, 谷云庆, 李敬堂	2015 年 4 月至今	ZW 型系列高效自吸排污泵产品设计研发	附件 8	
3	共同知识产权	周佩剑, 吴振兴, 牟介刚, 简捷, 郑水华, 谷云庆, 吴登昊	2014 年 1 月至今	高抗汽蚀的自吸离心泵	附件 4	
4	共同知识产权	吴登昊, 任芸, 牟介刚, 杨友东, 蒋兰芳, 谷云庆	2014 年 1 月至今	一种双叶片无堵塞离心叶轮水力设计方法	附件 4	
5	共同知识产权	吴登昊, 任芸, 杨友东, 蒋兰芳, 刘健	2014 年 1 月至今	一种基于数学模型的离心泵蜗壳设计方法	附件 4	
6	共同知识产权	任芸, 吴登昊, 牟介刚, 杨友东, 蒋兰芳, 谷云庆	2014 年 1 月至今	一种基于旋转和曲率修正的离心泵设计方法	附件 4	
7	共同知识产权	谷云庆, 牟介刚, 施郑赞, 范天星, 吴登昊, 郑水华, 周佩剑, 陈真	2014 年 1 月至今	基于仿生的水下射流表面减阻测试装置	附件 4	

		富, 吴振兴, 唐佳新				
8	共同知识 产权	谷云庆, 牟介 刚, 施郑赞, 王浩帅, 吴登 昊, 郑水华, 周佩剑, 简 捷, 赵李盼	2014 年 1 月至今	一种基于仿生射流 的减阻表面的测试 装置	附件 4	
9	共同知识 产权	Wu Denghao, Ren Yun, Mou Jiegang, Gu Yunqing	2014 年 1 月至今	Investigation of the correlation between noise & vibration characteristics and unsteady flow in a circulator pump	附件 5	
10	共同知识 产权	谷云庆, 牟介 刚, 代东顺, 郑水华, 蒋兰 芳, 吴登昊, 任芸, 刘福庆	2014 年 1 月至今	基于蚯蚓背孔射流 的仿生射流表面减 阻性能研究	附件 5	