

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目申报表

项目名称：智能矩阵式水力发电系统				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学号	专业	性别	入学年份
李璠	201559060127	热工过程及其自动化	男	2015年
李文豪	201559060117	热工过程及其自动化	男	2015年
刘浩	201559060125	热工过程及其自动化	男	2015年
龙子鑫	201623060529	能源与动力工程	男	2016年
毕张飞	201523060133	能源与动力工程	男	2015年
指导教师	邹淑云	职称	讲师	
项目所属一级学科	动力与电气工程	项目科类(理科/文科)	理科	
学生曾经参与科研的情况				
<p>李璠、李文豪和刘浩曾进行超低速水流水轮机优化设计方面的实践研究，研究课题“无坝式水力发电系统的研究与设计”于2015年获校级科技立项，并于2016年通过校级答辩，成功结题。三位同学熟练掌握CAD、Inventor、Simulation CFD、Altium Designer等计算机软件的使用，了解水轮机及其控制系统的基本设计方法和思路。项目组成员均参与过Arduino单片机的系统学习，并会使用C++编写程序。</p>				
指导教师承担科研课题情况				
<p>邹淑云老师主要从事水力机组状态监测与诊断、水轮机优化设计及运行方面的研究。</p> <p>[1] 现参与国家自然科学基金青年项目1项（排名第4）、湖南省教育厅优秀青年项目1项（排名第2）；</p>				

[2] 主持完成湖南省教育厅科研项目 1 项 (“大中型水泵空化的声发射信号特性与辨识方法研究”, 编号 11C0027);

[3] 参与完成湖南省科技厅计划项目 1 项、湖南省教育厅科研项目 1 项、教育部重点实验室开放基金项目 1 项、企业委托科技项目 3 项 (均排名第 2); 作为主要研究人员参与完成长沙市科技局重大专项 1 项、五凌电力公司科研项目 1 项;

[4]近年来在国际会议及国内核心期刊发表科研论文 6 篇, 获实用新型专利 2 项。

项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

目的:

该项目拟基于流体力学、工程力学和水轮机相关的基本理论, 将多级水轮机矩阵与物联网技术相连接, 分析设计出一种智能矩阵式发电系统, 使其能适应全国 90%以上的流域, 达到高效率、高可靠性、低成本发电的目的。这一研究的成功实施, 对于我国大范围的未能充分利用的低水位地区的水能资源开发具有十分重要的环保、经济与社会意义。

内容

1. 机械部分:

- 1) 使用 Inventor 建模, 快速设计出水轮机模型。
- 2) 将模型导入 Simulation CFD 进行仿真模拟, 找出模型的不足并通过 Inventor 进行修改和优化。
- 3) 采用 3D 打印技术, 制作出实物模型, 并进行水力实验, 对模拟数据进行验证, 并作出最后细节上的优化。

2. 控制部分:

- 4) 基于 Altium Designer 对数据采集部分以及控制电路部分进行仿真设计, 并制作出 PCB 原型。
- 5) 使用 Arduino 编译器和 C++ 编译器编写并调试适用于 Arduino 和树莓派的代码。
- 6) 将 Arduino、树莓派、PCB 和虚拟主机对接并调试, 完成电路部分的设计。

要解决的主要问题:

1. 水流速度较低, 需要重新设计适合低流速 ($\leq 2\text{m/s}$) 水流的水轮机。
2. 河水的流速会受到天气以及季节的影响, 因此水轮机的运行会不稳定, 需要设

计精密的控制系统以及缓冲系统。

3. 由于选择了发电机阵列解决方案，发电单元数量众多，需要设计一套自检和控制系统，使发电机阵列能在协调工作的同时，便于系统的监测和维护。

解决方案:

1. 结合升力型及阻力型水轮机的优点，设计出全新的升阻结合型三元流可调水轮机。
2. 使用多级冗余缓冲系统，解决因水轮机运行不稳定所造成的对电网的冲击和电网波动对发电系统的冲击，同时解决控制系统的网络延迟。
3. 将 Arduino、树莓派、虚拟主机相结合，集 Arduino 易于编写代码、树莓派强大的网络以及扩展性能和虚拟主机强大的运算性能的优点于一身，解决阵列式发电系统的协调配合和远程监测控制的难题。

国内外研究现状和发展动态

21 世纪以来，面对常规能源的日益枯竭，环境恶化，可再生能源得到了世界各国的密切关注，水力资源作为清洁、可循环、成本低、效益高的可再生能源的主力军，一直被各国大力的发展。传统的大中型水电站技术已经非常成熟，效益高、无污染、可调性强。但同时大中型水电站的建坝问题一直得不到很好的解决，修建水坝会破坏生态，需要移民，投资也十分巨大，科学家们开始寻找一种效率高、又不需要建坝的方法来开发水资源，渐渐地把目光转移到小水电的开发上，小水电的发展将受到国家重点支持。传统的水轮机虽然可以保证效率，但结构形式不得不依赖于水坝，想要舍弃水坝的势能，必须寻找新式的水轮机。小型水电没有坝的蓄水功能意味着水轮机将在很低的水位运行，目前对于无坝式水力发电还处于研究状态^[1]，尚未大规模实际应用。目前国内的技术有浮管式发电技术^[2]、漂浮式无落差流水发电机技术^[3]、河床无坝式水力发电技术^[4]、利用潮汐能的双向发电装置^[5]，然而浮管式水力发电由于只能悬浮在水流上层，大部分水流都从旁边和下部流过，能量损失较大，且水资源利用率不高；而漂浮式水力发电机采用纯阻力型水轮机，无法实现很高的效率，同时也只能利用上层的水流；河床无坝式水力发电技术运行的运行受到水位的影响，无法长期稳定的运行；潮汐发电机结构复杂，且转速不稳定，同样难以长期稳定的运行。在韩国，为了解决能源消耗以及温室气体问题，提出了一种在污水处理厂废水中嵌入水力发电的想法，经过处理的废水经压力管道流入

微型水电系统，所应用的MHP（微型水电系统）被设计为半卡普兰式，仅配备无导叶的可调水轮机叶片，因此其机械结构简单，但是水轮机效率较低，超过水轮机运行范围的废水量仍是巨大的，且造价较高，暂未被采用^[6]。在英国，通过对污水处理厂出口处采用水轮机进行回收，研究发现卡普兰水轮机有最大的潜在功率输出，但是泵式水轮机每千瓦成本最低^[7]。冲击式水轮机设计简单，价格便宜，但工况较为复杂^[8]。灯泡式水轮机，全贯流式水轮机和卡普兰式水轮机^[9-11]同属于反击型水轮机，虽然适用于低水头，但也要求水域有高流量。在水资源的开发利用上，还有很大的发展空间。

参考文献:

- [1] 李海英, 王东胜, 廖文根. 微水电发展综述[J]. 中国水能及电气化, 2010 (6): 13.
- [2] 重庆同利实业有限公司. 标准型浮管式水力发电机[P]. 中国专利: CN 103397975 A, 2013-11-20.
- [3] 解志华. 漂浮式无落差流水发电机[P]. 中国专利: CN 101135289 A, 2008-3-5.
- [4] 哈尔滨北方通用机电设备工程有限公司. No-dam hydroelectric generation system for riverbed[P]. 中国专利: CN 203584669 U, 2014-5-7.
- [5] 吴汉民. 一种利用潮汐能的双向发电装置[P]. 中国专利: 中国专利: CN 101892940 A, 2010-11-24.
- [6] Kyu-Jung Chae, In-Soo Kim, Xianghao Ren. Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system[J]. Energy Conversion and Management, 2015, (101): 681-687.
- [7] Christine Power, Aonghus McNabola, Paul Coughlan. Development of an evaluation method for hydropower energy recovery in wastewater treatment plants: Case studies in Ireland and the UK [J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2014, (7): 166 - 177.
- [8] Stout BA. Handbook of energy for world agriculture[M]. Amsterdam: Pergamon, 1990: 384 - 430.
- [9] Ghosh Tushar K, Prelas Mark A. Energy resources and systems[J]. Renewable resources, 2011, (3): 142-155.

[10] Brookshier Peggy. Encyclopedia of energy[J], Hydropower technology. 2004, (4): 333 - 341.

[11] Xu J, Ni T, Zheng B. Hydropower development trends from a technological paradigm perspective[J]. Energy Convers Manage, 2015, (90):195 - 206.

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

本项目团队成员在专业知识、科学研究方法、技能与经验上均有一定的储备和积累，并取得过一定的成绩。

(1) 已经掌握了 CAD、Inventor、Altium Designer 和 Simulation CFD 等计算机软件的使用。

(2) 拥有金工实习的经验，能够使用机床加工出各种零件，同时能使用 3D 打印机打印各种零件。

(3) 具备程序开发能力，能够编写出各种控制程序。

(4) 具有一定的电路设计能力，能够使用 Altium Designer 设计出合适的电路，实现发电系统的并网发电。

项目的创新点和特色

1. 采用多级发电机矩阵的设计思路，以数量取代容量，克服在超低流速水域水轮机难以启动的问题，同时提高了系统整体的可靠性。

2. 将物联网技术引入矩阵式发电机的控制系统，使系统运行信息可以实时反馈，进一步提高系统可靠性。

3. 引用类似互联安全技术的多级冗余缓冲系统，解决现有的信息传输和处理过程中的延迟问题，使系统的运行更具弹性。提高系统整体的抗冲击性和对电网的友好性。

4. 引入了开源的硬件（Arduino 和树莓派）作为开发硬件，省去了硬件自开发所带来的高成本高风险问题，同时使用开源硬件也能获得广泛的技术支持。

5. 使用虚拟主机作为数据中心以及控制中心，使控制系统运行成本低。

项目的技术路线及预期成果

项目技术路线:

1. 机械部分

机械部分的设计思路如图 1 所示:

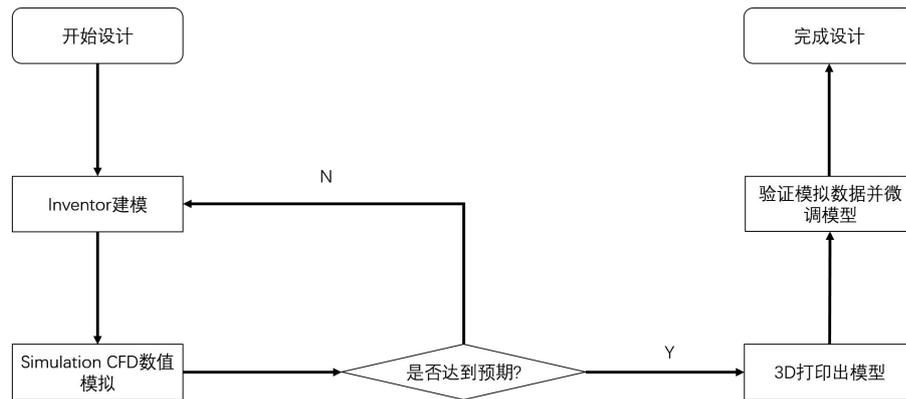


图 1 机械部分设计思路

2. 多级冗余缓冲系统

多级冗余缓冲系统的设计思路如图 2 所示:

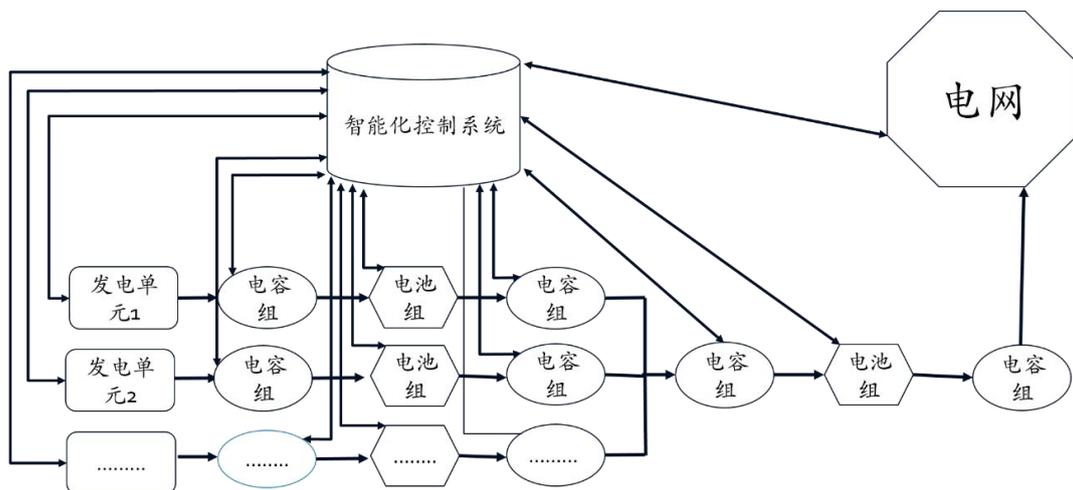


图 2 多级冗余缓冲系统

3. 远程智能化控制系统结构图

远程智能化控制系统如图 3 所示：

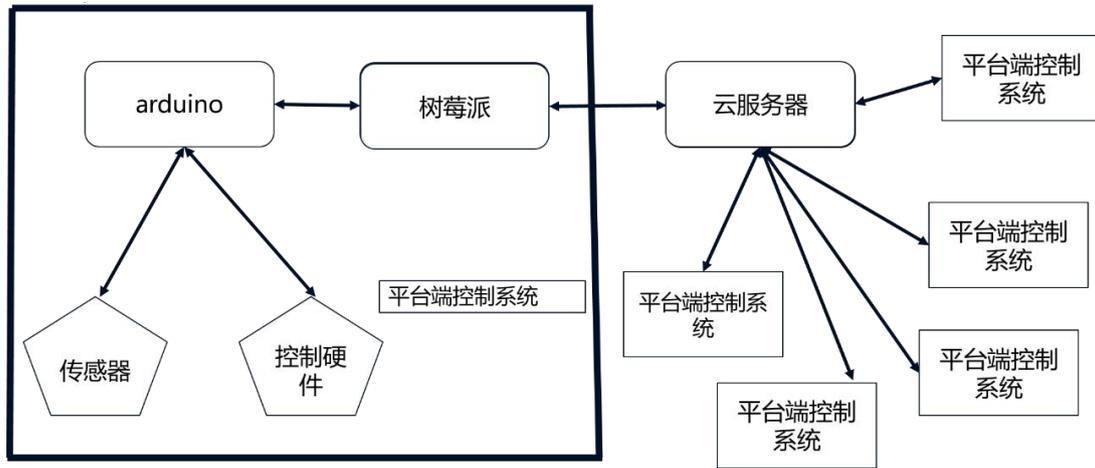


图 3 远程智能化控制系统

预期成果

本项目拟通过分析、研究，设计出一套智能矩阵发电系统。该系统将能实现全国 90% 以上的流域部署，具有稳定性强、自动化程度高、成本低廉、电网友好性好的特点。

成果形式：

1. 超低速水流水轮机模型一套，多级冗余缓冲系统电路模型一套，远程智能化控制系统硬件模型一套，系统全套设计图纸。
2. 申请专利 1-2 项，申请软件著作权 1 项。
3. 在国内外学术期刊或会议上发表研究论文 1-2 篇。

年度目标和工作内容

第一阶段（2017 年 5 月-2017 年 9 月）：智能矩阵发电系统初步设计

使用 Inventor 完成机械部分的设计，并将导流罩和叶伦部分导入到 Simulation CFD 中进行流场分析，根据分析结果对机械部分进行优化，并进一步的进行流场分析，如此循环直至达到满意的结果，完成机械部分的定型。

第二阶段（2017年10月-12月）：模型的制作与实验验证

使用3D打印技术打印出模型,根据实际工况进行实验,得出试验数据并与模拟数据对比,完成数据的验证。

第三阶段（2018年1月-3月）：控制系统设计与实现

使用Altium Designer完成电路的设计与仿真,使用Arduino编译器和C++编译器完成代码的编写和调试,使电路部分能够实现预期的逻辑。

第四阶段（2018年4月-5月）：系统的优化与调试

完成系统的微调和代码的优化,使机械部分模型能与控制系统完成对接。

第五阶段（2018年6月—12月）：成果应用及推广

对项目成果进行专利申请,对代码核心部分进行版权申请,并参加全国节能减排大赛。

指导教师意见

针对传统水力发电方式中存在的若干问题,该项目拟基于流体力学和物联网相关的基本原理,将多级水轮机矩阵与物联网链接,分析设计出一种智能矩阵式发电系统,采用Simulation CFD软件对其性能进行数值模拟,引用开源硬件并制作出模型,进行现场实验研究,优化设计出适用范围广、能够大大提高水能利用率的智能矩阵式发电系统。

项目组成员具有较好的研究基础,学有余力,具有较强的科研能力。项目选题新颖,具有较好的创新性,技术先进,方案可行,预期成果合理;该项目具有较强的理论意义和实际应用价值。

签字:

日期:

