

# 大学生创新训练项目申请书

项目编号 s201910536019

项目名称 一种适于低风速地区的高升力仿生风电叶片开发

项目负责人 张利 联系电话 18390875184

所在学院 能动学院

学 号 201649060320 专业班级 新能源科学与工程 1603

指导教师 周鹏展

E-mail 1310744794@qq.com

申请日期 2019.5.1

起止年月 2019.5.1-2021.5.1

长沙理工大学

# 填 写 说 明

1、本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要

2、申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。

3、本申请书为大16开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。

4、负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，将申请书（一式两份）报送××××大学项目管理办公室。

## 一、基本情况

项目名称	一种适于低风速地区的高升力仿生风电叶片开发						
所属学科	学科一级门:	工学		学科二级类:	能源动力类		
申请金额	20000 元		起止年月	2019 年 5 月至 2021 年 5 月			
负责人姓名	张利	性别	男	民族	汉	出生年月	1997 年 1 月
学号	201649060320	联系电话	宅: 18390875184 手机:18390875184				
指导教师	周鹏展	联系电话	宅: 15873186818 手机:15873186819				
负责人曾经参与科研的情况	大二曾参与节能减排大赛, 参加长沙理工大学第一届创新项目策划大赛荣获校三等奖						
指导教师承担科研课题情况	<p>本团队指导老师长期致力于风力发电技术研究和新能源(风电)专业建设工作,承担主要科研课题与建设项目如下:</p> <p>[1] 大尺寸复合材料风电叶片 RTMAVIP 就地制造技术, 国家 863 项目, 参与。</p> <p>[2] 大型风电叶片空气动力学分析及结构设计研究, 湖南省科技项目, 主持。</p> <p>[3] 风能利用技术服务中心-风力机叶片复合材料制备平台, 长沙市能源局重大建设项目子项, 主持。</p> <p>[4] 直驱风电机组气动噪声传播特征及抑制方法研究, 湖南省教育厅项目, 主持。</p> <p>[5] 极端风况下风力机叶片空气动力学特性及优化设计研究, “可再生能源电力技术” 湖南省重点实验室开放基金, 主持。</p> <p>[6] 风能与动力工程专业教学实验室建设, 中央财政支持地方高校新兴专业建设项目, 负责。</p> <p>风力发电虚拟仿真系统, 电力生产与控制国家级虚拟仿真实验教学中心建设子项, 负责。</p>						

指导教师对本项目的支持情况	指导教师长期从事风力发电方面的教学与科研工作，并建设了风力发电仿真机房、风力发电实验室和风力机叶片制备实验室，可以为本项目的完成提供仿生翼型仿真分析指导、低风速仿生风力机叶片设计程序设计与调试方面指导、以及仿生翼型和仿生叶片的制作指导。				
项目组主要成员	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工
	张利	201649060320	新能源科学与工程 1603	能动学院	叶片的绘制，技术参数
	肖悦心	201649060301	新能源科学与工程 1603	能动学院	软件程序编写
	刘波	201649060321	新能源科学与工程 1603	能动学院	气动分析，材料翻译
	段慧敏	201649060306	新能源科学与工程 1602	能动学院	材料收集整理

## 二、 立项依据（可加页）

### （一） 项目简介

本作品针对小型风力发电机在湖南等低风速地区发电能力不足的问题，通过对风资源特性、叶片运行特点的综合分析，结合仿生学原理，研究海豚跃出水面的形态作为仿生翼型，并利用 Profili 软件分析仿生翼型气动性能，开发了低风速启动的高升力仿生风电翼型；根据仿生学原理，改进了基于海豚背鳍仿生的涡流发生器布局位置；改进传统 BEM 理论，开发了低风速启动的高升力风电叶片设计软件；设计了低风速启动的高升力风电叶片。

### （二） 研究目的

针对小型风力发电机在湖南等低风速地区发电能力不足的问题，我们产生了对风电叶片气动和结构性能进行改进的想法，项目组通过对风资源特性、叶片运行特点的综合分析，结合仿生学原理，研究海豚跃出水面的形态，设计适应于低风速条件的高效仿生风电翼型，并通过改进传统动量叶素理论（BEM），开发一种适应于低风速地区的高升力仿生风电叶片，希望可以促进低风速地区风电产业的发展。

### （三）研究内容

（1）依据仿生学原理，研究海豚跃出水面的形态，并利用 Profili 软件分析其气动性能，设计一款适应于低风速条件的高效仿生风电翼型；

（2）依据仿生学原理，基于海豚背鳍的仿生研究，对能改善小型风电叶片升力特性的涡流发生器在叶片上的安装位置进行改进；

（3）基于传统 BEM 理论，并通过对风资源特性、叶片运行特点的综合分析，开发一款低风速风电叶片设计软件，设计一种适于低风速地区的高升力小型风电叶片。

### （四）国、内外研究现状和发展动态

能源安全与环境污染问题是当今能源业界关注的两大热点问题。为了应对传统化石能源日益枯竭、全球环境污染加剧、以及碳排放过量引起全球气候变化等问题，世界各国于 2009 年 12 月 19 日在哥本哈根联合国气候变化大会上签订了《哥本哈根协议》，同意根据各国 GDP 大小减少二氧化碳排放量，同时风能因其可观的总量，受到全球各国的重视。我国于 2016 年 11 月发布的《风电发展“十三五”规划》明确指出：到 2020 年底，风电累计并网装机容量确保达到 2.1 亿千瓦以上，风电年发电量确保达到 4200 亿千瓦时，约占全国总发电量的 6%。2018 年底我国风电累积装机容量达到 213.9GW，新增装机容量 25.9GW，两者均位居世界第一。在国家中长期能源政策的鼓励与支持下，我国风电产业未来发展前景非常广阔。

小型风力发电也是风电产业的一个重要组成部分，我国能源局于 2017 年 6 月发布了《关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知》，明确提出要“本地平衡、就近消纳”支持分散式风电发展，且分散式风电项目不受年度指导规模限制，为加快发展分散式小型风电产业带来了机遇。

风电叶片是风电机组将风能转化为机械能的重要部件，直接影响风电机组的发电效率，因此风电叶片优化设计对提高风电机组的性能具有重大影响。目前国内外科研工作者在风电叶片气动性能分析、气动布局、仿生设计、结构优化方面进行了较多研究。NitinTenguria<sup>[1]</sup>基于动量叶素理论（BEM）对水平轴风电叶片的 NACA 翼型进行研究，通过改变翼型形状增强了叶片的升力系数；李典<sup>[2]</sup>采用仿生技术对风机叶片截面翼型进行改进，仿照鸟类翼型进行叶片设计，在一定范围内

能够延迟失速攻角、减小流动分离；陈彩凤<sup>[3]</sup>利用 ANSYS workbench 对零转速和额定转速下覆冰叶片进行模态分析，得到覆冰叶片在零转速和额定转速下前 12 阶振型和频率的变化情况，对失效部位进行六西格玛优化，减少叶片质量从而使风电叶片结构改进、结构优化；吴映芳<sup>[4]</sup>研究发现在额定风速附近叶片的攻角增大，加装涡流发生器后可避免叶片失速，增加年发电量。叶片气动性能不佳，风速和转速不能匹配时，叶片的攻角增大，加装涡流发生器有助于改善叶片的气动性能，增加发电量，还能定桨叶片，使额定风速较大，叶片的攻角较大，增功效果显著；Han Yang<sup>[5]</sup>根据低风速地区的特征结合动量叶素理论，优化高风速地区使用的风电机叶片的比例模型为依据，设计适合于低风速地区高气动性能的风电叶片；王昊<sup>[6]</sup>通过比较 Wilson 优化方法、遗传算法优化方法和联合优化设计方法，对设计变量弦长进行改进，重新搜索寻优得到该优化方法下叶片的外形数据得到气动外形数据和气动外形结果；王骥月<sup>[7]</sup>利用便携式三维扫描仪，扫描标准叶片，获得标准叶片扫描点云，利用 Imageware 进行点云处理，利用 Geomagic Studio 进行逆向工程建模，得到标准叶片三维模型图，通过截取横截面，获取标准翼型；陈亚琼<sup>[8]</sup>基于翼型噪声预测半经验模型，采用 XFOIL 程序计算翼型气动性能，通过遗传算法得到了具有更好气动性能和声学性能的优化翼型；于洪文<sup>[9]</sup>基于 NACA0015 翼型及鸽子数据特征，将优缘凸起、后缘凸起及前后缘凸起三类翼型与 NACA0015 翼型进行对比，分析得到翼型上下表面压力分布、表面流场变化、剪切应力分布及增升减阻各气动系数。

湖南等低风速地区这几年也在加快小型风电的应用，目前在风光互补路灯（见图 1）、离网型通讯基站、家庭户用风电系统（见图 2）等方面也有很多应用实例，但湖南属于中国低风速地区，本项目组通过调研发现湖南长沙地区 10m 高度日平均风速一般在 1.5~6.5m/s 之间，在应用上述风电系统时，经常面临风能利用效率较低、甚至停机的问题，限制了湖南等低风速地区风电产业的发展。

针对小型风力发电机在湖南等低风速地区发电能力不足的问题，我们项目组希望博采众长，能够研发出更高效率、更优外形、更低成本和更安全的风力发电机，促进低风速地区风电产业发展。



图1 风光互补路灯



图2 家庭户用风电系统

#### 参考文献:

- [1] NitinTenguria, NDMittal, Siraj Ahmed. Investigation of blade performance of horizontal axis wind turbine based on blade element momentum theory (BEMT) using NACA airfoils[J]. International Journal of Engineering, Science and Technology, 2010, (12): 25-35.
- [2] 李典, 刘小民, 杨罗娜. 仿鸮翼的三维仿生翼型叶片气动特性研究[J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(09): 111-118.
- [3] 陈彩凤, 成斌, 李西洋, 莫杰. 风力发电机叶片模态分析及参数优化[J]. 水力发电, 2018, 44(09): 85-88.
- [4] 吴映芳, 赵春妮, 张立新, 朱英伟. 涡流发生器在风力发电机组叶片上的应用[J]. 天津科技, 2018, 45(09): 80-83.
- [5] H.Yang, J.Chen, X.P.Pang, G.Chen.A new aero-structural optimization method for wind turbine blades used in low wind speed areas[J].Composite Structures, 2019, (207):446-459.
- [6] 王昊, 陆杨, 周欢, 韩春辉. 联合 Wilson 方法与遗传算法的水平轴风力机叶片优化设计[J]. 上海电力学院学报, 2018, 34(04): 325-328, 332.

- [7] 王骥月, 丛茜, 梁宁, 毛士佳, 关欢欢, 刘林鹏, 陈创发. 基于海鸥翼型的小型风力机叶片仿生设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10):72-77.
- [8] 陈亚琼, 方跃法, 郭盛, 等. 风力机专用翼型综合优化设计方法[J]. 中国机械工程, 2015, 26(9):1194-1200.
- [9] 于洪文, 徐成宇. 基于仿鸽子翼型的风力机叶片结构气动性能分析[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2018, 2: 13-22.

### (五) 创新点与项目特色

- (1) 设计了基于海豚运动形态的低风速仿生风电翼型。
- (2) 开发了适应于低风速地区的风电叶片设计软件。
- (3) 改进了基于海豚背鳍仿生的涡流发生器布局位置。
- (4) 改进了适应于低风速地区的风电叶片的气动布局。

### (六) 技术路线、拟解决的问题及预期成果

本项目组针对低风速条件下高升力仿生风电叶片开发的技术路线如图 10 所示。

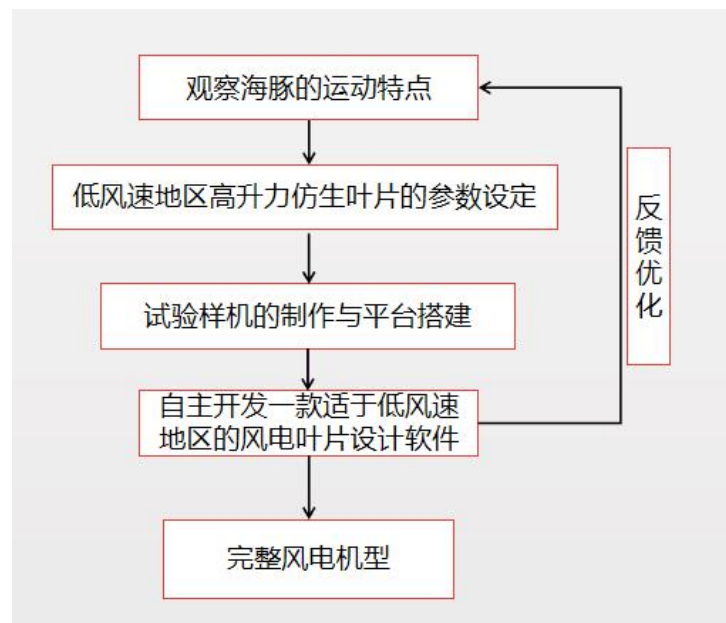


图 10 技术路线简图



拟解决以下主要问题：

- ① 低风速条件下高升力风电翼型的设计问题；
- ② 低风速条件下涡流发生器的位置布局问题；
- ③ 低风速条件下风电叶片设计软件开发问题；
- ④ 低风速条件下风电叶片翼型、弦长、扭角的协同布局问题；

预期成果：

本项目针对风电叶片在低风速地区存在的启动困难和发电能力不足的问题，结合风电叶片运行特点和仿生学原理开展研究，预期可取得以下研究成果：

- ① 预期可改进和完善自主开发的一款适于低风速地区的风电仿生翼型。
- ② 预期可改进和完善自主开发的一款适于低风速地区的风电叶片设计软件。
- ③ 预期可制出一套适于低风速地区的高升力风电翼型和风电叶片实物模型。
- ④ 提交一套适用于低风速地区的风电仿生翼型和叶片气动特性分析报告。

### （七）项目研究进度安排

年度目标和工作内容

- 1、2019.3~2019.6，对海豚的运动形态进行进一步观察，通过 Profilil 软件对其进行气动特性和压力分布分析，改进和完善低风速仿生风电翼型设计；
- 2、2019.7~2019.10，对风电叶片的运动特性进行进一步分析，改进和完善低风速风电叶片设计软件；
- 3、2019.11~2020.1，改进和完善低风速高升力仿生风电叶片外形参数的协同设计，并制作出实物模型。
- 4、2020.2~2020.5，搭建仿生风电叶片实验平台，对设计的低风速仿生叶片的气动性能进行实验测试与验证。
- 5、2020.6~2020.12，完成低风速风电仿生翼型和叶片气动特性分析报告，完成项目结题。

## （八）已有基础

### 1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

（1）项目组对湖南长沙地区的风资源状况进行了调研，发现湖南长沙地区低风速地区 10m 高度日平均风速一般在 1.5~6.5m/s 之间，如图 3 所示，在应用小型风力发电机时，经常面临风能利用效率较低、甚至停机的问题，急需解决低风速条件下风力发电机的启动与高效运行问题。



图 3 长沙地区测风数据

（2）项目组通过观测研究海豚跃出水面的形态，发现一头 1.5m 海豚的体重为 50kg 左右，跃出水面的形态体现出它能产生很大升力，这种小攻角跃出水面的形态与风力机叶片的运行特征也很类似，如图 4 所示，设计出了一种仿生翼型，如图 5 所示，并利用 Profili 软件对其形态进行了气动性能分析，如图 6、7 所示，发现此仿生翼型的升力系数和升阻比都比传统风电翼型高，主要原因是仿生翼型上的压力分布比较均匀，如图 8 所示，为设计适应于低风速条件的高效仿生翼型提供了理论依据。



图 4 豚跃出水面形态图

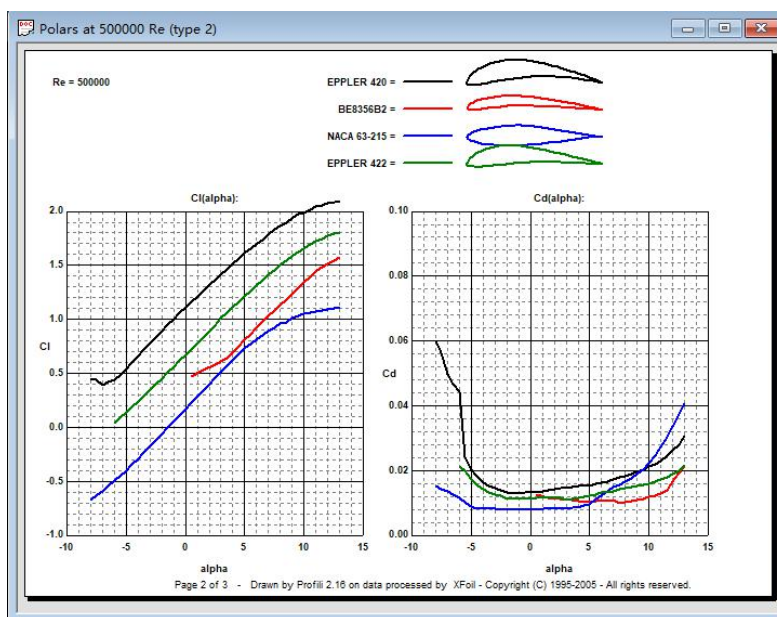


图 6 仿生翼型与传统翼型升力系数与阻力系数对比图

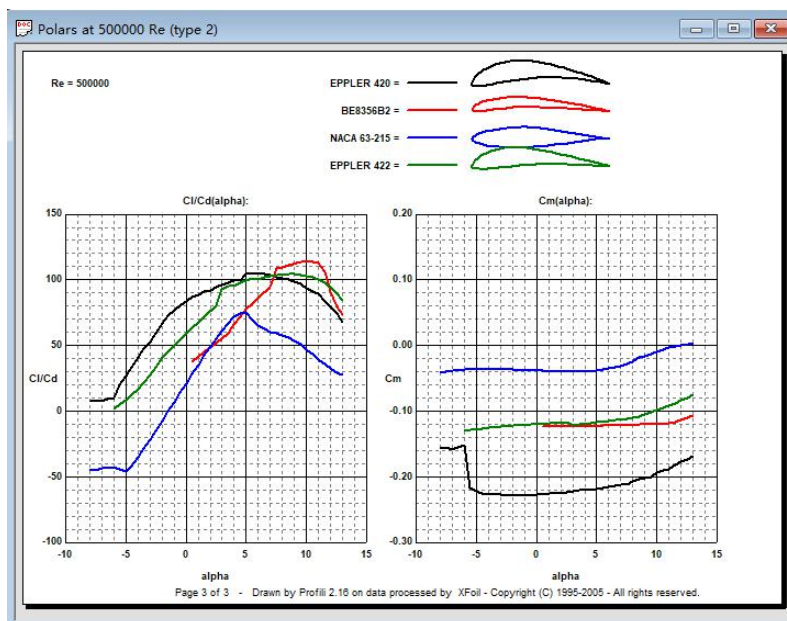


图 7 仿生翼型与传统翼型升阻比与力矩系数对比图

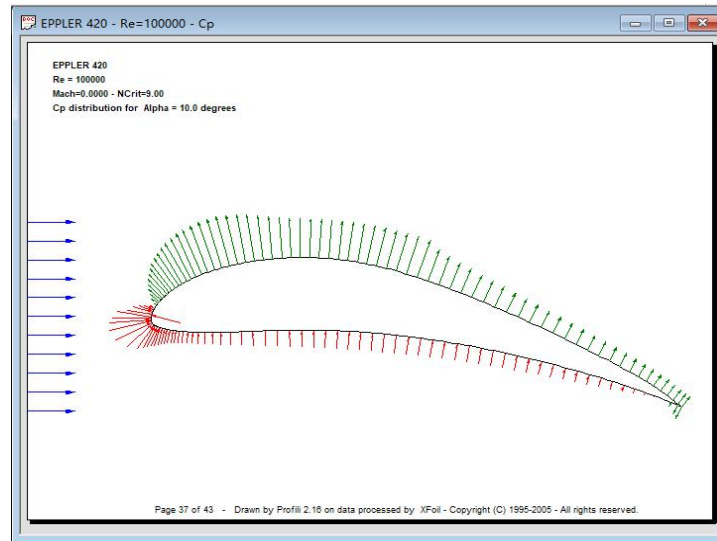


图 8 仿生翼型压力分布图

(3) 项目组通过认真分析风电叶片运行时的工作特点，发现风电叶片在旋转运行时的发电功率主要由叶片前三分之一段决定，因此如何提高风电机叶片前三分之一段的捕风能力是克服风电叶片在低风速地区发电效率不高的关键因素，项目组自主开发了低风速风电叶片设计软件，如图 9 所示，为改进低风速条件下风电叶片的设计提供软件支持。

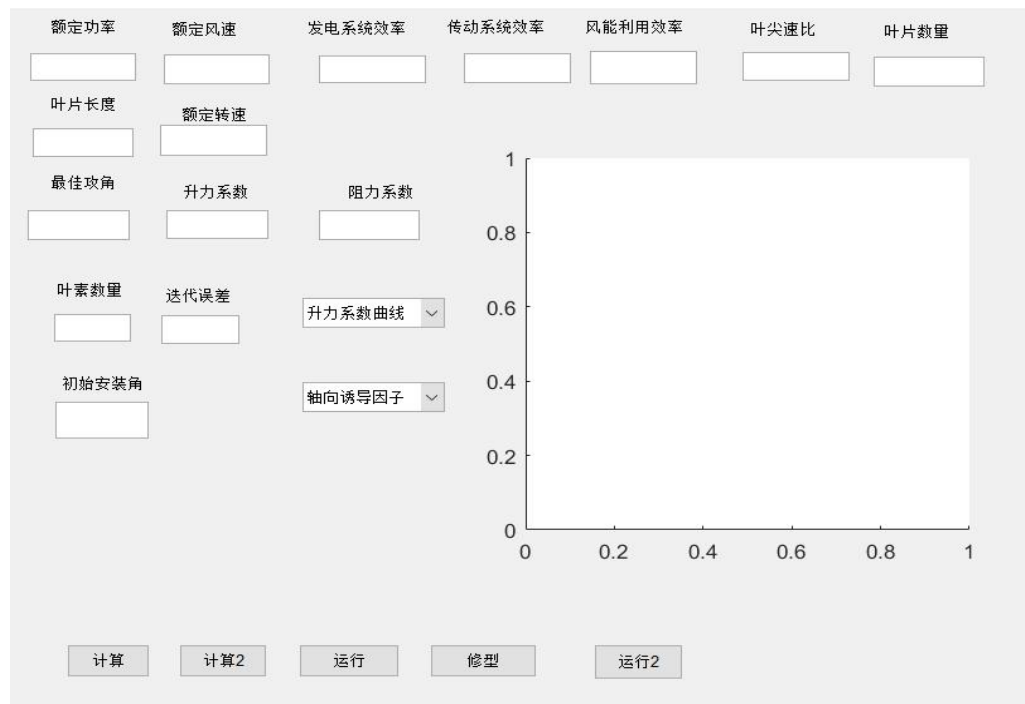


图 9 自主开发的低风速风电叶片设计软件界面

## 2. 已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法

目前已具有 Profili 翼型仿真分析软件和风电场仿真分析软件 WT、已自主开发了低风速风力机叶片程序、本学院已建有风电仿真机房、并已搭建了风光互补测试实验平台，具备完成本项目的良好软硬件条件。

### 三、 经费预算

开支科目	预算经费 (元)	主要用途	阶段下达经费计划 (元)	
			前半阶段	后半阶段
预算经费总额	20000		9000	11000
1. 业务费	13000		6000	7000
(1) 计算、分析、测试费	2000	仿生翼型和仿生叶片软件设计与调试	1000	1000
(2) 能源动力费	1000	低风速风力机试验平台测试及仿真分析	500	500
(3) 会议、差旅费	2000	购买仿生生物及风电技术相关书籍资料	1000	1000
(4) 文献检索费	1000	购买仿生生物及风电技术相关书籍资料	500	500
(5) 论文出版费	7000	出版论文及申请专利	3000	4000
2. 仪器设备购置费	2000	高速运动记录相关仪器	1000	1000
3. 实验装置试制费	3000	制作仿生翼型及仿生叶片	1000	2000
4. 材料费	2000	购买制生翼型和叶片的复合材料	1000	1000
学校批准经费	<b>20000</b>			

#### 四、 指导教师意见

该创新性实验计划涉及的低风速地区高升力仿生风电叶片开发为我国《风电发展“十三五”规划》中重点支持的方向之一，选题符合新能源科学与工程专业（风力发电方向）本科生培养要求。开展此创新性实验计划有利于加强风电新能源专业方向学生对风能利用理论的认识、软件开发、实验制作与自主创新能力，项目组已开展了部分工作，取得了一定的研究效果，具备完成项目的良好基础条件，预计可取得较好的研究成果，同意指导。

导师（签章）：

年 月 日

#### 五、 院系大学生创新创业训练计划专家组意见

推荐校级项目

专家组组长（签章）：

年 月 日

## 六、 学校大学生创新创业训练计划专家组意见

推荐省级项目

负责人（签章）：

年 月 日

## 七、 大学生创新创业训练计划领导小组审批意见

同意

负责人（签章）：

年 月 日