

受理编号： S2018JLJS0235

陕西省科学技术奖推荐书

(2018年度)

一、项目基本情况

专业评审组：动力电气评审组

类别：技术开发

成果登记号：9612018Y0512

项目名称	复杂地形风电场微观选址与优化平台合作开发			
主要完成人	刘玮、 许昌、 袁红亮、 刘德有、 吉超盈、 胡义、 胡己坤、 崔永峰、 高洁、 潘航平			
主要完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司			
推荐单位 (或专家)	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	是否国家秘密 技术项目	否	
学科分类名称 及代码	风能	所属国民经济行业	风力发电	
		任务来源	<input checked="" type="checkbox"/> 国家计划	
计划、基金名称和编号				
序号	计划类别	项目名称	项目编号	结题验收 报告对应 附件编号
1	国际科技合作专项	复杂地形风电场微观选址与优化平台合作开发	2014DFG62530	4-1-1
项目起止时间		起始： 2014年04月01日	完成： 2016年12月31日	

二、项目简介

本课题属于新能源领域—风力发电设计风资源测量及微观选址技术。本课题在行业内首次采用3D扫描式激光雷达Windcube 200S、垂直激光雷达Windcube V2，以及超声波测风系统等多种新型测风仪器同步对多个类型复杂地形风电场空气动力场进行高精度测试，并与传统机械式测风系统进行对比，分析试验测试结果，形成针对复杂地形风电场的高精度现场测量方法和实践经验，积累多个不同类型复杂地形风电场的现场实测数据资料。根据试验结果，对WAsP、WindFarmer、Metodyn WT、WindSim、OpenWind等几款行业普遍应用率高的现有软件及其模型对复杂地形风电场风资源分布预测的准确性进行校验，研究现有软件对于不同类型复杂地形风电场规划设计的准确性、可靠性、适用性。利用测试数据和分析结果，研究新型复杂地形风电场空气动力场CFD计算模型、风机尾流模型与微观选址优化方法，提出适用于不同类型复杂地形风电场的空气动力场CFD模型、风机尾流模型及微观选址优化方法。基于以上研究成果，开发了高效高性能的复杂地形风电场微观选址优化软件，提高了对复杂地形的适应性，达到了行业领先水平，已在国内外得到广泛应用。

本课题研究有助于我国与国外高水平风资源测量、评估和微观选址研发机构合作，突破在复杂地形风资源测量、CFD评估与微观选址方面的技术瓶颈，使我国该领域研究尽早与世界最高水平接轨，促进复杂地形风电场规划和设计技术的发展。本课题的研究成果，目前已在华能陕西靖边龙洲风电场、黄河公司靖边白天赐风电场和李家梁风电场、国电宁夏盐池麻黄山风电场、中卫香山韩家圈风电场等多个不同类型复杂地形风电场的规划设计中得到应用，以上项目均已并网运行，根据现场反馈情况，风能资源评估准确，微观选址效果良好，发电量效益高，实际运行效果良好，本课题对风资源精确评估技术及微观选址技术的提高起到了很好的推动作用，效果显著。本课题开发出的核心技术，目前共服务了行业内大约15%的风电场设计工作，大大提高了复杂地形风电场中风能资源利用效率，同时提高了风电场整体优化布局，具有很好的经济和社会效益。

三、项目详细内容

1. 主要科技创新（限 8 页）

1、本课题在行业内首次提出以长短距离激光雷达测风系统结合、超声测风仪为代表的新型测风仪器同步测量不同类型复杂地形风电场空气动力场方法，积累了多个不同类型复杂地形风电场的现场实测数据资料，形成了针对复杂地形风电场的高精度现场测量方法和实践经验；

2、在行业内首次系统的校验了以 WAsP、WindFarmer、Metodyn WT、WindSim 为代表的现有风资源软件对复杂地形风资源分布预测的准确性，并提出了这些常用软件针对不同类型复杂地形风电场风资源评估的改进措施，提高了软件预测风资源的准确性和可靠性，增强了软件的适用性；

3、在基于 OpenFoam 的平台上开发了适用于不同类型的新型复杂地形空气动力场 CFD 计算方法，该计算方法同时考虑了风轮廓、大气热稳定性等的影响。该计算方法包括复杂地形曲面离散和建模方法，大气边界层保持水平均匀性的入流方程和相关边界条件耦合方法，流体数值求解方法收敛加速方法，数值求解结果的后处理方法等，结合典型工程，说明了复杂地形风电场空气动力场 CFD 模拟的可靠性。

4、从理论层面系统研究滑动网格法、制动盘法、制动线/面法的尾流数值研究模型基础上，提出了新型的尾流非线性计算模型；提出分别采用改进的遗传算法和粒子群优化算法、对风电机组微观选址的优化方法。使复杂地形微观选址技术更加接近工程实际，进一步提高复杂地形风电场整体优化布局效率，促进项目整体设计更加合理，效益达到最优化。

5、吸取了现有多种软件对于不同类型复杂地形风电场规划设计的优点，基于单源最短路径 Dijkstra 算法、最小生成树等算法，集成复杂地形风电场的微观选址、道路和线路的优化设计模型和方法，开发了一款界面友善、性能良好的风电场智能优化设计软件平台。

2. 科技局限性

本项目主要研究复杂地形风电场微观选址与优化平台的开发，在国内选址陕西省榆林市靖边县某山地风电场进行现场测试研究；受限于项目经费等因素，所选择测试的复杂地形风电场过于单一，后期工作可以从多种复杂地形（如林地、高原、盆地和丘陵等）入手，更加完善优化平台的开发，也更助于软件平台的推广。

2018年度推荐书正式版

四、主要论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	影响因子	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有	对应附件编号
1	复杂地形风电场非均匀入流条件研究[J]. 水电能源科学	水电能源科学	韩星星, 付士风		2015年03期 202-204, 195	2015-03-01	许昌	韩星星	韩星星	0	1	是	1-1-1
2	基于制动盘模型的复杂地形风电场空气动力场数值模拟	工程热物理学报	李许昌, 韩辰奇, 韩星星		2015年08期 36卷 1696-1700	2015-08-01	韩星星	许昌	许昌	0	1	是	1-1-2
3	基于风轮平均风速的风电场致动盘模型	工程热物理学报	韩星星, 许昌, 刘德有		2016年03期 第37卷 501-506	2016-03-01	许昌	韩星星	韩星星	0	1	是	1-1-3
4	最小资源分配网络在风功率在线校正预测的应用	可再生能源	魏媛, 郭颖, 许昌		2016年03期 第33卷 441-447	2016-03-01	许昌	魏媛	魏媛	0	2	是	1-1-4
5	风电场局部地形改造空气动力场数值模拟	水电能源科学	蒋泽阳, 朱许昌, 朱金华		2016年02期 第34卷 212-216	2016-02-01	许昌	蒋泽阳	蒋泽阳	0	0	是	1-1-5
6	基于致动盘模型的风力机尾流数值研究	工程热物理学报	周洋, 许昌, 韩星星		2017年03期 第38卷32-36	2017-03-01	许昌	周洋	周洋	0	0	是	1-1-6

7	基于样本修整和支持向量机算法的并网风电机组运行特性研究	上海理工大学学报	王吉东, 王许昌, 王欣		2014年06期 第36卷 34-39	2014-06-01	许昌	王吉东	王吉东	王吉东	0	1	是	1-1-7
8	限电情况下风电场内机组最优组合方法研究	可再生能源	王欣, 许昌, 韩星星		2014年09期 第32卷 431-436	2014-09-01	许昌	王欣	王欣	王欣	0	2	是	1-1-8
9	基于CFD和INCPSO的复杂地形风电场微观选址优化	太阳能学报	杨昌, 韩建川, 韩星星		2015年12期 第36卷 2844-2851	2015-12-01	许昌	许昌	许昌	许昌	0	1	是	1-1-9
10	基于改进致动盘和拓展k-ε湍流模型的风力机尾流数值研究	中国电机工程学报	许昌, 韩星星, 王欣		2015年08期 第35卷 46-51	2015-04-20	许昌	许昌	许昌	许昌	0	8	是	1-1-10
11	大型风电机组多层AGC控制策略研究	电力系统保护与控制	许昌, 魏媛, 李涛		2017年02期 第45卷 43-48	2017-01-16	许昌	许昌	许昌	许昌	0	1	是	1-1-11
12	基于致动线模型的风力机尾流场数值研究	水电能源科学	周洋, 许昌, 韩星星		2017年03期 第35卷 35-39	2017-03-01	许昌	周洋	周洋	周洋	0	1	是	1-1-12

13	Governor Design for a Hydropower Plant with an Upstream Surge Tank by GA-Based Fuzzy Reduced-Order Sliding Mode	Xu Chang, Qian Dianwei	2015年12期 13442-13457	2017-01-13	许昌	许昌	许昌	0	0	是	1-1-13
合计											
补充说明	本项目发表相关论文共31篇，在2017年4月13日前见刊的论文篇数为13篇。										

承诺：上述论文专著未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖励推荐项目中作为支撑材料出现。用于推荐陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的作者的同意，知识产权归国内所有，且不存在争议。

第一完成人签名：

五、主要知识产权证明目录

序号	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	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态	对应附件编号
1	计算机软件著作权	基于CFD计算结果的风电场微观选址优化软件V1.0	中国	2016SR012108	2016-01-18	软著登字第1190725号	河海大学		有效	2-2-1
2	计算机软件著作权	基本特定经济模型的风电场微观选址优化软件V1.0	中国	2016SR012155	2016-01-18	软著登字第1190772号	河海大学		有效	2-2-2
3	发明专利	基于CFD和改进PSO的复杂地形风电场微观选址方法	中国	ZL 2014 1 0191773.2	2017-04-02	2441122	河海大学		有效	2-1-1
4	发明专利	风力机尾流计算方法	中国	ZL 2014 1 0448956.8	2014-09-04	2543871	河海大学		有效	2-1-2
5	计算机软件著作权	复杂地形风电场集电线路(直埋)优化软件V1.0	中国	2016SR011103	2016-01-15	软著登字第1189720号	河海大学		有效	2-2-3
6	计算机软件著作权	复杂地形风电场检修道路优化软件V1.0	中国	2016SR010638	2016-01-15	软著登字第1189255号	河海大学		有效	2-2-4
7	发明专利	一种风力发电运行状态监测与控制模型机	许昌	ZL 2012 10213575.2	2014-05-07	1397030	河海大学		有效	2-1-3

承诺：上述知识产权未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖推荐项目中作为支撑材料出现。用于推荐陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利发明人）的同意。

第一完成人签名：

六、应用情况及效益

1. 应用情况

本研究成果在华能陕西靖边龙洲风电场、国电宁夏盐池麻黄山风电场等多个不同类型复杂地形风电场的规划设计中得到应用，并通过实际运行效果的检验，证明本课题研究成果对于复杂地形风电场风资源精确测量评估、微观选址优化等方面均起到良好的作用，收到显著成效，显现了该研究成果技术可靠、先进性、可推广应用性。同时复杂地形风电场微观选址优化软件平台的开发及应用，突破了在复杂地形风资源测量、CFD评估与微观选址的技术瓶颈，促进我国该领域规划设计技术的发展。本课题研究的成果已达到行业领先水平。

2018年度推荐书正式出版

2. 主要应用单位情况表						
序号	应用单位名称	应用开始时间	应用截止时间	应用单位联系人	联系电话	对应附件编号
1	华能陕西靖边电力有限公司	2015-10-01	至今	刘卫军	18791858810	3-1
2	国电电力宁夏新能源开发有限公司	2015-10-01	至今	张万庆	18095278638	3-2
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

3. 近三年经济效益 单位： 万元（人民币）

自然年	完成单位		其他应用单位	
	新增销售额	新增利润	新增销售额	新增利润
2015				
2016				
2017				
累计				

主要经济效益指标的有关说明

对于复杂地形风电场，本课题的研究成果，能够精确测量风能资源，有效降低风资源评估误差；同时可做到微观选址高效化和精细化，使项目布局达到最优。因此，主要从资源准确评估，规划设计最优两方面对项目进行高效、合理、最优的设计，从而有效降低投资风险、降低建设成本，使项目整体经济效益最大化。以50MW风电场为例，风资源测量误差减小0.5m/s、微观选址优化技术使整体布局效益提升2%~5%，发电量计算误差能够减小5%~10%，投资能节约300万~1000万。

其他经济效益指标的有关说明

4. 社会效益

本课题在复杂地形风电场风资源测量、CFD评估与微观选址优化技术方面取得了创新和突破，为我国复杂地形风电场的规划和建设提供可靠依据，促进了我国该领域规划设计技术的发展，提高了我国复杂地形风电场建设的经济性和合理性，将具有巨大的潜在经济和社会效益。

2018年度推荐书正式版

七、客观评价

1. 客观评价综述

2017年12月22日，受科技部国际合作司委托，陕西省科技厅组织专家组在西安召开了“复杂地形风电场微观选址优化平台开发(项目编号：2014DFG62530)”项目验收会。专家组审阅了项目有关材料、听取了项目组的汇报，经质询与充分讨论，形成验收意见如下：

(1) 提供资料齐全，符合验收要求。

(2) 项目提出了风电场空气动力场精细测量和数据分析方法，比较了常用风资源评估分析软件适应性，发展了复杂地形高效、高精度尾流模型，并开发了复杂地形风电场微观选址软件。

(3) 通过国际合作的有效实施，中方充分吸收了丹麦科技大学在尾流建模、风资源评估软件(WAsP)的开发经验，以及丹麦EMD公司在风电场微观选址软件(WindPRO)的优化技术，为自主开发复杂地形风电场微观选址软件起到了关键支撑作用。

(4) 通过与丹麦方的紧密合作，拓宽了研究方向及合作渠道，有效地推动了我国科技活动的国际化，与丹麦合作方建立了广泛、稳定、长效、双赢的合作机制，形成了良好的国际合作与交流环境。

(5) 基本完成了任务书规定了论文、专利、软件著作权，以及人才培养等项指标。

验收专家一致同意本项目通过技术验收。

2. 本项目曾获科技奖励情况							
序号	获奖项目名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	主要获奖人	授奖单位	对应附件编号

2018年度推荐书正式版

八、主要完成人情况

1. 主要完成人情况表					
第1完成人	刘玮	性别	男	民族	汉族
出生地	陕西宝鸡	出生日期	1975年06月	党派	中国共产党
身份证	610322197506152918	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18066966913	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	02988280361	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	515767957@qq.com	
毕业学校	天津大学	毕业时间	2017-01-03	最高学历	硕士研究生
行政职务	公司副总工程师	技术职称	教授级高级工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2014年04月 - 2016年12月		所学专业	软件工程	
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	(1) 2008年-2009年, 华能吉林洮北风电场一期工程设计, 全国优秀工程勘察设计铜奖, 中国水电工程顾问集团优秀工程设计二等奖, 排名第9。(2) 2010年, 新疆华电小草湖风电场一期、二期工程, 陕西省优秀工程设计一等奖, 中国水电工程顾问集团优秀工程设计二等奖, 排名第5。				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	项目主管, 主要全程指导项目实施, 完成项目最终报告的审核工作。旁证材料: 研究报告				
	主要贡献证明材料附件编号				
	3-1 3-2				
<p>声明: 本人同意完成人排名, 同意推荐单位(专家)推荐奖等, 确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求, 承诺遵守评审工作纪律, 保证所提供的有关材料真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名: _____</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>			<p>完成单位声明: 本单位确认该完成人情况表内容真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议, 愿意积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位(盖章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		<p>工作单位声明: 本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位(盖章)</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>

第2完成人	许昌	性别	男	民族	汉族
出生地	安徽全椒	出生日期	1972年10月	党派	中国共产党
身份证	342324197210157815	归国人员	是	归国日期	2014-07-01
完成单位	河海大学		移动电话	13951792223	
工作单位	河海大学		办公电话	13951792223	
二级单位			邮政编码	210098	
通讯地址	南京市西康路1号		电子邮箱	zhuifengxu@163.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	1997-07-01	最高学历	博士研究生
行政职务	能源与电气学院副院长	技术职称	教授	最高学位	博士
参加本项目的起止时间	2014年04月 - 2016年12月		所学专业	风资源评估	
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	东南大学优秀博士论文奖、河海大学优秀骨干教师、河海大学优秀创新人才				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	项目技术负责人，技术把关，负责项目详细实施方案的制定，全程负责技术内容，负责现场测试方面把关，负责模型研究把关，负责研究报告的相关专题研究报告的编制工作。旁证材料：研究报告、专利、软著、论文				
	主要贡献证明材料附件编号				
	1-1-1 1-1-2 1-1-3 1-1-4 1-1-5 1-1-6 1-1-7 1-1-8 1-1-9 1-1-10 1-1-11 1-1-12 1-1-13 2-2-1 2-2-2 2-1-1 2-1-2 2-2-3 2-2-4 2-1-3				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：_____</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>			<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>

第3完成人	袁红亮	性别	男	民族	汉族
出生地	陕西宝鸡	出生日期	1985年03月	党派	中国共产党
身份证	610321198503223133	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18066966913	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	18066966913	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市丈八东路18号		电子邮箱	8280361@nwh. cn	
毕业学校	兰州大学	毕业时间	2008-08-01	最高学历	本科生
行政职务	风能所所长	技术职称	工程师	最高学位	学士
参加本项目的起止时间	2014年04月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	2017年，国电宁夏盐池麻黄山一期（49.5MW）工程，电力规划设计协会，电力行业优秀工程设计一等奖，排名第4				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	具体项目的技术实施人，完成现场测试及数据分析、常用软件对比适用性研究，负责模型研究及软件开发，负责最终成果研究报告的编写。旁证材料：研究报告、附件				
	主要贡献证明材料附件编号				
	3-1 3-2				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：_____</p> <p>年 月 日</p>			<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>

第4完成人	刘德有	性别	男	民族	汉族
出生地	浙江江山	出生日期	1962年11月	党派	中国共产党
身份证	330106196211070832	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	13801589672	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	029-88280284	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	liudyhhuc@163.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	1983-07-01	最高学历	博士研究生
行政职务	无	技术职称	教授	最高学位	博士
参加本项目的起止时间	2014年04月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	1996年和1998年被评为河海大学优秀青年骨干教师，1997年获江苏省优秀教学成果一等奖，水利部科技进步二等奖，1998年获霍英东教育基金会优秀青年教师奖，2000年获国家科技进步二等奖，2001年被评为江苏省高校优秀共产党员，2003年1月由江苏省人民政府授予“江苏省有突出贡献的中青年专家”称号				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	作为项目负责人，对项目的研究内容、技术路线和研究方向进行策划；负责研究报告编制内容及框架。旁证材料：研究报告、附件				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：_____</p> <p>年 月 日</p>		<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>	

第5完成人	吉超盈	性别	男	民族	汉族
出生地	陕西乾县	出生日期	1972年11月	党派	中国共产党
身份证	610424197211144951	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18066966968	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	029-88280279	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	1269@nwh.cn	
毕业学校	西安理工大学	毕业时间	1996-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	风电设计院院长	技术职称	教授级高级工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2014年04月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	(1) 《黄河上游水文数据库系统软件》获2000年度陕西省优秀软件二等奖；(2) 《甘肃酒泉千万千瓦风电基地规划报告》获2009年度陕西省优秀工程咨询成果三等奖				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	负责技术把关，主要负责研究报告审核。旁证材料：报告				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：_____</p> <p>年 月 日</p>			<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>

第6完成人	胡义	性别	男	民族	汉族
出生地	江西南昌	出生日期	1992年10月	党派	中国共产党
身份证	360121199210308717	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18251820775	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	18251820775	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	2282607275@qq.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	2017-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	无	技术职称	助理工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2016年08月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况					
对本项目主要学术和技术创造性贡献	主要研究人员，主要负责现场测试及数据分析，负责模型软件开发。旁证材料：报告、附件				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：_____</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>			<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>

第7完成人	胡己坤	性别	男	民族	汉族
出生地	甘肃兰州	出生日期	1986年02月	党派	中国共产党
身份证	620102198602255036	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18066966967	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	029-88290355	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	369902169@qq.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	2011-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	风能所副所长	技术职称	工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2015年03月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	(1) 2013年, 甘肃瓜州北大第一风电场200MW工程, 电力规划设计协会, 电力行业优秀工程设计一等奖。				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	主要研究人员, 主要负责软件适用性研究, 负责模型研究及软件开发。旁证材料: 报告。				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明: 本人同意完成人排名, 同意推荐单位(专家)推荐奖等, 确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求, 承诺遵守评审工作纪律, 保证所提供的有关材料真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名: _____</p> <p>年 月 日</p>		<p>完成单位声明: 本单位确认该完成人情况表内容真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议, 愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明: 本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>	

第8完成人	崔永峰	性别	男	民族	汉族
出生地	陕西户县	出生日期	1987年08月	党派	中国共产党
身份证	610125198708256232	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18066966926	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	029-88290355	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	240670615@qq.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	2012-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	无	技术职称	工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2016年03月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	(1) 2018年, 陆上大规模风电基地优化布局研究(第一阶段), 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 科技进步一等奖。				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	主要研究人员, 主要负责激光雷达测试及数据分析, 编写空气动力场高精度测试报告, 负责模型研究。旁证材料: 报告。				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明: 本人同意完成人排名, 同意推荐单位(专家)推荐奖等, 确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求, 承诺遵守评审工作纪律, 保证所提供的有关材料真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名: _____</p> <p>年 月 日</p>		<p>完成单位声明: 本单位确认该完成人情况表内容真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议, 愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明: 本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>	

第9完成人	高洁	性别	女	民族	汉族
出生地	陕西延安	出生日期	1990年10月	党派	中国共产党
身份证	610602199010270347	归国人员	否	归国日期	
完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		移动电话	18192005610	
工作单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		办公电话	029-88290692	
二级单位			邮政编码	710065	
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号		电子邮箱	494543963@qq.com	
毕业学校	华北电力大学	毕业时间	2016-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	无	技术职称	助理工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2016年04月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	(1) 2018年, 陆上大规模风电基地优化布局研究(第一阶段), 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 科技进步一等奖。				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	主要研究人员, 负责空气动力场测试及软件适用性研究, 负责模型研究。旁证材料: 报告。				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明: 本人同意完成人排名, 同意推荐单位(专家)推荐奖等, 确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求, 承诺遵守评审工作纪律, 保证所提供的有关材料真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名: _____</p> <p>年 月 日</p>		<p>完成单位声明: 本单位确认该完成人情况表内容真实有效, 且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议, 愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明: 本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位(盖章)</p> <p>年 月 日</p>	

第10完成人	潘航平	性别	男	民族	汉族
出生地	浙江上虞	出生日期	1992年07月	党派	中国共产党
身份证	330682199207285010	归国人员	否	归国日期	
完成单位	河海大学		移动电话	18251822319	
工作单位	河海大学		办公电话	18251822319	
二级单位			邮政编码	210098	
通讯地址	南京市西康路1号		电子邮箱	343145113@qq.com	
毕业学校	河海大学	毕业时间	2015-07-01	最高学历	硕士研究生
行政职务	无	技术职称	助理工程师	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	2016年03月 - 2016年12月		所学专业		
人才计划或称号					
曾获科技奖励情况	河海大学优秀毕业生，河海大学优秀毕业论文，河海大学优秀研究生				
对本项目主要学术和技术创造性贡献	主要研究人员，负责软件适用性研究，旁证材料：报告。				
	主要贡献证明材料附件编号				
<p>声明：本人同意完成人排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成人合作关系情况》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p>本人签名：_____</p> <p>年 月 日</p>			<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>		<p>工作单位声明：本单位对该完成人被推荐无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>

2. 完成人合作关系情况						
完成人合作关系情况表						
序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	对应附件编号
1	合作开发	河海大学/2	2014-04-01	2016-12-31	我校对本项目研究主要工作为： 1、研究目前常用的多种风电场规划软件计算结果与实测结果对比分析； 2、研究复杂地形风电场空气动力场的新型CFD模型； 3、参与复杂地形风电场风机尾流模型改进研究； 4、参与复杂地形风电场微观选址多目标优化方法研究； 5、参与适用于复杂地形风电场微观选址与优化软件开发及推广。	4-1-1 1-1-1 1-1-2 1-1-3 1-1-4 1-1-5 1-1-6 1-1-7 1-1-8 1-1-9 1-1-10 1-1-11 1-1-12 1-1-13 2-2-1 2-2-2 2-1-1 2-1-2 2-2-3 2-2-4 2-1-3

完成人合作关系说明

西北院、河海大学已有多年的合作关系，合作单位在风电场规划和设计方面都已有长期的研究或者众多的工程设计经验，并且优势互补。西北院自1994年开始风电场规划设计以来，承担了超过200个风电场的勘测设计工作，大部分属复杂地形风场。西北院是国家水能风能研究中心西北分中心，在复杂地形风电场风资源测量、评估和微观选址方面有良好工程实践经验。在本项目中投入包括多年风电场空气动力场测量与微观选址的经验，测量一个包括风力机运行参数和结构参数的风电场的空气动力场；一个新型的风电场规划和设计。

河海大学目前从事风力发电研究教师超过50人，设有“可再生能源发电教育部工程研究中心”，设有“风能与动力工程”国家特色本科专业，在复杂地形风资源数据分析、空气动力场CFD方法以及基于CFD的风电场微观选址方面有较大优势。在本项目中投入风电场风资源分析的经验，风电场空气动力场的Fluent计算方法，以及风电场微观选址的高效优化方法。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目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：

九、主要完成单位情况

1. 主要完成单位情况表					
第1完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司				
单位性质	企业单位 - 内资企业 - 国有企业	法定代表人	廖元庆		
联系人	刘潇敏	单位电话	029-88290001	移动电话	18066967903
电子信箱	xxzx@nwh. cn				
通讯地址	西安市雁塔区丈八东路18号	邮政编码	710065		
主要贡献	<p>我公司作为课题承担单位，主要完成项目策划、资料收集、试验方案确定、报告编写、软件开发及推广应用等工作，：</p> <p>1、负责复杂地形风电场空气动力场的激光雷达、超声测风仪测试方法研究、现场实测及数据分析研究工作，并确定研究技术路线；</p> <p>2、参与研究复杂地形风电场空气动力场的新型CFD模型；</p> <p>3、参与复杂地形风电场风机尾流模型改进研究；</p> <p>4、参与复杂地形风电场微观选址多目标优化方法研究；</p> <p>5、参与常用的多种风电场规划设计软件对及适用性分析；</p> <p>6、负责适用于复杂地形风电场微观选址与优化软件开发及推广。</p> <p>7、完成科研报告。</p>				
	主要贡献证明材料附件编号				
	4-1-1 2-2-1 2-2-2 2-1-1 2-1-2 2-2-3 2-2-4 2-1-3 3-1 3-2				
声明	<p>本单位同意完成单位排名，同意推荐单位（专家）推荐奖等，确认《完成单位合作关系说明》中内容属实。遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: center;"> 法定代表人（签字） 单位（公章） </p> <p style="text-align: center;"> 年 月 日 年 月 日 </p>				

十、推荐单位意见

推荐单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	推荐奖等	推荐二等奖及以上
联系人	刘潇敏	联系电话	029-88750374
电子邮箱	345272770@qq.com	传真	029-88280635

推荐意见：

本项目为中国与丹麦国家国际科技合作专项项目，项目组经过精心组织策划、积极及筹备、广泛调研、大量查阅国内外相关资料，创新设计，中国方在规定的时间内高质高效完成了研究任务，并取得了大量的试验数据和先进的成果。在行业内首次采用激光雷达、超声测风仪等新型测风仪器与传统机械式测风仪器进行同期对比测量，积累了大量的实测资料和工程经验，提出了复杂地形的高精度现场测量方法，改进并提出了新型复杂地形空气动力场CFD计算模型、风机尾流模型和微观选址优化技术，开发出了高效高性能的复杂地形风电场微观选址与优化软件。为我国复杂地形风电场的规划和建设提供可靠依据，促进了我国该领域规划设计技术的发展。同意推荐本项目申报陕西省科学技术奖。

声明：

本单位遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定和省科技奖励推荐工作的具体要求，所提供的推荐材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。承诺严格按照陕西省科学技术奖励的有关规定和要求，认真履行作为推荐单位的义务并承担相应的责任。如产生争议，保证积极调查处理。

推荐单位（公章）

年 月 日

十一、附件材料目录

序号	附件类型	子类	附件名称	附件编号	
1	论文专著证明	主要论文专著	复杂地形风电场非均匀入流条件研究[J]. 水电能源科学	1-1-1	
2		主要论文专著	基于制动盘模型的复杂地形风电场空气动力场数值模拟	1-1-2	
3		主要论文专著	基于风轮平均风速的风电场致动盘模型	1-1-3	
4		主要论文专著	最小资源分配网络在风功率在线校正预测的应用	1-1-4	
5		主要论文专著	风电场局部地形改造空气动力场数值模拟	1-1-5	
6		主要论文专著	基于致动面模型的风力机尾流数值研究	1-1-6	
7		主要论文专著	基于样本修整和支持向量机算法的并网风电机组运行特性研究	1-1-7	
8		主要论文专著	限电情况下风电场内机组最优组合方法研究	1-1-8	
9		主要论文专著	基于CFD和NCPSO的复杂地形风电场微观选址优化	1-1-9	
10		主要论文专著	基于改进致动盘和拓展k-ε湍流模型的风力机尾流数值研究	1-1-10	
11		主要论文专著	大型风电机组机组层AGC控制策略研究	1-1-11	
12		主要论文专著	基于致动线模型的风力机尾流场数值研究	1-1-12	
13		主要论文专著	Governor Design for a Hydropower Plant with an Upstream Surge Tank by GA-Based Fuzzy Reduced-Order Sliding Mode	1-1-13	
14	发明专利	发明专利	基于CFD和改进PSO的复杂地形风电场微观选址方法	2-1-1	
15		发明专利	风力机尾流计算方法	2-1-2	
16		发明专利	一种风力发电运行状态监测与控制模型机	2-1-3	
17		计算机软件著作权	计算机软件著作权	基于CFD计算结果的风电场微观选址优化软件V1.0	2-2-1
18			计算机软件著作权	基本特定经济模型的风电场微观选址优化软件V1.0	2-2-2
19			计算机软件著作权	复杂地形风电场集电线路（直埋）优化软件V1.0	2-2-3

20	知识产权证明	计算机软件著作权	复杂地形风电场检修道路优化软件V1.0	2-2-4
21	应用证明		华能陕西靖边电力有限公司	3-1
22			国电电力宁夏新能源开发有限公司	3-2
23	评价和完备性证明	结题验收证明	复杂地形风电场微观选址与优化平台合作开发	4-1-1

2018年度推荐书正式出版

文章编号: 1000-7709(2015)03-0202-03

复杂地形风电场非均匀入流条件研究

韩星星, 许 昌, 付士凤

(河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对风电场入流条件受复杂地形影响非均匀分布的问题, 提出了一种由风力机功率反推非均匀入流条件的方法。以均匀入流条件下复杂地形风场计算为基础, 使用致动盘模型模拟风电场尾流效应, 获得轮毂入流风速与致动盘平均风速的映射关系, 再以致动盘平均风速为中间量, 推导功率与轮毂入流风速的对应关系, 最终反推非均匀入流条件。通过与 CFD 计算出的非均匀入流条件对比, 误差在 20% 以内, 验证了非均匀入流条件反推法的可行性, 可为复杂地形风电场微观选址优化和功率预测提供理论依据。

关键词: 复杂地形风电场; 致动盘模型; 湍流修正; 非均匀入流条件

中图分类号: TM614

文献标志码: A

1 引言

随着风电开发规模的不断发展, 复杂地形风电场和近海风电场逐步成为国内外风能利用技术的研究热点。在复杂地形风电场中, 由于风速分布受地形和尾流效应的共同影响, 入流条件在同一高度处存在很大的非均匀性, 若使用均匀入流条件计算流场将影响计算结果的准确性。Harish Gopalan 等^[1]耦合中尺度—微尺度模型, 以中尺度模拟结果作为微尺度模型的边界条件, 进行风能资源评估及风电场空气动力学研究, 为复杂地形风场模拟提供了新思路, 但该方法操作困难, 不利于工程应用。梁思超等^[2]采用 CFD 方法以 30° 风向为间隔数值模拟了南澳岛风场, 发现风电场中风加速与湍流强度基本不随来流改变, 但在风场计算时未考虑尾流效应。因此, 本文结合致动盘模型^[3], 提出了根据风力机运行的实测数据反推复杂地形风场非均匀入流条件的估算方法: ①使用致动盘尾流模型, 模拟均匀入流复杂风场流场, 计算不同轮毂入流风速下各风轮对应的致动盘平均风速, 建立轮毂入流风速与致动盘平均风速的对应关系; ②模拟非均匀入流复杂风场流场, 结合功率与致动盘平均风速的关系反推入流风速, 并将其带入 CFD 模型求解, 比较求解结果与实测数

据, 以验证非均匀入流条件的准确性。该估算方法可为解决复杂地形风电场入流条件的非均匀分布问题提供新思路。

2 复杂风电场尾流典型模型

2.1 致动盘模型

将风轮看作空气可自由穿过的具有一定阻力的圆形薄盘^[4], 其直径为 D 与风轮相当, 厚度为 Δl 。致动盘模型^[3]为:

$$S_u = \frac{T}{V} = \frac{\rho C_T u_0^2}{2\Delta l} \quad (1)$$

式中, S_u 为动量源项; T 为风轮受到的推力; V 为致动盘体积; ρ 为空气密度; C_T 为推力系数; u_0 为参考风速, 通过迭代法^[5]计算。

2.2 湍流修正

El Kasmi 等^[3]将拓展 $k-\epsilon$ 湍流模型引入到致动盘模型中, 通过添加湍流耗散率源项 S_ϵ , 维持湍流产生率与耗散率的协调关系。

$$S_\epsilon = C_{4\epsilon} \frac{P_k^2}{\rho k} \quad (2)$$

式中, S_ϵ 为湍流从大尺度向小尺度过渡时的能量传递速率; $C_{4\epsilon}$ 为模型参数, 取 0.37; P_k 为湍流动能生成; k 为湍流动能。

S_ϵ 施加在风轮邻域和致动盘内。该邻域为

收稿日期: 2014-11-22, 修回日期: 2014-12-23

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530); 南通市科技计划项目(BK2014028); 教育部留学回国人员科研启动基金项目(2012-940)

作者简介: 韩星星(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为风电场空气动力学, E-mail: 15195952259@163.com

基于制动盘模型的复杂地形风电场空气动力场数值模拟

许昌¹ 李辰奇^{1,4} 韩星星¹ SHEN Wen-Zhong² 张明明³ 刘德有¹ 郑源¹

- (1. 河海大学能源与电气学院, 南京 211100;
2. 丹麦科技大学风能系, Lyngby DK-2800;
3. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190;
4. 国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心, 苏州 215011)

摘要 研究复杂地形条件风电场空气动力场对风电场的微观选址、风功率预测等有着重要的意义。本文采用制动盘理论简化风力机对风场空气动力场的影响, 按照数值方法求解复杂地形条件风场空气动力场, 研究网格、边界条件以及湍流模型等对风场空气动力场的影响, 结合风电场实测数据对比分析风场空气动力场数值计算方法的可靠性, 得到适合复杂地形风场空气动力场数值计算方法。研究结果可为风电场微观选址和风功率预测等提供参考。

关键词 复杂地形; 风电场; 计算流体力学; 制动盘

中图分类号: TM614 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2015)08-1696-05

Numerical Simulation of the Aerodynamic Field in Complex Terrain Wind Farm Based on Actuator Disk Model

XU Chang¹ LI Chen-Qi^{1,4} HAN Xing-Xing¹ SHEN Wen-Zhong² ZHANG Ming-Ming³
LIU De-You¹ ZHEN Yuan¹

- (1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Lyngby DK-2800;
3. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy Sciences, Beijing 100190, China;
4. Patent Examination Cooperation Jiangsu Center of The Patent Office, SIPO, Suzhou 215011, China)

Abstract Study on the aerodynamic field in complex terrain is significant to wind farm micro-siting and wind power prediction. This paper modeled the wind turbine through an actuator disk model, and solved the aerodynamic field by CFD to study the influence of meshing, boundary conditions and turbulence model on the calculation results. Comparison with the measured data of a wind farm was applied to find an appropriate method for simulating the aerodynamic field in the complex terrain wind farm. Related research can provide reference for wind farm micro-siting and wind power prediction.

Key words complex terrain; wind farm; CFD; actuator disk model

0 引言

随着风电开发进程的不断深入, 在风电场微观选址中, 对于风资源的预测已经不局限于平坦地形, 往往也有沿海地形以及内陆的复杂地形。在复杂地形下, 由于受到风机的尾流效应以及地形地势的影响, 风速的预测和风资源的评估往往难以令人满意^[1]。

国外研究风电场数值模拟起步较早, Astrup-

Poul 根据 WAsP 软件的线性模型对不同地面粗糙度下的复杂地形进行数值计算, 对比实验结果提出了改进方法^[2]。A. Bechamann 在比较了大涡模拟和雷诺平均法模拟后, 认为雷诺平均法中的双方程模型更加接近实验结果^[3]。J.M. Prospathopoulos 等人也尝试采用 CFD 方法分别对平坦地形和复杂地形风场进行数值模拟, 试图找到能够准确计算风电场风

收稿日期: 2014-12-27; **修订日期:** 2015-07-16

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目 (No.2014DFG62530); 国网南瑞科技项目 (风电机组智能控制技术研究与示范); 教育部留学回国人员科研启动基金 (No.2012-940); 南通市应用研究计划项目 (No.BK2014028)。

作者简介: 许昌 (1972-), 男, 教授, 博士, 从事风能和太阳能利用方面的教学与研究。 **通信作者:** 韩星星 (1990-), 男, 硕士生, 从事风电场空气动力学方面的研究工作, E-mail: 15195952259@163.com

基于风轮平均风速的风电场致动盘模型

韩星星¹ 许昌¹ 刘德有¹ Wenzhong Shen² 郑源¹ 张明明³

- (1. 江苏南京河海大学水利水电学院, 南京 211100;
2. 丹麦科技大学风能系, Lyngby DK-2800;
3. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190)

摘要 针对风电场空气动力学计算中致动盘模型参考风速难以确定的问题, 本文提出了一种根据风轮平均风速计算致动盘动量源项的方法。该模型使用体积修正因子对致动盘区域动量源项进行修正, 降低致动盘区域网格辨识误差对模拟的影响; 结合拓展 $k-\varepsilon$ 湍流模型, 改进 ε 源项参数的分布规律, 提高模型对于风电场尾流模拟可靠性。Nibe-B 风力机和 Horns I 近海风场的尾流计算结果表明所提出的模型能够较为准确地模拟风电场空气动力场分布。

关键词 风电场; 致动盘模型; 风轮平均风速; 体积修正因子

中图分类号: TM614 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2016)03-0501-06

Actuator Disk Model of Wind Farms Based on the Rotor Average Wind Speed

HAN Xing-Xing¹ XU Chang¹ LIU De-You¹ Wenzhong SHEN² ZHEN Yuan¹ ZHANG Ming-Ming³

- (1. Water conservancy and hydropower college, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Lyngby DK-2800, Denmark;
3. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy Sciences, Beijing 100190 China)

Abstract Due to difficulty of estimating the reference wind speed for wake modeling in wind farm, this paper proposes a new method to calculate the momentum source based on the rotor average wind speed. The proposed model applies volume correction factor to reduce the influence of the mesh recognition of disk regions. The coefficient $C_{4\varepsilon}$ of the turbulent source term is also discussed and modified to improve the simulation accuracy. To validate the model, results are presented for the Nibe-B wind turbine and Horns Rev I offshore wind farm and show a good agreement with the measurements.

Key words wind farm; actuator disk model; average wind speed over the rotor disk; volume correction factor

0 引言

随着对风力机尾流研究的深入, 基于计算流体力学方法的尾流模型成为研究热点^[1-5], 其中致动盘模型^[6-8]尤为广泛。

基于致动盘尾流模型和实测数据的对比分析, 研究者从湍流模型修正以及动量计算方法等方面提出了多种致动盘模型的改进方法^[9-14]。Kasmi^[9]使用拓展 $k-\varepsilon$ 湍流模型^[10], 对湍流动能耗散率 ε 控制方程添加源项, 改进了使用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型的尾流区风速恢复过快的问题。Réthoré^[11]引入了冠层模型^[12], 根据风力机尾流的特性对模型参数的取值进行了研究, 但其模拟效果与拓展 $k-\varepsilon$ 湍流模型间仍有一定误差。Cabezon^[13]考虑了湍流各项异性, 使用

雷诺应力模型, 得到的模拟结果与实验值较为接近, 但雷诺应力模型求解比拓展 $k-\varepsilon$ 湍流模型的计算量大, 用于工程还存在一定限制。Prospathopoulos^[14]使用一种迭代的方法计算参考风速, 进而求解动量源项, 但未对模型在风电场尾流模拟的可靠性进行验证。

针对风电场风力机尾流致动盘模型, 本文提出直接根据风轮处的平均风速计算动量源项, 省略了迭代过程; 至于致动盘网格辨识偏差造成的风轮轴向力偏大或偏小问题, 改进模型引入体积修正因子予以修正。计算模型的可靠性通过 Nibe-B 风力机^[15]尾流实验数据和 Horns I 近海风电场^[16]实测

收稿日期: 2016-01-06; **修订日期:** 2016-02-23

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目 (No.2014DFG62530); 国网公司科技项目 (风电机组智能控制技术研究与示范); 南通市科技计划项目 (No.BK2014028)

作者简介: 韩星星 (1990-), 男, 博士研究生, 主要从事风电场空气动力学方面的研究。 **通信作者:** 许昌, 教授, Email: zhufengxu@163.com

最小资源分配网络在风功率在线校正预测的应用

魏媛¹, 郭颖², 许昌¹, 李涛¹, 王长宝³, 石磊³

(1.河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 211100; 2.河南电力勘测设计院, 河南 郑州 450007; 3.南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 采用最小资源分配网络(MRAN)研究了风功率超短期实时预测技术,以某风电场的实测数据验证了网络的有效性。针对传统MRAN具有过度估计网络误差和删减所选参数对网络结构影响大等缺点,提出了一种改进的MRAN,以柯西误差函数作为增加隐节点的判断依据,根据隐节点间线性相关关系精简网络结构。研究结果表明:采用MRAN的风功率预测系统的预测精度较高;改进后的网络较传统MRAN的预测精度略微提高,网络结构更加精简,预测速度显著提升。

关键词: 神经网络; 最小资源分配网络; 风功率预测; 自校正

中图分类号: TK89; TM614 文献标志码: A 文章编号: 1671-5292(2016)03-0441-07

DOI:10.13941/j.cnki.21-1469/tk.2016.03.019

0 引言

风电场的功率输出具有波动性、间歇性和随机性。影响风电机组功率输出的参数众多,风电机组的运行工况多变,输出特性随时变化,造成其功率预测的可靠性差,从而引起电网调度困难和大量的“弃风限电”^[1]。目前,风功率预测已成为国内外学者的研究热点。

神经网络的学习规则简单,自学习能力强,并具有非线性拟合能力,是风功率预测的重要方法之一^[2]。神经网络一般由输入层、隐含层和输出层组成,其中,隐节点数量对网络的预测性能具有重要影响。在一定范围内,适当地增加隐节点,能够提高学习精度和预测精度。隐节点过多,不仅会增加网络结构的复杂性,增加学习时间,而且降低网络的泛化能力,也容易使预测陷入局部极小点;隐节点过少,会降低预测精度,甚至做不到样本的模式可分^[3]。

为适应输入模式的特点,结合网络预测精度的要求,神经网络结构动态调整逐步受到了国内外研究学者的重视,提出了具有隐节点动态调整的神经网络^[4]。当输入复杂时,预测系统能够自动增加网络隐节点,提高预测精度;当输入简单时,预测系统能够自动删减冗余隐节点,精简网络结

构,减少计算量,提高预测系统的整体学习速度^[5]。张伟提出一种基于规则无用率的结构修剪算法,设计了补偿控制器,减小了网络逼近误差^[6]。韩红桂以隐含层神经元输出的贡献对模型输出敏感度进行分析,从而调整神经网络结构^[7]。张昭昭利用网络连接权矩阵的协方差矩阵计算网络的信息熵,获得网络的复杂度,在保证网络信息处理能力的同时,删除对网络复杂度影响最小的隐节点^[8]。但是,动态神经网络需要复杂的数学运算,风功率预测要消耗大量时间。

在众多的神经网络类型中,RBF网络具有结构简单、学习方便等优点,被广泛地应用。Platt提出了基于RBF网络的资源分配网络算法(Resource Allocation Network, RAN),可以根据要求在学习过程中增加隐节点,但网络隐节点的不断增加,会使网络计算速度缓慢^[9]。Lu克服了RAN增加隐节点导致网络结构复杂的弱点,提出了最小资源分配网络(Minimal Resource Allocation Network, MRAN)^[10]。许昌将MRAN方法成功地应用到电站锅炉中,验证了其工业应用的有效性和可靠性^{[11],[12]}。杨世忠将最小资源分配网络应用于典型热工过程的非线性动态建模中,证明了该网络的在线校正能力^[13]。

收稿日期: 2015-12-23。

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530); 国网南瑞科技项目(SGTYHT/14-JS-188); 南通市科技项目(BK2014028)。

通讯作者: 许昌(1972-),男,博士,教授,从事风力发电及其优化控制技术的教学与研究工作。E-mail: zhuifengxu@163.com

文章编号: 1000-7709(2016)02-0212-05

风电场局部地形改造空气动力场数值模拟

蒋泽阳^a, 许 昌^a, 朱金华^b

(河海大学 a. 能源与电气学院; b. 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对风场局部地区机组发电能力不足、技术改造效果不确定的问题,应用 Global mapper、WAsP、Matlab 等软件拟合出局部地形物理模型。以风场实测数据作为物理模型的入流条件,利用 UDF 自定义速度入口和湍流入口,通过 CFD 计算出 12 种来流下各改造地形的机组轮毂高度处的风速、湍流度。与实际风数据比较后发现,该物理模型具有较高的精度,同时改造地形可有效增加下风向的风速、减小湍流度,从而取得较好的经济效益。

关键词: 风电场; 地形改造; 空气动力场; CFD 模拟; 模型校验; 发电量估算
中图分类号: TM614 **文献标志码:** A

1 引言

山东省某风电场位于地理位置较高的山丘上,风资源状况较好。在对其后评估过程中发现,部分机组未达到预期的发电量,问题机组(#3、#5 机组)故障率很高,多次更换齿轮箱。实地考察后发现,#3、#5 机组附近有一地势较高的小山头。地形对风电机组的负面影响主要有:①导致风速减小,从而造成风机发电量降低;②导致流场复杂、湍流度增大,从而使风机部件发生故障,影响机组的正常运行。对此,主要的后期改造方案为改造地形、增高塔架位置、移机、更换机组。在 #3、#5 机组风场环境下,小幅增加塔架高度经济效益不明显,增加 10 m 以上塔架高度在技术上难以实现;移机成本高昂且易导致机组的损坏;更换机组,原机组得不到利用,因此改造地形(削山)是切合实际的改造方案。风电场微尺度空气动力学模拟一般需要考虑风机的尾流、地形绕流、风轮廓和热稳定性等影响因素,模拟结果可作为风场改造的参考依据。微尺度的地形数据主要来源于风电场的地形测绘,风资源数据来源于风场测风塔实测。李辰奇等^[1]利用 Arcgis 软件拟合出风场物理模型,但当地表状况复杂时,地形网格扭曲较大,在建模时甚至会出现负体积的情况,只能采用非结构网格,在计算绕流问题时精度不高。

Matlab 中的非均匀有理数 B 样条曲面(NURBS)为一种地形物理模型建模方法,它模拟出的地形曲面比传统方法更为光滑,处理后的地形曲面可采用结构化网格,网格尺度可小至 1 m。鉴此,本文采用 NURBS 方法拟合地形曲面,为了校验模型的精度,借鉴韩星星等^[2]提出的利用风机功率曲线反推机头风速的方法,将物理模型边界处的风机运行数据作为模型边界入流条件,计算出机组处的风速数据并与实际数据进行比较,同时基于风场风加速受来流影响较小的特性^[3],并根据风机发电量与风速三次方成正比的规律,提出了一种新的估算风机发电量的方法,结果可为改造方案的选择及预期效果提供理论支持。

2 风场物理模型

2.1 CAD 数据生成地形曲面

B 样条曲面由 U 、 V 方向上的两组样条曲线构成。B 样条曲线的方程 $P(u)$ 为:

$$P(u) = \sum_{i=0}^n p_i B_{k,d}(u) \quad (1)$$

其中
$$B_{k,0} = \begin{cases} 1 & u_k \leq u \leq u_{k+1} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$B_{k,d}(u) = \frac{u - u_k}{u_{k+d-1} - u_k} B_{k,d-1}(u) + \frac{u_{k+d} - u}{u_{k+d} - u_{k+1}} B_{k+1,d-1}(u) \quad (3)$$

收稿日期: 2015-09-18, 修回日期: 2015-10-15

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530); 国网南瑞科技项目; 南通市科技项目(BK2014028)

作者简介: 蒋泽阳(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为风电场空气动力学, E-mail: zeyang1992@sina.com

基于致动面模型的风力机尾流数值研究

周洋¹ 许昌¹ 韩星星¹ Wenzhong Shen² 张明明³ 陈星莺¹

- (1. 河海大学能源与电气学院, 南京 211100;
2. 丹麦科技大学风能系, Lyngby DK-2800;
3. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190)

摘要 致动面模型利用无厚度的平面代替风力机叶片, 在平面上施加不连续压力来模拟叶片对气流的作用, 结合 N-S 方程, 在 FLUENT 中进行数值模拟计算, 是对致动线方法的延伸与改进。运用该方法能够简化风力机的模型, 从而减少网格数量和计算时间。采用线性分布下的致动面模型, 提出一种致动面网格的辨识方法, 对单台 Nibe A 型风力机的远近尾流区域进行模拟计算, 包括尾流风速变化, 湍流强度, 涡结构, 并将数值模拟的结果与致动线模型计算结果以及实验数据进行对比分析, 主要是风轮后特定距离截面的风速变化, 验证了致动面方法的优越性以及用于风力机尾流场计算的可行性。

关键词 致动面; 尾流; 源项分布; 网格辨识

中图分类号: TK89 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2017)03-0535-06

Numerical Study of Wind Turbine Wake Modeling Based on a Actuator Surface Model

ZHOU Yang¹ XU Chang¹ HAN Xing-Xing¹ SHEN Wen-Zhong²
ZHANG Ming-Ming³ CHEN Xing-Ying¹

- (1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Lyngby, DK-2800, Denmark;
3. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy Sciences, Haidian District, Beijing 100190, China)

Abstract In the Actuator Surface Model (ALM), the turbine blades are represented by porous surfaces of velocity and pressure discontinuities to model the action of lifting surfaces on the flow. The numerical simulation is implemented on FLUENT platform combined with N-S equations. This model is improved on the basis of actuator line model(ALM). By using ASM, the model of turbine can be simplified and the quantity of grids and computing time can be significantly reduced. A linear distribution model and a ASM Grid identification method are presented. This paper compares the ASM with ALM by computing both near and far wake of a Nibe A wind turbine, which combines wake velocity, turbulent intensity and vortex structure. Results show that ASM has better prediction accuracy and verify it's feasibility on numerical simulation of wind turbine wake.

Key words actuator surface model; wake; source term distribution; grid identification

0 引言

近年来, 计算流体力学 (CFD) 方法在风力机流场及其气动性能研究中得到越来越多的运用, 该方法能够准确的描述出风力机及其周围的复杂流场。常规的风机 CFD 计算, 为了保证风力机叶片及尾流区域的计算准确性, 需要建立相对复杂的实物模型, 先将固体的实体模型用专业的三维建模软件进行建模, 建模完成后对整个流场区域进行网格划分。三维模型的复杂性使得在整个过程中网格的划分成为了一个难点, 而且由于在风轮下游远尾流区域内网

格还要保持一定的精度, 网格的数量大量增加, 从而必然会导致计算量的增加。

研究人员通过将 BEM 理论与常规的 CFD 方法相结合, 开发出了致动模型方法, 即先用 BEM 理论求解风轮叶片的气动力, 再将气动力作为体积力源项添加到 N-S 方程中求解, 模拟叶片与流场的作用力。因为模型中没有真实的叶片的固壁边界, 所以能够大大减少模型复杂程度以及网格数量, 进而节约大量的计算资源。目前致动模型主要有致动盘模

收稿日期: 2016-12-30; **修订日期:** 2017-02-24

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目 (No.2014DFG62530); 国网南瑞科技项目 (风电机组智能控制技术研究及示范)

作者简介: 周洋 (1990-), 男, 硕士研究生, 从事风电场微观选址和空气动力学方面的研究。E-mail:452577867@qq.com.

通信作者: 许昌 (1972-), 男, 博士, 教授, 从事风电场微观选址和空气动力学方面的教学与研究。E-mail:zhufengxu@163.com

基于样本修整和支持向量机算法的并网 风电机组运行特性研究

王吉东, 许 昌, 王 欣, 韩星星, 郑 源, 刘德有

(河海大学 能源与电气学院, 南京 210098)

摘要: 针对并网风力机组运行时非线性、耦合性和大惯性的特点,提出了一种基于样本修整和支持向量机算法的系统辨识方法,并通过实例将该方法与单纯的支持向量机算法、BP(back propagation)神经网络算法进行比较.结果表明,样本修整后与修整前相比,训练速度和预测精度都有明显提高,基于样本修整和支持向量机算法的辨识方法具有明显的优越性.

关键词: 支持向量机; BP神经网络; 系统建模; 风电

中图分类号: TK 89; O 234 **文献标志码:** A

Operating Characteristic of Wind Generation Unit Using the Method Based on Sample Modification and Support Vector Machine

WANG Ji-dong, XU Chang, WANG Xin, HAN Xing-xing, ZHENG Yuan, LIU De-you

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of that the operation characteristics of wind generation unit are nonlinear, coupled and with great inertia, a new system identification method based on sample modification and support vector machine (SVM) was put forward. By virtue of an application case, the proposed method of modified support vector machine was compared with the traditional SVM method and the back propagation (BP) neural network algorithm. The results indicate that, it is faster and more accurate than the initial one due to using modified samples. The study on the actual operation characteristics can provide reference to precise modeling and intelligent control of wind generation units.

Key words: support vector machine; BP neural network; system modeling; wind power

由于风资源的不可预测性以及机械、电气等多重因素的影响^[1],风电机组运行工况复杂多变,系统

具有明显的非线性、随机性和强耦合性,因此,很难建立精确的物理模型^[2].在传统的风力机建模中,风

收稿日期:2013-09-13

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB227102-1);江苏省自然科学基金面上资助项目(2013-198);教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(2012-940);江苏省六大人才高峰项目(2012-XNY-12)

第一作者:王吉东(1990-),男,硕士研究生.研究方向:风电场空气动力学理论. E-mail: jidong_66@sina.com

通讯作者:许 昌(1973-),男,教授.研究方向:风能、太阳能发电. E-mail: zhweifengxu@hhu.edu.cn

限电情况下风电场内机组 最优组合方案研究

王欣, 许昌, 韩星星, 王吉东, 郑源, 刘德有
(河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 近年来,由于风电渗透率持续增加而电网消纳能力有限,造成风机产能过剩,“弃风”现象开始凸显。为保证电力系统的稳定运行,要求风电场主动参与系统调频,根据电网调度部门指令控制其功率输出。将风速预测信息与尾流效应模型结合起来,预测场内每台机组的最大出力。在此基础上,以提高风电场效益为目标,建立了限电情况下风电场内机组组合问题的数学模型,并利用改进的粒子群算法进行优化研究,得到限电情况下风电场内机组最优组合方案。最后通过实际算例进行仿真分析,验证了所提出方法的可行性和优越性。

关键词: 风电场; 弃风; 风速预测; 机组组合; 粒子群算法

中图分类号: TK83 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2014)09-1319-08

DOI:10.13941/j.cnki.21-1469/tk.2014.09.012

0 引言

截至2012年,中国风电装机容量已超过5200万kW,预计到2020年风电装机容量达到1.5亿kW,占全国总发电装机容量的10%,部分省级电网的风电装机比例将达20%~30%^[1]。随着风电渗透率的增大,其间歇性、波动性和反调峰特性将会对电力系统的正常运行造成威胁,近年来,“三北”地区风电场大量“弃风”已成为电网运行的普遍现象^[2]。风电场“弃风”运行不仅造成了风能的浪费,而且降低了风电场运行效益。为提高电网的风电渗透率减少弃风,一方面应增强电网调峰调频调度研究,另一方面要致力于改善风电质量,增强风电的可调性和可控性。

作为风电领域的研究热点,风功率预测技术不断提高,近年来风电功率预测技术已应用于风电有功调度的研究,并取得了良好的控制效果^[3-4]。许多学者对含风电场的系统自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)问题进行了研究^[5-8],但普遍是以整个风电场或风电场群作为调控对象,在风电场并网运行后电网不干涉风电出力,通过调节常规机组以维持系统的平衡状态,没有考虑到系统调峰能力的限制。随着风电技术

的发展,开始要求风电场直接参与系统调频,当系统频率过高时,需对风电场进行限电操作。经过厂网分开和竞价上网等改革,发电厂成为经济利益独立的实体,风电场要实现场内的经济调度,首先需编制合理的开停机方案^{[9][10]}。

本文在风速预测的基础上结合了尾流效应模型计算风电场内风能分布,借助机组的运行特性曲线预测各机组的最大输出功率。将改进的粒子群优化算法应用于风电场机组组合运行问题的研究,提出了限电情况下风电场内的机组最优组合方案。

1 基于尾流模型的风电机组出力预测

风电场是由多台风机排列在不同位置组成的,由于尾流效应的影响,位于下风向的风电机组输入风速低于位于在上风向的风电机组,使得不同位置的风电机组风能分布不同。本文采用Jensen模型模拟风场内的尾流,同时考虑风机受上游风机的遮挡影响和不同风机间的相互影响,以超短期风速预测信息为输入条件,计算风电场内任意风电机组处的风速变化,并借助风机运行特性曲线预测各机组的最大输出功率。

1.1 Jensen尾流模型

收稿日期: 2014-03-12。

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530);教育部留学回国人员科研启动基金(2012-940)。

作者简介: 王欣(1990-),女,硕士研究生,研究方向为风能、太阳能发电理论与技术.E-mail:wangxin6601@126.com

通讯作者: 许昌(1973-),男,教授,研究方向为风能、太阳能发电理论与技术.E-mail:zhweifengxu@hhu.edu.cn

文章编号:0254-0096(2015)12-2844-08

基于 CFD 和 NCPSO 的复杂地形风电场微观选址优化

许 昌¹, 杨建川¹, 韩星星¹, Wenzhong Shen², 刘德有¹, 郑 源¹

(1. 河海大学能源与电气学院, 南京 211100; 2. 丹麦科技大学风能系, 灵比 DK-2800)

摘 要: 针对复杂地形条件下风电场微观选址技术难度大的问题, 提出一种基于数值计算结果和高效优化方法的微观选址优化算法。将测风数据按风向等分成 12 个扇区, 并利用平均风速和 CFD 对复杂地形的每个扇区进行数值模拟, 得到风电场各扇区的风资源分布, 提取轮毂高度处的风速和风向分布。优化中风力机的尾流影响采用 Jensen 尾流模型, 风电场风能计算中风速按照威布尔分布处理, 并考虑每个扇区风速的大小、概率密度。目标函数为整个风电场的输出功率倒数的对数, 自变量为风力机在给定风电场中的位置坐标, 约束条件为地形边界和风力机之间的最小距离, 优化算法采用该文提出的改进小生境粒子群算法(NCPSO), 优化风力机组微观选址的最优解。该文提出优化算法得到的结果与基于高度的经验布置方法(EX-TH)、基于风能密度的经验布置方法(EX-PH)以及普通粒子群算法(PSO)进行比较, 证明在复杂地形条件下所提出方法的可靠性与有效性, 并可应用于工程实践。

关键词: 风电场优化; 复杂地形; CFD 数值模拟; 微观选址; 小生境粒子群优化

中图分类号: TM614

文献标识码: A

0 引 言

随着各国对风能资源开发的深入, 风能开发逐渐转入复杂地形的地区。同平坦地形相比, 复杂地形区域有更广阔的开发空间, 且这些区域往往具有更好的风能资源, 会给风电投资者带来更可观的收益^[1]。然而, 在复杂地形条件下, 由于地形产生的空气绕流, 使得流场的分布极为复杂^[2], 从而使得通过风电场微观选址优化, 提高风电场的风能资源利用效率难度增大。

对风电场的微观选址常采用基于高度变化的 Lissaman 线性模型, 风速的大小由所在位置的高程决定, 且呈指数规律变化^[3]。WAsP 软件就基于这种模型, 在平坦地形条件下, 能准确预测风能的分布, 然而在复杂地形条件下, 利用该软件预测的风能分布与实际相比存在较大误差^[4], 这是由于在复杂地形条件下, 向风坡的气流产生抬升, 压力增高并可能产生回流; 在背风坡, 由于负压的影响会发生气流的分离, 风速的大小和方向也会发生改变, 这些都难以采用常规的线性模型描述^[5]。国内外已有的关于风电场微观选址及其优化的文献, 大多基于 Lissaman 线性模型^[6-8],

所建立的风电场布置方案和风能计算结果准确性在复杂地形条件下均有待提高。

计算流体力学(CFD)方法能模拟大气边界层中的湍流以及在复杂地形条件下的流体分离、环绕等现象, 可准确得到复杂地形条件下的风能资源分布。文献[9]利用两种不同的 CFD 方法对复杂地形空气动力场进行数值模拟, 并与 Lissaman 线性模型进行比较, 通过实例证明 CFD 方法在复杂地形评估方面有明显优势, 并分析不同湍流度对预测结果的影响。文献[10]分别对平坦地形和复杂地形进行三维建模, 并应用 CFD 方法进行数值模拟, 经过与实测数据的对比分析, 验证所建立模型的可靠性。文献[11]详细分析了复杂地形的流场, 并对不同的复杂地形条件应用不同的湍流模型及粗糙度, 使得计算的精度进一步提高, 完善了复杂地形流场数值模拟的方法。

现已有部分关于风电场微观选址优化方法的研究, 文献[12]采用遗传算法对风电场进行优化, 算法的种群多样性不足, 后期的收敛效率较低, 不适合变量较多情况下的优化。文献[13]采用粒子群算法, 粒子群算法简化了优化过程, 收敛速度加

收稿日期: 2014-06-16

基金项目: 中丹国际科技合作专项(2014DFG62530); 教育部留学回国人员科研启动基金(2012-940)

通信作者: 许 昌(1972—), 男, 博士、教授, 主要从事太阳能和风能利用方面的研究。zhufengxu@163.com

基于改进致动盘和拓展 $k-\varepsilon$ 湍流模型的风力机尾流数值研究

许昌¹, 韩星星¹, 王欣¹, 刘德有¹, 郑源¹, SHEN Wenzhong², 张明明³

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏省南京市 211100; 2. 丹麦科技大学风能系, Lyngby DK-2800;
3. 中国科学院工程热物理研究所, 北京市 海淀区 100190)

Study of Wind Turbine Wake Modeling Based on a Modified Actuator Disk Model and Extended $k-\varepsilon$ Turbulence Model

XU Chang¹, HAN Xingxing¹, WANG Xin¹, LIU Deyou¹, ZHENG Yuan¹, SHEN Wenzhong², ZHANG Mingming³

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, Jiangsu Province, China;

2. Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Lyngby, DK-2800, Denmark;

3. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy Sciences, Haidian District, Beijing 100190, China)

ABSTRACT: This paper presented an improved computational fluid dynamics (CFD) model for simulating a horizontal-axis wind turbine wake. The model used the actuator disk model to simplify the wind turbine effect on the aerodynamic field by adding an extra momentum source and an improved term to correct the underestimation issue of the wind speed deficit when applying the STD $k-\varepsilon$ model. In addition, the model also introduced a radial distribution function to assess the non-uniform load on the actuator disk and a coefficient $C_{4\varepsilon}$ of the turbulent source. To validate the model, the wind turbines of Nibe 'B' and Dawin 180/23 were checked by different wake models with multiple entrance velocities. Results show that the improved wake model has better prediction accuracy with experimental data and can be used for wind turbine wake calculation.

KEY WORDS: extended turbulent model; actuator disk model; wind turbine wake; computational fluid dynamics (CFD)

摘要: 提出了适用于风力发电机组尾流的数值计算方法: 将风轮简化成致动盘, 附加动量源项; 引入改进湍流方程源项, 改善标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型造成的尾流恢复过快的问题; 应用分布函数改进动量源项和湍流源项系数 $C_{4\varepsilon}$ 沿风轮径向的分布规律。以 Nibe-B 和 Dawin 180/23 这 2 种风力发电机尾流为例, 使用不同的尾流模型计算出风力机在多种入流风速下

的尾流场。结果表明, 与其他尾流模型相比, 改进后的模型相对于实验结果具有更高的预测精度, 能够更好地模拟风力发电机尾流。

关键词: 拓展湍流模型; 致动盘模型; 风力机尾流; 计算流体力学

0 引言

空气流过旋转的风轮时, 将在风轮后形成尾流区。此区域内, 风速相对于入流有所降低, 湍流度增强, 尾流会对后排风力机出力和可靠性造成影响。对于大型风电场, 由尾流造成的损失最高可能达到总出力的 10%~20%^[1]。因此在计算风电场出力时, 必须考虑尾流效应。

风力机尾流模型一般分为半经验尾流模型和基于 CFD 的尾流模型 2 类。半经验尾流模型如 Jensen 模型^[2]和 Larsen 模型^[3], 计算量小, 能满足平坦地形下的精度要求, 常用于实际工程中。在风电场微观选址方面, 许昌等^[4]应用 Jensen 模型和 Lissaman 模型, 综合考虑不同高度下风速分布和风力机之间的尾流影响, 提出了一种复杂地形风电场微观选址优化的方法。在风电场功率预测方面, 李莉等^[5]将不同风向下风电场流场的数值计算结果制成风场特征数据库, 结合 WRF 预测功能和 Larsen 尾流模型预测风电场功率。在模型改进方面, 张镇^[6]结合近场的无黏尾流模型和适合于远场的改进 Jensen 模型提出了全场尾流模型, 与风力机尾流实

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530), 教育部留学回国人员科研启动基金(2012-940)。

The International Science and Technology Cooperation Project between China and Denmark (2014DFG62530); The Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars from State Education Ministry (2012-940).

大型风电机组机组层 AGC 控制策略研究

许昌¹, 魏媛^{1,2}, 李涛², 韩星星¹, Wenzhong Shen³, 王长宝⁴, 石磊⁴, 陈星莺¹(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100; 2. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007;
3. 丹麦科技大学风能系, Lyngby DK-2800; 4. 南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 针对传统控制策略下的风电机组输出波动性大、随机性强, 需其他设备协调风电场出力的缺点, 提出一种机组层 WT-AGC 控制策略, 并对该控制策略的工作原理进行了详细的分析。在考虑风电机组运行状态及风电场调度要求的基础上, 将 WT-AGC 策略下机组运行方式分为 2 种: 调度指令高于机组最大出力能力的常规运行和调度指令低于机组最大出力能力的限功率运行。通过风电机组转速调节和变桨距机构动作配合, 实现风电机组输出稳定, 满足风电场调度要求, 并对某实际双馈风电机组进行了仿真。结果表明该控制策略不但可以实现风电机组的可调度输出, 而且提高风电机组并网后的功率稳定性, 验证了所提策略的正确性。

关键词: 机组层 WT-AGC; 转速控制; 桨距角控制; 输出稳定性

Research on automatic generation turbine control strategy of large wind turbine

XU Chang¹, WEI Yuan^{1,2}, LI Tao², HAN Xingxing¹, Wenzhong SHEN³, WANG Changbao⁴, SHI Lei⁴, CHEN Xingying¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Henan Electric Power Survey and Design Institute, Zhengzhou 450007, China; 3. Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Lyngby DK-2800, Denmark; 4. Nanjing Nari Group Corporation, Nanjing 210003, China)

Abstract: Wind turbine output has characters of large volatility and strong randomness, and needs other equipment to coordinate under the traditional control strategies. The paper proposes and analyzes the working principle of a unit layer WT-AGC control strategy in detail. Considering operating state of wind turbine and requirements of wind farms, unit operating modes are divided into two ones under WT-AGC control strategy, which include the traditional operation of order higher than the maximum capacity and limited power operation of order below the maximum capacity of the unit. Through controlling the rotating speed of wind turbine and pitch-regulated mechanism, the steady output of wind turbine is achieved to meet the scheduling requirements of wind farms, which has been simulated by a real double-fed wind turbine. The results show the WT-AGC control strategy not only achieves output scheduleability of wind turbine, but also improves stability of wind power integration, which verify the validity of proposed strategy.

This work is supported by the International Cooperation of Science and Technology Special Project (No. 2014DFG62530), State Grid NARI Technology Projects (the Wind Generator Intelligent Control) (No. SGTHT/14-JS-188), and Science and Technology Project of Nantong City (No. BK2014028).

Key words: unit layer WT-AGC; rotational speed control; pitch angle control; output scheduleability

0 引言

目前, 风电装机比例大幅增多, 风电渗透率不断增大。然而, 风电的间歇性、波动性及反调峰特

性对电能质量造成一定的影响, 甚至威胁到电力系统的正常运行。此外, 我国风能资源与电力负荷存在分布差异, 电网调峰能力、风电就地消纳能力和电网输送能力有限, 从 2010 年开始, “弃风限电”现象开始突显^[1-2]。如何增强风电的可调性、增加风电可控性是风电领域的研究热点之一。

当风速低于额定风速时, 基于传统风电机组控制策略(Traditional wind power control, T-WPC)下的

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530); 国网南瑞科技项目(SGTHT/14-JS-188); 南通市科技项目(BK2014028)

文章编号: 1000-7709(2017)03-0177-05

基于致动线模型的风力机尾流场数值研究

周洋¹, 许昌¹, 韩星星¹, 邓力²

(1. 河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 211100; 2. 中国电建集团 中南勘测设计研究院, 湖南 长沙 410014)

摘要: 针对致动盘模型存在的不足, 使用非定常计算, 提出了致动线方法, 在致动盘模型的基础上改进了体积力的分布方式, 利用体积力代替风力机叶片, 结合不可压缩 N-S 方程, 采用均匀分布和高斯分布两种不同体积分布方式, 在 FLUENT 中对 Nibe A 型风机尾流进行模拟计算, 研究了尾流区域的速度变化与湍流强度等, 并将计算结果与试验数据进行比较。结果表明, 体积力的分布方式对致动线方法的计算结果有一定影响, 尤其是远尾流区域差异明显, 高斯分布下的模拟结果更加接近试验数据, 优于均匀分布; 致动线方法用于风力机尾流场的计算基本能满足工程需要, 但在远尾流场的模拟计算上精度还不够, 需结合实际对模型作进一步改进。

关键词: 致动线; 体积力; 均匀分布; 高斯分布; 尾流

中图分类号: TK89

文献标志码: A

1 引言

随着风力发电的进一步发展, 风力机尾流场的研究亦越来越重要。上游风机尾流对下游风机的影响非常大, 风电场微观选址排布风机位置时必须考虑这个重要因素, 因此准确的尾流场预测对风电场规划设计具有重要意义。早期的试验表明, 经典的叶素—动量理论(BEM)精度较低, 对翼型数据及修正模型的依赖性很强; 近年来, 随着 CFD 方法在风力机数值模拟计算中的应用日益广泛, Sørensen N N 等^[1]发现基于 RANS 的数值模拟在风力机后失速性能模拟上不够精准; Sezer-Uzol N 等^[2]研究发现在高雷诺数下, 大涡模拟(LES)虽能获得较准确的结果, 但 LES 方法网格数一般在 10^7 量级以上, 计算量过于庞大; 致动模型方法将 BEM 理论与常规的 CFD 方法相结合, 先用 BEM 理论结合二维翼型数据, 求解风轮叶片各部分的气动力, 再将气动力作为体积力源项添加到不可压缩 N-S 方程中求解, 用叶片在流场中所受的力来代替叶片实体进行模拟计算, 这样可省却实体模型, 无需求解叶片表面边界层, 也无需使用动网格。Shen W Z 等^[3]在致动盘模

型的基础上改进了体积力的分布方式, 使用非定常计算, 提出了致动线方法, 提升了近尾流区域计算的准确性; Ivanell S 等^[4]使用致动线方法研究了单台风力机的近尾迹区域的流动状况; 李鹏飞等^[5]基于求解器 ALM-pisoFoam 对 NTNU 的 BlindTest1 型风力机尾流场进行了数值模拟, 分析了 3 个典型叶尖速比下的轴向诱导因子、湍动能和尾涡结构。致动线方法模拟计算出的流场信息包含了速度、压力、湍流强度、涡量等物理量, 能满足研究风力机尾流的需求。为此, 本文利用致动线模型, 在 FLUENT 中对单台 Nibe A 型风机进行模拟计算, 重点研究了远尾流区域的速度与湍流, 验证了将致动模型方法应用于风电场微观选址中的可能性。

2 数值方法

2.1 致动线模型

致动线方法是致动盘方法的延伸和改进, 即用旋转的体积力替代数值模拟中的风机实体, 模拟风机尾流的空气动力场情况。与致动盘模型不同之处在于致动线模型舍弃了轴对称假设, 将体积力加载在三条线上, 且体积力的加载更加细化,

收稿日期: 2016-05-22, 修回日期: 2016-07-20

基金项目: 中丹国际科技合作专项项目(2014DFG62530); 国网南瑞科技项目(风电机组智能控制技术研究及示范); 南通市科技项目(BK2014028)

作者简介: 周洋(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为风电场微观选址和空气动力学, E-mail: 452577867@qq.com

Article

Governor Design for a Hydropower Plant with an Upstream Surge Tank by GA-Based Fuzzy Reduced-Order Sliding Mode

Chang Xu ^{1,*} and Dianwei Qian ^{2,†}

Received: 28 August 2015; Accepted: 18 November 2015; Published: 26 November 2015
 Academic Editors: Ånund Killingtveit and Juan Ignacio Pérez-Díaz

¹ College of Energy and Electricity, Hohai University, No.1 Xikang Road, Gulou District, Nanjing 210098, China

² School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, No.2 Beinong Road, Changping District, Beijing 102206, China; dianwei.qian@ncepu.edu.cn

* Correspondence: zhweifengxu@hhu.edu.cn; Tel.: +86-25-5278-9068; Fax: +86-25-8378-6510

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: This paper investigates governor design by reduced-order sliding mode for a hydropower plant with an upstream surge tank. The governing system is made up of a tunnel, a surge tank, a penstock, a wicket gate and servomechanism, a governor, a hydro-turbine and a grid. Concerning the components of the governing system, their mathematic models are established. Then, these models are interconnected to simulate the governing system. From the viewpoint of state space in modern control theory, the governing system is partially observed, which challenges the governor design. By introducing an additional state variable, the control method of reduced-order sliding mode is proposed, where the governor design is based on a reduced-order governing system. Since the governor is applied to the original governing system, the system stability is analyzed by means of the small gain theorem. An genetic algorithm is employed to search a group of parameters of the predefined sliding surface, and a fuzzy inference system is utilized to decrease the chattering problem. Some numerical simulations are illustrated to verify the feasibility and robustness of the control method.

Keywords: hydropower generation; governor; sliding mode control; order reduction; fuzzy logic; genetic algorithm

1. Introduction

With the coming of the low-carbon era, low-carbon power generation [1] is becoming increasingly significant and popular. Generally speaking, low-carbon power sources cover zero-emission thermal power generation, advanced atomic power generation, renewable energy, highly efficient electric power transmission, *etc.* As a kind of low-carbon power generation, hydropower, currently accounting for 19% of global electricity generated [2], offers an important low-carbon energy solution.

Hydropower uses hydraulic turbines to convert energy in flowing water into electricity. Such a source is one way of electrical generation from renewable potential sources. Usually, a hydropower plant is made up of the reservoir, water tunnel, surge tank, penstock, hydraulic turbine, speed governor, generator and grid [3]. Its sketch [4] is illustrated in Figure 1. In such a system, there exist strong couplings between hydraulic and mechano-electric dynamics. Moreover, the system has many different operating points [5]. Once the operating point changes, its characteristics will change. These undesired properties make its governor design challenging.



证书号第 2441122 号



发明专利证书

发明名称：基于 CFD 和改进 PSO 的复杂地形风电场微观选址方法

发明人：许昌；杨建川；李辰奇；郭苏；韩星星；王欣；刘德有；郑源

专利号：ZL 2014 1 0191773.2

专利申请日：2014 年 05 月 07 日

专利权人：河海大学

授权公告日：2017 年 04 月 12 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 05 月 07 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



证书号第 2543871 号



发明专利证书

发明名称：风力机尾流计算方法

发明人：许昌；韩星星；王欣；刘德有；郑源

专利号：ZL 2014 1 0448956.8

专利申请日：2014年09月04日

专利权人：河海大学

授权公告日：2017年07月07日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年09月04日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨





证书号第 1397030 号



发明专利证书

发明名称：一种风力发电运行状态监测与控制模型机

发明人：许昌;郑源;张德虎;刘德有;胡鹤轩;霍志红;田蔷蔷
杨晓春;稽仁荣

专利号：ZL 2012 1 0213575.2

专利申请日：2012年06月26日

专利权人：河海大学

授权公告日：2014年05月07日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年06月26日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第1190725号

软件名称： 基于CFD计算结果的风电场微观选址优化软件
V1.0

著作权人： 河海大学

开发完成日期： 2015年09月30日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权利范围： 全部权利

登记号： 2016SR012108

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 00941681



中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第1190772号

软件名称： 基本特定经济模型的风电场微观选址优化软件
V1.0

著作权人： 河海大学

开发完成日期： 2015年09月30日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权利范围： 全部权利

登记号： 2016SR012155

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 00941696



中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第1189720号

软件名称： 复杂地形风电场集电线路（直埋）优化软件
V1.0

著作权人： 河海大学

开发完成日期： 2015年09月30日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权利范围： 全部权利

登记号： 2016SR011103

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 00940875

2016年01月15日

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第1189255号

软件名称： 复杂地形风电场检修道路优化软件
V1.0

著作权人： 河海大学

开发完成日期： 2015年09月30日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权利范围： 全部权利

登记号： 2016SR010638

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 00940827

2016年01月15日

应用证明

单位: 万元

项目名称	华能陕西龙洲三期风电场50MW工程		
应用单位	华能陕西靖边电力有限公司		
单位注册地址	陕西省榆林市靖边县		
联系人		联系电话	
应用起止时间	2015年10月一至今		
自然年	新增销售额	新增利润	
2015年			
2016年			
2017年			
累计			
所列经济效益的有关说明及计算依据:			
<p>具体应用情况:</p> <p>华能陕西靖边龙洲风电场50MW工程在设计阶段,应用中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司开发的复杂地形微观选址与优化软件平台,经后期运行对比,采用的激光雷达和超声测风仪对风电场风资源测量准确,风资源各项评估指标计算合理准确,整体测量和评估精度较高。应用复杂地形微观选址优化软件进行微观选址和优化布局,风机微观选址精确度高,风机布置达到最优化布局,机组运行状况优良。</p>			
<p>应用单位 (盖章):</p>  <p>2018年3月27日</p>			

应用证明

单位: 万元

项目名称	宁夏中卫香山韩家圈风电场50MW工程		
应用单位	国电电力宁夏新能源开发有限公司		
单位注册地址	宁夏回族自治区银川市		
联系人	张万庆	联系电话	18095278638
应用起止时间	2015年10月一至今		
自然年	新增销售额	新增利润	
2015年			
2016年			
2017年			
累计			
所列经济效益的有关说明及计算依据:			
<p>具体应用情况:</p> <p>国电电力宁夏新能源开发有限公司宁夏中卫香山韩家圈风电场50MW工程在设计阶段, 应用中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司开发的复杂地形微观选址与优化软件平台, 经后期运行比对, 采用新型测风仪进行风资源测量准确, 精确度很高, 风资源各项评估指标计算准确。应用复杂地形微观选址与优化软件进行微观选址和优化布局, 风机微观选址精确度很高, 尾流计算准确, 风机布置达到了最优水平, 项目整体运行情况良好。</p>			
			
应用单位(盖章)			
2018年3月20日			

陕西省科学技术厅

证 明

兹证明中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司承担的中国-丹麦国际科技合作项目“复杂地形风电场微观选址与优化平台合作开发”（项目编号：2014DFG62530）已通过科技部委托陕西省科学技术厅组织的技术验收。

根据科技部国际合作司《关于组织国家国际科技合作专项项目验收工作的通知》要求，我厅受科技部委托，于2017年12月22日组织召开了项目技术验收会（验收专家名单附后），经验收专家听取汇报、审阅材料、质询讨论，一致同意该项目通过技术验收（验收专家评议意见及专家组意见附后）。经商科技部，技术验收通过，即可认为完成验收工作。验收证书亟待科技部审核反馈。

特此证明该项目通过技术验收。

陕西省科学技术厅国际合作处

2018年3月16日

国际科技合作项目验收专家组意见表

项目名称: 复杂地形风电场微观选址与优化平台合作开发

2017年12月22日,受科技部国际合作司委托,陕西省科技厅组织专家组在西安召开了“复杂地形风电场微观选址优化平台开发(项目编号:2014DFG62530)”项目验收会。专家组审阅了项目有关材料、听取了项目组的汇报,经质询和充分讨论,形成验收意见如下:

(1) 提供资料齐全,符合验收要求。

(2) 项目提出了风电场空气动力场精细测量和数据分析方法,比较了常用风资源评估软件适应性,发展了复杂地形高效、高精度尾流模型,并开发了复杂地形风电场微观选址软件。

(3) 通过国际合作的有效实施,中方充分吸收了丹麦科技大学在尾流建模、风资源评估软件(WAsP)的开发经验,以及丹麦EMD公司在风电场微观选址软件(WindPRO)的优化技术,为自主开发复杂地形风电场微观选址软件起到了关键支撑作用。

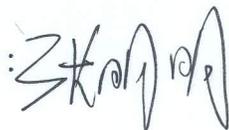
(4) 通过与丹麦方的紧密合作,拓宽了研究方向及合作渠道,有效地推动了我国科技活动的国际化,与丹麦合作方建立了广泛、稳定、长效、双赢的合作机制,形成了良好的国际合作与交流环境。

(5) 基本完成了任务书规定的论文、专利、软件著作权,以及人才培养等项指标。

验收专家一致同意本项目通过技术验收。

建议:进一步加强复杂地形风电场微观选址软件的推广应用。

专家组组长(签字):



2017年12月22日