




QUANGUO
FENGLIJI
KONGQIDONGLIXUE
XUESHUHUI
LUNWENJI



全国风力机空气动力学 学术会议论文集

主编 胡文瑞

 甘肃科学技术出版社

全国风力机空气动力学学术会议论文集
Proceedings of National Workshop on Wind Turbine
Aerodynamics

主编 胡文瑞

Editor-In-Chief HU Wen-rui

甘肃科学技术出版社

Gansu Science and Technology Press

图书在版编目 (CIP) 数据

全国风力机空气动力学学术会议论文集 / 胡文瑞主编.
兰州: 甘肃科学技术出版社, 2007.2
ISBN 978-7-5424-1128-0

I. 全... II. 胡... III. 风力发电机—空气动力学—学术会议—文集 IV. TM315-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 012196 号

责任编辑 张荣(0931-8773238)
封面设计 左文绚(0931-8773275)
出版发行 甘肃科学技术出版社(兰州市南滨河东路 520 号 0931-8773237)
印刷 兰州新华印刷厂(兰州市七里河区硷沟沿 115 号)
开本 880mm×1230mm 1/16
印张 9.25
字数 300 千
版次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷
印数 1~1000
书号 ISBN 978-7-5424-1128-0
定价 25.00 元

序

风能利用是个古老的项目，包括中国在内的文明古国在 4 000 年前就有利用风能的记载。直到 1259 年，科学家们才开始对风能利用的学术内涵进行研究。第二次世界大战以后，人们在一般性利用风电的同时，开始考虑大型风力发电机组的研制，直到 20 世纪 90 年代，欧美国家在兆瓦级风力机研制上才取得技术突破。随着新技术的发展，大型风电场的投资成本和运行成本大幅度下降，已开始进入市场运营阶段。

随着全球能源需求和环境污染形势的日益严峻，发展可再生能源已成为世界各国科技发展的战略安排。风力发电是可再生能源中近期最有前景的大型能源。国外的大型风力发电建设达到 8000 元/kW 的造价和 0.4 元/度的电价，预计今后 15 年内还有 40% 的降价空间。大型风电场即将成为电力市场中有竞争能力的选项。风电市场的前景取决于成本，而降低成本的关键是科技进步。

风力机组主要由三大部分组成，即风轮（包括叶片、轮毂等）、机舱（包括齿轮箱、电机、控制等）和塔架及地基。风力机的能源和受力都与来流风场的状况密切相关，空气动力学是研究风力机最早涉及的学科。与地面大多数旋转机械不同，风电机的来流风速是随时间和空间变化的，风力机空气动力学问题从本质上讲是非定常过程。低层大气边界层的湍流结构对大型风电场有重要影响，风力机空气动力学必须包括湍流效应。与低速机翼不同，风力机叶片尖部的旋转速度比来流风速要大几倍，叶片的攻角沿翼展方向变化大，涡流结构复杂。相应的，前缘速度变化也大，边界层从层流向湍流转捩的过程复杂，升力系数和阻力系数分布复杂。大型风力机的直径已超过 100m，大尺度叶片的气动弹性特征以及结构、强度、寿命分析都成为重要的学术问题。轻量化的新型复合材料的力学性能研究也是关系到风力机降低重量和成本的重要问题。风力机的研究提出了许多空气动力学问题。

风力机气体动力的早期理论是基于控制面守恒关系的一元流关系，很容易推出风力机功率为 $P = \frac{1}{2} C_p \rho V^3 A$ ，其中 ρ 为气体密度， V 为来流速度， A 为风轮的面积， C_p 为功率系数。简单分析就可得出最大功率系数为 $C_p = 0.59$ 。这个简单理论给出了风力机理论和设计的基本关系，人们追求功率系数接近于 0.59 的风力机设计。20 世纪 40 年代，人们发展了风力机的位势流理论，也就是把风力机流场看成是位势流再与涡旋系引起的诱导流叠加的结果。位势流理论至今还是许多风力机工程设计的基础，它的优点是简单，缺点是可能有 10%~20% 的误

差。随着计算流体力学（CFD）的发展，风力机气动过程的 CFD 计算已成为一个重要手段，它还可以包含大气湍流的影响，可利用一些商用程序来完成。风力机空气动力学的 CFD 计算可以用完整的守恒关系的边界条件来完成，这种方法在直升机螺旋桨的数值模拟中已得到利用，但在风力机计算中运用很少见。目前的风力机 CFD 计算，尾部边界条件大多采用半径经验的关系，因此有相当的不正确性，如果经验参数选择不当，它的误差可能比位势流理论的还要大。最近，国际上许多风力机 CFD 计算结果与美国 Ames 中心全尺度低速风洞的风力机气动实验结果进行盲比，彼此结果相差甚大，这说明还没有一个公认的、可靠的 CFD 程序。大型风力机空气动力学研究除要求各种气动理论分析外，还十分重视风洞实验和数据库的建立。同时，湍流的影响，新型轻质材料的研究，叶片和整机的振动、疲劳、气/固耦合（以及海洋风电机的气/液/固耦合），优化设计等课题也是研究的热点。人们还在进一步探讨一些新概念，诸如柔性风力机结构等为风力机气体动力学和气动弹性力学提出了新课题。

近年来，我国风力机呈现良好的发展态势。2005 年，全国风电装机容量达到 126 万千瓦，预计 2010 年达到 500 万千瓦，2020 年达到 3000 万千瓦。国家正在促进风力机国产化的发展，并正在取得成效。中国巨大的风电市场正在吸引着全球商家的关注。我国的风力机研制需要引进、消化和吸收国外技术，需要自主创新的研发，这些都必须建立在我国风力机空气动力学发展的基础上。我国以钱学森、郭永怀、庄逢甘等为代表的老一辈学者在国际空气动力学领域取得了丰硕成果，中国空气动力学有能力为发展我国大型风力机空气动力学做出贡献。

在各主办单位和承办单位的努力组织下，这次全国风力机空气动力学学术会议开得很成功。院士、学者和专家们聚集一堂，交流了国内、国外风力机空气动力学的进展，讨论了促进我国风力机相关研究的事宜，进行了充分的学术交流，取得了预期的成果。这次会议是一个良好的开端，预示着我国风力机空气动力学会会有一个更好的学术发展，也为促进我国风力机事业做出贡献。

胡文瑞

2006 年 12 月

前 言

庄逢甘

各位院士，各位专家，各位同志：

刚才陆浩省长已经给大家做了很好的报告，我没有更多的话要说。首先还是祝贺全国第一次风力机空气动力学学术会议成功召开，感谢主办单位甘肃省人民政府、中国力学学会、中国空气动力学学会、中国工程热物理学会、中国风能协会、863 计划能源领域、发改委、经委、科技厅和兰州理工大学以及组织单位所做的努力。

我作为一个空气动力学工作者，这个工作做了一辈子，对这次会议的召开感到非常高兴。在这里我给大家讲一个钱学森教授的小故事，他除了对航空航天技术非常了解之外，对国家的经济和科技发展也非常了解，他很早就提出来了关于风力机发电的事。据我所知，当时我们在设计风洞的时候，都是在管子里头做风扇实验，效率很高，一般都在 90% 以上。所以钱老跟我提起能不能在风力机外面加个罩子，因为风力机来流风向不很确定，加个罩子会好一点。我讲这个问题就是想鼓励大家要多思索。

现在从上到下都在创新，我们大家也应该创新。我们在这里谈的研究方向很清楚，国内空气动力学的发展相对来说不是很快，可能要努力工作好几十年，但是总得往前走。现在讲制度创新靠科技，我今天听了陆省长的讲话非常高兴，他对风力机的空气动力学很重视，这个不容易。很多省长都重视他这个省的 GDP，但是对技术创新强调不够。我理解的十六届五中全会的精神就是不能太看重 GDP，要走持续发展的道路，就要更多地注重自主创新。

你要自主创新就要像流体力学学科一样要发展，但是这个发展又要协调的发展，那么我和钱老的另一件事情就是 1978 年我去西欧考察，回来后向钱老汇报，他提出要发展风能，并给了我们很多鼓励。后来，开始有一些同志一起搞风力机及空气动力学研究，特别是在成立中国空气动力学研究会的专门委员会以后，在当时国家科委的统一领导下，在中国气动中心做了很多试验。但是，实验工作要和理论工作统一地协调发展，在实验前做的计算工作、实验设计如果做不好，那么实验就很难做好。同时，试验也不是自己随便搞一个模型吹一吹，要有理论指导。不要学美国人，他们会在全尺寸风洞中硬干，我们没有那么大的风洞，但没大的小的也行，像现在二十九基地那样 8m×6m 和 12m×16m 的低速风洞也可以。这就是说，我们搞理论工作和实验工作的人，大家围绕一个总的目标进行总体分析，到底主要环节在什么地方，要有总的考虑。

刚才说的风力机空气动力学的几个方面都要统一协调，目的就是取得一个最优化的效果，我在这里讲话容易但做起来难。我经常对自己讲，就像考试一样，老师出的题挺难，但是交白卷总不行，总得搞出方案来，到底行不行之后再论证。所以，从这方面讲，自主创新要靠各方面的同志共同努力。我相信风力机空气动力学学术研究一定会取得更大的发展，我预祝本次会议取得圆满成功。

谢谢大家！

——全国风力机空气动力学学术会议名誉主席

庄逢甘院士在开幕式上的讲话

全国风力机空气动力学学术会议

(2005年12月15日~12月17日)

甘肃省 兰州市 兰州理工大学

会议宗旨

随着我国《可再生能源法》的颁布，发展风能已成为国家的重大战略任务，风力机气体动力学问题是风力机的关键问题，也是发展我国具有自主知识产权的大型风电机的核心问题。我国风力机空气动力学研究与国外存在一定差距，也不能满足自主研发大功率风电机的要求。为了加强风力机空气动力学方面的学术交流，了解国内外研究进展，推动相关研究的深入发展，探讨如何联合国内相关研究单位和力量参与国家重大项目的申请和研究，拟召开“全国风力机空气动力学”学术会议，届时将邀请国内外本行业著名专家学者做十余场专题学术报告。

会议主要议题

- 风力场和大气模型研究
- 风力机 CFD 研究
- 风力机叶片设计理论和方法研究
- 风力机气动弹性及疲劳强度研究
- 风力机叶片制备与新技术研究

会议将就发展我国风力机空气动力学研究的相关问题交换意见。

学术委员会

名誉主席：庄逢甘（院士）

中国航天科技集团公司

主席：胡文瑞（院士）

中国科学院力学所研究员

兰州理工大学教授

委员：（按姓氏拼音为序）

程昌钧

上海大学教授

崔尔杰（院士）

航天科技集团公司研究员

中国力学学会理事长

贺德馨

中国气动研究与发展中心研究员

中国风能协会理事长

中国力学学会副理事长

李椿萱（院士）	中国气动学会副理事长 北京航空航天大学教授 国家计算流体力学实验室主任
李家春（院士）	中科院力学研究所研究员 中国力学学会副理事长
李 慧	兰州理工大学校长、教授
李仁年	兰州理工大学流体学院院长、教授
孟庆国	国家自然科学基金委员会数理学部
苏先榭	北京大学教授
王勋年	中国空气动力研究与发展中心总工、研究员
王智平	兰州理工大学党委书记、教授
许洪华	中科院电工研究所研究员 “863”能源领域专家委员会成员
徐建中（院士）	中科院工程热物理研究所研究员 中国工程热物理学会理事长
叶枝全	汕头大学教授
张天理	甘肃省科学技术厅厅长、研究员
朱瑞兆	国家气象局（气象科学研究院）研究员

组织委员会

主 席：	李 慧	兰州理工大学校长 教授
副主席：	陈 继	甘肃省科学技术厅副厅长
	张忠敬	甘肃省发展改革委员会副主任
	于光明	甘肃省经济委员会副主任
	邱 平	兰州理工大学副校长 教授
委 员：	杭及钦	甘肃省科学技术计划处处长
	潘正祥	甘肃省发展改革委员会能源处处长
	李开明	甘肃省经济委员技术创新处处长
	胡细茹	甘肃省经济委员加工与装备处处长
	樊 丁	兰州理工大学科技处处长

李仁年
殷国手
强明辉
孙品一
李有堂

兰州理工大学流体学院院长
兰州理工大学学校办公室主任
兰州理工大学科技处副处长
兰州理工大学学报编辑部 荣誉主编
兰州理工大学学报编辑部主任, 主编

会议秘书组

秘书长: 樊 丁
副秘书长: 李仁年
强明辉
程兰华

兰州理工大学科技处处长
兰州理工大学流体学院院长
兰州理工大学科技处副处长
兰州理工大学学宣部部长

会议会务组

组 长: 王春龙
副 组 长: 张思成

兰州理工大学科技处副处长
兰州理工大学学校办公室副主任

新闻媒体

新华社 人民网 甘肃电视台 兰州电视台 科技日报社 光明日报
中国改革报 甘肃日报社 兰州日报社

主办单位

国家自然科学基金委员会 甘肃省人民政府 中国力学学会 中国空气动力学学会
中国工程热物理学会 中国风能协会 国家科技部“863”能源专家委员会 兰州理工大学

承办单位

甘肃省发展改革委员会 甘肃省经济委员会 甘肃省科学技术厅 兰州理工大学

编 辑

杨效田 金萍 张爱红 蔺谦 刘炜

全国风力机空气动力学学术会议学术报告题录

第一分会：开幕式

主持人：邱平 副校长

- | | | |
|-----------------|-------|------|
| (1) 兰州理工大学党委书记 | 王智平教授 | 致欢迎词 |
| (2) 甘肃省省长 | 陆浩 | 讲话 |
| (3) 会议主席 | 胡文瑞院士 | 讲话 |
| (4) 中国航天科技集团 | 庄逢杰院士 | 讲话 |
| (5) 中国力学学会理事长 | 崔尔杰院士 | 讲话 |
| (6) 中国风能协会理事长 | 贺德馨 | 讲话 |
| (7) 科技部高新司交通能源处 | 李宝山处长 | 讲话 |

第二分会：邀请综合报告分会

主席：崔尔杰 院士

- | | | |
|----------------------|---------------|-----|
| ★ (1) 国际风力发电的现状和展望 | 中国风能协会 | 贺德馨 |
| ★ (2) 中国风电发展技术概况 | 中科院电工研究所 | 许洪华 |
| ★ (3) 大型风力机几个动力学问题 | 中国航天科技集团公司 | 崔尔杰 |
| ★ (4) 甘肃省风电发展规划情况介绍 | 甘肃省发改委能源处 | 潘正祥 |
| (5) 建立中国风力发电设备产品认证体系 | 中国计量科学院鉴衡认证中心 | 常晓环 |

第三分会：风场和大气边界层分会

主席：吕达仁 院士

- | | | |
|---------------------------------|--------------------|-----|
| ★ (1) 中国风能资源的开发利用 | 中央气象科学研究院 | 朱瑞兆 |
| ★ (2) 大气边界层研究 | 中科院力学研究所 | 李家春 |
| (3) 地形对风场的影响 | 北京大学 | 张伯寅 |
| (4) 风力场的数值模拟与验证 | 中国科学院大气物理研究所 | 张美根 |
| (5) 气象资料统计分析和大气边界层数值模式在风能开发中的应用 | LAPC, 中国科学院大气物理研究所 | 刘志辉 |
| (6) 甘肃省平均风速的气候变化特征及应用对策建议 | 中国气象局 兰州干旱气象研究所 | 林纾 |
| (7) 河西走廊风能资源立体分布研究 | 中国气象局 兰州干旱气象研究所 | 王毅荣 |

第四分会：风力机空气动力学分会 I

主席：胡文瑞 院士

- | | | |
|--------------------------|------------|-----|
| ★ (1) 低速来流旋转部件流场数值模拟算法研究 | 北京航空航天大学 | 李椿萱 |
| ★ (2) 风力发电的若干问题 | 北京大学工学院 | 陈十一 |
| (3) 带导叶风力机理论 | 上海大学力学所 | 黄典贵 |
| (4) 风力机数值计算模型和存在的问题 | 兰州理工大学流体学院 | 杨从新 |

第五分会：风力机空气动力学分会 II

主席：贺德馨 教授

- | | | |
|------------------------|---------------|-----|
| ★ (1) 风力机风轮的风洞实验的回顾与展望 | 中国空气动力研究与发展中心 | 王勋年 |
| (2) 增大叶片弯度提高风力机性能的实验研究 | 沈阳航空工业学院 | 申振华 |
| (3) 红外成像技术进行风力机叶片的无损探伤 | 北京工业大学 | 肖劲松 |

- (4) 绞接式风力发电机的概念及新模型算法介绍 博能瑞尔(北京)公司 赵新华
 (5) 风力叶片部分气动力问题的数值模拟 华北电力大学(北京) 康 顺

第六分会： 风力机气动弹性分会

主 席：陈十一 教授

- ★ (1) 风力机空气动力学的湍流理论 北京大学 苏先榭
 ★ (2) 风力机气动设计与流固耦合问题及 CFD 新研究 上海大学 刘高联院士
 (3) 风力机叶片在气动荷载作用下的有限元分析 兰州理工大学风能技术研究中心 马永斌
 (4) 水平轴风力机气动设计计算方法及应用探索 西安交通大学能源与动力工程学院 张楚华
 (5) 风力机透平的气动模型研究 南京航空航天大学 王同光
 (6) 风力透平叶片自激振荡类疲劳源的 Hopf 分差分析
 西安交通大学能源与动力工程学院 张家忠

第七分会： 空气动力学III

主 席：李仁年 教授

- ★ (1) 海洋环境条件下风力机结构的气动力学性能与安全性问题 上海大学 程昌钧
 ★ (2) 改进的水平轴风力机转轮空气动力学计算方法 兰州理工大学风能技术研究中心 程兆雪
 (3) 大型空心风机叶片的一次成型设计与制备 同济大学航空航天与力学学院 黄争鸣
 (4) 基于 CFD 技术的高性能风力透平叶型最优化设计方法
 中国科学院工程热物理研究所 王会社
 (5) 风力机叶片的静气动弹性稳定性 兰州理工大学风能技术研究中心 邢静忠

第八分会： 风力机优化设计分会

主 席：刘高联 院士

- (1) 风力机叶片制备与新技术 兰州理工大学流体学院 李仁年
 (2) 真实流场条件下风力机叶型气动性能的数值分析
 同济大学航空航天与力学学院 周 华
 (3) 叶片整合设计方法 博能瑞尔(北京)公司 赵新华
 (4) 风力机叶型气动性能的数值研究 清华大学热能系 李宇红
 (5) 模糊 PID 的风力机变桨距系统电液伺服控制 兰州理工大学流体学院 张立强

注：1. 打★号的为会议特邀报告；

2. 会议特邀报告时间为 25 分钟，提问 5 分钟；

3. 会议论文报告时间为 17 分钟，提问 3 分钟。

代表名单

陆 浩		甘肃省人民政府 省长
庄逢甘	院士	中国航天科技集团公司
胡文瑞	院士	中科院力学研究所
崔尔杰	院士	空气动力研究院
李家椿	院士	中科院力学研究所
刘高联	院士	上海大学
吕仁达	院士	中科院大气物理研究所
贺德馨	研究员	中国空气动力研究与发展中心
李宝山	研究员	科技部高新司交通能源处 处长
许洪华	研究员	中科院电工研究所
王勋年	研究员	中国空气动力研究与发展中心
陈 立	高工	中国空气动力研究与发展中心
王同光	教授	南京航空航天大学气动学院 副院长
申振华	教授	沈阳航空工业学院
桂巧咏	讲师	沈阳航空工业学院
刘宝生	高工	沈阳航空工业学院
康 顺	教授	华北电力大学
周 华	教授	同济大学
黄争鸣	教授	同济大学
张美根	教授	中科院大气物理研究所
张伯寅	教授	北京大学力学与工程科学院
陈十一	教授	北京大学力学与工程科学院 院长
苏先榘	教授	北京大学力学与工程科学院 副院长
李存标	教授	北京大学力学与工程科学院
肖劲松	教授	北京工业大学
黄典贵	教授	上海大学
程昌钧	教授	上海大学理学系 主任
徐凯宇	教授	上海大学
张俊乾	教授	上海大学
赵新华	工程师	博能瑞尔（北京）科技公司
李宇红	副教授	清华大学
朱瑞兆	研究员	中央气象科学研究院
杨振斌	副研究员	中央气象科学研究院
李建国	研究员	中科院力学研究所
张大为	副研究员	中科院力学研究所
董海涛	副教授	北京航空航天大学
张楚华	教授	西安交通大学
张家忠	教授	西安交通大学
林 纾	高工	中国气象局兰州干旱研究所
盛小军		深圳艾默生网络能源公司 经理
满翔宇		保定国家高新区管委会 局长
王 颖		保定国家高新区管委会

张宇航		保定国家高新区管委会
常晓环		中国计量科学院鉴衡认证中心
张仲桂	研究生	中科院工程热物理所
王会社	副研究员	中科院工程热物理所
张宏考		易融财经研究有限公司 经理
童 彤	高工	大连重工起重集团有限公司
毛鸿羽	研究员	航天科工集团三院三部
陈 雷	工程师	沈阳工业大学
刘辉志	研究员	中科院大气物理所
岑海堂	副教授	内蒙古工业大学
程兆雪	教授	兰州理工大学
杨从新	副教授	兰州理工大学
石广田	教授	兰州交通大学
李仁年	教授	兰州理工大学流体学院 院长
张立强	讲师	兰州理工大学
王建森	讲师	兰州理工大学
刑静忠	教授	兰州理工大学
马永斌	讲师	兰州理工大学
邵克文		甘肃发展改革委员会 主任
白继忠		甘肃省科技厅 厅长
张天理		甘肃省科技厅 厅长
于光明		甘肃省经济贸易委员会 副主任
陈 继		甘肃省科技厅 副厅长
潘正祥		甘肃省发展改革委员会能源处 处长
李 晶		甘肃省教育厅科研处 处长
左 龙		甘肃省发展改革委员会能源处 主任科员
徐明方		兰州市科技局 处长
张仁德		甘肃省科技厅高新处 处长
李国坤	高工	甘肃省科技厅
许又仁	高工	甘肃省科技厅
杭及钦		甘肃省科技厅计划处 处长
李开明		甘肃省经济贸易委员会技术创新处 处长
闵德庆	副总工	甘肃省新能源办公室
刘建彪		甘肃省新能源办公室 主任
何学义		白银市发展改革委员会 副主任
罗海文		景泰县科技局 局长
车安宁		武威市政府 副市长
冯德刚		白银市科技局 副局长
高小刚	工程师	兰州电机厂
张志荣		白银市平川市政府 区长
宋裕忠		白银市平川市政府 局长
高 勇		白银市平川区气象局 局长
王智平	教授	兰州理工大学 书记
李 慧	教授	兰州理工大学 校长

邱平	教授	兰州理工大学	副校长
李有堂	教授	兰州理工大学学报编辑部	主编
樊丁	教授	兰州理工大学科技处	处长
王春龙		兰州理工大学科技处	副处长
李春雷		兰州理工大学科技处	副处长
强明辉		兰州理工大学科技处	副处长
唐浩漩		兰州理工大学科技处	副处长
殷国手		兰州理工大学学校办公室	主任
张思成		兰州理工大学学校办公室	副主任
孙品一		兰州理工大学学报编辑部	荣誉主编
程兰华		兰州理工大学宣传部	部长

目 录

【风力机空气动力学】

真实流场条件下风力机叶型气动性能的数值分析	周 华, 黄争鸣, 袁国清, 董国华, 陈卢松(3)
低速来流旋转部件流场数值模拟算法研究	董海涛, 李椿萱(7)
海洋环境条件下风力机结构的气动力学性能与安全性问题	程昌钧(12)
立轴式风机三维旋转非定常流场数值模拟	苗佩云, 朱永刚, 毛鸿羽, 徐寿江(20)
增大叶片弯度提高风力机性能的实验研究	申振华, 于国亮(24)
钝尾缘大弯度翼型气动性能的数值研究	申振华, 夏商周, 桂巧映(29)
绞接式风力发电机的概念及新模型算法介绍	赵新华, Jim Platts, 杜瑛卓(34)
水平轴风力机气动设计计算方法及应用探索	张楚华, 李振华, 徐 冬(39)
改进的水平轴风力机转轮空气动力学计算方法	程兆雪, 李仁年, 杨从新(44)
来流风速对大型风力机获取能量的影响	杨从新, 李仁年, 程兆雪(48)
风力机数值计算模型和存在的问题	杨从新(52)

【风力机气动弹性力学】

风力机叶片的气动弹性和结构设计研究进展	邢静忠, 马永斌(61)
风机叶片振动及稳定性研究的进展	杜朝亮, 苏先樾(68)
风力机气动设计与流固耦合问题及 CFD 新研究	刘高联(72)
风力透平叶片自激振荡类疲劳源的 Hopf 分岔分析	张家忠, 刘 雁, 常军利, 李清华, 黄科峰(78)
风力机叶片制备与新技术	李仁年, 杨 瑞, 张玉良(84)

【风力机气动设计与控制】

风力机叶片在气动荷载作用下的有限元分析	马永斌, 邢静忠(95)
风机叶片的结构优先设计方法	Jim Platts, 齐海宁, 董 雷, 赵新华(100)
基于模糊 PID 的风力机变桨距系统电液伺服控制	张立强, 杨国来(106)
风力机液压制动系统的改进	王建森, 王峥嵘, 李少年(109)

【风资料及质量认证体系】

河西走廊风速变化及风能资源研究	王毅荣, 龚建福, 林 纾(113)
甘肃省平均风速的气候变化特征及应用对策建议	林 纾, 王毅荣, 陆登荣, 龚建福, 郝志毅(120)
建立中国风力发电设备质量认证体系	秦海岩, 常晓环(126)

CONTENTS

【Aerodynamics of Wind Turbine】

Numerical analysis of the wind turbine airfoil aerodynamic characteristics under real flow conditions	ZHOU Hua,HUANG Zheng-ming,YUAN Guo-qing,DONG Guo-hua,CHEN Lu-song (3)
Studies on numerical simulation method of rotational unit for low velocity incoming flow	DONG Hai-tao, LI Chun-xuan(7)
Aerodynamic features and safety problems for wind turbine structures in offshore environment	CHEN Chang-jun(12)
Numerical simulation for 3-D unsteady rotated flow of vertical axis wind power	MIAO Pei-yun, ZHU Yong-gang, MAO Hong-yu, XU Shou-jiang (20)
The experimental study of enhancement of wind turbine	SHEN Zhen-hua, YU Guo-liang (24)
A numerical study of aerodynamic characteristics of cambered airfoil with flunt trailing-edge	SHEN Zhen-hua, YU Guo-liang, GUI Qiao-yi(29)
An introduction of the concept and a new model-based algorithm for the coning wind turbine	ZHAO Xin-hua, JIM Platts,DU Ying-zhuo(34)
The calculating method and applied study of aerodynamic design for horizontal axis turbine	ZHANG Chu-hua, LI Zhen-hua, XU Dong (39)
Improved method for aerodynamic computation of horizontal-axis wind turbine rotor	CHENG Zhao-xue, LI Ren-nian,YANG Cong-xin(44)
Effect of wind speed on energy absorbed by a large horizontal-axis wind turbine	YANG Cong-xin, LI Ren-nian ,CHENG Zhao-xue(48)
The numerical model for a horizontal-axis wind turbine and its problems	YANG Cong-xin(52)

【Aeroelasticity of Wind Turbine】

Advances in aeroelasticity research and structural design of wind turbine blades	XING Jing-zhong,MA Yong-bin(61)
Progress in studies on vibration and stability of wind turbine	DU Chao-liang, SU Xian-yue (68)
Aerodynamic design,fluid/solid coupling and advanced CFD studies for wind turbine	LIU Gao-lian(72)
Hopf bifurcation analysis for flutter-type oscillation	ZHANG Jia-zhong,LIU Yan,CHANG Jun-li,LI Qing-hua,HUANG Ke-feng(78)
Fabrication and the new techniques of wind turbine blades	LI Ren-nian, YANG Rui, ZHANG Yu-liang (84)

【Aerodynamic Design and Control of Wind Turbine】

Finite element analysis of wind turbine blade under aerodynamic load	MA Yong-bin,XING Jing-zhong(95)
Structure-first design approach for wind turbine blades	JIM Platts,QI Hai-ning,DONG Lei,ZHAO Xin-hua(100)
Electro-hydraulic servo pitch-controlled system of wind turbine based on fuzzy PID controller	ZHANG Li-qiang, YANG Guo-lai(106)
Improvement on hydraulic braking system of wind turbine	WANG Jian-sen,WANG Zheng-rong,LI Shao-nian(109)

【Wind Information and Quality Certification System】

Studies on wind velocity variation and wind energy resource in the Hexi Corridor	WANG Jian-Rong,GONG Jian-Fu,LIN Shu(113)
Features on climatic variation of average wind velocity in Gansu province and suggestions of application strategy	LIN Shu,WANG Yi-rong,LU Deng-rong,GONG Jian-fu,HAO Zhi-yi(120)
Constructing of product certification system for wind turbine generator system and its components in china	QIN Hai-yan, CHANG Xiao-huan(126)