

阿尔法·文图斯 ALPHA VENTUS

海上风电场 Operation offshore



阿尔法·文图斯

海上风电场 Operation offshore

图书在版编目 (C I P) 数据

阿尔法文图斯海上风电场 / (德) 考纳曼

(Koenemann,D.D) 著; 李彦庆主编. ——上海: 上海科学技术文献出版社,
2014.1

书名原文: Alpha ventus

ISBN 978-7-5439-5937-8

I. ①阿... II. ①考... ②李... III. ①海风—风力发
电—发电厂—概况—德国 IV. ①F 451.666

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第199485号

阿尔法·文图斯海上风电场

Alpha Ventus Operation Offshore

© BVA Bielefelder Verlag/Germany 2010

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©

2013 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House Co., Ltd.

All Rights Reserved

版权所有, 翻印必究

图字: 09-2013-580

责任编辑: 田立群 应丽春

阿尔法文图斯海上风电场

李彦庆 主编

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地 址: 上海市长乐路746号

邮政编码: 200040

经 销: 全国新华书店

印 刷: 上海普顺印刷包装有限公司

开 本: 225×287 1/特16开

印 张: 12.5

版 次: 2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5439-5937-8

定 价: 298.00元

<http://www.sstlp.com>

序

风能是一种清洁的可再生资源，风电是最具发展潜力的新兴能源，大力发展风电等可再生能源是推动世界新一轮能源革命、推进世界经济转型发展的必然要求。近年来，不少国家纷纷推出风电等新能源战略，风电产业发展超乎预期，中国风电产业发展更是后来居上，2012年全球新增风电装机4471万千瓦，中国新增风电并网装机容量1500万千瓦。2012年全球新增海上风电装机约129万千瓦，累计装机约541万千瓦。中国2012年新增海上风电装机12.7万千瓦，海上风电累计装机约34万千瓦，位居世界第三位。根据相关预测，2020年前全球风电装机将以每年20%的速度增长，风电发展处于重要战略机遇期，而且海上风电将会成为重点发展领域。

中船重工是我国最大的造修船集团，拥有国内实力最强、最齐全的配套研发与生产体系，具备强大的机、电、液、控综合一体化装备制造能力，形成了从叶片、齿轮箱、发电机、控制系统，到机座、机架、塔筒、轮毂等全系列制造能力，是我国唯一一家具备较完整风电装备研制生产体系的企业。立足风电产业发展规律，借鉴国际风电产业发展经验，中船重工风电开发走出了一条由提供配套，到总装生产，再到进军风场、建设风电产业基地的发展路径，形成了风电全产业链竞争优势，走在了中国风电产业发展的前列。

面对海上风电的巨大潜力和发展趋势，国家已将海上风电纳入加快培育和发展的战略性新兴产业范畴，同时列入“十二五”发展规划。中船重工作为全球知名的海洋装备及配套供应商，汇聚了国家海上风电工程技术研究中心、国家能源海洋工程研发中心等一流的科研力量，研制了世界上第一台海上风车安装船，具有发展海上风点装备制造业的科研、制造、配套优势和丰富的海洋工程项目经验，目前正在自主研发5兆瓦及以上海上风力发电机组、风电储能设备等重大配套设备，将会引领中国海上风电产业持续快速发展。

德国是全球风电产业发展的领先者，在发展风电装备制造业、建设海上风电场、并网发电等方面进行了许多有益的探索。阿尔法·文图斯海上风电场项目是德国花费了20多年时间，耗费了大量人力、财力、物力，最终收获成功的一项重大项目，这座海上风力发电场成功并网发电，标志着德国利用可再生能源进入了一个新纪元。德国在阿尔法·文图斯海上风电场项目中，取得的成绩来之不易，积累的经验弥足珍贵，成为我们学习和借鉴的标杆。我们应树立全局观念，拓展国际视野，运用战略思维，以更大的决心和勇气、更强的欲望和追求，向全球领先者学习，与其同台共舞，在激烈的国际竞争中顽强拼搏，推进实现中国风电产业又好又快发展。

以此为序，期望中国风电产业的明天更精彩！

中国船舶重工集团公司副总经理



董 强

2013年7月，于北京

中文版前言

阿尔法·文图斯来自希腊文“一阵风”，这使我想起了汉高祖刘邦的诗句“大风起兮云飞扬……”，可谓是豪情万丈。在海上建造风力发电平台是人类利用海洋资源的又一个创举，这不仅仅在欧洲和美洲国家，中国也在积极准备涉水前行。

在陆地上，中国的风能设备催生了一个新兴产业，如果忽略其中许多技术上的问题，当人们看到这个行业如此迅速地发展，确实是令人鼓舞的。

然而，正如本书原版前言中所述，海上风能不只是陆上发电厂的简单延伸，而是一项独立的、高度复杂的技术开发，具有自身特殊的环境条件。与已有收益的陆上风能相比，海上风能要面对完全不同的挑战。

改革开放使我们有了更多的机会接触到发展中的先进技术。2010年5月我在访德期间，德国BVA能源技术出版社的同行热忱向我推荐这部刚刚出版的新书，这对我以及国内关注海上风能发展、从事海上风能研究开发的人来说，正是一个机遇。当时，我就与德国同行讨论该书的中文版版权引进许可。回国后，马上组织专业翻译进行翻译，又邀请了德国劳氏船级社上海公司的技术专家进行了审校。经过了最终的编辑、定稿、付印，终于用几个月的努力换得了一个令人满意的成果。

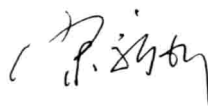
本书记录了由德国政府资助的海上风能项目的整个实施过程。这个项目采用了目前世界上最大的5兆瓦海上风能机组。在项目实施过程中，经历了漫长的时间和多次接近失败的考验。再一次告诉人们，科学实践的道路是不平坦的。

书中作者已经把未来的中国海上风能市场列入待开发领域。

随着中国风能事业的发展，许多人都在勾画着未来中国海上风电场的蓝图，并且正在筹措资金，引进设备和技术。通过翻译这本书，希望帮助国内的专业读者，深入了解海上风能平台的建造过程，从中汲取经验，推进我国海上风能项目顺利进行。

在本书的翻译出版过程中，得到了中国船舶重工集团公司和中国船舶信息中心等单位的大力支持，在此表示衷心感谢！

中国造船工程学会《船舶工程》编辑部主任



宋新新

2013年7月，于上海

感谢以下单位对《阿尔法·文图斯》
中文版编译工作的支持

（排名不分先后）

协办单位

中船重工（重庆）海装风电设备有限公司
东方电气集团东方汽轮机有限公司
邦飞利传动设备（上海）有限公司
中国熔盛重工集团控股有限公司
德国劳氏船级社（中国）有限公司
中国船级社质量认证公司
国家海洋局第三海洋研究所
南通润邦重机有限公司
重庆齿轮箱有限责任公司
南车株洲电力机车研究所有限公司
广东明阳风电产业集团有限公司
上海中集海洋工程研发中心
中国电力工程顾问集团华东电力设计院

支持单位

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
武昌船舶重工有限责任公司
山海关船舶重工有限责任公司
上海泰胜风能装备股份有限公司
江西华伍制动器股份有限公司
北京莱维塞尔科技有限公司
新乡市豫新风电设备工程有限公司
江苏龙源振华海洋工程有限公司
洛阳双瑞风电叶片有限公司
重庆前卫仪表有限责任公司
浙江海洋大学船舶与建筑工程学院
天津大学电气与自动化工程学院

《阿尔法·文图斯》中文版编译出版委员会

(以姓氏笔画为序)

主任委员

董 强

副主任委员

王若文、王建录、刘郑国、叶 华、吴 建、陈 刚、陈 强、李海宁、李彦庆、杨本新、
贺小兵、胡安康、赵航宇、郭知彼、常 山、黄世元、童小川、焦 依、廖康明

委员

孔祥东、历海强、王满昌、王渭龄、史俊虎、孙显辉、胡 昊、李坤胜、张乐平、张兆德、
陈启璐、沈若冰、陈 峰、周铁根、孟 黎、赵书敏、赵敏惠、赵生校、徐大林、高志龙、
聂春华、黄人豪、黄京明、曾 沅、程武山、彭祖洋

翻译人员（上海市工程翻译协会推荐）

方思敏、李书甫、杨文英、刘积骅、张 晶、秦鹏鑫、施 璟、徐陈芳、薛 丹、鞠光华

编校人员

孙明芳、殷 利、常卫伟

专业审校人员

德国劳氏集团风能分部（GL Wind, Germanischer Lloyd Group）

项目策划

宋新新



中船重工(重庆)海装风电设备有限公司

CSIC (Chongqing) Haizhuang Windpower Equipment Co., Ltd.



5MW海上风机特点

- 三叶片、上风向、水平轴、大轴承结构
- 三级增速、可选高速永磁/双馈
- 适应海上特点的主控
- 满足GL海上标准的CMS系统
- 极限载荷控制技术
- 迷宫式密封技术、内循环空冷冷却系统
- 自然对流空油冷却系统
- 标配消防系统
- 电网适应性好

设计理念

- 标准化、系列化、模块化设计：除叶片、增速箱外，5.0MW各种规格零部件完全互换。
- 适度冗余的可靠性设计。
- 要求正面维护，可维护性好；强调零部件可靠性，可维修；操作、运行、体验安全。
- 整体抗恶劣环境处理。
- 主流技术路线，新技术比例适当控制，传统与创新相结合。
- 适当预留技术演进空间。
- 可满足现有工程施工条件。
- 单位kW发电量大。



电气与自动化工程学院

Electrical Engineering & Automation

天津大学电气与自动化工程学院前身是1933年成立的北洋大学电机系，素以严谨治学、务实求真而闻名。先后培养出以原清华大学校长高景德院士，北京邮电大学名誉校长叶培大院士，发电工程与设备专家梁维燕院士，电力系统继电保护专家、俄罗斯工程院院士贺家李教授，电力系统分析、规划与仿真专家余贻鑫院士，国际电机领域知名专家陈之藩教授，电力系统著名华人企业家荣智健先生等为代表的一大批各类杰出人才。

学院现有电气工程、控制科学与工程学科均为博士、硕士学位授权一级学科，并分别设有博士后流动站。在学院所属的8个二级学科（电力系统及其自动化、电机与电器、高电压与绝缘技术、电力电子与电力传动、电工理论与新技术、控制理论与控制工程、检测技术与自动化装置和模式识别与智能系统）中，电力系统及其自动化、检测技术与自动化装置为国家重点学科。学院设有电气工程及其自动化、自动化2个宽口径的本科专业。每年本科生招生规模在330人左右，研究生在300人左右(硕士研究生约240人，博士研究生约60人)。

学院有一支高效、精干、勇于开拓的师资队伍，现有中国工程院院士1人，俄罗斯工程院院士1人，国家“千人计划”引进人才1人，长江学者创新团队1个，长江学者特聘教授2人，长江学者讲座教授1人，“973”首席科学家2人，国家杰出青年基金获得者2人，国家百千万人才2人，教育部新(跨)世纪优秀人才14人，天津市“千人计划”引进人才2人。

学院现拥有各类科研和教学实验室20余个，其中包括：智能电网教育部重点实验室、天津市电力系统仿真控制重点实验室、天津市过程检测与控制重点实验室、教育部新型飞行器联合研究中心（先进制导与控制分中心）、天津市配电系统规划及自动化技术推广中心，以及与国内外知名企业共建的楼宇自动化中心(与美国霍尼韦尔公司共建)、电力研究与培训中心(与华北电力公司、天津电力公司、河南电力公司、天津大港电厂等单位共建)、天津大学——三菱电机自动化实验室(与三菱电机(中国)公司共建)、天津市电力新能源与智能配用电技术工程中心(与天大求实公司共建)、天津市锻压装备技术工程中心(与天锻压力机公司共建)等多个科研和实训平台。现拥有各类实验仪器设备3000余台套，设备总值近亿元，实验室总面积近万平米。多数实验室和研究平台可对在校学生和企业开放，用于培养学生的创新能力和解决企业的实际问题。

学院拥有雄厚的科研实力，近5年来，共完成科研项目400余项（包括两项国家973项目），获2012年国家技术发明二等奖、2011和2010年两项国家科技进步二等奖，2009年中国高校十大科技进展以及其他各类省（部）级科学技术进步奖20余项，发表科技论文1500多篇，取得了丰硕的科研成果。2012年全院承担的科研项目经费超过5000万元，且已形成多个在国内、外具有一定影响的特色研究方向，如：电力系统规划、评估与优化，电力系统安全性与运行控制，分布式发电与微网，电力系统保护与控制，新型电机及其控制技术，电器系统优化与节能，高电压与绝缘材料，新型传感器与流动参数检测，自动化装备与过程控制，智能系统检测、建模与控制，智能信息处理与应用，航空制导技术，机器人控制技术，新能源动力汽车控制技术，等等。



电气与自动化工程学院

Electrical Engineering & Automation

地址: 天津市南开区卫津路92号 邮编: 300072

电话: (022)27406272 E-mail: autju@163.com



武昌船舶重工有限责任公司

WUCHANG SHIPBUILDING INDUSTRY CO., LTD.

科技创新 引领发展

武昌船舶重工有限责任公司，简称“武船”，是中国以造船为主的大型现代化综合性企业和重要的军工生产基地。

武船始终注重以科技和创新引领发展，是国家船舶工业“创新能力十强”企业，拥有国家级的企业技术中心，拥有舰船设计所、三维设计研究所、海洋工程船舶设计公司、新产品研发中心、特种材料应用技术研究所、信息集成公司等多个研究机构，具有独立设计、联合设计、重大工艺攻关、核心工艺技术创新与应用的业绩和能力。

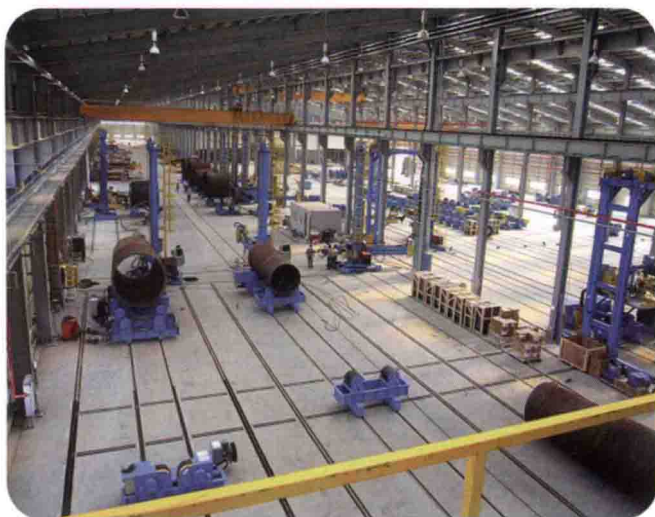
目前，我公司正在进行海上风机安装船设计研发工作，右下图为已形成的海上风机安装船概念模型：

地址：湖北武汉市武昌区紫阳路2号 邮编：430060

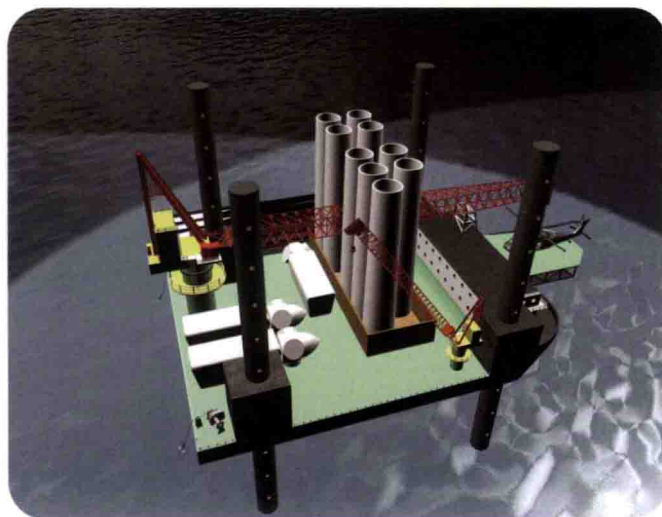
电话：027-68887174/7175/7176/7177/7178

传真：027-88077801

E-mail:wsqsls@163.com



风机塔筒生产线



风机安装船概念图

目录 CONTENTS

10	约尔格·库比尔作序：一个合作项目 A joint project Preface by Jörg Kuhbier
13	海上作业 安装5兆瓦风机机组 High above the sea Installation of an M5000
17	牢固的三脚式桩基 Strong tripod
34	访谈：费利克斯·第比尔斯（阿海珐Multibrid） Interview with Félix Debierre (AREVA Multibrid)
41	从梦想到现实 From vision to reality
64	访谈：克努特·雷费尔特博士（德国海上风能基金会） Interview with Dr. Knud Rehfeldt (German Offshore Wind Energy Foundation)
71	能源公司进军海上 Power companies enter the offshore business
76	向深海的危险致敬 Respecting the dangers of the high seas
93	研究和测量技术 Research and metrology
107	岸上工作为海洋工程技术服务 Work on land for technology at sea 海上风能为沿海地区创造新的就业机会 Offshore wind energy creating new jobs in coastal regions 海上能源需要千里迢迢从海洋输送至大陆 Offshore power on a long haul from sea to mainland
116	穿过浅滩和岛屿的电缆 A cable through mudflats and an island
135	在秋季风暴期间迎来激动人心的收尾工作 完成5兆瓦风机机组的安装 Exciting finish between autumn storms Installation of an 5M
145	风机塔架——轻质坚固 Jacket – light yet strong
158	访谈：马蒂亚斯·舒伯特（瑞能系统公司） Interview with Matthias Schubert (REpower Systems AG)
169	未来已经来临 The future has already begun
177	附录 Appendix
178	地理位置示意图 Cartographic overview
180	大事记 Chronology
185	术语 Glossary
189	图片来源 Photo Credits
191	编后记 Postscript

阿尔法·文图斯 ALPHA VENTUS

海上风电场 Operation offshore

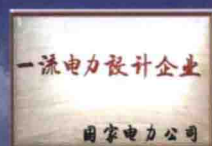




中国电力工程顾问集团

华东电力设计院

EAST CHINA ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE
OF CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP



中国能建中电工程华东电力设计院（简称“华东院”）1953年创建于上海，是中国勘察设计单位综合实力百强和获得国家质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系认证证书单位，是具有工程设计综合、工程勘察综合、工程监理、工程咨询、工程造价咨询、环境影响评价、测绘、水土保持方案编制、节能评审/评估等甲级证书和对外经营权的独立法人。华东院主要承担电力系统规划、火电、核电、新能源和输变电项目的勘察、设计、咨询、监理、总承包等业务。

华东院技术力量雄厚、专业配套齐全。截至2012年底共有在职职工1149人，其中工程技术人员有978人。华东院拥有全国工程勘察设计大师2人、历年享受政府特殊津贴的专家22人，现有教授级高级工程师113人，高级工程师402人，工程师239人，国家注册建筑师15人，注册建造师30人，注册结构工程师56人，注册土木工程师22人，注册电气工程师53人，注册公用设备工程师35人，注册造价工程师27人，注册监理工程师38人，注册咨询工程师44人，环境影响评价工程师11人，注册地震安全性评价工程师6人等。此外，华东院还拥有一批资深的、经验丰富的老专家，在工程勘测设计工作中发挥着技术支撑作用。

华东院始终坚持“精心设计、优质服务、艰苦奋斗、改革创新”的企业精神和“生存、发展、诚信、和谐”的企业核心价值观，努力为顾客提供优质的勘测设计产品和服务，切实履行好社会责任。多年来，华东院被国家、行业和地方有关管理机构授予“全国重合同守信用单位”、“中国勘察设计百强单位”、“中国工程设计企业60强”、“全国电力行业质量特别奖”、“全国电力行业优秀企业”、“全国一流电力设计企业”、“上海市文明单位”、“上海市高新技术企业”、“上海市科技小巨人企业”等荣誉称号并被分别评为中国建设系统、电力行业、电力规划设计行业、外经贸行业“企业信用AAA级单位”和上海市合同信用等级AAA级企业。



海上风机维护



风机海上运输、安装



风电市场从陆地到海洋



海上及滩涂风电场建设



精心设计

优质服务

艰苦奋斗

改革创新

地址：上海武宁路409号
电话：86-21-22015888

邮编：200063
传真：86-21-62574087 62577326

邮箱：ecepdi@ecepdi.com
网址：www.ecepdi.com

阿尔法·文图斯

海上风电场 Operation offshore

序

风能是一种清洁的可再生资源，风电是最具发展潜力的新兴能源，大力发展风电等可再生能源是推动世界新一轮能源革命、推进世界经济转型发展的必然要求。近年来，不少国家纷纷推出风电等新能源战略，风电产业发展超乎预期，中国风电产业发展更是后来居上，2012年全球新增风电装机4471万千瓦，中国新增风电并网装机容量1500万千瓦。2012年全球新增海上风电装机约129万千瓦，累计装机约541万千瓦。中国2012年新增海上风电装机12.7万千瓦，海上风电累计装机约34万千瓦，位居世界第三位。根据相关预测，2020年前全球风电装机将以每年20%的速度增长，风电发展处于重要战略机遇期，而且海上风电将会成为重点发展领域。

中船重工是我国最大的造修船集团，拥有国内实力最强、最齐全的配套研发与生产体系，具备强大的机、电、液、控综合一体化装备制造能力，形成了从叶片、齿轮箱、发电机、控制系统，到机座、机架、塔筒、轮毂等全系列制造能力，是我国唯一一家具备较完整风电装备研制生产体系的企业。立足风电产业发展规律，借鉴国际风电产业发展经验，中船重工风电开发走出了一条由提供配套，到总装生产，再到进军风场、建设风电产业基地的发展路径，形成了风电全产业链竞争优势，走在了中国风电产业发展的前列。

面对海上风电的巨大潜力和发展趋势，国家已将海上风电纳入加快培育和发展的战略性新兴产业范畴，同时列入“十二五”发展规划。中船重工作为全球知名的海洋装备及配套供应商，汇聚了国家海上风电工程技术研究中心、国家能源海洋工程研发中心等一流的科研力量，研制了世界上第一台海上风车安装船，具有发展海上风点装备制造业的科研、制造、配套优势和丰富的海洋工程项目经验，目前正在自主研发5兆瓦及以上海上风力发电机组、风电储能设备等重大配套设备，将会引领中国海上风电产业持续快速发展。

德国是全球风电产业发展的领先者，在发展风电装备制造业、建设海上风电场、并网发电等方面进行了许多有益的探索。阿尔法·文图斯海上风电场项目是德国花费了20多年时间，耗费了大量人力、财力、物力，最终收获成功的一项重大项目，这座海上风力发电场成功并网发电，标志着德国利用可再生能源进入了一个新纪元。德国在阿尔法·文图斯海上风电场项目中，取得的成绩来之不易，积累的经验弥足珍贵，成为我们学习和借鉴的标杆。我们应树立全局观念，拓展国际视野，运用战略思维，以更大的决心和勇气、更强的欲望和追求，向全球领先者学习，与其同台共舞，在激烈的国际竞争中顽强拼搏，推进实现中国风电产业又好又快发展。

以此为序，期望中国风电产业的明天更精彩！

中国船舶重工集团公司副总经理



董 强

2013年7月，于北京

中文版前言

阿尔法·文图斯来自希腊文“一阵风”，这使我想起了汉高祖刘邦的诗句“大风起兮云飞扬……”，可谓是豪情万丈。在海上建造风力发电平台是人类利用海洋资源的又一个创举，这不仅仅在欧洲和美洲国家，中国也在积极准备涉水前行。

在陆地上，中国的风能设备催生了一个新兴产业，如果忽略其中许多技术上的问题，当人们看到这个行业如此迅速地发展，确实是令人鼓舞的。

然而，正如本书原版前言中所述，海上风能不只是陆上发电厂的简单延伸，而是一项独立的、高度复杂的技术开发，具有自身特殊的环境条件。与已有收益的陆上风能相比，海上风能要面对完全不同的挑战。

改革开放使我们有了更多的机会接触到发展中的先进技术。2010年5月我在访德期间，德国BVA能源技术出版社的同行热忱向我推荐这部刚刚出版的新书，这对我以及国内关注海上风能发展、从事海上风能研究开发的人来说，正是一个机遇。当时，我就与德国同行讨论该书的中文版版权引进许可。回国后，马上组织专业翻译进行翻译，又邀请了德国劳氏船级社上海公司的技术专家进行了审校。经过了最终的编辑、定稿、付印，终于用几个月的努力换得了一个令人满意的成果。

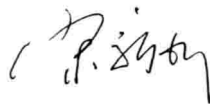
本书记录了由德国政府资助的海上风能项目的整个实施过程。这个项目采用了目前世界上最大的5兆瓦海上风能机组。在项目实施过程中，经历了漫长的时间和多次接近失败的考验。再一次告诉人们，科学实践的道路是不平坦的。

书中作者已经把未来的中国海上风能市场列入待开发领域。

随着中国风能事业的发展，许多人都在勾画着未来中国海上风电场的蓝图，并且正在筹措资金，引进设备和技术。通过翻译这本书，希望帮助国内的专业读者，深入了解海上风能平台的建造过程，从中汲取经验，推进我国海上风能项目顺利进行。

在本书的翻译出版过程中，得到了中国船舶重工集团公司和中国船舶信息中心等单位的大力支持，在此表示衷心感谢！

中国造船工程学会《船舶工程》编辑部主任



宋新新

2013年7月，于上海

感谢以下单位对《阿尔法·文图斯》
中文版编译工作的支持

（排名不分先后）

协办单位

中船重工（重庆）海装风电设备有限公司
东方电气集团东方汽轮机有限公司
邦飞利传动设备（上海）有限公司
中国熔盛重工集团控股有限公司
德国劳氏船级社（中国）有限公司
中国船级社质量认证公司
国家海洋局第三海洋研究所
南通润邦重机有限公司
重庆齿轮箱有限责任公司
南车株洲电力机车研究所有限公司
广东明阳风电产业集团有限公司
上海中集海洋工程研发中心
中国电力工程顾问集团华东电力设计院

支持单位

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
武昌船舶重工有限责任公司
山海关船舶重工有限责任公司
上海泰胜风能装备股份有限公司
江西华伍制动器股份有限公司
北京莱维塞尔科技有限公司
新乡市豫新风电设备工程有限公司
江苏龙源振华海洋工程有限公司
洛阳双瑞风电叶片有限公司
重庆前卫仪表有限责任公司
浙江海洋大学船舶与建筑工程学院
天津大学电气与自动化工程学院