



Koninkrijk
der Nederlanden



Australian Government

AusAID

Supported by the Australian Government, AusAID



GEF

加速中国可再生能源商业化能力建设项目

系列图书

中国风资源 测量和评估实务

全球环境基金/联合国开发计划署

高虎 刘薇 王艳 等编著



化学工业出版社

项目成果第二卷

加速中国可再生能源商业化能力建设项目
系列图书

中国风资源 测量和评估实务

全球环境基金/联合国开发计划署

高虎 刘薇 王艳 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”系列图书之一，书中对风资源测量与评价、测风选址、测风系统、观测站安装、运行和维护、数据收集、管理和验证、风资源测量和评估认证等内容进行了详细的说明，并汇总了该项目风资源测量和评估的标准和与该项目相关的报告。

本书可供从事风电场建设、运行和维护管理、风资源测量和评估人员以及投资商参考使用。

声 明

该出版物表达的观点仅代表作者，不代表澳大利亚国际发展署。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国风资源测量和评估实务/高虎, 刘薇, 王艳等编著.
北京: 化学工业出版社, 2009.1
(加速中国可再生能源商业化能力建设项目系列图书)
ISBN 978-7-122-04055-8

I. 中… II. ①高…②刘…③王… III. ①风力能源-测量-中国②风力能源-评估-中国 IV. TK81
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 168736 号

责任编辑: 王 斌 郑宇印
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 406 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 120.00 元

版权所有 违者必究

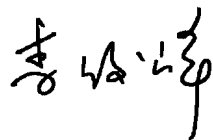
序

PREFACE

商业化发展是可再生能源行业几代人的梦想。1997年，一批可再生能源事业追梦者，发起了“促进中国可再生能源商业化发展能力建设项目”。它旨在通过全球环境基金的援助，引进国际上发展可再生能源的经验，加速中国的可再生能源商业化进程。项目的目标是以市场为导向，重点放在关键可再生能源技术的推广应用。项目包括能力建设、技术援助和技术转让等活动。在能力建设方面，通过资源评价、项目评估、商务开发、融资和建立标准等活动，推动中国可再生能源的大规模开发；通过成立中国可再生能源产业协会促进行业内部的信息交流，引进投资机会平台，帮助潜在的投资者开发投资机会。在技术应用方面，通过进行蔗渣热电联产、沼气和村级风光互补系统三个子项目的示范，克服在中国广泛采用可再生能源技术的障碍。根据这些示范项目的实施结果，编制了一套具有广泛适用性的项目设计和融资指南，供推广这些项目时参考、采纳。

经过长时间的精心准备，1999年3月，中国政府在联合国开发计划署和全球环境基金的支持下，正式开始实施该项目。经过近8年的努力，项目达到了预期的目标。本项目实施的过程见证了中国可再生能源商业化发展的历程，期间《中华人民共和国可再生能源法》颁布并开始实施，《可再生能源中长期发展规划》颁布，中国的可再生能源从一个弱小的产业成长为一个生机勃勃的新星，具有了初步的商业化发展能力。中国的太阳能热水器产业、光伏发电和沼气产业已经居世界第一位，风电也居世界前列。中国可再生能源行业几代人的梦想开始成为现实。

在回首往事和展望未来的时候，我们很难忘记“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”的贡献。现在我们将项目成果汇集成册，以纪念该项目对中国可再生能源发展的历史贡献，同时也是对项目实施过程中做出各种贡献的国内外同仁的一种褒奖，激励他们继续为可再生能源的商业化发展进行持之以恒的努力。



李俊峰

国家发展和改革委员会能源所副所长、研究员

2008年11月

In front of us is a book that documents the achievement of a successful cooperation between China and the United Nations and fruits of ten-year hard working by a group of dedicated professionals, national and international, in support the commercialization of renewable energy in China.

Back to mid-1990s when the project was designed, China's renewable energy industry, although enjoyed a long history, was in its infancy. Few policy-makers viewed renewable energy as an effective mean to address challenges of energy shortage, environment deterioration and poverty. Renewable energy entrepreneurs and researchers were struggling to enter the energy market that was flooded with polluting fossil fuels. The industry and banking sector stayed away due to lack of awareness and interest in the economic viability and bankability of renewable energy projects.

The Project, that was financed by Global Environment Facility, Australia and the Netherlands and jointly implemented by the National Development and Reform Commission and the United Nations^❶, addressed this situation from three aspects.

1. Policy advice. The Project always held policy study and recommendation high on its implementation agenda. As a result, hundreds of energy policy-makers, industry leaders and experts were brought to an extensive exposure to policy establishments and successful programmes and practices that had successfully promoted renewable energy applications in developed and developing countries. A number of in-depth policy studies were completed by national experts with help of international renowned consultants that covered the pricing policy and development plan for wind power, a national action plan for industrial-scale biogas development, the national biomass development roadmap, etc. The Project directly supported the promulgation of the Renewable Energy Law that came into effect at the beginning of 2006. These achievements have greatly contributed to the establishment of an effective and supportive policy framework for renewable energy advancement in China.

2. Capacity building. The project gave a birth to Chinese Renewable Energy Industry Association (CREIA) and nurtured it through the first miles of its long journey. CREIA has now become a full-fledged body instrumental for China's renewable energy industries to strengthen their own capacity and compete in the energy market in China and beyond. In addition, a series of training activities were implemented for four sectors of renewable energy

❶ It included United Nations Development Programme and United Nations Department of Economic and Social Affairs.

industry including wind farm development, solar thermal technology, industrial biogas utilization and village scale electric power systems.

3. Technology demonstration. The project constructed a dozen of pilot projects covering wind-diesel and wind-solar community power systems, large biogas generation and utilization, sugar cane bigasse co-generation and solar collector certification. Those demonstration activities not only directly helped participating institutions and communities but also showed the economic, environmental and social benefits of renewable energy technologies. The demonstration sites received numerous visitors, Chinese and foreign, and their story was widely covered by mass-media.

It is fair to say that the Project played a catalytic role to China's renewable energy booming. Today the country hosts a robust wind power industry and the largest solar energy (photovoltaic and thermal utilization) market of the world in addition to continuously taking the lead in biogas and hydropower development. What is happening in China is definitely a strong push to the world's renewable energy expansion and great contribution to combat against environmental pollution including climate change.

The Project would not possibly come to such fruition without the hard-working and team spirit of all participating institutions and individuals. At the risk of missing a lot, I wish to name the following whose dedication and professionalism were invaluable for the success of the Project and China-UN cooperation. They are: Mr. Wu Guihui, National Project Director and Mr. Shi Lishan, Director of Project Management Office, whose timely guidance and direction ensured the Project always aligned with and contributing to national priority; Dr. William Wallace, Senior Technical Advisor and Mr. Wang Zhongying, National Project Coordinator, two gentlemen who designed each and every project activity and ensured their execution to the perfection; Mr. Zhu Junsheng, Director, and Mr. Li Junfeng, Secretary-General of CREIA, who succeeded in letting the Chinese renewable industry better know about international best practices and the international renewable energy community know better about China's today and future. Also included are: Judy Siegel, Charlie Dou, Wang Sicheng, Cai Changda, Xu Honghua, Li Aixian and Qin Haiyan. To them I hold the highest respect.

李少义^①

2008年11月

① 李少义, 1998~2007年期间代表联合国经济和社会事务部(UNDESA)担任“加速中国可再生能源商业化能力建设”的项目经理和项目办副主任,负责项目的设计和实施工作;现任联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(ESCAP)能源安全部主任。

前言

FOREWORD

中国风能资源评估工作始于 20 世纪 70 年代。20 世纪 70 年代末，中国气象局首次作出中国风能资源的计算和区划，80 年代末又根据全国气象台站实测资料进行了第二次风能资源普查，较为完整地估算出各省及全国离地面 10 米高度层上的风能资源量。随着最近十多年气象事业的快速发展，获取观测资料的手段和密度有了很大的发展，观测资料质量也有很大的提高和改善，国家发展和改革委员会与国家气象局又启动了第三次全国风能资源评估，主要是利用全国 2400 个气象台站近 30 年的观测资料，对原来的计算结果进行修正和重新计算。但是仅用气象台站资料无法较详细地弄清风资源状况，不能满足风电发展规划和风电场建设前期工作的需求，还需要建立观测塔，观测轮毂高度的风况。

基于从离地面 10 米高度的观测数据难以较准确地计算风能可利用高度上的储量，一些观测没有按照统一的技术规范进行，观测资料质量难以保证等问题，联合国开发计划署（以下简称 UNDP）资助并开展了“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”。该项目主要资助对中国的大型风电场进行风能资源评估，为大型风电场建设提供可靠的基础资料，加速风电场的商业化，提高风资源测量和评估的质量和测评人员的技术水平，充分利用风能资源，避免风资源评估引起的风电场建设中的投资风险。

该项目由国家发展和改革委员会管理，所选择的 10 个场址被列入国家大型风电场场址名单，于 2001 年完成风电场场址选择工作，2002 年完成设备配置、采购、安装和调试工作，并于 2002 年底～2003 年初，龙源电力集团公司组织当地机构进行风能资源测量。中国水利水电建设工程咨询公司在国际咨询方的协助下进行风能资源评估工作，国际咨询方丹麦 RISO 和英国 Garrad Hassan 公司对项目测风评估成果进行质量认证。

根据 UNDP 的 10 个测风站的测风资料绘制完成各省及全国风能资源分布图，编制完成《风电场测风数据验证与评估软件》和《全国大型风电场建设前期工作大纲》，建立了与国际先进经验一致的现场安装、数据采集与分析程序。为了将项目有益经验进行推广，使项目成果为相关方利用，现将项目成果编纂成书。

本书的内容涵盖了该项目的简介、风资源测量与评价、测风选址、测风系统、观测站安装、运行和维护、数据收集、管理和验证、风资源测量和评估认证，附录中还汇总了风资源测量和评估的标准和与该项目相关的报告，可供从事风电场建设、运行和维护管理、风资源测量和评估人员以及投资商参考使用。

编者
2008 年 9 月

目 录

CONTENTS

第一章 UNDP/GEF “加速中国可再生能源商业化能力建设项目”	1
第一节 项目简述	1
第二节 项目意义	1
第三节 项目目标	2
第四节 项目工作范围	2
第五节 项目工作内容	3
第六节 项目成果	3
第七节 展望	3
第二章 风资源测量与评价概述	5
第一节 风资源测量和评价概念	5
一、风向	5
二、风速	5
第二节 风资源测量和评价通用方法和程序	6
一、风资源测量和评价的通用方法	6
二、风资源测评程序	7
第三节 中国风资源测量与评价标准	8
第三章 测风系统选址	9
第一节 对已有风能资源数据的利用	9
一、区域风能资源资料	9
二、具体场址的测风数据	10
第二节 地形标志物	10
第三节 场址考察	10
第四节 测风塔定位	11
第五节 测风系统选址实例	11
一、场址考察实例	11
二、测风塔定位实例	13
第四章 测风参数和工具	14
第一节 测量参数	14
一、基本参数	14
二、可选参数	14
三、记录参数和采样间隔	15
第二节 传感器	15

一、基本传感器	15
二、可选传感器	18
第三节 数据采集器	19
第四节 数据存储设备	19
一、数据处理和存储	19
二、存储设备	20
第五节 数据传输设备	20
一、人工数据传输	20
二、远程数据传输	20
第六节 电源供应	21
第七节 塔架和传感器支撑构件	21
一、塔架	21
二、传感器支撑构件	22
第八节 电缆	22
第九节 接地和防雷保护	22
一、数据采集器和传感器接地	23
二、塔架接地	23

第五章 测站安装 24

第一节 设备采购	24
第二节 设备验收测试和现场准备	24
第三节 测风塔安装	25
一、新的斜拉式塔架安装	25
二、利用已有塔架	26
三、NRG 塔架安装	26
第四节 传感器和设备安装	39
一、风速和风向传感器	39
二、温度传感器	40
三、数据采集器和相关硬件	40
四、传感器连接和电缆	40
五、接地系统	40
六、设备安装实例	41
第五节 现场调试及记录	45
一、现场调试	45
二、现场记录	45

第六章 观测站的运行和维护 47

第一节 现场检查	47
第二节 运行和维护程序	47
一、项目描述与运行维护理念	47
二、系统组件描述	48

三、日常仪器维护指导	48
四、现场检查程序	48
第三节 文档记录	51
一、文档记录内容	51
二、现场检测和维护案例	52

第七章 数据收集、管理和验证 56

第一节 数据收集	56
一、数据采集器	56
二、数据记录仪	56
三、数据采集频率	57
第二节 数据管理	57
一、电子数据采集子系统	57
二、计算机硬件	57
三、数据处理程序	57
四、文档记录	58
五、数据收集与管理案例	58
第三节 数据验证	59
一、数据验证的方法	60
二、数据处理案例	63

第八章 风资源评估 71

第一节 数据处理和报告	71
一、垂直风切变指数	71
二、湍流强度	72
三、风功率密度	72
第二节 风资源评估工具	72
一、WAsP 介绍	72
二、WindFarmer 软件	73
三、WindPRO 软件	73
四、WindSIM 软件	73
第三节 测风站风资源测评案例	73
一、测风塔的预测分析	74
二、风剪切分析	74
三、风资源分布图	74
四、结论	79

第九章 风资源测评认证 80

第一节 风资源测评认证概念和开展	80
第二节 风资源测评认证程序	80
一、认证的基本环节	80
二、认证实施	80

第十章 成果汇编	82
第一节 风电场选址考察报告	82
一、测风选址项目执行情况说明	82
二、各个场址考察报告	83
第二节 数据处理分析报告	129
第三节 风资源评估结果报告	157
附录 1 《风电场风能资源测量方法》(GB/T 18709—2002)	237
附录 2 《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710—2002)	244
参考文献	254

第一章 UNDP/GEF “加速中国可再生能源商业化能力建设项目”

第一节 项目简述

中国风资源丰富，风电发展迅速，风电场建设需要准确的风资源测量与评价，但目前国内风资源测评方法和技术手段还需要提高，为了增加装机容量，提高测评人员的技术水平，联合国开发计划署（以下简称 UNDP）资助并开展了“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”。该项目主要资助对中国的大型风电场进行风能资源评估，为大型风电场建设提供可靠的基础资料，加速风电场的商业化。同时，在国际咨询方协助下，提高中国设计咨询单位进行风能资源评估和风电场评价的能力，进而达到国际最佳水平。

该项目由国家发展和改革委员会管理，所选择的 10 个场址被列入国家大型风电场场址名单，由当地省（区）计委（发改委）负责风电场建设前期工作管理。并于 2001 年完成风电场场址选择工作，2002 年 8 月份该项目首先在内蒙古辉腾锡勒风电场进行了为期两周的培训，包括理论讲座和现场技术指导，10 个测风点的相关学员受到了很好的技术培训。在培训结束后，各风电场按照项目组提供的技术指导文件以及培训所学的理论和实践经验认真制定方案，组织力量开始测风塔的安装，安装起始日为 2002 年 9 月份，至 2003 年初结束。龙源派出专业技术人员到现场指导安装，及时发现并解决问题。2002 年底～2003 年初开始测风收集数据。2003 年 2 月该项目又举办数据采集及数据分析培训班，分别请 UNDP 和水规院的专家对定期采集数据进行了培训。培训内容包括：对读卡器的使用，Symphonie 软件、Micro-site 软件的安装和使用及如何使用 Spreadsheets 进行数据分析等。培训后，各风电场的技术人员都能独立地完成数据的采集，有关软件的安装、使用 and 进行初步的数据分析。

中国水利水电建设工程咨询公司在国际咨询方的协助下，进行风能资源评估工作。国际咨询方丹麦 RISO 和英国 Garrad Hassan 公司对项目测风评估成果进行质量认证，保证了该项目的顺利实施和进展。

第二节 项目意义

UNDP 测风项目是中国首个按照国际要求进行测风的大规模项目，通过 3 年的测风与评估系列工作，为国家建立了 10 个项目储备，并已纳入国家风电场开发规划。各风电场在测风数据满一年后，已经有部分风电场通过特许权或其他方式进行了开发。为国家下一步开发 3000 万千瓦风力发电规划提供了有力的参考。为中国风资源评估能力的持续发展奠定了

基础。

通过该项目的平均风速和风功率密度分布图可以看出,风能资源分布的总趋势主要在中国的北部和沿海地区。通过 UNDP 的 10 个测风站的测风资料,估算了各省及全国风能资源总储量、经济可开发储量,为指导风电场宏观选址提供了基础数据,同时也为宏观风能资源模拟的结果作对比提供依据。这 10 个风电场从南到北,从东到西,基本覆盖了中国东北、西北、华南、东南沿海和内陆地区,对评估中国的风能资源情况具有一定的代表意义。

通过该项目的开发和运营管理,10 个测风站的选址、风资源调查和评价工作,培养和锻炼了一支懂技术、会管理的风力发电项目开发、工程建设和经营管理队伍,加大了风力发电项目前期工作的力度。可保证今后一段时间的持续开发建设。在风力发电人员培训、科技研发、共同投资、银行融资、实施政府间合作等方面广泛开展了国际合作。

第三节 项目目标

引进国际先进的测风设备、安装技术、数据采集系统、数据质量控制以及风资源评估经验,引进国际先进的风资源测量与分析经验。利用国际先进技术对中国 10 个测风点的数据进行采集与分析,鼓励各省(区、市)的风电商业化发展,提高中国的风资源测量和评估的质量和测评人员的技术水平,充分利用可再生能源资源。

第四节 项目工作范围

本项目工作范围主要是对 UNDP 资助的 10 个大型风电场场址进行测风和风能资源评估,地质勘察和预可行性研究等前期工作(图 1-1),包括吉林洮南风电场(A)、内蒙古赤

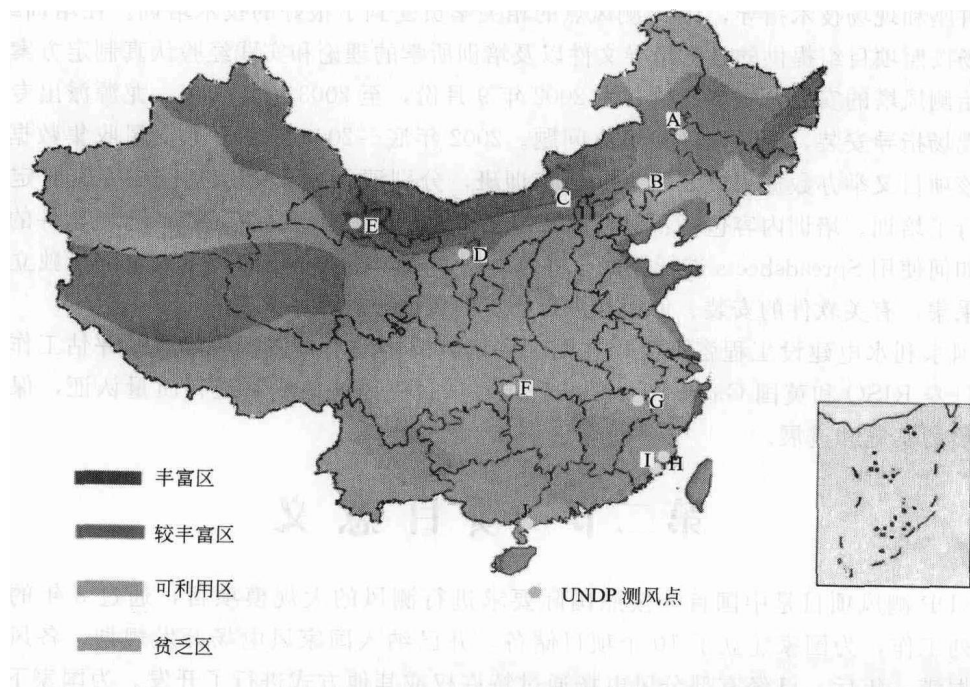


图 1-1 10 个测风点位置

峰达里和辉腾锡勒风电场 (B、C)、宁夏贺兰风电场 (D)、甘肃玉门风电场 (E)、湖北利川风电场 (F)、江西鄱阳湖一带风电场 (G)、福建莆田和古雷风电场 (H、I) 和广东徐闻风电场 (J)。在全国选择了八个省区 10 个风电场安装了 70 米高度和 40 米高度共 40 座测风塔, 进行了为期 2 年的风资源测量工作。

第五节 项目工作内容

龙源电力集团公司组织当地组织机构, 按照《风电场风能资源测量和评估技术规定》以及 UNDP 对项目的具体要求, 进行风电场风能资源测量。负责组织各地方进行风能资源测量, 对地方组织的风能资源测量工作进行指导, 包括测风设备的运输、首次安装、移动安装、数据收集监督、设备日常运行和设备维护等, 及时协助地方组织排除设备故障。

中国水利水电建设工程咨询公司在国际咨询方的协助下, 按照《风电场风能资源测量和评估技术规定》以及 UNDP 对项目的具体要求, 进行风电场风能资源评估工作。组织开发数据验证软件, 建立数据管理体系, 负责数据质量控制。定期对风电场进行巡查并给出巡查意见。在国际咨询方的协助下, 进行风能资源评估工作, 提交最终风能资源评估成果。

各省 (区、市) 计委 (发改委) 择优选定设计单位, 按照《风电场场址工程地质勘察技术规定》的要求, 进行风电场场址地质勘察和地形图测量, 并提交地质勘察成果。按照《风电场预可行性研究报告编制办法》的要求, 进行风电场预可研设计, 并提交预可研报告。同时负责设备的安装、运行和日常维护, 并安排现场值守, 确保设备不被人为破坏。定期 (每月) 到现场收集数据并进行设备检查, 将数据按时发送给龙源电力集团公司和中国水利水电建设工程咨询公司。

国际咨询方丹麦 RISO 和英国 Garrad Hassan 公司提供测风评估的最佳国际经验, 协助中国水利水电建设工程咨询公司进行数据质量控制和数据的分析处理, 对项目测风评估成果进行质量认证。

第六节 项目成果

建立了与国际先进经验一致的现场安装、数据采集与分析程序, 编制完成《风电场测风数据验证与评估软件》。根据联合国开发计划署 (UNDP) 项目办的要求, 中国水利水电建设工程咨询公司组织专家, 与丹麦 RISO 实验室合作完成了风电场的风能资源评估工作, 并得到英国 Garrad Hassan 认可。按照国际最高水平编写了风电场风能资源评估报告, 并编制了《全国大型风电场建设前期工作大纲》。

通过 UNDP 的 10 个测风站的测风资料, 初步估算出各省及全国风能资源总储量和经济可开发储量, 并绘制完成各省及全国风能资源分布图。

第七节 展 望

联合国开发计划署“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”的实施, 促使中国建立了与国际先进水平一致的测风现场安装、数据采集和分析程序。培养了一批具有国际先进测量和评估水平的技术人员, 加强了测风设备的维护和管理, 提高了数据的完整率以及风资源



评估的准确性，使测风电场址的风况模拟达到了国际标准水平，促进了我国风电产业的发展。

该项目在全国开展了较细致的风能资源观测评估，有些问题还需要得到进一步解决：

- (1) 为了对资源的掌握和对设备的管理，已建成的风电场仍需要继续风资源的测量。
- (2) 所有数据系统要达到共享。
- (3) 为了进一步研究湍流，需选择费用较高的超声波测风仪，为此需要国际援助。
- (4) 为了减少资源的浪费，风资源的观测需要在全国进行统一的规划、计划和管理。

为了解决上述问题，需要提高国内风资源测量和评估的技术水平，同时还需要国际援助等，从而保证可再生能源的充分开发和利用。

第二章 风资源测量与评价概述

第一节 风资源测量和评价概念

风资源的形成受多种自然因素的复杂影响，特别是天气气候背景及地形和海陆对风资源的形成有着至关重要的影响。由于风能在空间分布上是分散的，在时间分布上它也是不稳定和不连续的，也就是说风速对天气气候非常敏感，时有时无，时大时小。尽管如此，风能资源在时间和空间分布上仍存在着很强的地域性和时间性。对中国来说，风能资源丰富及较丰富的地区主要分布在北部和沿海及岛屿，在一些特殊地形或湖岸地区呈孤岛式分布。

风能利用有多大的发展前景，需要对它的总储量有一个科学的估算。风能的大小即计算气流所具有的动能，它与气流通过的面积、空气密度和气流速度的立方成正比。要评价一个地区风能的潜力，需要分析当地的风况。风况是影响风力发电经济性的一个重要因素。风能资源的测量与评价是建设风电场成败的关键所在。随着风力发电技术的不断完善，根据国内外大型风电场的开发建设经验，为保证风力发电机组稳定高效地运行，达到预期目的，风电场场址必须具备较丰富的风能资源。由此，对风能资源进行详细的勘测和研究越来越被人们所重视。

风能资源评价主要是以现有测风塔和气象台站的测风数据为基础，通过整理、分析，对目标地区（区域）风况分布和风能资源的大小进行评价。

风为矢量，既有大小，又有方向，所以风的测量包括风向和风速两项。

一、风向

风向一般用 16 个方位表示，即北东北（NNE）、东北（NE）、东东北（ENE）、东（E）、东东南（ESE）、东南（SE）、南东南（SSE）、南（S）、南西南（SSW）、西南（SW）、西西南（WSW）、西（W）、西西北（WNW）、西北（NW）、北西北（NNW）、北（N）。静风记为 C。

风向也可以用角度来表示，以正北为基准，顺时针方向旋转，东风为 90° ，南风为 180° ，西风为 270° ，北风为 360° ，如图 2-1 所示。

各种风向的出现频率通常用风向玫瑰图来表示。风向玫瑰图是在极坐标图上，点出某年或某月各种风向出现的频率，称为风向玫瑰图，如图 2-2 所示。同理，统计各种风向的风能图称为风能玫瑰图。

二、风速

风速是单位时间内空气在水平方向上移动的距离。风速的测量仪器有旋转式风速计、散

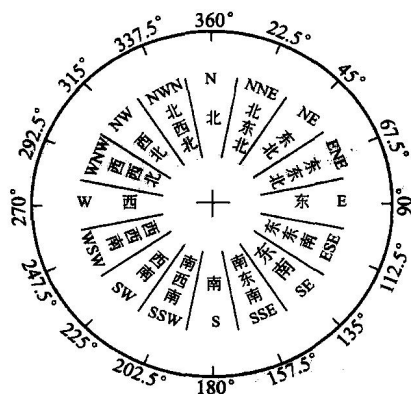


图 2-1 风向 16 方位图

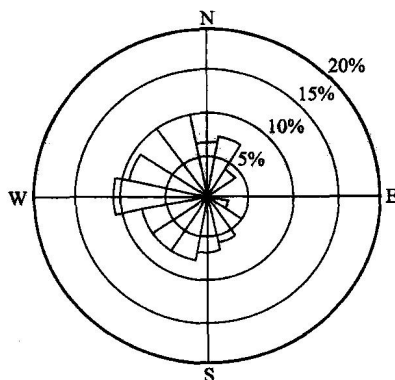


图 2-2 风向玫瑰图

热式风速计、超声波风速计、风廓线仪等。风速记录是通过信号的转换方法来实现，一般有四种方法。

(1) 机械式 当风速感应器旋转时，通过蜗杆带动蜗轮转动，再通过齿轮系统带动指针旋转，从刻度盘上直接读出风的行程，再除以时间得到平均风速。

(2) 电接式 由风杯驱动的蜗杆，通过齿轮系统连接到一个偏心凸轮上，风速旋转一定圈数，凸轮相当于开关，使两个接点闭合或打开，完成一次接触，表示一定的风程。

(3) 电机式 风速感应器驱动一个小型发电机中的转子，输出与风速感应器转速成正比的交变电流，输送到风速的指示系统。

(4) 光电式 风杯旋转轴上装有一圆盘，盘上有等距的孔，孔上面有一红外光源，正下方有一光电半导体，风杯带动圆盘旋转时，由于孔的不连续性，形成光脉冲信号，经光电半导体元件接收放大后变成电脉冲信号输出，每一个脉冲信号表示一定的风的行程。

各国表示风速单位的方法不尽相同，如用 m/s ， n mile/h ， mile/h ， km/h ， ft/s 等。各种单位间的换算见表 2-1。

表 2-1 风速各种单位换算

单 位	m/s	n mile/h	mile/h	km/h	ft/s
m/s	1	1.944	3.600	3.281	2.237
n mile/h	0.514	1	1.852	1.688	1.151
mile/h	0.278	0.540	1	0.911	0.621
km/h	0.305	0.592	1.097	1	0.682
ft/s	0.447	0.869	1.609	1.467	1

通常，各国基本都以 10 米高度处为观测基准，时间间隔为 10min。

第二节 风资源测量和评价通用方法和程序

一、风资源测量和评价的通用方法

风能资源评估方法可分为统计分析方法和数值模拟方法两类，其中统计分析方法又可分为基于气象站历史观测资料的统计分析方法和基于测风塔观测资料的统计分析方法两种。我