

A photograph of three white wind turbines on a rolling green hill under a blue sky with white clouds. A winding path leads through the grassy field. The top half of the cover has a solid blue background.

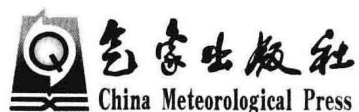
中国风能资源评估 (2009)

中国气象局风能太阳能资源评估中心 编

中国风能资源评估

(2009)

中国气象局风能太阳能资源评估中心 编



内容简介

本书收录了中国气象局风能太阳能资源评估中心自2004年以来的风能资源评估成果。本书共分6章,涵盖以下内容:中国风能资源评估历史回顾及国外风能资源评估进展、中国风能资源评估技术方法、中国陆地及近海风能资源储量的评估、七个千万千瓦级风电基地风能资源精细化评估、中国近海风能资源初步评估和中国风能资源评估展望。

本书可供从事风力发电和气候资源领域的技术人员阅读,可供应用气象和可再生能源专业领域的科研和教学人员参考,也可作为相关专业博士、硕士研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国风能资源评估.2009/中国气象局风能太阳能资源评估中心编.一北京:气象出版社,2010.6

ISBN 978-7-5029-4989-1

I. ①中… II. ①中… III. ①风力能源—评价—中国 IV. ①TK81

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第091669号

审图书:GS (2010) 602号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街46号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cma.gov.cn>

责任编辑:陈 红

封面设计:博雅思企划

责任校对:石 仁

印 刷:北京朝阳印刷厂有限责任公司

开 本:880mm×1230mm 1/16

字 数:300千字

版 次:2010年7月第一版

定 价:168.00元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E_mail: qxcbs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:9.5

插 页:6

印 次:2010年7月第一次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

中国风能资源评估(2009)

编写人员

主 编：肖子牛

副 主 编：朱 蓉 宋丽莉

编写人员：(以姓氏拼音字母为序)

程兴宏 何晓凤 江 滢 林 纾 柳艳香 申彦波
陶树旺 王欣雯 王月冬 徐经纬 袁春红 张 德
张秀芝 张永山 赵 东 周荣卫 朱 江

顾 问：(以姓氏拼音字母为序)

高国栋 李泽椿 薛 桁 翟盘茂 赵宗慈 朱瑞兆

参编单位：国家气候中心

国家气象信息中心

中国气象科学研究院

内蒙古自治区气象局气候中心

新疆维吾尔自治区气象局气候中心

甘肃省气象局气候中心

河北省气象局气候中心

吉林省气象局气候中心

江苏省气象局气候中心

序

在应对气候变化、减少温室气体排放的措施中，提高能源使用效率与发展可再生能源已成为众多国家的选择。目前，风电属于技术最成熟、价格最有竞争力的可再生能源，国际风能理事会 2009 年 12 月 14 日在哥本哈根气候变化大会上表示，风力发电对于实现碳减排潜力巨大，发达国家当前减排承诺的相当大一部分单靠风能发电就能够实现。据该理事会测算，到 2020 年全球风力发电规模将达到 2600 万亿千瓦时（TWh），相当于减排 15 亿吨二氧化碳。按照发达国家目前提出的减排指标，仅相当于 2020 年在 1990 年基础上减排 13%~20%。风能单一行业的减排就相当于发达国家承诺总体减排量的 42%~65%。

风电的发展需要丰富的风能资源作保障，中国风能资源的研究和评估工作始于 20 世纪 70 年代，气象部门和电力部门等相关单位先后对全国范围或部分风电丰富区以及风电场建设开展了风能资源的调查、研究和评估。中国气象局在 20 世纪 80 年代组织了两次全国风能资源普查，分别采用 600 多个和 900 多个气象站观测资料进行了风能资源储量及其分布的评估。为了有效利用我国丰富的风能资源，促进我国风电建设的更快发展，2003 年国家发展和改革委员会与中国气象局启动了第三次风能资源普查，利用 2000 多个气象站近 30 年的观测资料，对原来的风能资源评估结果进行修正和重新计算。

自《中华人民共和国可再生能源法》实施以来，中国可再生能源进入了快速发展时期。为适应中国可再生能源快速发展对风能和太阳能资源监测、评估和预报的需要，中国气象局成立了风能太阳能资源评估中心，旨在根据《气象法》赋予的职责，进行风能、太阳能等气候资源评估，逐步建成我国风能、太阳能等气候资源开发利用服务的权威性评估中心。20 世纪 90 年代开始，风能资源数值模拟评估技术迅速发展，逐渐替代了基于气象站观测资料的风能资源统计分析方法，90 年代中后期，以丹麦和美国为代表的欧美国家纷纷制作出了全国风能资源数值模拟分布图。2005 年中国气象局引进了加拿大气象局的风能资源数值模拟软件（WEST），经过消化、移植和本地化改进，于 2007 年制作出了第一张中国风能资源数值模拟分布图。

2009 年中国气象局风能太阳能资源评估中心在汲取加拿大、丹麦和美国风能资源数值模拟技术方法优势的基础上，自主发展了中国气象局风能资源数值模拟评估系统（WERAS/CMA），该系统包括历史气象背景资料的自动筛选、中尺度模式与小尺度复杂地形动力诊断模式以及 GIS 空间分析，既包含了目前国际上先进的风能资源评估技术，也为适应中国地形与气候特点进行了自主创新。中国气象局风能太阳能资源评估中心通过对我国陆上和近海 5km × 5km 水平分辨率的风能资源数值模拟评估得到，我国陆上离地面 50m 高度可供建设并网型风电场（达到 3 级及以上，即风功率密度 $\geq 300\text{W}/\text{m}^2$ ）的风能资源潜在开发量约 23.8 亿 kW，我国近海水深 5~25m 的区域、海平面以上 50m 高度风能资源达到 3 级及以上潜在开发量约 2 亿 kW。该成果是在我国现有技术条件下能够取得的具有科学性的数值模拟评估结果，为我国进一步开展风能资源详查和评价工作提供了科学支撑。中国风能资源储量评估成果已被中国科学院、中国工程院、美国科学院、美国工程院合作咨询项目“中美可再生能源开发利用咨询报告”和中国工程院“中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究”项目所采用。

2009年8月我国规划建设的第一座千万千瓦级风电示范基地——甘肃酒泉基地正式开工建设，标志着我国风电建设进入了规模化发展的新阶段。国家提出建设千万千瓦级世界级规模的风电基地，打造“风电三峡”、“空中三峡”，通过风电的规模化建设和集中送出的措施，提高风电建设的规模效益，促进我国风电的更快发展。为此，我国启动了内蒙（蒙西、蒙东）、甘肃酒泉、新疆哈密、河北坝上、吉林西部和江苏七个千万千瓦级风电基地的规划和建设。为配合七个千万千瓦级风电基地的规划工作，中国气象局风能太阳能资源评估中心对内蒙古自治区、甘肃酒泉、新疆哈密、河北坝上、吉林西部和江苏省的风能资源进行了数值模拟评估，给出了七个千万千瓦级风电基地所在地区的风能资源潜在开发量及其精细化的分布，同时根据目前风电场建设的具体情况，对各个千万千瓦级风电基地的可装机容量进行了估计。

本书汇集了中国气象局风能太阳能资源评估中心近两年来的风能资源评估成果，是我国现有技术条件下科学、可靠的风能资源评估成果，对目前我国风电规模化发展的规划有重要参考意义。

中国气象局副局长



2010年5月18日

前 言

可再生能源包括水能、风能、太阳能、潮汐、地热、以及生物质能等，其中风能和太阳能属于气候资源，不存在生物质能所面临的资源约束，也不会产生温室气体的排放，在可预见的时间内（2030-2050年），都将是最有可能大规模发展的能源资源之一。风力发电技术从1980年开始逐渐发展起来，20世纪90年代中期欧盟进入风电规模化阶段，尔后美国、中国、印度都先后进入了规模发展阶段。截止到2008年12月底，全球的风电总装机容量达到了1.2亿千瓦，当年新增装机容量达到2700万千瓦，与2007年同期相比增长了36%。2008年，美国超过德国，跃居全球风电装机容量首位，同时也成为第二个风电装机容量超过2000万千瓦的风电大国；中国风电总装机容量连续第四年翻番增长，风电装机容量排全球第四位，2008年新增装机容量排全球第二位。2009年是中国在清洁能源领域积极发展的一年，风电装机容量排全球第二位。

目前，可再生能源技术日臻成熟和完善，成本持续下降，市场不断扩大。可再生能源开始从补充能源向替代能源过渡。欧盟、美国和日本都考虑将可再生能源作为未来能源替代和减排温室气体的重要战略措施，并提出了宏大的发展目标。欧盟提出，到2020年和2050年，可再生能源占其能源消费量的比例将分别达到20%和50%；美国提出，到2030年，风力发电占其全部电力装机的20%，生物液体燃料替代30%的石油产品；日本提出，到2050年，可再生能源等替代能源将占其能源供应的50%以上；巴西和印度等发展中国家也提出了宏伟的可再生能源发展目标。可再生能源在未来全球能源供应中的地位将更加突出，预计2050年可再生能源将满足全球50%以上的一次能源需求。

丰富的风能资源是大规模发展风电的前提条件，我国的风能资源能否满足2030年数亿千瓦风电装机的需求，能否满足建设七个千万千瓦级风电基地的条件，是目前迫切需要回答的问题。此外，2009年6月国家发展和改革委员会（以下简称发改委）对我国海上风电的发展做出了部署，要求以资源定规划、以规划定项目和先规划、后开发的原则开发海上风电建设。因此，中国近海的风能资源评估也迫在眉睫。在我国大规模、快速发展风电的形势下，中国气象局风能太阳能资源评估中心在国家发改委和财政部、中国工程院、国家发改委能源研究所和中国—欧盟能源环境项目的支持下，通过学习借鉴国际上先进的风能资源评估技术，建立了适用于我国的风能资源评估方法，对中国风能资源储量和七个千万千瓦级风电基地的风能资源进行了评估，宏观地给出了中国大陆及近海风能资源储量，详细地评估了七个千万千瓦级风电基地各自的风能资源潜在开发量及其分布。同时，运用数值模拟和卫星反演技术以及海上船舶、浮标、石油平台等气象观测资料对中国近海的风能资源分布进行了精细化的分析研究。

本书包含了中国气象局风能太阳能资源评估中心全国风能资源详查和评价工作的阶段性成果，由于收集到的企业测风塔资料较少，历时较短，观测资料质量可靠性尚待进一步考证，部分土地利用资料也不够详细，尤其是林业和基本农田信息资料精度不够，因此本书的风能资源评估结果还需采用至少完整一年的全国风能资源专业观测网的观测资料和更为详细的土

地利用数据进行进一步验证和修正。此外，由于对各评估区电网条件、交通状况、人居环境等因素了解不够详细，建议应用时应充分考虑这些具体因素，因地制宜进行规划、开发。尽管如此，本书给出的全国风能资源储量评估结果和七个千万千瓦级风电基地规划区域的风能资源数值模拟评估结果仍然是目前我国精细化程度最高、评估范围最广、考虑因素较全的风能资源评估成果，希望能为国家和地方政府制定风电发展规划以及风电场建设提供参考。

本书共分6章，各章编写人员如下：

前 言 肖子牛

第1章 朱蓉，王月冬

第2章 朱蓉，宋丽莉，张永山，柳艳香

第3章 朱蓉，朱江，张德

第4章 宋丽莉，朱蓉，张永山，柳艳香，何晓凤，周荣卫，程兴宏，赵东，林纾，江滢，申彦波，袁春红

第5章 张秀芝，朱蓉，何晓凤，周荣卫，徐经纬，申彦波，赵东

第6章 肖子牛，朱蓉，宋丽莉，陶树旺

本书的出版，要感谢中国气象局矫梅燕副局长的关心与支持；感谢中国气象局李泽椿院士对全国风能资源储量评估工作的积极推动；感谢预报与网络司翟盘茂司长的指导和建议；感谢气候资源处刘海波处长和王丽华、蒋品平两位同志在项目协调方面的大量工作；感谢中国气象科学研究院朱瑞兆研究员和薛桁研究员、国家气候中心赵宗慈研究员、南京大学高国栋教授在本书评审中给予的非常宝贵的意见和建议；感谢国家气象信息中心孙婧、魏敏和孙英锐在计算机资源调配和数值模式系统运行保障方面予以的大力协作；感谢南京师范大学地理科学学院张宏、乔延波在GIS分析与绘图方面的技术支持。

本书的编写由于时间仓促，不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2010年4月12日

目 录

序

前言

第1章 中国风能资源评估历史回顾及国外风能资源评估进展	(1)
1.1 中国风能资源评估的历史回顾	(1)
1.2 国内外风能资源评估技术方法概述	(4)
第2章 中国风能资源评估技术方法	(13)
2.1 中国气象局风能资源数值模拟评估系统WERAS/CMA	(13)
2.2 加拿大风能资源数值模式系统WEST	(16)
2.3 风能资源储量的评估方法	(18)
2.4 测风塔资料分析方法	(20)
第3章 中国陆地及近海风能资源储量的评估	(24)
3.1 中国风能资源数值模拟与储量的分析计算	(24)
3.2 陆地风能资源储量的GIS空间分析	(28)
3.3 近海风能资源储量的评估	(34)
3.4 中国风能资源储量评估结论	(37)
第4章 七个千万千瓦级风电基地风能资源精细化评估	(39)
4.1 内蒙古自治区风能资源评估	(40)
4.2 新疆维吾尔自治区哈密地区千万千瓦级风电基地风能资源评估	(57)
4.3 甘肃省酒泉地区千万千瓦级风电基地风能资源评估	(70)
4.4 河北省坝上地区千万千瓦级风电基地风能资源评估	(81)
4.5 吉林省西部地区风能资源评估	(94)
4.6 江苏省风能资源评估	(109)
4.7 七个千万千瓦级风电基地风能资源评估结论	(120)

第5章 中国近海风能资源初步评估 (123)

5.1 中国近海风能资源的高分辨率的数值模拟 (123)

5.2 基于船舶气象观测资料的近海风能资源分布 (131)

5.3 基于QuikSCAT卫星反演技术的风能资源评估 (135)

第6章 中国风能资源评估展望 (139)

6.1 风能资源评估的标准与技术规范 (139)

6.2 风电场设计中风能资源利用的技术方法开发 (139)

6.3 风电场建设的气象灾害风险评估 (139)

6.4 风能资源长期变化趋势研究 (139)

6.5 风能开发利用的局地气候影响评估 (140)

参考文献..... (141)

附图1 内蒙古自治区50m高度年平均风功率密度分布图

附图2 内蒙古自治区3级及其以上风能资源潜在开发量分布图

附图3 甘肃省酒泉地区50m高度年平均风功率密度分布图

附图4 河北省坝上地区50m高度年平均风功率密度分布图

附图5 河北省坝上地区3级及其以上风能资源潜在开发量分布图

附图6 吉林省西部地区50m高度年平均风功率密度分布图

第 1 章 中国风能资源评估历史回顾及国外风能资源评估进展

1.1 中国风能资源评估的历史回顾

1.1.1 第一次和第二次全国风能资源普查

20 世纪 70 年代末中国气象局首次做出中国风能资源的计算和区划, 80 年代末又根据全国 900 多个气象台站离地面 10m 高度上测风资料(1980 年以前的观测资料)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 10m 高度层上的风能资源储量。这次普查给出了中国陆地上的风能资源理论储量为 32.26 亿 kW, 定义风能资源理论储量的 1/10 再乘以 0.785 为风能资源的技术可开发量, 其中 0.785 为假设风机布设间距为 10 倍风机叶片扫风直径时的风能捕获系数。因此, 得到技术可开发量为 2.53 亿 kW, 其中不包括近海的储量。上述成果对于我国风电发展发挥了重要作用。但是由于使用的气象资料为 1980 年以前 900 多个测站的观测记录, 从最近几年的实践来看, 上述风能资源的普查计算结果显得过于简单和粗放。图 1.1 为第二次全国风能普查得到的风能资源分布图。

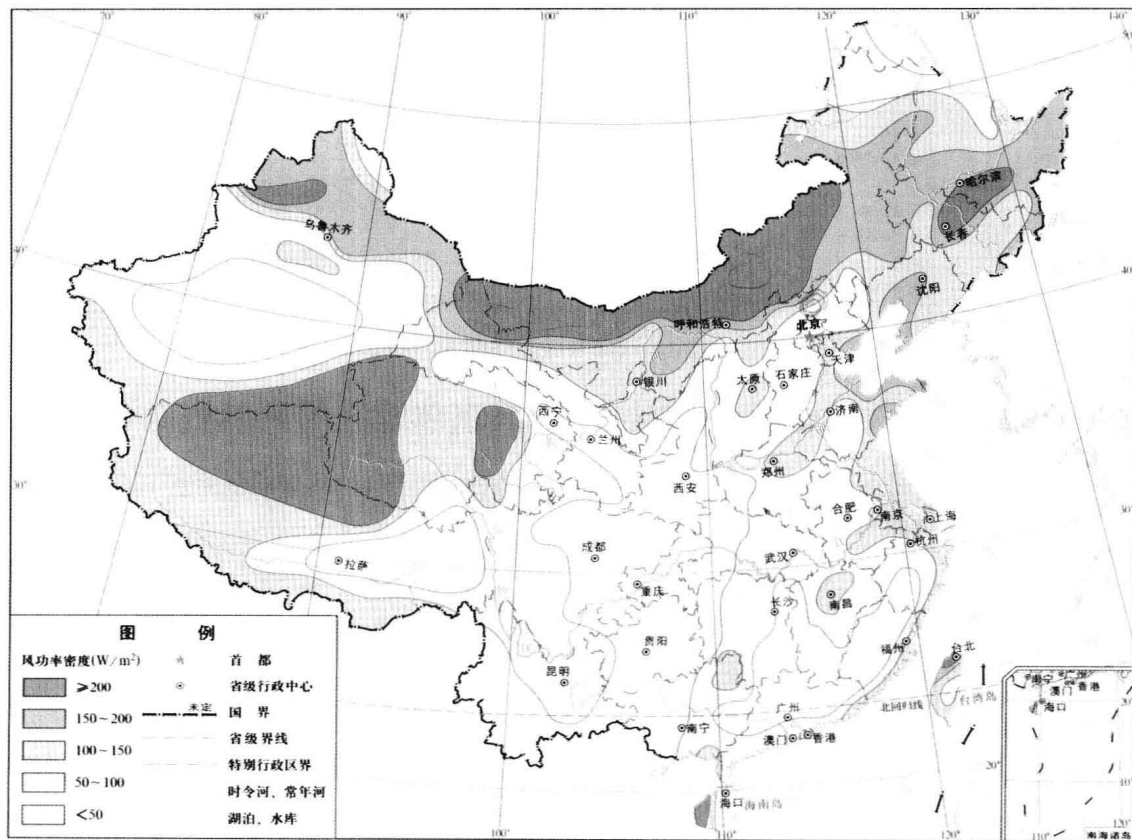


图 1.1 第二次全国风能普查得到的风能资源分布图

1.1.2 第三次全国风能资源普查

随着近十几年气象事业的快速发展，获取观测资料的技术手段有了很大的提高，观测站的数量大大增加，全国气象站数量已经达到 2000 多个，观测资料质量也有很大的提高和改善，国家发改委与中国气象局于 2003 年底启动了第三次全国风能资源普查，利用全国 2384 多个气象台站近 30 年的观测资料，对原来的计算结果进行修正和重新计算，认为年平均风功率密度大于 $150\text{W}/\text{m}^2$ 的区域为技术可开发区，定义该区域内的风能资源储量为技术可开发量。结果得到我国陆地上离地面 10m 高度层风能资源理论储量为 43.5 亿 kW，技术可开发量约为 2.97 亿 kW，技术可开发面积约 20 万 km^2 。图 1.2 为第三次全国风能普查得到的风能资源分布图（中国气象局，2006）。

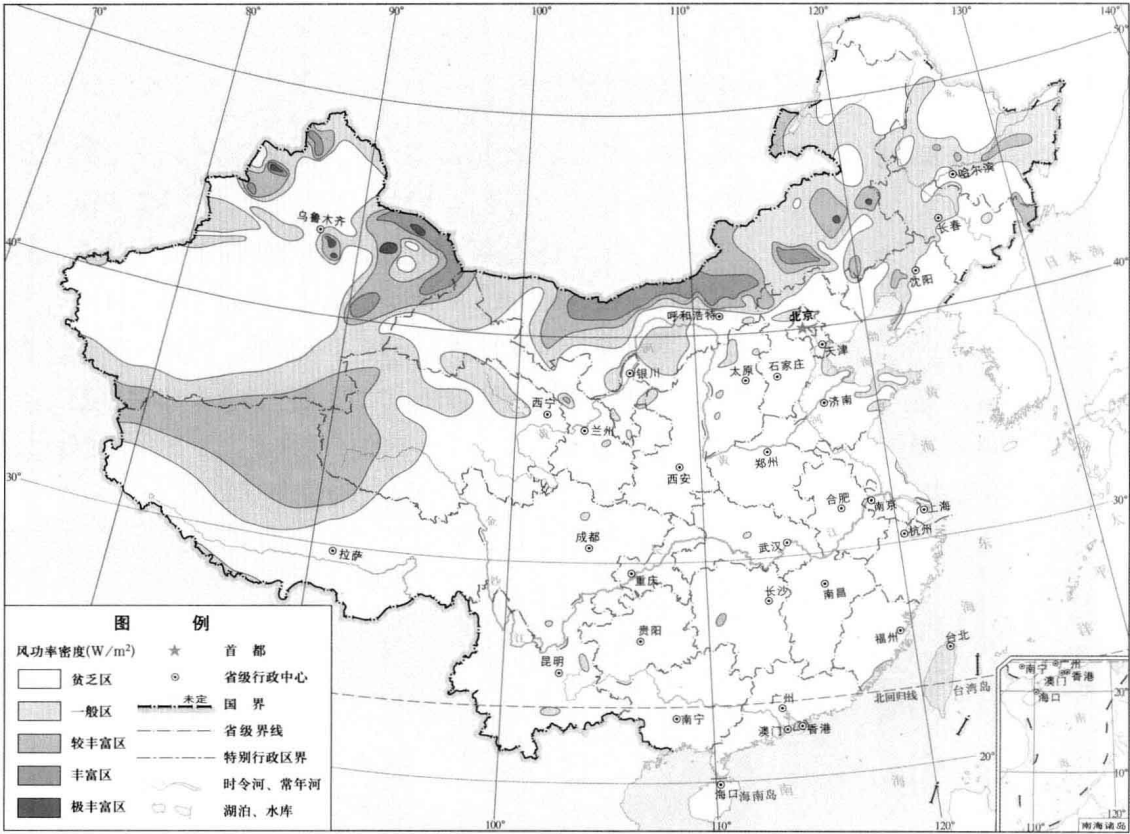


图 1.2 第三次全国风能普查得到的风能资源分布图

1.1.3 美国可再生能源实验室(NREL)对中国东部地区的风能资源评估

2003—2005 年在联合国环境署的“太阳能和风能资源评估”项目（SWERA）中，美国可再生能源实验室（NREL）采用美国 True Wind Solutions 公司的数值模式系统对我国东部和近海 300 万 km^2 面积的区域进行了风能资源评估（SWERA，2006），并用联合国开发计划署（UNDP）在此区域设立的 10 个 70m 高测风塔的实测数据对数值模拟结果校正，再结合从 500 多个气象站中筛选出来的 170 多个气象站以及 60 多个已有测风塔资料，利用地理信息系统，推算全国 50m 高度的风能资源技术可开发量，得出我国陆地范围内离地面 50m 高度的风能资源分布（图 1.3），其中风功率密度在 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上的陆地面积约 65 万 km^2 ，风能资源技术可开发量约 32.5 亿 kW；风功率密度在 $400\text{W}/\text{m}^2$ 以上的陆地面积约 28.4 万 km^2 ，风能资源技术可开发量约 14.2 亿 kW。需要说明的是：（1）评估区域没有包括新疆、西藏、青海、云南和台湾；（2）SWERA 项目中计算风能技术可开发量的方法是，先确定可开发面积，



然后按照每平方千米 5MW 的标准，计算出风能技术可开发量。这与我国风能资源普查中估算风能资源技术可开发量的计算方法不一样。

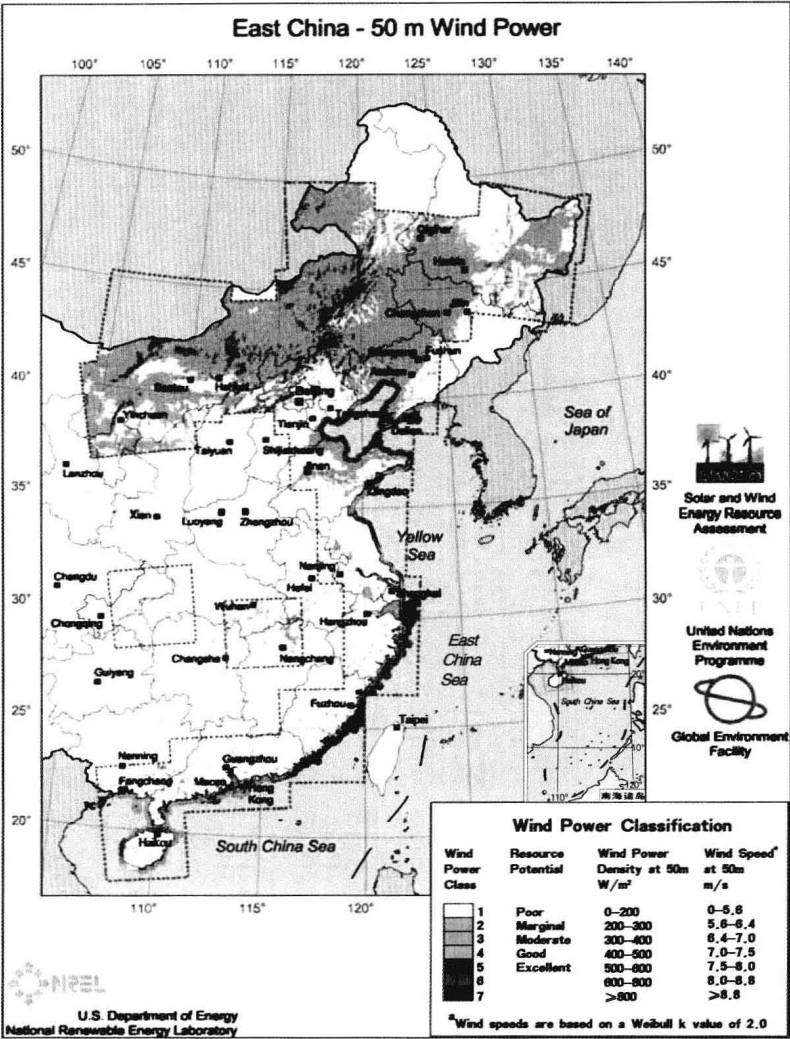


图 1.3 NREL15 个风能资源评价区的 50m 高度风功率密度分布图 (SWERA Technical Report)

1.1.4 中国风能资源的数值模拟评估

2005 年中国气象局与加拿大气象局启动了风能资源数值模拟的合作项目，中国气象局风能太阳能资源评估中心引进了加拿大风能资源数值模拟软件 WEST (Wind Energy Simulation Toolkit)，并根据中国的地形特点进行了本地化改进。2007 年中国气象局风能太阳能资源评估中心采用 WEST 对我国大陆及其近海的风能资源进行评价 (图 1.4)，按照 50m 高度上风功率密度大于等于 400W/m² 的标准计算风能资源技术可开发量，得到的结果是：在不考虑青藏高原的情况下，全国陆地上离地面 50m 高度层风能资源技术可开发量为 26.8 亿 kW，技术可开发面积为 54 万 km² (中国可再生能源发展战略研究项目组，2008)。

1.1.5 中国海上风能资源的初步评估

关于海上风能资源的调查、评估工作，最早是根据薛桁等利用全国 900 多个气象站测风资源统计计算的结果进行外推。1980—1986 年开展的海岸带和海涂资源综合调查表明：沿海岛屿年风能密度

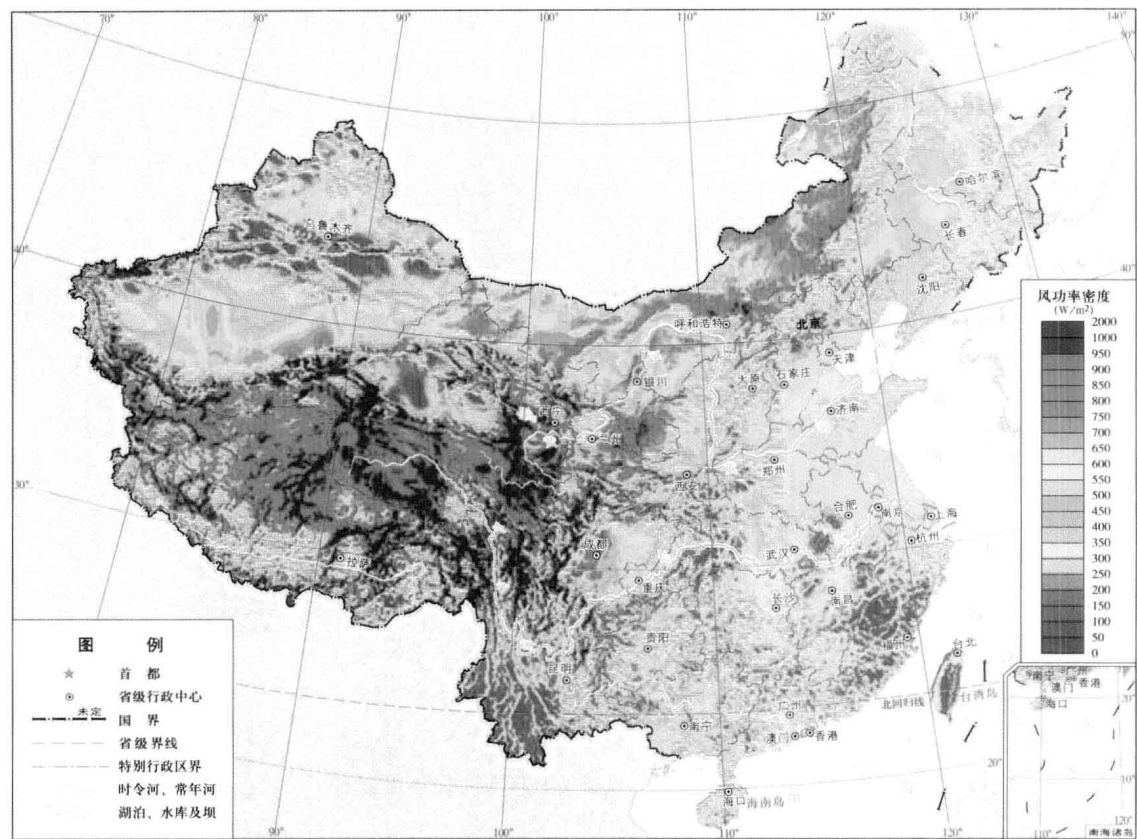


图 1.4 采用加拿大 WEST 模拟得到的全国陆地 50m 高度层风功率密度分布图

200W/m² 以上,有效风速(3~20m/s)出现时数 6000~8000h,其中浙江、福建一带的岛屿风能密度 300~600W/m²; 沿岸区风能密度 200~300W/m²,有效风速时数 6000~7000h; 岸带陆地区风能密度 100~200W/m²,有效风速时数 4000~6000h。最近 10 多年,沿海各省又开展了新一轮的风能资源评估,增设了一些新的观测点,较海岸带调查时期的结果更详尽一些,但仍局限在沿岸和岛屿。阎俊岳(阎俊岳,1993)等使用船舶气象观测风资料计算了中国近海的风能密度(图 1.5),发现中国近海风能资源非常丰富,其中台湾海峡达 500~700W/m²,南海北部 350~600W/m²,黄海和东海近海 350~400W/m²,有效风速时数 7000h 以上;渤海和黄海北部 250~300W/m²,有效风速时数 6000h 以上。

中国科学院地理科学与资源研究所利用卫星遥感数据,采用反演技术对我国海上风能资源进行了评价。发改委能源研究所根据《全国海岸带和海涂资源综合调查报告》和 2002 年我国颁布的《全国海洋功能区划》进行了我国近海海域的风能资源评估。我国大陆沿岸浅海 0~20m 等深线的海域面积约为 15.7 万 km²,避开港口航运、渔业开发、旅游和工程规划海区,以及专门划分的 60 个用于开发波浪、潮流等海洋能的利用区,再考虑其总量 20%的海面可以利用,则近海风电可装机容量约为 1.5 亿 kW(中国可再生能源发展战略研究项目组,2008)。

除此之外,美国 NREL 和中国气象局风能太阳能资源评估中心分别在 UNEP 的 SWERA 项目中和中国风能资源数值模拟中都对中国近海海域进行了风能资源数值模拟评估。

1.2 国内外风能资源评估技术方法概述

20 多年以来,国内外用于风能资源评估的技术方法主要有四种:基于气象站历史观测资料的评估、

基于气象塔观测资料的评估、风能资源评估的数值模拟以及卫星遥感技术。近 10 年，世界各国都纷纷采用数值模拟技术开展风能资源评估，发展风能资源数值模式系统。当前，应用卫星探测反演的地面风速分布资料进行风能资源评估，有望成为开展近海风能资源评估的有效技术手段。

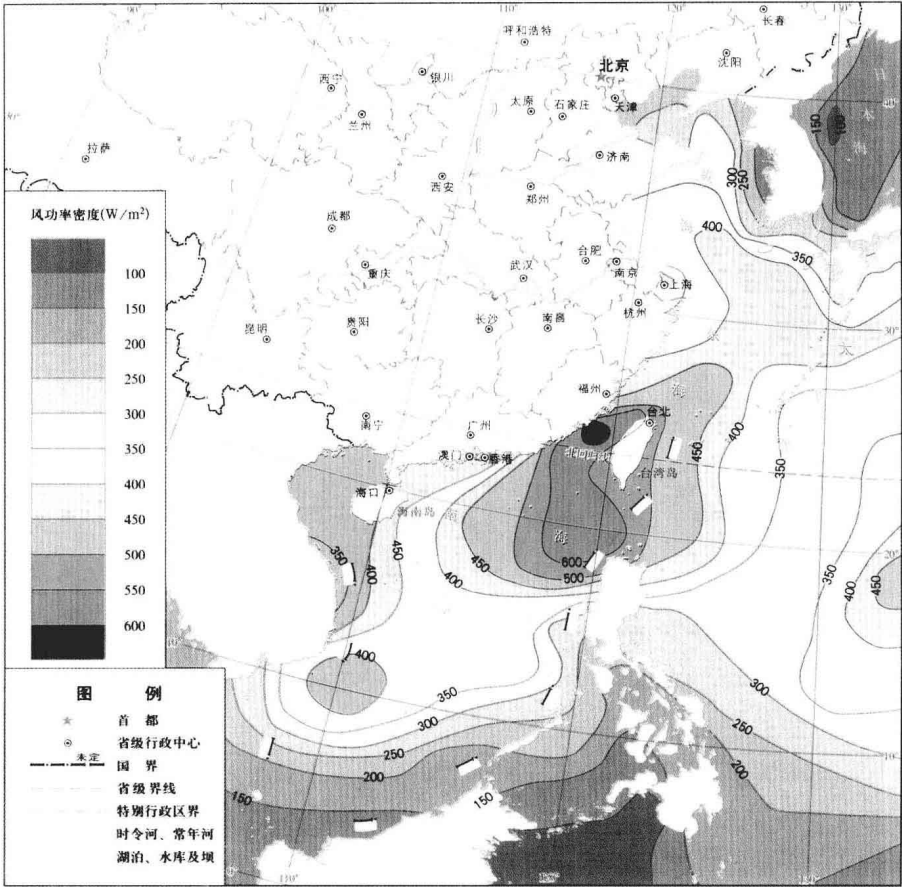


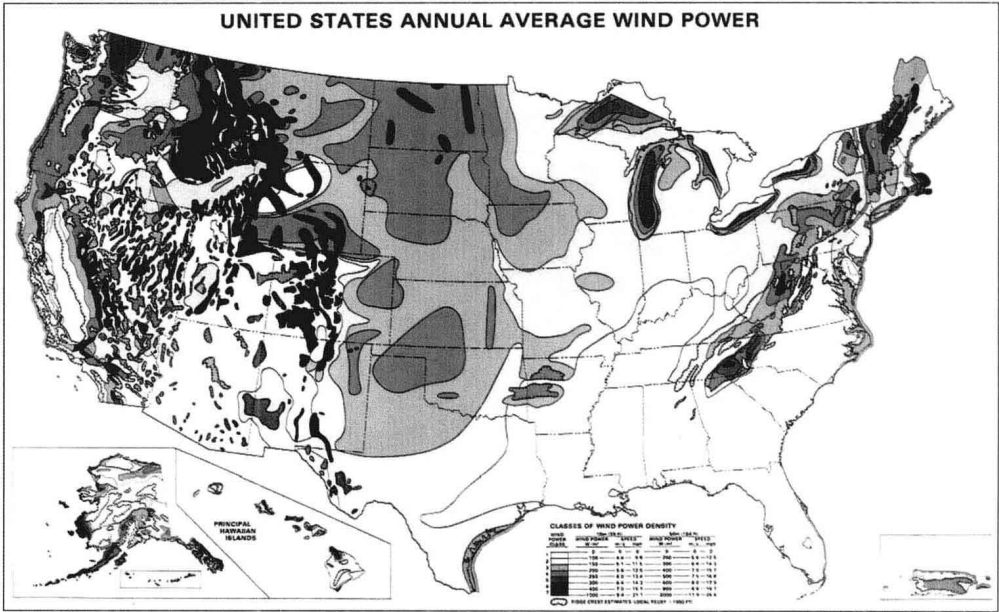
图 1.5 1993 年根据船舶气象资料得到的中国近海 10m 高度层风功率密度分布图

1.2.1 早期的风能资源评估方法

早期的风能资源评估方法主要是基于气象站历史观测资料的统计分析方法。例如，美国斯坦福大学采用美国国家气候资料中心和预报系统试验室的 5 年观测资料估算了全球的风能资源储量，根据全球 1998—2002 年 7753 个地面气象站和 446 个探空气象站的观测资料，采用最小二乘法得到每个观测站的风速垂直廓线，之后通过插值方法得到了全球 80m 高度上风能资源的分布（Archer, Jacobson, 2005）。结果表明，有 13% 的测站距地面 80m 高度上的平均风速在 6.9m/s（3 级）以上，如果其中 20% 的风能资源用于发电，就可产生 2000 年全球消耗电量 7 倍的电能，因此全球的风能资源能够满足全世界对能源的需求。

美国 1980 年采用国内 975 个气象站的地面测风资料，绘制了美国风能资源分布图。1986 年又增加了 270 多个气象站，将气象站距地面 10m 高度的测风数据，按照风速随高度 1/7 幂指数变化率外推到 50m 高度，得到 50m 高度上的全国风能资源分布图（图 1.6）（Elliott 等，1986）。丹麦 Risoe 国家实验室收集了欧洲 12 个国家 220 个气象站的观测资料（Troen, Erik, 1989），但各气象站的观测时段并不同步，总体上是从 1961—1988 年，最长的观测时段是 19 年，最短的观测时段是 1 年，大多数的资料长度接近 10 年。首先剔除气象站周围建筑物的影响，对气象站实测资料进行订正；然后根据欧洲的地

形地表条件，分成了 5 类地形：山区、平原、沿海、离岸 10km 的海域和缓坡地形，再考虑各气象站的地表粗糙度，计算风速随高度变化的垂直廓线，最终计算 50m 高度的 Weibull 分布参数，给出了 50m 高度的风功率密度分布（图 1.7）。



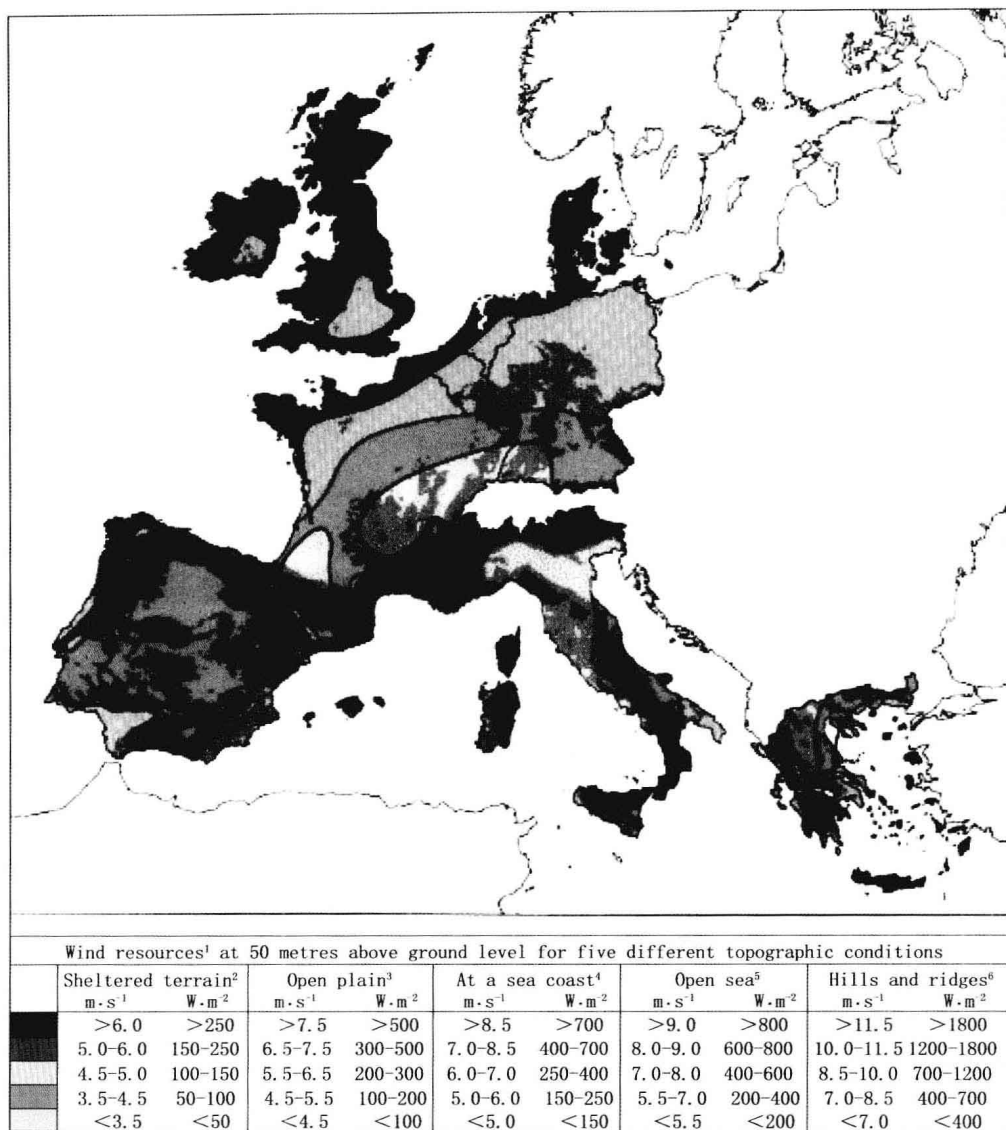


图 1.7 欧洲 12 个国家的 50m 高度风功率密度分布图 (Troen, Erik, 1989)

只有 10 个省的风能资源分布。由此看来仅仅依靠气象塔的观测资料进行区域风能资源评估是不可行的，由于观测对人力、物力的消耗，不可能在大范围内建立密集的观测网。

1.2.3 风能资源数值模拟方法

近 20 年来，欧美国家应用数值模拟的方法发展了许多较为成熟的风能资源评估系统软件。20 世纪 80—90 年代，丹麦 Risoe 国家实验室在 Jackson he Hunt 理论上，发展了一个用于风电场微观选址的风资源分析工具软件——WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) (Troen, Erik, 1989)。该软件核心是一个微尺度线性风场诊断模式，利用地转风和单点的测风资料推算周围区域风场的风资源分布，适用于较为平坦地形 (坡度<0.03)。WASP 适用范围在 100km²，仅适用于对小范围风资源的调查。因此 90 年代后期，Risoe 实验室发展了将中尺度数值模式 KAMM 与 WASP 模式相结合的区域风能资源评估方法，利用网格尺度为 2~5km 的中尺度 KAMM 模式输出结果驱动 WASP，从而得到具有较高分辨率的风资源分布图。图 1.9 为 1999 年完成的距地面 45m、水平分辨率 200m×200m 的丹麦风功率密度分布图。