



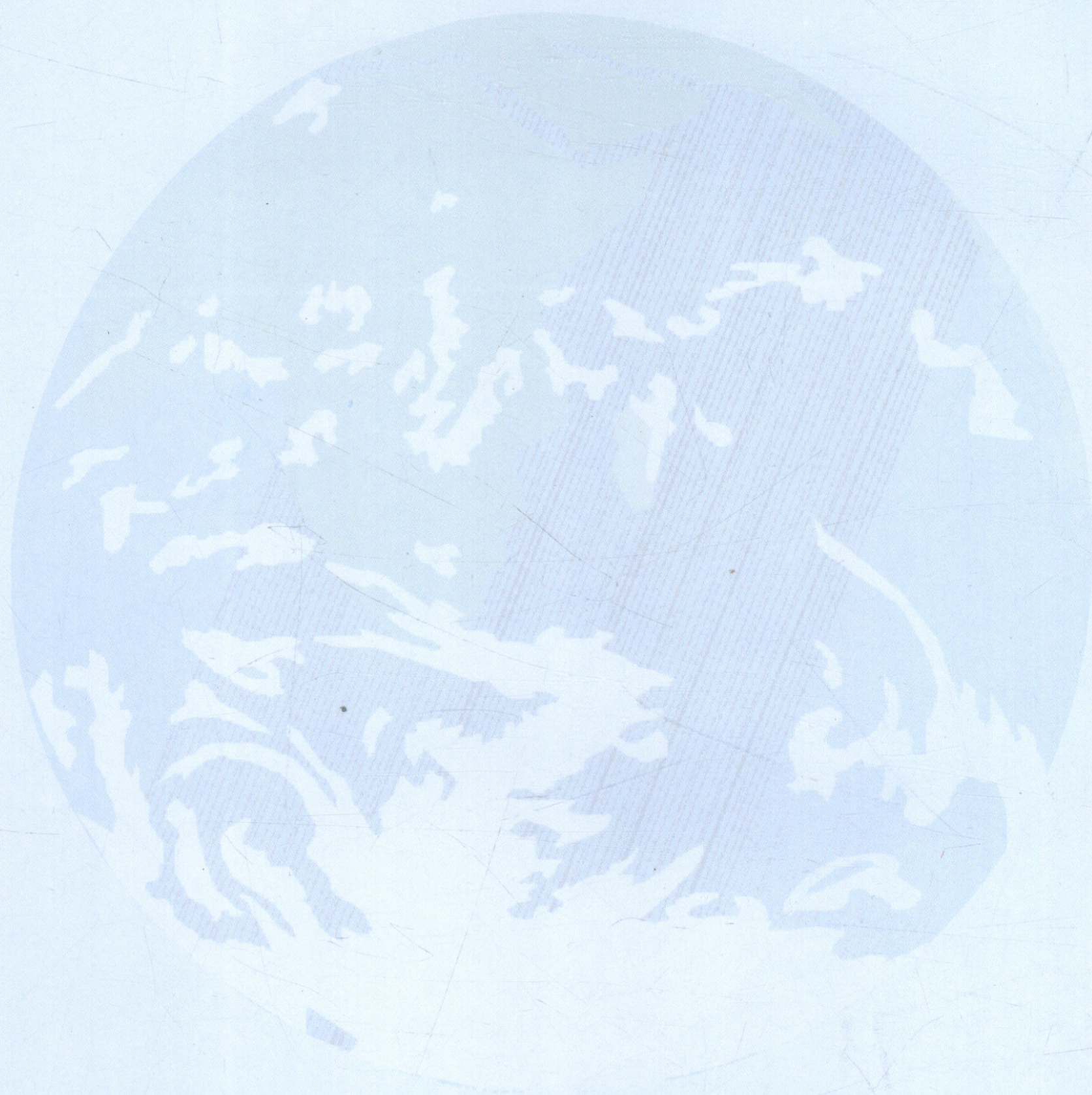
中国风能资源 评价报告

中国气象局

气象出版社

中国风能资源评价报告

中国气象局



气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国风能资源评价报告/中国气象局.-北京:气象出版社,2006.11

ISBN 7-5029-4218-1

I.中… II.中… III.风力-气候资源-研究报告-中国 IV.P468.0

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第132485号

地图审核批准书审图号:GS(2006)1272号

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街46号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-68406961

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:汪勤模 陈红 终审:周诗健

设计制作:北京鸿图时代 责任校对:黄云华

*

北京恒智彩印有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本:880×1230 1/16 印张:4.25 插页:29 字数:121千字

2006年12月第一版 2006年12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

《中国风能资源评价报告》

编制人员

批准：许小峰（中国气象局）
核定：王 辉（中国气象科学研究院）
审查：朱瑞兆 薛 桁（中国气象科学研究院）
校核：孙效功（中国气象科学研究院）

主编：杨振斌（中国气象科学研究院）
编写：薛 桁（中国气象科学研究院）
朱瑞兆（中国气象科学研究院）
熊安元（国家气象信息中心）
周 篁（国家发展改革委能源局）
邢如均（中国气象局预测减灾司）
李晓燕（国家气候中心）
袁春红（中国气象科学研究院）
刘 玲（中国气象科学研究院）
邓 莉（国家气象信息中心）
袁国恩（辽宁省气象局）

数据处理：邓 莉（国家气象信息中心）
何小明（国家气象信息中心）
熊安元（国家气象信息中心）
杨振斌（中国气象科学研究院）
赵黎明（河北省气象局）
王伯民（国家气象信息中心）

制 图： 邓 莉 (国家气象信息中心)
杨振斌 (中国气象科学研究院)
庄立伟 (国家气象中心)
何小明 (国家气象信息中心)
袁春红 (中国气象科学研究院)
王有民 (国家气候中心)
汤克靖 (国家气象信息中心)
薛 桁 (中国气象科学研究院)
刘品高 (湖南省气象局)

主要贡献者:(按姓氏笔画为序) 王石立 田同舟 刘学锋 朱 蓉
宋丽莉 易跃春 祝昌汉 施鹏飞
高国栋 黄朝迎 郭雁珩

参编单位：中国气象科学研究院
国家气象信息中心
国家气候中心
国家气象中心
各省、自治区、直辖市气象局

FOREWORDS



近年来,常规能源贮量日益减少,能源结构不合理所造成的环境污染日趋严重,优化能源结构和发展清洁能源已成为国际社会的共识。我国政府在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中制订了优先发展能源工业的目标,特别提出了大力发展可再生能源的具体要求,其中列有在“十一五”期间“大力发展风能,建成30个10万kW级以上的大型风电场,在内蒙古、河北、江苏、甘肃等地区形成百万kW风电基地”的具体指标。

风能是无污染而又可再生的能源,其特点是潜力巨大,分布广泛,不需运输,便于获取,开发利用相对方便。但是,风能资源分布分散,单位面积上平均能量的密度较低,受天气气候变化和地形条件的影响较大,具有不稳定性。因此,开展全国性风能资源普查,深入发掘各地的风能资源,并尽快地加以开发利用具有重要的现实意义。

2005年2月全国人大常委会通过了《可再生能源法》(这部法律所称可再生能源,是指自然界中非矿物能源,如风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等)。这部法律为可再生能源在我国的强势崛起提供了法律依据和积极的政策支持。我国政府对发展风电高度重视,在《可再生能源十一五发展规划》中明确提出,到2020年我国的风电装机将达到2000~3000kW。为适应新形势下我国风电发展的要求,在全国范围内开展风能资源普查便是一项十分重要和紧迫的任务。风能资源普查的主要目的是摸清风能资源分布状况和变化特征,分析和寻找适合建设风电场的区域,为制定风电发展规划和建设风电场提供科学依据。为此,中国气象局按照国家发展和改革委员会的要求,从2004年开始,用两年半的时间,组织全国气象部门完成全国和省(自治区、直辖市)两个层次上的风能资源普查工作,进一步摸清全国的风能资源分布状况和变化规律,对全国和各地的风能资源状况做出客观、科学的评价。

据初步统计,全国参加本次风能资源普查工作的省(自治区、直辖市)、市(地)、县气象局以及其他相关技术部门、能源管理机构的单位达1300多家,参与人数达2800余人。在普查工作中,全国共处理了48.6万个站月气象测风自记资料,整理出2384个气象台站1971-2000年的资料,包括台站基本信息、年月气温、气压、湿度、风向、风速等气象要素、22个资料序列,进行数据的整理、完整性检查、极值检查和一致性检查。一些省(自治区、直辖市)气象局利用数值模拟方法进行了区域风能资源计算。本次普查工作完全遵照国家发展和改革委员会印发的《全国风能资源评价技术规定》执行,采用了统一的风能资源评价技术参数计算软件,利用地理信息系统技术绘制了风能资源分布图和风能资源区划



图，采用“自下而上”和“自上而下”相结合的方式，国家、省（自治区、直辖市）之间上下联动，协调平衡，经过多次反馈协调、复查检验和逐级审核，估算全国和各省（自治区、直辖市）的风能资源总储量、技术可开发量等多项基础资料。在此基础上编制完成了全国和各省（自治区、直辖市）的风能资源评价报告，力求比较详尽地反映我国真实的风能资源状况，从宏观上指导风电场选址、编制和制定风能资源开发规划。

与以往风能资源评价工作相比，本次风能资源评价成果有以下特点：第一，评价的地域范围更加广泛，包括了除台湾省以外的全国31个省（自治区、直辖市）陆地面积的所有区域；第二，评价的要素更加丰富，利用了2384个气象站30年的历史资料，分析计算了风速大值年、小值年、平均年、代表年整体年（月）平均风速、风功率密度、风向频率、风速频率、风能方向频率、有效小时数、风速威布尔参数、风功率密度等12项风能资源参数；第三，在风能参数计算中，参照了国际上通行的参数计算方法，便于与国际风能资源评价领域的技术接轨与学术交流；第四，数据图表更加翔实，分别用5种数据表格和29幅图形完整地表现了风能资源分布；第五，评价成果展示方式多样，运用了地理信息系统技术、数据库技术，可以通过计算机检索方式按照用户级别读取数据和图形。

根据《中华人民共和国气象法》，进行全国气候资源的综合调查、区划工作，组织进行气候资源监测、分析、评价工作，是各级气象部门的重要职责。本次全国风能资源评价工作是在国家发展和改革委员会的指导下，由中国气象局统一协调并总体负责，中国气象科学研究院会同国家气象信息中心、国家气候中心、各省（自治区、直辖市）气象局等单位共同实施，编制完成了《中国风能资源评价报告》和各省（自治区、直辖市）风能资源评价报告。评价报告紧密结合风力发电工程的实际要求，分析了评价区域内气候条件、地理特征、风能资源储量分布、风能资源的形成原因，以及影响风电场的灾害性天气、气候条件，提出了合理开发利用风能资源的建议。本次风能资源评价成果将在全国和各地制定风电发展规划和风能资源的开发利用中发挥重要的作用。

CONTENTS



前言

第1章 气象资料的来源及处理	(1)
1.1 观测站点分布	(1)
1.2 观测资料情况	(2)
1.2.1 风	(2)
1.2.2 气温	(3)
1.2.3 气压	(4)
1.2.4 水汽压	(4)
1.3 观测资料的处理	(4)
1.3.1 观测资料的质量控制	(4)
1.3.2 观测资料的统计处理方法	(4)
第2章 中国风能区划	(6)
2.1 风能资源丰富区	(8)
2.1.1 北部风能资源丰富带	(8)
2.1.2 沿海风能资源丰富带	(8)
2.2 风能资源较丰富区	(9)
2.3 风能资源一般区	(10)
2.4 风能资源贫乏区	(10)
第3章 中国风能资源评价	(11)
3.1 中国主要地形、地貌、风气候特征	(11)
3.2 中国风能资源分布	(12)
3.2.1 年平均风速分布	(12)
3.2.2 年平均风功率密度分布	(15)
3.3 中国风能资源储量	(16)
第4章 中国风能资源的形成与气候特征	(19)
4.1 中国风能资源的形成	(19)
4.1.1 冷空气活动	(19)
4.1.2 热带气旋活动	(21)
4.1.3 局地环流	(23)
4.2 中国风能资源的气候特征	(24)
4.2.1 中国风能资源的日变化	(24)
4.2.2 中国风能资源的年、季变化	(24)
第5章 中国风能资源区域特征	(26)

5.1 华北地区风能资源	(26)
5.2 东北地区风能资源	(27)
5.3 华东地区风能资源	(28)
5.4 华中地区风能资源	(29)
5.5 华南地区风能资源	(30)
5.6 西南地区风能资源	(31)
5.7 西北地区风能资源	(32)
第6章 影响风电场的主要灾害天气	(34)
6.1 台风	(34)
6.1.1 台风及其危害	(34)
6.1.2 台风主要影响的区域	(35)
6.1.3 台风活动的季节变化	(36)
6.2 低温	(37)
6.2.1 低温天气的影响	(37)
6.2.2 低温天气的分布特征	(38)
6.2.3 各地低温天气出现的月份	(39)
6.3 结冰	(40)
6.3.1 结冰及其影响	(40)
6.3.2 结冰的地理分布	(41)
6.3.3 结冰的季节变化	(43)
6.4 雷暴	(44)
6.4.1 雷暴及其影响	(44)
6.4.2 雷暴的分布特征	(44)
6.4.3 雷暴的季节变化	(45)
6.5 沙尘暴	(46)
6.5.1 沙尘暴及其影响	(46)
6.5.2 沙尘暴的地理分布	(47)
6.5.3 沙尘暴的季节变化	(47)
第7章 综合评估和分析	(49)
附录: 风能资源参数计算	(52)
附 图:	
附图1 全国年平均风速分布图 (等值线图)	
附图2 全国年平均风速分布图 (色斑图)	
附图3 全国年平均风功率密度分布图 (等值线图)	

CONTENTS

附图4 全国年平均风功率密度分布图 (色斑图)

附图5 全国年平均有效小时数分布图

附图6 全国1月平均风速分布图

附图7 全国2月平均风速分布图

附图8 全国3月平均风速分布图

附图9 全国4月平均风速分布图

附图10 全国5月平均风速分布图

附图11 全国6月平均风速分布图

附图12 全国7月平均风速分布图

附图13 全国8月平均风速分布图

附图14 全国9月平均风速分布图

附图15 全国10月平均风速分布图

附图16 全国11月平均风速分布图

附图17 全国12月平均风速分布图

附图18 全国1月平均风功率密度分布图

附图19 全国2月平均风功率密度分布图

附图20 全国3月平均风功率密度分布图

附图21 全国4月平均风功率密度分布图

附图22 全国5月平均风功率密度分布图

附图23 全国6月平均风功率密度分布图

附图24 全国7月平均风功率密度分布图

附图25 全国8月平均风功率密度分布图

附图26 全国9月平均风功率密度分布图

附图27 全国10月平均风功率密度分布图

附图28 全国11月平均风功率密度分布图

附图29 全国12月平均风功率密度分布图



第1章 气象资料的来源及处理

1.1 观测站点分布

本报告所用资料主要来源于中国气象局管辖的各级地面气象观测站网的地面气象观测资料。地面气象观测站网分为国家级地面基准气候站网、国家级地面基本天气站网、地面一般气象站网、地面农业气象观测站网和地面辐射观测站网。国家基准气候站 136 个，站距平均 300~400km，每小时观测一次，每天观测 24 次，主要为积累长期气候资料而设立，同时兼有天气发报任务。国家基本天气站 536 个，站距平均 150km，每 3~6 小时观测一次，每天观测 4~8 次。一般气象站 1736 个，平均站距约 50km，每天 08、14、20 时观测共 3 次。

本报告选用了我国地面气象观测站网中的 2384 个台站 1971-2000 年的地面观测记录及其统计加工产品。现有站网中极少数台站资料没有使用，主要原因是这些台站观测年代过短，与其它台站资料没有统计上的可比性。2384 个台站分布在全国各地（站点分布见图 1.1），东部较密集，西部较稀疏；平原地区密集，山区稀疏；在青藏高原和沙漠地区，站点很少。这些台站在各省、自治区、直辖市的分布情况见表 1.1。

表 1.1 所用的地面气象台站在各省（自治区、直辖市）的分布

省份	台站个数	省份	台站个数	省份	台站个数
北京	20	广西	90	新疆	100
上海	10	云南	133	宁夏	24
天津	15	贵州	83	青海	56
黑龙江	83	四川	158	甘肃	80
吉林	51	湖南	97	内蒙古	117
辽宁	53	湖北	76	江西	84
河北	145	安徽	78	浙江	70
山东	123	陕西	96	福建	68
山西	109	重庆	35	广东	86
河南	121	西藏	38	海南	20
江苏	65				

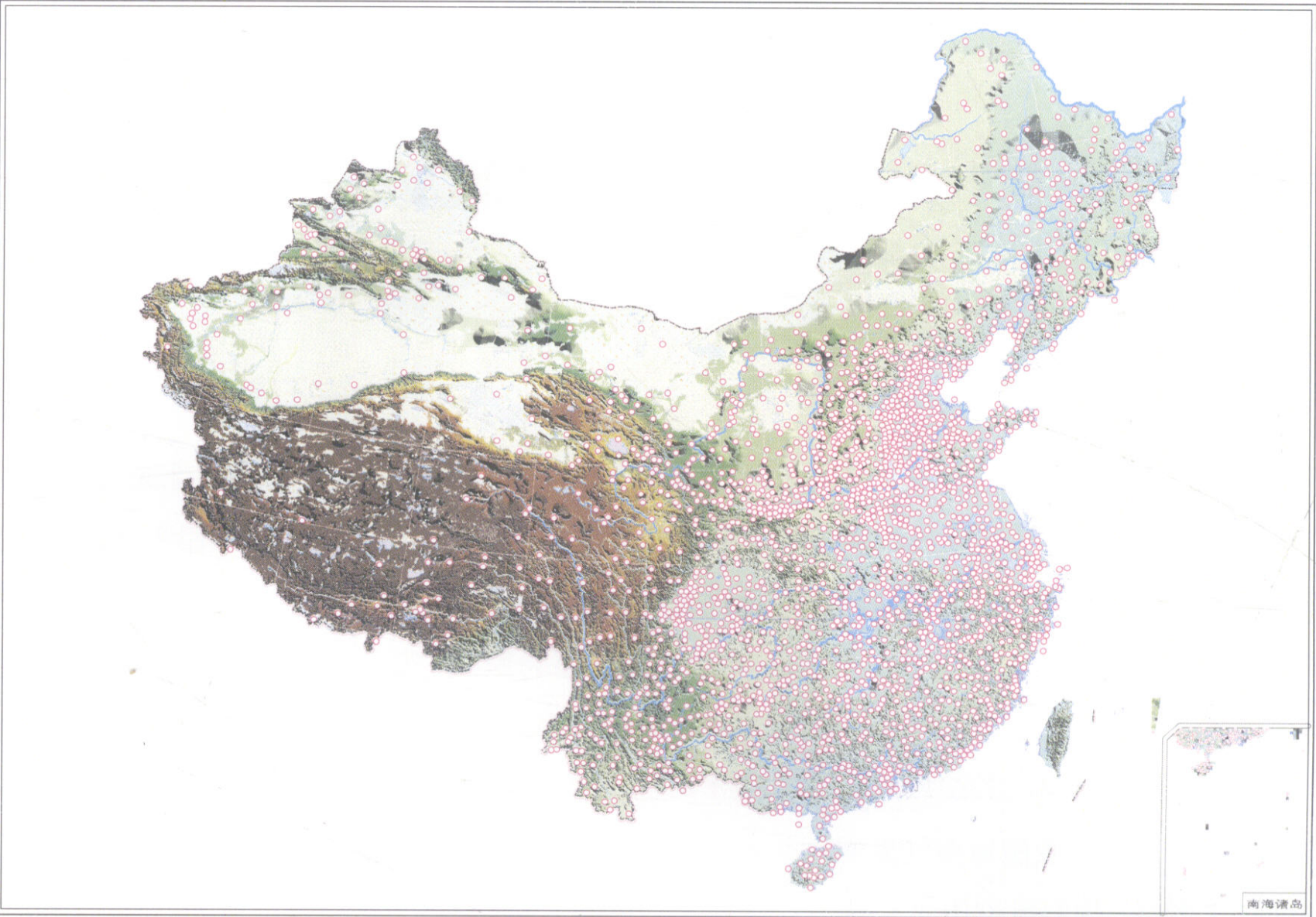


图 1.1 所用资料台站分布图

1.2 观测资料情况

本报告所用的观测资料包括上述 2384 个地面气象台站 1971—2000 年 30 年观测记录，部分台站由于建站较晚或已撤站，资料年代不足 30 年。选取的要素包括风、气温、气压、水汽压等。

1.2.1 风

气象台站风观测资料统一规定为距地面 10m 高处气流的方向和速度记录，即地面风向和风速。1971 年以来，我国各级气象台站普遍统一使用 EL 型电接风向风速计观测和记录风，根据规范要求，风向风速计的感应部分安装在距地面 10~12m 的空旷地表上，若安装在平台上，要求感应器距平台面 6~8m，且距地面高度不低于 10m。定时风向风速的获取是通过人工读取电接风向风速计指示器指针数据，取 2min 风向风速平均值得到的，风向取 17 个方位值（含静风）。EL 型电接风向风速计还自动记录风向风速的实时值，通过自记纸可读取各正点时次的风向风速，正点风速是正点前 10min 风速的平均值，分辨率是 0.3m/s，正点风向是正点前



10min 的最多风向,分辨率是 22.5° 。最大风速是自记纸上任意 10min 内挑出的风速的最大值,极大风速是指瞬时 (3s 平均) 最大风速值。

为了简化庞大的资料数据整理统计量,本报告对具有自记记录的 1933 个台站通过挑选各站风的代表年,对每个代表年的自记纸记录进行数字化处理,获得了 1933 个台站三个代表年的逐时风速资料。1933 个台站的分布如图 1.2 所示。

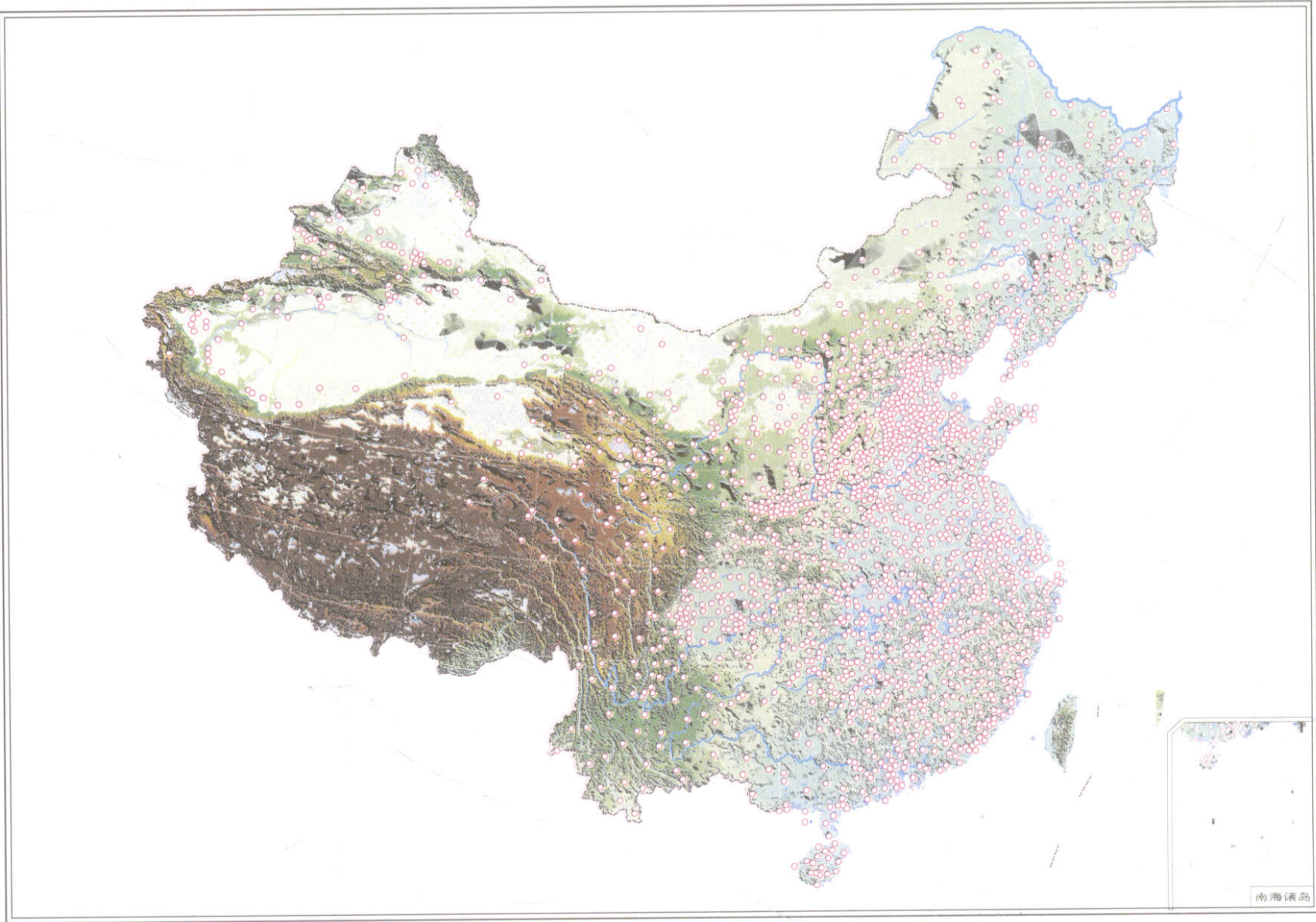


图 1.2 具有逐时风资料的台站分布图

代表年的选取方法如下: 根据全国地面气象资料 1971–2000 年整编成果, 选择年平均风速等于或接近 30 年年平均风速 $\bar{V}_{30}$ 的年份, 定义为平均风速年; 选择年平均风速等于或接近 30 年年平均风速最大值 $\bar{V}_{\max}$ 的年份, 定义为最大值年; 选择年平均风速等于或接近 30 年年平均风速最小值 $\bar{V}_{\min}$ 的年份, 定义为最小值年。若存在多个年平均风速等于或接近 $\bar{V}_{30}$ (或 $\bar{V}_{\max}$ 、 $\bar{V}_{\min}$) 的年份, 则选择最靠近 2000 年的年份。

1.2.2 气温

气温是指离地面 1.5m 高度处的空气温度。本报告使用了 2384 个台站 1971–2000 年每天



定时观测的气温和逐日最高、最低气温数据。

1.2.3 气压

气压是测站近地面的空气作用在单位面积上的压力。气压的单位以百帕 (hPa) 表示。本报告使用了 2384 个台站 1971—2000 年每天定时观测的气压数据。

1.2.4 水汽压

水汽压是离地面 1.5m 高度处空气中的水汽作用在单位面积上的压力。水汽压的单位以百帕 (hPa) 表示。本报告使用了 2384 个台站 1971—2000 年每天定时观测的水汽压数据。

1.3 观测资料的处理

1.3.1 观测资料的质量控制

数据的质量控制包括数据的完整性检查、格式检查和数据质量检查。本报告使用的全部资料均进行了较严格的质量控制,以确保所使用资料的质量。质量控制方法主要由计算机程序自动进行,之前辅以少量的人工检查。首先对各省上报的所有数据(包括台站信息)进行人工初审,合格后利用全国气象资料计算机质量控制程序进行格式检查和质量检查。质量检查方案包括极值检查、时间一致性检查和年、月、日、时的统计一致性检查。

国家级 674 个台站地面历史资料在本报告编制前均经过了台站、省和国家三级严格的质量控制,所以本次质量控制的重点是对其它一般台站上报数据的质量控制。

需要指出的是,风观测记录明显受到周围环境的影响,20 世纪 90 年代以来,随着城市的发展,许多气象观测站周围不断增多的建筑物影响了台站观测到的风速记录,其记录的风速可能在不同程度上小于真实的自然大气的风速值,由于缺乏相关的对比观测,本报告没有对这些台站的风资料进行订正处理。

1.3.2 观测资料的统计处理方法

1.3.2.1 日、月、年统计值的计算

定时观测的风、气温、气压和水汽压的日值计算,对于每天有 4 次及以上观测次数的台站,均取北京时 02、08、14、20 时的 4 次平均;对于每天进行 3 次(08、14、20 时)观测的一般



站, 02 时的风、气温和气压一般从自记纸上读取 02 时的记录, 02 时的水汽压则通过自记纸读取的气温和相对湿度值经计算而得, 日平均值的计算同 4 次观测的台站; 但对没有自记记录的台站, 风速和气压的日平均值取 3 次平均, 气温 02 时的值用下式估算:

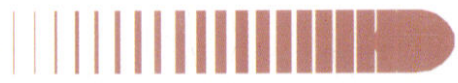
$$t_{02} = (\text{当日最低气温} + \text{前一日 20 时气温}) / 2$$

02 时水汽压用 08 时水汽压代替。月平均值的统计是通过日平均值求平均获得的, 而年平均值则是通过月平均值求平均获得的。日最大风速是从风自记纸上读取的一日最大滑动 10min 平均风速, 年最大风速是从逐日最大风速中挑选的。

1.3.2.2 不完整记录统计处理方法

本报告所用资料存在少量的缺测记录, 在进行月、年值统计时, 按以下原则进行处理:

- 月平均: 如果各日值有 7 个及以上缺测/空白的无效值, 则月平均为缺测, 否则按实有记录数求平均;
- 月极值: 如果不加特别说明, 则只要各日值不全是缺测, 则极值从实有记录中挑选; 如果日值全部为缺测, 则极值也是缺测。
- 年值: 若 12 个月中有一个月值资料缺测, 则不作年统计, 该年年值按缺资料处理。



第2章 中国风能区划

一个地区风能资源的开发利用潜力，受风能资源条件、可利用土地面积、电网条件、环境生态、交通道路、地基地质条件等因素的影响，但其中最重要的因素是风能资源。

地球上的风主要是由于太阳辐射造成地球各部分受热不均匀形成的。风能资源的形成受到多种因素的影响，其中天气气候、地形和海陆的影响最为重要。由于风能资源在时间和空间分布上存在着特别强的地域性和时间性，所以寻找风能丰富的地带对风能资源的开发利用就显得尤为重要。

由于风的随机性很大，因此在判断一个地方的风况时，必须有足够多和足够长的气象资料。我国幅员辽阔，气候多样，因此各个地区风的统计特性也表现出很大的差异。能够反映风统计特点的一个最重要的指标是风速频率分布，而了解年风速频率分布是风能资源开发利用的基础。为了得到准确的年风速频率分布，必须要有长期的风速连续自记记录。

用平均风速的概念来衡量一个地方的风能资源状况，虽非常方便，但有可能存在偏差。这主要是因为反映风能资源状况的平均风功率密度主要是由空气密度和风速频率分布决定的，空气密度是影响平均风功率密度的重要因素，而且风速频率分布通常是一个偏态的概率分布，其分布函数由平均风速、离差系数和偏差系数三个参数确定，因而仅靠一个平均风速很难准确地描述风能资源状况。换言之，平均风速即使相同，其风速概率分布并不一定相同，计算出的风能值也会存在很大差异。

基于此，利用我国气象观测的风速自记资料，计算出了全国年平均风功率密度，并依据表 2.1 所给出的具体标准将全国分为风能资源丰富、较丰富、一般和贫乏四个区，具体如图 2.1 所示。

表 2.1 风能区划标准 单位：W/m²

	丰富区	较丰富区	一般区	贫乏区
年平均风功率密度	≥150	150~100	100~50	≤50

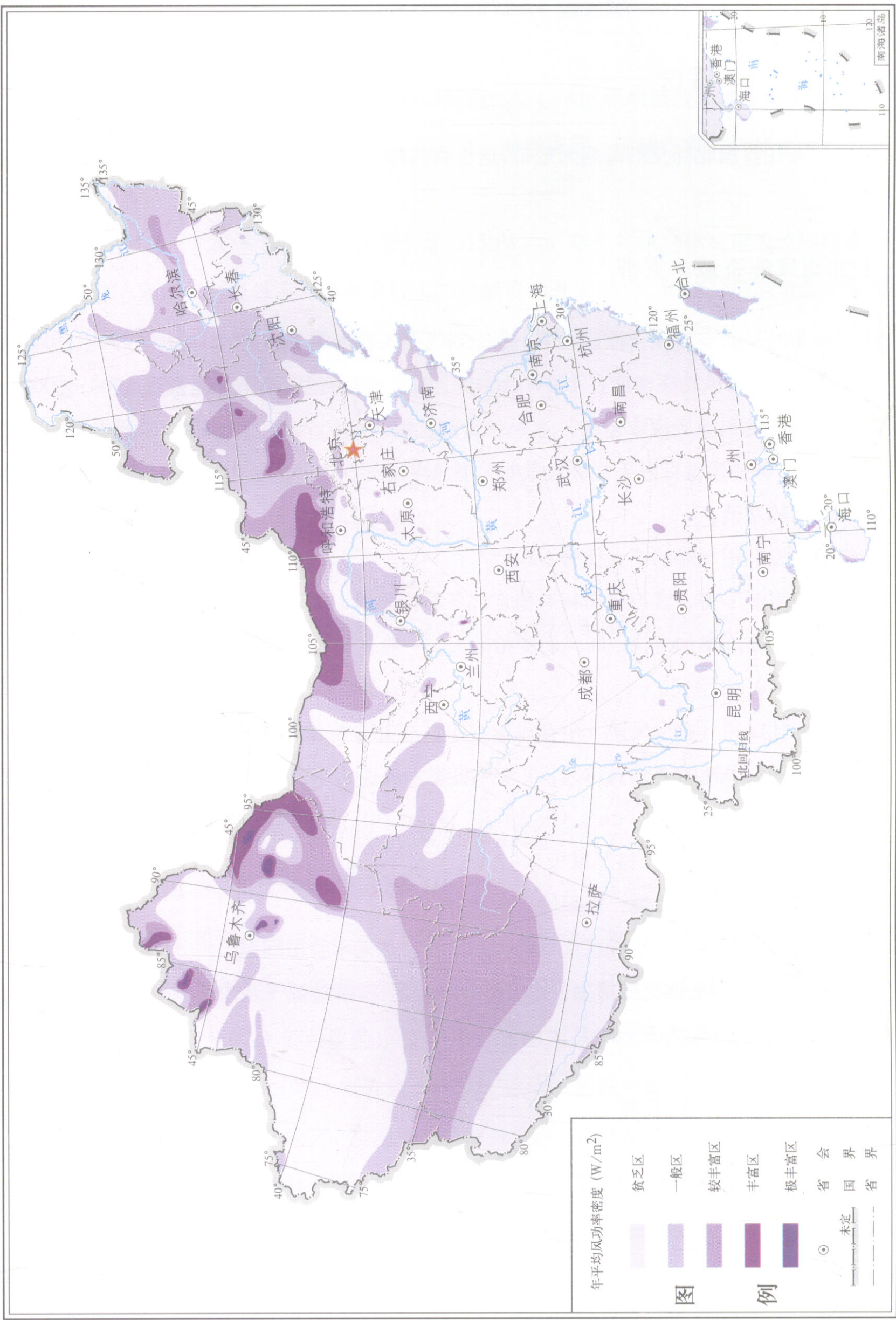


图2.1 全国风能资源区划图