

风能资源评估技术方法研究^{* 1}

李泽椿 朱 蓉 何晓凤 张 德

中国气象局风能太阳能资源评估中心,北京,100081

摘 要

全球性的能源危急和气候变化,驱动了风力发电在世界范围内迅速发展,搞清风能资源是大规模发展风电的关键步骤。文中首先回顾了近 10 年来开展风能资源评估的技术方法发展历程,阐述了数值模拟技术的应用对风能资源评估技术的发展所起的重要作用。风能资源的数值模拟可以给出风能利用高度上的风能资源分布;可以模拟出基于气象站观测资料的统计分析无法找到的风能资源;可以弥补海上测风资料不足的缺陷,进行海上风能资源的评估。文中运用中国气象局的风能资源数值模式系统地对江苏省和青海省的风能资源分布进行了高分辨率的数值模拟,并采用气象站观测资料对数值模拟结果进行了检验,结果表明数值模拟可以较准确地模拟区域风能资源的分布趋势,但在风速值大小会有系统性偏差,需要有测风塔观测资料对数值模拟结果进行订正,说明了数值模拟技术与风能资源测量相结合是风能资源评估的有效技术手段。最后对中国风能资源数值模拟技术的发展进行了展望,表明了中国风能资源的开发利用对自主发展小尺度数值模式的迫切需求。

关键词: 风能,数值模拟,资源评估。

1 引 言

近年来,能源危机已经是一个人类共同面临的世界性难题。20 世纪的两次世界范围内的石油危机,使人们意识到寻求和发展可以替代化石燃料的其他能源的重要性和紧迫性^[1]。中国的经济建设迅速发展使能源消耗爆发式增长,如果要减轻中国对石油和天然气进口的依赖,可再生能源将作为主要补充能源之一。此外,大规模开发利用石化能源也带来气候变化、环境污染等问题。2007 年 2 月 2 日,联合国气候变化专门委员会(IPCC)于法国巴黎公布了《气候变化 2007:科学基础》的《决策者摘要》,浓缩了全球几千位科学家在过去 6 年对气候变化的成因、程度和未来变化预测的最权威共识。摘要预计,按目前进展趋势,在最坏的情况下,到 21 世纪末全球平均气温就可能陡升 6.4 °C^[2]。因此,世界上许多国家都把发展可再生能源作为实现可持续发展的重要选择。2005 年 2 月,《京都议定书》正式生效,成为各国尤其是欧洲发展可再生能源的新动力。截止到 2005 年底,全球已有 35 个发达国家和

100 个发展中国家制定了可再生能源的发展目标。2005 年 2 月 28 日中国第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议通过了《中华人民共和国可再生能源法》,于 2006 年 1 月 1 日开始实施,成为实施可再生能源发电固定电价政策的第 6 个发展中国家。中国在 2005 年 11 月组织召开了有 80 多个国家参加的“2005 国际可再生能源大会”,会上提出了促进全球可再生能源发展行动的《北京宣言》,中国在发展可再生能源方面的行动为世界瞩目。2006 年 2 月 9 日国务院出台的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中明确提出:到 2020 年,可再生能源在中国能源结构中的比重将达到 16%。

风能是一种清洁的、可再生的、储量很大的能源,风力发电是具有大规模发展潜力的成熟的可再生能源技术。近 5 年来,世界风电装机以年均 26.3% 的速度快速增长。2005 年底风电装机超过百万千瓦的有 11 个国家,7 个欧洲国家、3 个亚洲国家(印度、中国、日本)和美国。中国风电发展速度 2005 年居全球第一,达到 65%,从 2004 年底的 76.4 万千瓦增长到 126 万千瓦。2006 年是中国实施《可

* 初稿时间:2007 年 6 月 26 日;修改稿时间:2007 年 8 月 15 日。
资助课题:中国工程院《中国可再生能源发展战略研究》。
作者简介:李泽椿,主要从事天气动力和数值预报研究。

再生能源法》的第 1 年,风电建设步伐明显加快。中国国家发展改革委员会通过公开招标,确定了 100 万千瓦风电建设规模。据不完全统计,到 2006 年底,中国已建成约 91 个风电场,装机总容量达到约 260 万千瓦,比 2005 年新增装机 134 万千瓦,增长率超过 105%。按照中国中长期发展规划纲要,2020 年中国风电装机容量目标为 3000 万千瓦,计划在中国新建 20 个 10 万千瓦以上的大型风电场。

为满足中国大规模开发风能资源的需求,首先需要对风能资源进行评估,弄清中国风能资源的分布状态,从而制定风电建设发展规划。为此,中国国家发展改革委员会与中国气象局于 2003 年底启动了第 3 次风能资源普查工作。这次风能资源普查是基于中国 2000 多个气象站的历史观测资料,采用的技术方法与 20 世纪 70 和 80 年代开展的 2 次中国风能资源普查的技术方法没有本质区别。经过 3 次风能资源普查,已基本搞清了中国风能资源的宏观分布趋势。目前,为了制定中国风电建设发展规划,需要详细地计算可开发风能资源的分布位置、区域面积和储量,因此必须对风能资源做进一步的详查。那么,基于气象站观测资料的宏观的风能资源评估方法就无法满足详查的需要,而数值模拟技术可以

给出分辨率 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 、甚至更精细的风能资源分布,能够满足中国制定风电发展规划的需求。此外,基于气象站资料的风能资源评估只是得到 10 m 高度上的风能资源分布,但目前风机的轮毂高度多数在 70 m、甚至 100 m。随着风电技术的发展,风机高度还有可能提高,因此更需要的是评估风机高度上的风能资源。采用数值模拟的方法可以给出任意高度上的高分辨率风能资源分布,因此数值模拟技术能够满足风电技术发展的需求,必将成为风能资源评估的主要技术手段。

2 风能资源评估技术方法概况

现有的风能资源评估的技术手段有 3 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以及风能资源评估的数值模拟。

美国斯坦福大学根据全球 1998—2004 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 80 m 高度上风能资源的分布^[3]。但这个分布是离散式的,图 1 是亚洲地区的风能资源分布,由于各国参加国际交换的气象观测资料很有限,例如中国有 2500 多个气象站,参

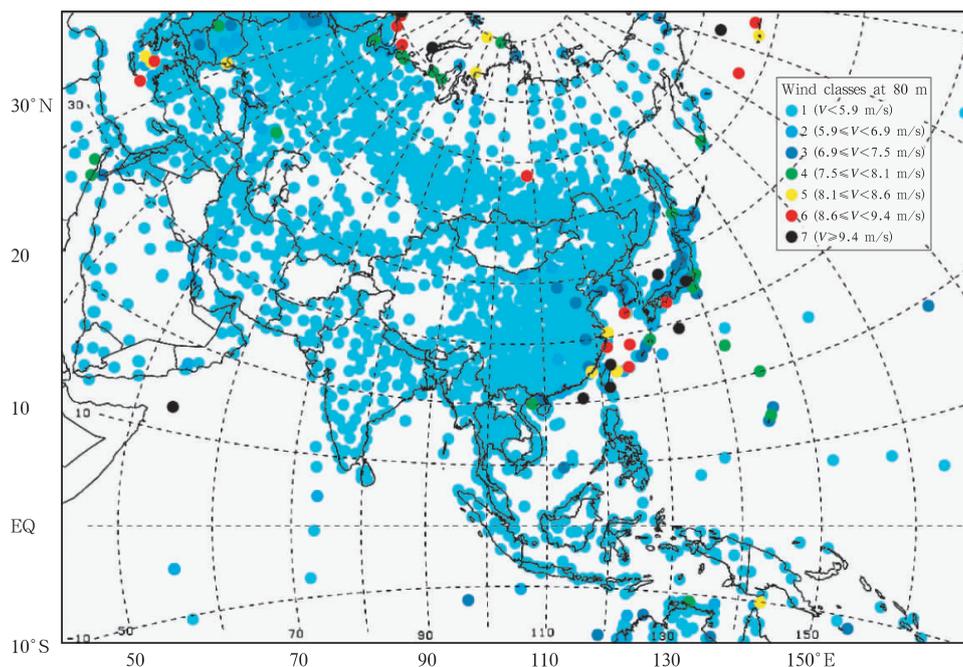


图 1 美国斯坦福大学在常规地面和探空气象资料基础上做出的 2000 年亚洲 80 m 高度上年平均风速分布

Fig. 1 Annual mean wind speed of Asia at height of 80 m in 2000 based on the surface observation and sonde data by Stanford University

加国际气象资料交换的站只有 200 多个,因此图 1 只反映出中国的沿海地区有较丰富的风能资源,而内蒙和新疆丰富的风能资源都没有反映出来。因此,斯坦福大学的风能资源评估结果宏观上、部分地给出了全球风能资源的大体分布状况。

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^[4],但各气象站的观测时段并不同步,总体上是从 1961 年到 1988 年,最长的观测时段是 19 a,最短的观测时段是 1 a,大多数的资料长度接近 10 a。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 10 km 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 50 m 高度的 Weibull 分布参数,给出了 50 m 高度的风功率密度分布(图 2)。

中国气象科学研究院分别在 20 世纪 80 和 90 年代开展了 2 次风能资源普查^[5],均是采用对气象站历史测风资料的统计分析方法,计算各气象站的平均风速、Weibull 参数等风能参数,在垂直高度上没有进行外推,最后给出 10 m 高度上风能资源分布图谱(图 3)。中国大陆上内蒙和新疆风能资源最丰富,年风能密度 100—200 W/m²,其次是中国东部沿岸,其中渤海、黄海、南海沿岸风能密度为 50—100 W/m²,浙江、福建沿岸 100—200 W/m²。陆地上 10 m 高度可开发的风能资源总储量为 2.53 亿千瓦。国家发展和改革委员会组织的中国第 3 次风能普查于 2003 年启动,采用了 2000 多个气象站的 30 a 历史观测资料,虽然技术方法上没有更新,但所用的气象站点数比第 2 次普查的 900 多个站增加了 2 倍多,因此新的中国风能资源分布图谱会更接近实际情况。

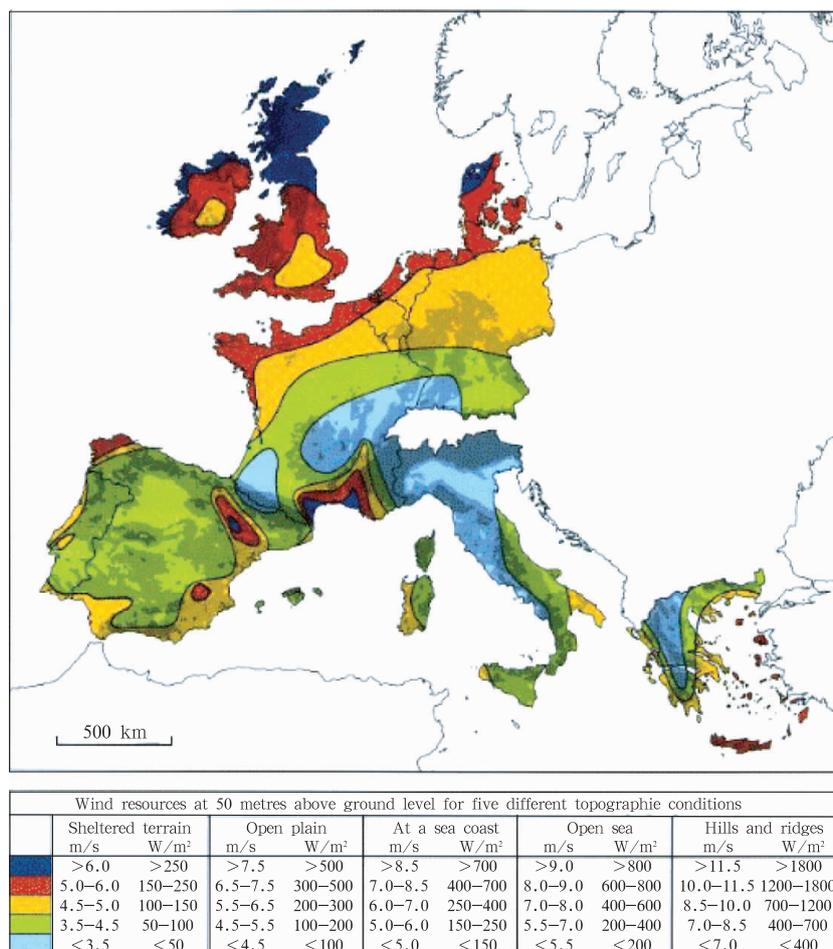


图 2 欧洲 12 个国家的 50 m 高度风功率密度分布

Fig. 2 Distribution of wind power at height of 50 m in 12 countries of Europe

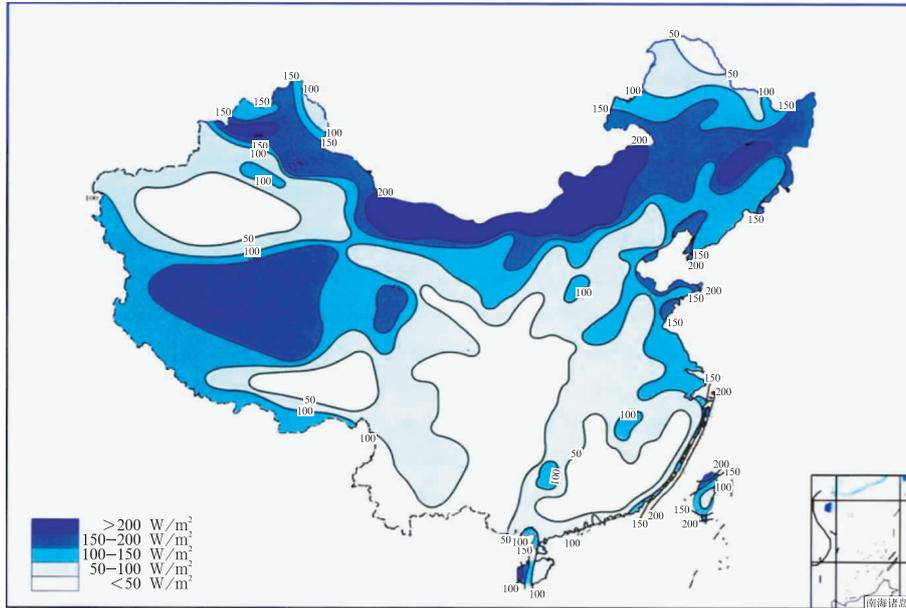


图3 第2次中国风能普查得到的风能资源分布

Fig.3 Distribution of wind energy resource from the 2nd Chinese wind resource assessment

总而言之,基于气象站观测资料的风能资源评估主要存在3方面的问题:第一,气象站测风高度只有10 m,而风机的轮毂高度大多数都在50和70 m,近地层风速随高度的变化取决于局地地形和地表条件以及大气稳定度,因此从10 m高度的风能资源很难准确推断风机轮毂高度的风能资源;第二,中国气象站的间距是50—200 km,东部地区气象站分布密度较大,西部地区分布稀少,西部的统计分析结果的误差就会很大,即使是50 km分辨率的统计计算结果也只能宏观地反映中国风能资源的分布趋势,不能较准确定量地确定一个区域可开发风能资源的覆盖范围和风能储量;第三,中国的气象站大多数都位于城镇近郊,由于城市化的影响,城镇地区的风速相对较小,对风能资源评估结果有一定影响。所以,基于气象站观测资料的风能资源评估还不能满足中国制定风电发展规划对风能资源评估的需求。

印度能源顾问有限公司采用1987年以来先后设立的570个20和25 m的测风塔的观测数值,根据20或25 m的风速外推得到50 m的风速,制作了50 m高度上的印度风图(图4)^[6]。这些测风塔大多数的测风资料长度是2 a,个别测风塔的观测资料长度长达5 a,甚至10 a,目前正在运营的测风塔

有51座。由于测风资料的时段不统一,因此对风能资源评估结果的准确度会有一些影响。此外,由于设立测风塔观测的人力和物力耗费很大,因此印度的风图中只有10个省的风能资源分布。由此看来仅仅依靠气象站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,也不可能像气象站一样进行常年观测。

近十几年来,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和Hunt理论上,发展了一个用于风电场微观选址的资源分析工具软件——WASP(Wind Atlas Analysis and Application Program)^[4]。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100 km²,仅适用于对小范围风资源的调查。因此20世纪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—5 km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。

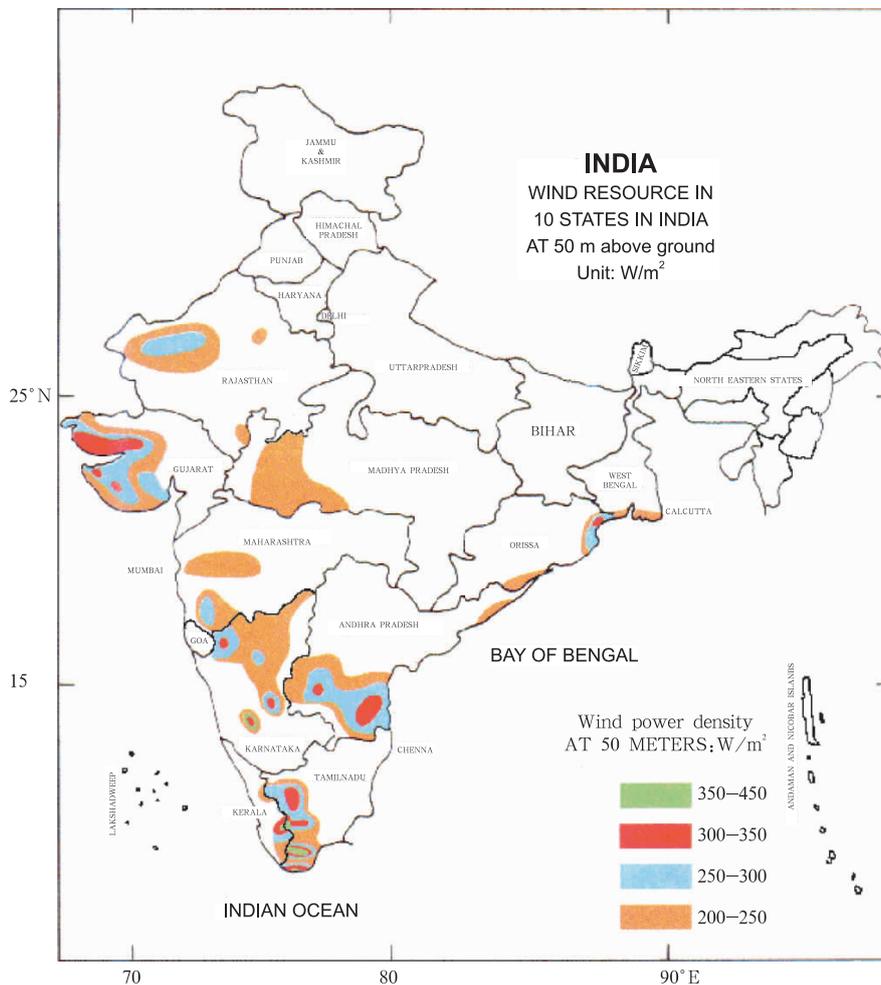


图 4 印度风能资源分布

Fig. 4 Distribution of wind energy resource in India

美国 True Wind Solutions 公司在应用数值模式评估风能资源方面有其独特之处^[7-8], 其产品 MesoMap 和 SiteWind 风能资源评估系统在 20 多个国家和地区被应用于风能资源评估。MesoMap 是一个中尺度数值模式 (MASS) 与一个质量守恒的风场模拟线性模式 (WindMap) 相结合的评估系统。MASS 为非静力中尺度天气模式, 包括 2—3 层嵌套网格, 分辨率 1—3 km, 能成功地模拟地形波、峡谷效应、对流风、海湖风以及下坡风等局地性风场, 其输出结果用以驱动 WindMap。WindMap 分辨率 100—1000 m, 不需要观测塔的资料, 只需中尺度模式提供的边界层气象背景场; 缺点是计算量大, 夜间稳定边界层模拟不好, 仅适用于距地面 50 m 以下的高度。SiteWind 是专门针对风电场尺度的风场模式系统, 它由中尺度数值模式 (MASS) 与多谱有

限差分模式 (MSFD) 嵌套而成。MSFD 包括了动量和质量守恒、以及湍流闭合方案, 与 WAS^P 一样需要观测塔的资料, 但比 MesoMap 有更高的网格分辨率。SiteWind 可以利用现场实测风资料对风图进行校准, 极大地减小了模式误差, 因此比 WAS^P 具有更高的准确性。图 5 是 TrueWind Solutions 公司完成的美国 Montana 州 50、70 和 100 m 高度上的年平均风速分布, 水平分辨率为 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 。

澳大利亚联邦科学与工业研究组织 (CSIRO) 也发展了类似的非线性、小尺度风场模型^[9]。该模型不仅可以处理陡峭地形的风场模拟问题, 而且可以模拟湍流等级, 但不能用于较大范围风场模拟, 因此他们利用中尺度 TAPM 模式与小尺度非线性模式相结合, 以不同模式分别处理两种显著不同尺度的影响气流分布的大气过程, 从而模拟 10 km 到

100 km较大范围风资源的分布状况。此外,加拿大气象局^[10]将中尺度模式 MC2 与小尺度模式 Ms-micro 相结合建立了 WEST(Wind Energy Simulating Toolkit)数值模式系统,制作了加拿大 5 km×

5 km分辨率的风能资源图谱,并对部分地区进行了 1 km×1 km 的风能资源数值模拟。日本使用美国大气边界层模式 RAMS 也开展了高分辨率的风能资源数值模拟^[11]。

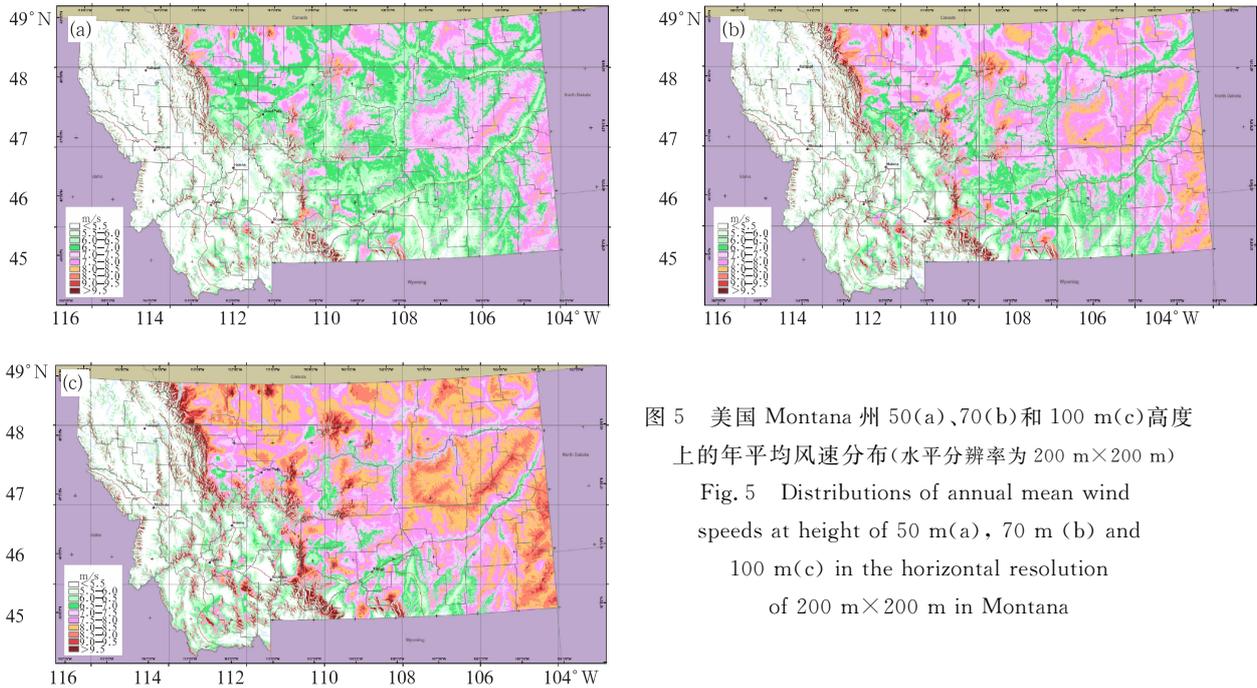


图5 美国 Montana 州 50(a)、70(b)和 100 m(c)高度上的年平均风速分布(水平分辨率为 200 m×200 m)
Fig. 5 Distributions of annual mean wind speeds at height of 50 m(a), 70 m (b) and 100 m(c) in the horizontal resolution of 200 m×200 m in Montana

总之,将数值模拟技术应用于风能资源评估是一个行之有效的方法。从基础理论上讲,建立在对外边界层大气动力和热力运动数学物理描述基础上的数值模拟技术要优于仅仅依赖气象站观测数据的空间插值方法;从实际应用上来看,数值模拟方法可以得到较高分辨率的风能资源空间分布,可以更精确地确定可开发风能资源的面积和风机轮毂高度的可开发风能储量,更好地为风电开发的中长期规划和风电场建设提供科学依据。

3 中国风能资源的数值模拟

近年来中国的很多科研机构开始了风能资源数值模拟的研究。中国气象科学研究院采用中尺度数值模式与地理信息系统相结合,进行了风电场风资源卫星遥感地理信息综合评估和选址研究;中山大学在科技部 863 项目的支持下开发了基于中尺度数值模式和地理信息系统的风电场风能资源评估软件系统;在中国第 3 次风资源普查中很多省气象局进行了风能资源数值模拟试验,如辽宁省、新疆自治区和甘肃省气象局采用 MM5 模式,上海气象局采用

澳大利亚空气污染模式(TAPM)中的气象背景场预报模块,江苏省气象局采用区域气候模式,江西省气象局采用南京大学的大气边界层模式,四川省气象局采用加拿大气象局 WEST 系统等。

2005 年中国气象局风能太阳能资源评估中心引进了加拿大气象局风能资源数值模拟系统,在此基础上经过本地化的改进后,建立了中国气象局风能资源数值模式系统。该系统分为 3 个部分:天气尺度背景场分类、中尺度数值模拟和统计分析计算,基本思路是运用动力-统计相结合的方法,认为区域气候的形成是大尺度气候背景场和局地地形地表条件相互作用的结果,通过对长期气候资料中与近地层风场形成相关的基本要素的统计分析,建立大尺度气候背景场,再利用高分辨率地形和土地利用资料,采用中尺度气象模式 MC2,模拟在大尺度天气背景场条件下由地形的驱动作用而产生的风能资源分布。本文选取 1971—2000 年 NCEP 全球环流模式 6 h 间隔的分析场资料,初步模拟了江苏省和青海省 1971—2000 年风能资源平均分布,水平分辨率分别为 1 km×1 km 和 2 km×2 km。

图 6a 给出了江苏省 70 m 高度上水平分辨率 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 的 30 a 平均风功率密度分布数值模拟结果,图 6b 为在第 3 次中国风能资源普查中江苏省气象局基于江苏省 72 个气象台站 1971—2000 年资料和沿海 5 个高度 70 m 的测风塔短期观测资料得到的 10 m 高度 30 a 平均风功率密度分布。从江苏

省风能资源的总体分布来看,数值模拟结果与基于气象台站观测资料计算的风能资源分布趋势是一致的,都是沿海地区风能资源丰富,内陆地区相对较低,其中启东和连云港的沿海地区风能资源相对更加丰富。图 7 是 10、50、70 和 100 m 高度上的江苏省 1971—2000 年平均风速 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 水平分

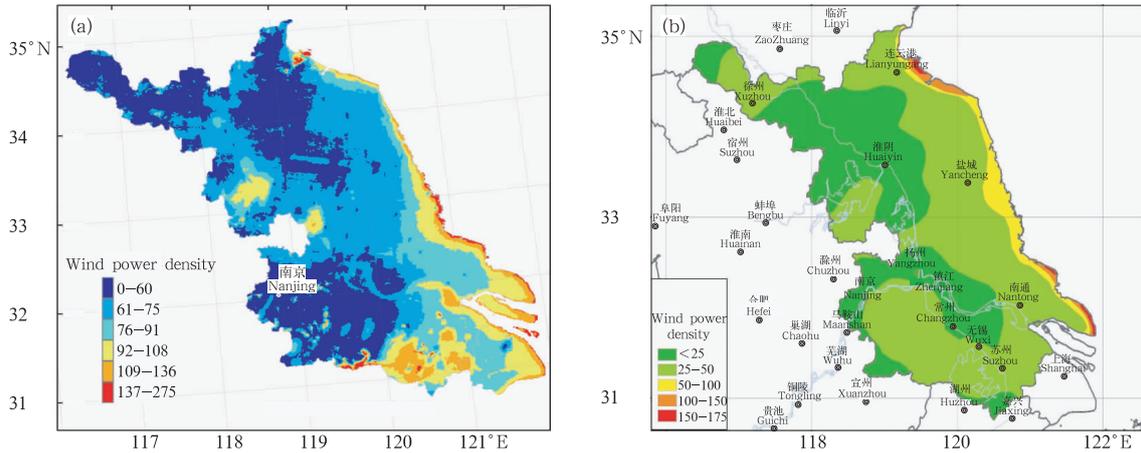


图 6 江苏省 70 m 高度 30 a 平均风功率密度分布数值模拟结果(a)与基于气象台站资料计算的 10 m 高度 30 a 平均风功率密度分布(b)

Fig. 6 Contrast of annual mean wind power densities at height of 70 m based on the simulated results (a) and at height of 10 m based on the observational data (b) in Jiangsu province

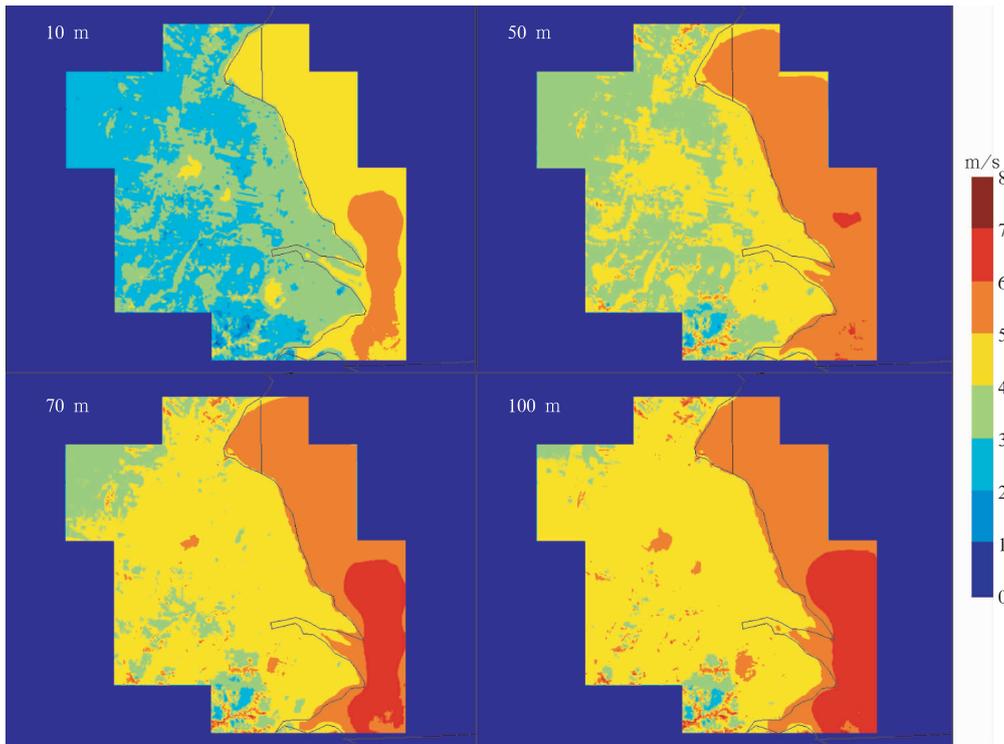


图 7 1971—2000 年江苏省不同高度上的年平均风速数值模拟结果

Fig. 7 Distributions of modeled annual mean wind speeds at different heights averaged from 1971 to 2000 in Jiangsu province

辨率的数值模拟结果,可以看出数值模拟可以模拟出观测资料缺少的近海风能资源分布,为近海风能资源的开发提供科学依据,启东地区的近海海域是江苏省近海风能资源相对丰富的地区。

选取江苏省沿海 11 个气象站,统计 1971—2000 年各气象站 10 m 高度上年平均风速,并与风能资源的数值模拟结果进行比较(表 1)。除连云港

地区的赣榆和西连岛气象站以外,模拟的平均风速与气象站观测的年平均风速比较接近,相对误差 0.4%—12%(表 1)。与江苏省 55 个气象站观测资料的对比表明,模拟年平均风速与实测年平均风速的平均相对误差为 12.6%,相关系数为 0.66,说明数值模式对江苏省风能资源分布整体趋势的模拟是可信的。

表 1 江苏省沿海地区 10 m 高度的模拟风速与气象站观测值的对比
Table 1 Contrast of wind speed at height of 10 m between simulated results and observational data in Jiangsu province and its offshore

站名	纬度(N)	经度(E)	模拟风速(m/s)	实测风速(m/s)	相对误差(%)
赣榆	34°50'	119°07'	4.249	3.0	41.6
西连岛	34°47'	119°26'	4.129	5.2	20.6
燕尾港	34°29'	119°47'	4.069	4.4	7.5
滨海	34°02'	119°49'	2.969	2.8	6.0
射阳	33°46'	120°15'	2.661	3.0	11.3
大丰	33°12'	120°29'	3.224	3.3	2.3
东台	32°25'	120°19'	3.038	2.9	4.8
海安	32°32'	120°27'	2.711	2.7	0.4
如东	32°20'	121°11'	3.025	3.1	2.4
吕泗	32°04'	121°36'	3.754	3.6	4.3
启东	31°48'	121°40'	3.356	3.0	11.9

在第 3 次中国风能资源普查中,青海省气象局对 54 个气象站 1971—2000 年的历史观测资料进行了统计计算,得到了 10 m 高度上的年风功率密度分布(图略)。在青海省范围内没有风功率密度大于 150 W/m² 的区域,也就是说没有可利用的风能资源。考虑到青海省气象站点较少且分布不均匀,仅仅依靠气象站的观测资料难以摸清真实的风能资源分布情况。为此,青海省气象局在气候调研的基础上布设了 10 个临时测风站,开展了为期 9 个月的观测,并采用临近气象站的历史观测资料将临时测站的短期测风数据进行订正,最后得到各测站的 10 m 高度 30 a 平均风功率密度。结果发现,冷湖的丁字口和大盐滩、德令哈尕海、日月山 4 个站点的风功率密度都超过了 200 W/m²,说明青海省在某些地区还是有较丰富的风能资源。本文根据 1971—2000 年的 NCEP 全球环流模式分析场资料,运用中国气象局风能资源数值模式系统进行数值模拟,得到了水平分辨率 2 km×2 km 的青海省风能分布图(图 8)。从图中可以看出青海省的很多区域都具有可利用的风能资源,图中丁字口、大盐滩、德令哈尕海、日

月山 4 个地点 100 m 高度的年平均风速都超过了 12 m/s,具有可利用的风能资源。因此,数值模拟对风能资源的评估更为精细,可以模拟出基于气象站观测资料无法分析出的风能资源分布。

综上所述,风能资源评估的数值模拟方法可以较准确的获得计算区域内风能资源的分布趋势,但模拟的风速在数值上会有系统性偏差,因此需要有测风塔观测数据和气象站观测数据进行订正,才能获得较准确的区域风能资源分布。因此,有效的风能资源评估手段是数值模拟与测风塔观测和气象站观测相结合。此外,数值模拟方法可以模拟出近海风能资源的分布,弥补海上观测资料的不足,为开发近海风能资源提供科学依据。同样,对于气象站点稀少的西部地区,通过数值模拟方法可以找到过去用气象站资料没有发现的风能资源。

4 中国风能资源数值模拟技术发展展望

目前国外开展风能资源数值模拟的普遍方法是:中尺度模式+小尺度模式。例如,丹麦 Riso 的 KAMM+WA^SP(KAMM:德国中尺度模式,WA^SP:

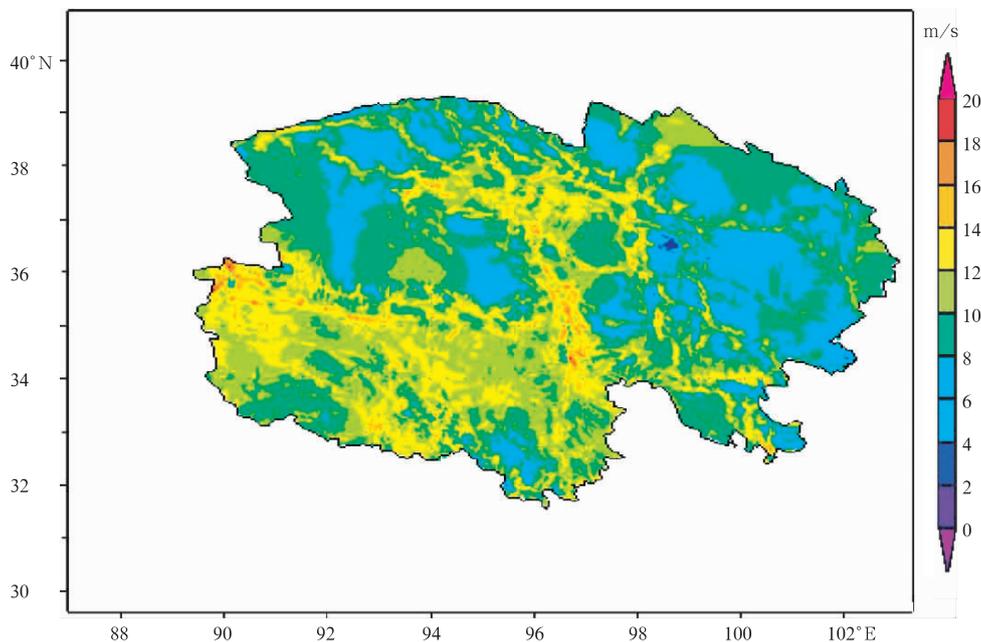


图8 青海省1971—2000年100 m高度年平均风速分布的数值模拟结果

Fig. 8 Simulated annual mean wind speed (m/s) at height of 100 m in Qinghai province averaged over 1971—2000

小尺度模式)、美国 TrueWind 的 MesoMap(中尺度模式 MASS+小尺度线性模式 WindMap)和 Site-Wind(中尺度模式 MASS+小尺度非线性模式 MS-FD)、澳大利亚的 WindScape(中尺度模式 MM5 或 TAPM+小尺度线性或非线性模式)和加拿大的 WEST(中尺度模式 MC2+小尺度模式 Ms-micro)。风能资源评估一般分为3个阶段:普查、详查和风电场选址。在风能资源普查阶段,只要弄清一个国家或地区风能资源的宏观分布就可以了,因此选用中尺度数值模式进行数值模拟就可以满足要求。在风能资源的详查阶段,要求数值模拟结果分辨率达到1 km,以满足制定风电发展规划的要求。这对于地形平坦的地区,只采用中尺度数值模式还可以满足要求。但对于地形复杂的地区,中尺度模式就不能准确地模拟近地层的风速分布。因为风电开发利用的是100多米以下的近地层大气运动产生的风能,近地层是大气边界层的底层,而中尺度模式中对大气边界层的湍流运动过程采用参数化形式来简化处理。因此在平坦地形下,大气在水平方向上的运动尺度远远大于垂直方向上的运动尺度,这种简化的参数化形式还是成立的。但在地形复杂到大气在垂直方向上的运动尺度与水平方向上的运动尺度相当时,这种参数化形式就不适用了,必须在基本运动方

程中增加湍流交换项,因此需要采用小尺度模式,或者说是大气边界层模式。风电场选址的风能资源评估要求给出风电场建设范围内水平分辨率 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 或 $200\text{ m}\times 200\text{ m}$ 的风能资源分布,这就必须采用小尺度数值模式。对于非常平坦而光滑的地表条件,可采用基于质量守恒原理的线性小尺度线性诊断模式。对于山区和粗糙的地表条件,需采用基于非线性湍流闭合方案求解的大气边界层模式。如果是遇到陡峭地形,或是需要计算风机之间尾流的影响,则需要采用计算流体力学模式(CFD)。由此看来,风能资源评估的数值模拟不能缺少小尺度数值模式。

目前各国对中尺度数值模式都比较开放,如美国的 MM5 和 WRF、加拿大的 MC2 等,但对于小尺度模式,一般都是制作成商业软件,为风电场建设工程项目提供技术咨询服务。在中国的风能资源评估工作中,除了中国气象局引进了加拿大风能资源数值模式 WEST 以外,基本上都是采用美国中尺度数值模式 MM5,或者是购买丹麦 Risoe 实验室的商业软件 WA^SP。中国国土面积大,地形条件十分复杂,国外的数值模式,尤其是欧洲的小尺度数值模式,其中的湍流闭合参数都是基于其本地的近地层湍流观测实验结果确定的,与中国的地形地表状况相差甚

远,这也是中国的 WAsP 客户普遍反映丹麦 WAsP 软件计算结果误差太大的原因。因此,中国的风能资源开发迫切需要自主发展小尺度数值模式。

我们相信在今后的几年中,中国必将发展出有自主知识产权的小尺度数值模式,包括计算流体力学模式,建立适用于中国的风能资源数值模式系统,为中国风电发展规划、风电场建设和风电场运营的风能资源短期数值预报提供有力的技术支持。

参考文献

- [1] 李俊峰. 风力 12 在中国. 北京: 化学工业出版社, 2005: 110pp
- [2] WMO & UNEP. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC WGI Fourth Assessment Report, 2007, Switzerland
- [3] Cristina L Archer, Mark Z Jacobson. Evaluation of global wind power. *J Geophys Res*, 2005, 110 (D12110), doi:10.1029/2004JD005462
- [4] Troen Ib, Erik L P. European Wind Atlas. Risoe National Laboratory, 1989
- [5] Xue Heng, Zhu Ruizhao, Yang Zhenbin, et al. Assessment of wind energy reserves in China. *Acta Energiæ Sloaris Sinica*, 2001, 22(2): 167-170
- [6] <http://www.windpowerindia.com/statwind.html>
- [7] Brower M C, et al. Applications and validations of the Meso-Map wind mapping system in different climatic regimes. *Proc. Amer Wind Energy Assoc, Windpower 2001*, June
- [8] Keith W Ayotte, Robert J Davy, Peter A Coppin. A simple temporal and spatial analysis of flow in complex terrain in the context of wind energy modelling. *Boundary-Layer Meteorol*, 2001, 98: 275-295
- [9] Coppin P A, Ayotte K A, Steggel N. Wind Resource Assessment in Australia—A Planners Guide. Wind Energy Research Unit, CSIRO Land and Water, 2003
- [10] Yu W, Benoit R, Girard C, et al. Wind Energy Simulation Toolkit (WEST): a wind mapping system for use by the wind-energy industry. *Wind Eengineering*, 2006, 30: 15-33
- [11] Atsushi Yamaguchi, Takeshi Ishihara, Yozo Fujino. An Assessment of Offshore Wind Energy Potential Using Mesoscale Model and GIS. 2004 European Wind Energy Conference & Exhibition, 22—25 November, London, U K, 2004

STUDY ON THE ASSESSMENT TECHNOLOGY OF WIND ENERGY RESOURCE

Li Zechun Zhu Rong He Xiaofeng Zhang De

Center for Wind and Solar Energy Resources Assessment, CMA, Beijing 100081

Abstract

The global energy crisis and climate change promote the rapid development of wind power generation in the whole world. To know well the distribution of wind energy resource is the key step to expand wind power generation project. This paper firstly reviews the wind energy resource assessment technologies of the past 10 years and expatiates on the numerical simulation technology playing an important role in this field. The numerical simulation of wind energy resource is able to give the distribution of wind energy resource at any interested height and to reveal the wind resources undetected by the observational data. Moreover, it is also able to overcome the lack of observational data over the sea to assess the offshore wind resources. The distributions of wind resources in Qinghai and Jiangsu province in higher resolution were simulated by the CMA's numerical modeling system and the simulated results were checked by the observational data. It is shown that the CMA's numerical modeling system is able to accurately simulate the distributive trend of wind resource in the concerned region, but there are systemic errors in the size of wind resource between simulation and observation. The mask's observed data could be used to correct simulated results. It is also indicated that the numerical simulation method combined with wind resource measurement is the effective technology for wind resource assessment. In the end, this paper discusses the prospect of Chinese numerical simulation technology for wind resource assessment, and emphasizes that it is urgent to develop micro-scale numerical model independently.

Key words: Wind energy, Resource assessment, Numerical simulation.