

文章编号: 1008- 2786- (2008) 2- 185- 04

## 山区风能资源与开发

高阳华<sup>1</sup>, 张跃<sup>2</sup>, 陈志军<sup>1</sup>, 熊垠州<sup>2</sup>, 邱新法<sup>3</sup>

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 重庆市发展和改革委员会, 重庆 401124;

3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 山区风能资源丰富, 观测资料匮乏; 山区风能资源分布复杂, 监测难度大, 评价要求高。山区风电开发的不利条件主要有: 地形多样, 地质复杂, 风场分布离散, 位置偏僻, 交通不便, 气候复杂, 建设要求高等; 有利条件主要有: 山区风能资源丰富、季节分布合理、开发利用价值高, 国家政策支持、风电效率不断提高、企业积极性高, 风电开发耕地占用少、移民少、环境影响小等。以此为基础, 提出了加强风能资源监测, 开展精细化的风能资源分布规律研究, 研制适合山区特点的风力发电机, 科学规划、分步实施和加强山区风电开发各个环节的科学研究等主要措施。

**关键词:** 山区; 风能资源; 风电开发; 措施

**中图分类号:** S161. 7, X37

**文献标识码:** A

开发新能源是国家能源建设实施可持续发展战略的需要, 是促进能源结构调整、减少环境污染、推进技术进步的重要手段。世界上很多国家, 尤其是发达国家, 已充分认识到风电在调整能源结构、缓解环境污染等方面的重要性, 将风电作为重要的新能源项目进行开发, 已取得较好的成绩。风电作为一种可再生的清洁能源, 具有增加能源和保护环境的双重功效, 特别是在全球气候变暖、常规能源逐步衰竭的背景下, 节能减排已从单纯的能源问题、环境问题上升为政治问题, 成为全球关注的热点问题, 中国政府对风能等可再生清洁能源的开发给予了高度重视。通过一定时期的探索, 中国风电开发也取得了初步的成绩, 风电装机规模迅速扩大, 增长速度不断加快, 目前已进入超常规的发展阶段。中国风电以其丰富的资源、良好的环境效益和逐步降低的发电成本, 将成为 21 世纪中国重要的电源。

风能资源是风电开发的关键问题, 同时, 风场的地形地貌和交通等条件也对风电开发有重要影响。由于较好的风能资源条件及立地环境和交通等条件, 中国三北地区和沿海地区成为风电开发的重点地区, 而广大的内陆山区风场的开发则处于被忽视的被动局面, 形成这种状况的原因是多方面的, 既与风能资源及其分布特征有关, 也与内陆山区风场复杂的环境条件有关, 更受山区测风资料匮乏的限制。因此, 开展对山区风电开发的系统性研究, 揭示山区风电开发面临的主要问题和优势, 提出山区风电开发思路, 作为山区风电开发的重要基础性工作就显得非常必要、非常迫切。鉴此, 本文将就山区风能资源状况、山区风电开发的有利和不利条件进行分析, 提出山区风电开发的主要措施, 为山区风电开发提供参考, 并引起各方面对山区风电开发的重视, 推进山区风电的健康快速发展。

收稿日期 (Received date): 2007- 10- 09; 改回日期 (Accepted): 2007- 12- 20。

基金项目 (Foundation item): 国家科技部“西部开发科技行动”重大项目 (2005BA901A01) 和重庆市科技攻关项目 (2004- 8397) [The Important Project of the Science and Technology Action in West China], supported by the Ministry of Science and Technology of People's Republic of China No. 2005BA901A01; the Project of Science and Technology Tackle Support by Chongqing Science & Technology Commission No. 2004- 8397.]

作者简介 (Biography): 高阳华 (1962- ), 男, 重庆奉节人, 高级工程师, 主要从事农业气象、气候资源开发利用及气象灾害等研究。[Gao Yanghua (1962- ), male, born in Fengjie, Chongqing, senior engineer, mainly engaged in agricultural meteorology, climatic resources exploitation and meteorological disasters and so on.] E-mail: gaoyanghua@sina.com; Tel: 023- 89116155

## 1 山区风电开发的重要意义

### 1.1 风电开发对振兴山区经济具有重要作用

随着经济社会的不断发展, 贫困山区的开发也在稳步推进, 对能源的需求迅速增长, 特别是南方山区人口密度较大, 经济建设和人民生活对能源的需求更为旺盛, 对能源供应的要求也更为迫切。通过山区风电场的建设, 不仅为山区建设提供了稳定的能源, 并为山区带来可观的财政收入, 还将带动山区交通建设, 促进对其他产业的投资和建设。同时, 绝大多数山区风电场所在地区风景秀丽, 旅游资源丰富, 风电场建设将增加一些新的旅游景观, 更加有利于山区旅游业做大做强, 所有这些都为山区经济发展提供了难得的机遇和动力, 对振兴山区经济具有特别重要的意义。

### 1.2 风电开发有利于保护山区生态环境

广阔的山区不仅肩负着发展经济的重任, 同时, 也肩负着生态环境保护的责任。发展山区风电产业不仅为山区经济发展提供能源保障, 还对山区生态环境的保护发挥重要的作用。一方面, 风电开发与其他能源项目相比对环境的破坏更少, 另一方面, 风电场提供大量的电力供应有利于减少山区农民对森林、草场等生态环境的消费。

## 2 山区风能资源特点

### 2.1 资源丰富, 观测资料匮乏

由于经济、技术条件的限制, 中国气象观测网站点稀少, 且基本分布于县级以上城镇附近, 其观测资料只能代表城镇附近的情况, 各种气象要素, 特别是风受地形条件的影响非常显著, 如果说这种情况在平原、高原和沿海地区还不太明显, 那么在山区就非常突出。在广阔的山区, 由于地形、地貌、坡向、河流、植被的影响, 使光、温、水、风、湿度等气象要素在不同海拔、不同区域的非正常变化, 形成冷、暖、干、湿、向阳、隐蔽、迎风、背风等不同组合的、多姿多彩的地形小气候, “一山分四季, 十里不同天”就是山区气候最形象的描述。风是受地形影响最大的气象要素, 现有风能资源观测资料的代表性非常有限, 尽管全国零星分布的几个高山气象站和一些地方开展的短期气候考察, 在一定程度上反映出高山风场具有较丰富的风能资源, 但由于风随地形分布的复杂

性, 仅用几个零星站点的资料, 根本难以推算地形复杂的山区风场的风能资源, 风能资源观测资料匮乏已成为影响山区风电开发的关键问题。

### 2.2 分布复杂, 监测难度大, 评价要求高

山区风能资源与海拔、地形、地貌、坡向、植被等密切相关。地形及其他环境因素的非规则变化, 造成山区风能资源的分布非常复杂, 尽管各地都存在一些有规模开发利用价值的风场, 但总的来看, 山区风能资源具有较明显的离散型分布特点, 连片风场面积一般较小, 风场之间、甚至在风场内风能资源分布差异明显, 提高了风能资源监测、评价的技术要求, 也增加了风能资源开发的难度。

## 3 山区风电开发利弊条件分析

### 3.1 不利条件

#### 3.1.1 地形多样, 地质复杂, 分布离散

山区风场地形多样, 如: 山岭(山脊)条形风场、高山草地风场、峡谷风场等等; 山区地质条件一般较好, 但分布也比较复杂, 点与点之间差异较大; 由于地形地貌的影响, 山区风场离散型分布的特点非常显著, 风能资源受地形影响差异较大。复杂的地形、地质和风能资源分布增大了风能资源考察、评价、风电场规划和建设的难度。

#### 3.1.2 位置偏僻, 交通不便

通常山区风能资源丰富地区地处各省市(区)或各县交界地带, 位置偏僻, 地势高突, 尽管部分风场因旅游、矿产资源开发带动了交通建设, 交通条件较好, 但大多数山区风场交通条件较差, 缺乏基本的运输条件或大型设备的运输条件, 成为山区风能资源考察和风场建设的限制性因素。尽管多数山区风场离行政中心、人口密集区和经济中心地区的直线距离并不太远, 但较差的交通条件使实际距离增长、运行难度增大。

#### 3.1.3 气候复杂, 建设要求高

通常山区风场气候复杂, 特别是南方山区风场海拔较高, 多在海拔 1 500~ 3 000 m 之间, 正处于低云之中或低云附近高度, 很多时间云雾缭绕, 空气湿润, 雷暴频繁, 加之风速较大, 加大了风电场的建设难度, 要求风机材料抗锈蚀、抗腐蚀性好, 对防冻、避雷的要求也明显提高。

### 3.2 有利条件

#### 3.2.1 资源丰富, 季节分布合理, 开发利用价值高

自 2004 年开展新一轮的全国风能资源评价工作以来, 很多省、区、市在山区建设了测风塔, 开展了实地测风工作。经过几年的实地监测, 许多省、区、市都发现了一些风能资源丰富的风场。以重庆为例, 一些风场的年平均风速可以达到  $7 \text{ m/s}$  以上, 且风速的季节变化相对较小, 与水电的互补性较强, 具有较高的开发利用价值。可以预期, 随着风能资源专业监测网的建设、运行, 精细化的风能资源模拟技术的逐步完善和推广, 更多的山区风场将被人们所认识, 为山区风电开发提供丰富的资源。

### 3.2.2 国家政策支持, 风电效率不断提高, 企业积极性高

随着经济社会的不断发展, 能源和环境成为全球性的热点问题, 受到各国政府的高度关注。中国政府对可再生能源、特别是可再生的清洁能源高度重视, 专门制定了《可再生能源法》。风电作为可再生的清洁能源, 具有能源开发利用和生态环境保护的双重效益; 风电开发技术成熟、运行安全、规模开发利用价值高, 得到各级政府的高度重视, 从政策和投入上都给予了大力扶持。近年来, 中国制定了提高清洁能源在能源总量中的比例和风电在上网补贴方面的相关政策, 为风电发展提供了强有力地支持; 同时, 随着风机研发和制造水平的不断提高, 风机的发电效率也在快速提高, 目前发达国家甚至实现了微风发电, 对风电开发提供强大的科技支撑。在政策和科技进步的支持下, 企业开发风电的积极性也空前高涨。

### 3.2.3 风电开发耕地占用少, 移民少, 环境影响小

无论是火电还是水电开发都会对环境带来较大的影响, 特别是因开发带来的移民问题更是成为电力开发的棘手问题。但山区风场的位置一般都较偏僻, 地势高突, 气候寒冷, 基本不适宜人类居住, 人烟稀少, 有些风场附近荒无人烟。因此, 山区风电开发耕地占用少, 基本不占用良田沃土, 很多风场为高山草场, 风电开发甚至对植被都不会造成多大的影响, 环境影响很小。特别是山区风场人烟稀少, 移民极少, 或者不需要移民, 这无疑使山区风电较之其他能源的开发具有更大的优势。

## 4 推动山区风电开发的主要措施

### 4.1 加强风能资源监测

由于经济和技术等因素的限制, 气象观测站点

严重偏少, 特别是地形复杂的山区, 现有测风资料根本无法反映风能资源的实际分布。因此, 开展山区风电开发, 首先要结合风能资源详查和评价, 加强风能资源专业监测网建设; 要根据山区地形、地貌复杂的特点, 科学规划风能资源专业监测网; 监测站点布局要突出重点, 重点增加风场及邻近地区监测站点密度, 适当兼顾不同地形、地貌, 既能反映风能资源的一般分布, 有能突出风场内风能资源的精细分布, 既能满足风能资源详查和评价工作的需要, 又能适应风电场建设和运行的需要。

### 4.2 开展精细化的风能资源分布规律研究

在测风资料严重偏少的情况下, 以现有风能资源监测资料为依据, 利用数值模拟和 GIS 技术开展精细化的风能资源分布规律研究, 揭示风能资源的地形分布规律, 为风能资源评价、风电场规划和运行提供依据, 对充分开发利用风能资源具有非常重要的意义。过去, 有关专家学者<sup>[1-3]</sup>曾就地形对风的影响、风的数值模拟进行过一些理论研究, 但将其应用于大范围山区风能资源计算和风能资源评价的研究较少见。近年来, 重庆市气象科学研究所与南京信息工程大学根据地形对风的影响规律, 利用数值模拟和 GIS 技术研究了重庆市风能资源的精细化分布, 计算得到  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  网格风速和风功能密度等风能资源参数 (图 1), 克服了山区风能资源

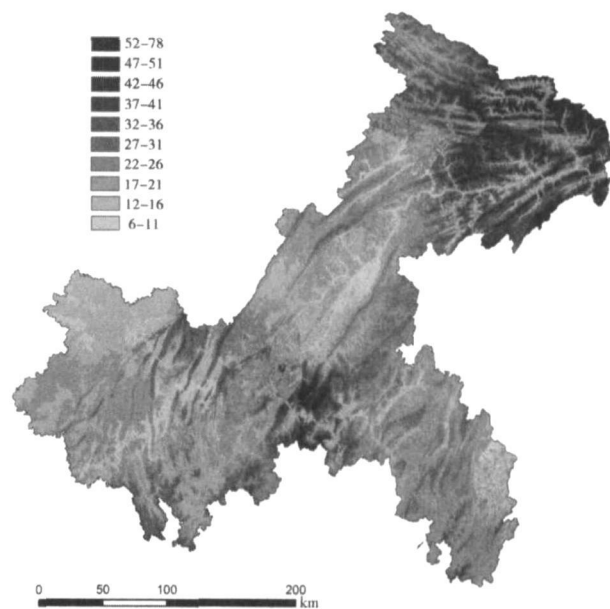


图 1 重庆市年平均风速空间分布 (单位:  $0.1 \text{ m/s}$ )

Fig 1 Distribution of year average wind speed in

Chongqing (unit  $0.1 \text{ m/s}$ )

监测资料严重缺乏的困难,在重庆市风能资源评价和风电场规划工作中发挥了关键性作用,为重庆市找到了一批具有规模开发价值的风电场,改变了重庆市风能资源没有开发利用价值的观点,使风电正式进入《重庆市“十一五”能源规划》。目前,一批电力开发企业已进入风场开展前期工作。

#### 4.3 研制适合山区特点的风力发电机

山区气候复杂、气象灾害频繁,因此,风电开发过程中,风机材料选取和性能设计都应考虑与山区气候特点相适应。从实际情况看,山区风场海拔较高,云雾多、湿度大,风机材料必须要有较强的防锈蚀能力;受地形影响,山区风向的稳定性不如平原和沿海,因此,在风机的设计上要突出对风向频繁变化的适应能力;同时,山区风场地势高,受雷电的威胁相对突出,风机防御雷电的能力应给予高度重视。此外,加强风、光一体机的研制,充分利用风光互补的优势,将风能转换和光伏转换作为一个有机的整体进行统一设计,对促进山区风能和太阳能的开发利用无疑具有作用。

#### 4.4 科学规划,分步实施

由于地形、气候、交通、技术、经济等方面的原因,山区风场开发的要求较其他地区要高,必须科学规划、分步实施,要加强风能资源监测、评价工作,利用各种新技术加强精细化的风能资源分布规律研

究,全面揭示风能资源的分布状况,并综合考虑经济、交通等其他条件,编制风电场规划,并纳入当地能源发展规划,根据经济、技术和交通条件分步实施风电场的建设。

#### 4.5 加强山区风电开发各个环节的研究工作

风电开发在我国是一项刚刚起步的朝阳产业,也是复杂的系统工程,特别是山区风电建设环境更为复杂,必须加强相关领域的科学研究,提高风能资源监测、评价,风电场规划、建设和营运等各个环节的科技含量,确保山区风电事业的健康发展。

#### 参考文献 (References)

- [1] Fu Bao-pu, Wen Du-ming, Yu Jin-ming *et al.* Study on Microclimate[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1994: 246~252  
[傅抱璞, 翁笃鸣, 虞静明, 等. 小气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 246~252]
- [2] Yuan Chun-hong, Yang Zhen-bing, Xiao Yan. The numerical simulation wind speed over the mountainous areas[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2002, 23(3): 374~377 [袁春红, 杨振斌, 薛衍, 等. 复杂地形风速数值模拟[J]. 太阳能学报, 2002, 23(3): 374~377]
- [3] Yu Qi, Lin Yuan-zhong. Vector interpolation of wind fields over complex terrain[J]. *Radiation Protection*, 2001, 21(4): 213~218 [余琦, 刘原中. 复杂地形上的风场内插方法[J]. 辐射防护, 2001, 21(4): 213~218]

## Wind Energy Resources and Exploitation in Mountainous Area

GAO Yanghua<sup>1</sup>, ZHANG Yue<sup>2</sup>, CHEN Zhijun<sup>1</sup>, XIONG Yinzhou<sup>2</sup>, QIU Xinfu<sup>3</sup>

(1. Chongqing Institute of Meteorological Science, Chongqing 401147, China;

2. Chongqing Development and Reform Commission, Chongqing 401121, China;

3. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract** There are abundant wind energy resources and lacked observational data in mountainous area. The wind energy resources distribution in mountainous area is complex, difficult to monitor and evaluate. Wind electricity exploitation in mountainous area have some adverse conditions, such as diverse terrain and complicated geological discrete wind distribution, traffic inconvenience to the remote location, complex climate, higher building requirements. On the other hand, there are many favorable conditions, such as abundant wind energy resources, reasonable seasonal distribution, high value of exploitation and utilization, supported by state policies, continuous improvement of wind electricity efficiency, high enthusiasm of enterprises, less arable land occupation, less environmental impact, fewer immigrants and so on. On this basis, the article proposed some main measures, including strengthening the wind resource monitoring, developing study on the fine distribution of wind energy resource, manufacturing the wind power generators adapted to mountainous areas, scientific planning and step-by-step implementation, and strengthening study on all links of wind electricity exploitation.

**Key words** mountainous area, wind energy resources, wind electricity exploitation, measure