

王娟敏, 高雪玲, 毛明策, 等. 基于 GIS 的陕西风电场微地形选址技术研究 [J]. 陕西气象, 2014 (4): 15-19.

文章编号: 1006-4354 (2014) 04-0015-05

基于 GIS 的陕西风电场微地形选址技术研究

王娟敏¹, 高雪玲², 毛明策¹, 雷杨娜¹

(1. 陕西省气候中心, 西安 710014; 2. 陕西省环境科学研究设计院, 西安 710061)

摘 要: 以陕西已建成的风电场区域为对象, 通过对其数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 进行宏观和微观的数字地形分析, 了解其不同地形因子的数字分布阈值, 确定满足风电场建设的地形因子条件; 再结合风能资源数值模拟结果, 形成风电场微地形选址的重要条件; 通过该条件对全省 1:25 万 DEM 进行网格搜索, 最终形成全省风电场选址建设区划图。

关键词: 风能资源; 地形因子; 风电场微地形选址

中图分类号: TM614

文献标识码: A

风能资源是重要的可持续发展的新能源, 风电资源的合理开发利用, 既可以提供充足的电力, 又充分减少了环境的压力, 还可为当地增加新的旅游景观, 具有明显的社会效益和环境效益^[1-2]。为企业选择合适的风电场场址是风电项目建设前期工作的重要内容, 风电项目选址除了需要分析当地的风能资源, 还要考虑电网接入、交通条件、地形条件、土地利用等影响因子, 而地形条件是影响风能资源丰富程度的重要因素^[3-4]。

目前陕西风电场选址方法主要是内业地图判读和外业现场调研相结合, 内业判读是在 GIS 软件中通过数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 对待选地点的大致地形进行初次判读, 了解其海拔高度、地形起伏度等情况, 再通过外业实地调查来进一步考察确定具体选址地点。但由于内业判读时仅仅是了解大致地形地貌, 对其微观地形如坡度变率、坡向变率、地表粗糙度等未进行细致研究, 常导致外业调查与内业判读结果会有较大偏差, 有时不得不重新选址, 因此, 该方法已经不能满足风电场选址要

求, 需要寻找一种适合于大面积筛选、可自动化处理的手段来分析地形状况, 初步判别其建设风电场的可行性^[5]。以陕西省已建成的风电场区域为对象, 通过对其数字高程模型进行宏观和微观的数字地形分析, 了解其不同地形因子的数字分布阈值, 确定满足风电场建设的地形因子条件; 再结合风能资源数值模拟结果, 形成风电场微地形选择的重要条件; 利用该条件对全省 1:25 万 DEM 进行网格搜索, 最终形成全省风电场选址建设区域划分图, 实现风电场选址工作的自动化和科学化。

1 数据和方法

1.1 三种风能资源观测资料的融合

1.1.1 风能资源数值模拟资料 采用中尺度模式 MM5 及诊断风场模型 CALMET 进行全省风能资源的短期数值模拟。MM5 (Mesoscale Model 5) 是由美国国家大气研究中心 (NCAR) 和美国宾州大学 (PSU) 在原有的流体静力模式 MM4 基础上发展的新一代中尺度非流体静力模式, 具有多重嵌套能力、非静力动力模式以及四维同化的能力, 用来模拟或预报中尺度和区域尺

收稿日期: 2014-01-23

作者简介: 王娟敏 (1983—), 女, 山西寿阳人, 汉族, 硕士, 工程师, 从事气候变化及气候资源应用研究。

基金项目: 陕西省自然科学基金项目 (2012JM5012), 陕西省气象局科技创新基金项目 (2012M-4), 陕西省气象局 2012 年重点项目 (2012z-3)

度的大气环流。CALMET 是美国 EPA (U S Environmental Protection Agency) 推荐的由 Sigma Research Corporation (现在是 Earth Tech, Inc 的子公司) 开发的环境空气质量模拟系统中用来模拟复杂地形风场的气象模式, 利用质量守恒原理对风场进行诊断, 是一个包括地形影响下的动力学流体效应、地形阻塞效应参数化、差分最小化和一个用于海陆边界层和大面积水体区域上的, 计算混合层高度、稳定性、海陆风环流、山谷风环路等的基于 3D 网格点的边界层气象学模型^[6-8]。

MM5 模拟计算区设置为双重嵌套, 第一重网格精度 27 km, 南北 66 个网格, 东西 99 个网格; 第二重网格精度为 9 km, 南北 103 个网格, 东西 64 个网格; 中心经纬度均为 35.5°N, 108.5°E。CALMET 模拟依据两个详查区, 设置两个模拟区域, 以陕北长城沿线详查区为基础, 设置模拟区一, 中心经纬度 37.25°N, 108.5°E, 网格精度 1 km, 东西 568 个网格, 南北 460 个网格; 以渭南黄河沿岸详查区为基础, 设置模拟区二, 中心经纬度 33.25°N, 108.5°E, 网格精度 1 km, 东西 568 个网格, 南北 460 个网格。物理过程采用湿微物理过程参数化, 边界层物理过程参数化。其中边界层物理过程参数化使用 Mellor&Yamada 的 level 2.5 闭合方案和 MRF 方案。

模拟时段为 2009 年 6 月至 2010 年 5 月。逐日进行模拟, 积分时间 36 h。起算时间为每日 12 时 (世界时), 第三日 00 时终止。模式输出结果为后 24 h 逐时 (即北京时 09、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24, 第二日 01、02、03、04、05、06、07、08) 距离地面 150 m 高度范围内每 10 m 间隔高度层上每个格点的风向、风速以及地面温度、相对湿度和气压。输入资料包括: 地形地表资料——水平分辨率为 3" 的 SRTM3 资料; Landuse 数据使用 30" 水平分辨率的 USGS 资料。第一初值场采用 2009 年 5 月 31 日至 2010 年 6 月 1 日每日 4 个时次的 NCEP1°×1°全球再分析资料; 常规气象资料为北京时 08 时与 20 时陕西境内 96 个地

面气象站及 4 个探空站的观测资料, 以每日 12 时 (世界时) 的 NCEP 再分析资料为初始时刻。

图 1 (见 17 页) 为模式输出的陕西 2009 年 6 月—2010 年 5 月全省年平均风速模拟结果。由图可见, 全省年平均风速为 1.6~8 m/s, 其中陕北地区为风速最大, 大部分地区平均风速大于 6 m/s, 延安属于年平均风速较高的地区为 5.1~6 m/s; 关中和陕南地区风速较小, 受地形影响显著, 部分地区风速低于 3 m/s。

1.1.2 测风塔观测资料 目前全省已经建成并开展观测 (7 层观测数据) 的 107 座风塔中, 有 9 座已具有 2009—2010 年观测数据, 使用“风能资源计算评估系统”软件对 9 座测风塔 2009—2010 年的测风数据进行合理性检验及订正处理, 计算得到其 70 m 高度的年平均风速, 风速主要集中在 4.6~6.6 m/s 之间。

1.1.3 气象站风观测资料 提取 2009 年 6 月—2010 年 5 月全省各气象站风速观测资料, 计算得到各站年平均风速值, 并根据公式 (1) 将其换算为 70 m 高度平均风速

$$V_{70}=V_{10} (70/10)^{0.16}。 \quad (1)$$

比较测风塔观测数据、气象站观测数据和数值模拟资料可见, 气象站观测资料明显小于其他两种数据, 为了保证数据的合理性, 不采用气象站观测资料。

1.1.4 风能资源资料融合 由于具有 2009—2010 年观测数据的测风塔只有 9 座, 主要集中在陕北榆林地区, 不能代表全省其他区域的风资源情况, 因此选取榆林地区作为研究区域。

提取测风塔所在位置的模拟数据, 与观测资料进行差值计算, 并将计算结果插值到整个研究区域; 将插值结果与模拟数据相加得到订正后的结果 (见图 2)。从图 2 可知, 榆林地区定边、靖边和横山的部分地势较高的地区风速最高达到 6 m/s 以上, 榆林市、神木和府谷县部分地区为 5.1~6.0 m/s, 其他地区小于 5 m/s。根据《风能资源综合评价技术要求》风功率资源等级划分标准, 年平均风速达到 5.8 m/s 的风速等级为 1 级, 主要集中在定边、靖边、榆林市和横山部分地区。

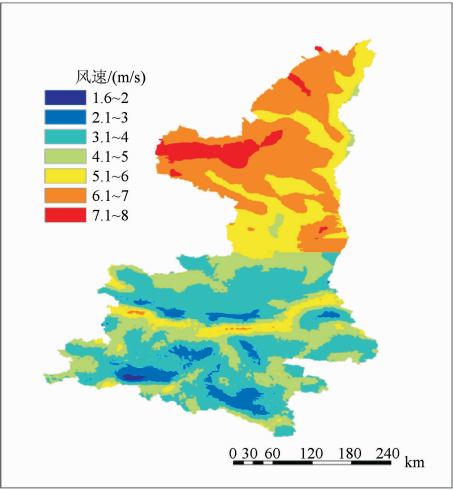


图 1 陕西省风能资源数值模拟结果

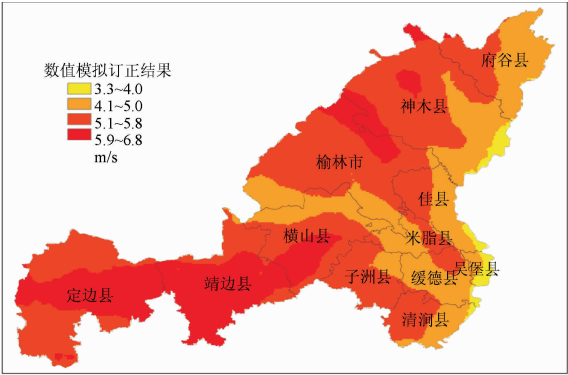


图 2 榆林地区年平均风速分布图

1.2 基于 DEM 的地形因子提取及阈值确定

1.2.1 提取风能资源丰富的已建成风电场区域 DEM 根据榆林地区已建成的风电场区域，叠加年平均风速分布图、DEM 数据，提取风能资源丰富区域的 DEM（如图 3）。

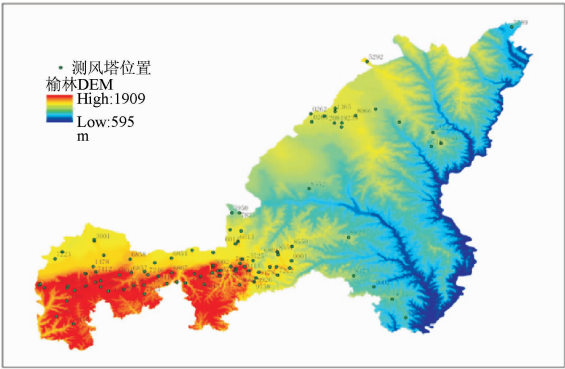


图 3 榆林地区测风塔位置分布图

1.2.2 提取地形因子 数字地形分析是以数字高程模型为数据源进行地形表面特征提取和表达的地形处理方法，数字地形分析的基础和必要条件是 对地面形态进行简单精确的数字化表达。许多地形因子都是基于 DEM 数据进行一阶或二阶计算推导出来的，也有的是通过某种组合或复合运算得到的，如坡度、坡向、变异系数等因子是对 DEM 进行一阶求导得到的；平面曲率、剖面曲率等是对 DEM 求二阶导数得到的。不同的地形因子反映不同的地貌特征，这些地形因子都是反映自然界特点的最基本的地理要素。总体上说，可以将地形因子分为两类：微观地形因子和宏观地形因子。微观地形因子是对地面上具体的某个点的特征进行描述，如果范围是一定区域，微观地形因子则没有实际意义。而宏观地形因子是对一定区域内的地貌特征进行描述，在某一具体的点上宏观地形因子是没有实际意义的^[9]。

根据已建成风电场区域的数字高程模型，使用 ArcGIS 空间分析功能，从宏观和微观地形因子两方面对其进行数字地形空间分析，其中宏观地形因子包括地形粗糙度、地形起伏度和高程变异系数；微观地形因子分析包括坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率、坡度变率、坡向变率等。各地形因子提取结果。

①坡度是指表面的倾斜或者陡峭程度，提取结果在 0~30°之间，其中 0~15°的坡地占总面积超过 90%（见图 4）。

②坡度变率（Slope of Slope，SOS）是指地面坡度在微分空间的变化率，是依据坡度的求算原理，在所提取的坡度值的基础上对地面每一点再求算一次坡度。即坡度之坡度。提取结果在 0~10 之间，其中 0~3 的变率占总面积约 90%（如图 4）。

③地形起伏度是在所指定的分析区域内所有栅格中最大高程与最小高程的差。它是描述一个区域地形特征的宏观性指标，其每个栅格的值是以这个栅格为中心的确定领域的地形起伏度。地形起伏度的计算，可先使用 Spatial Analyst 中的栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics 分别求得最大值和最小值，然后对其求差值即可。由提

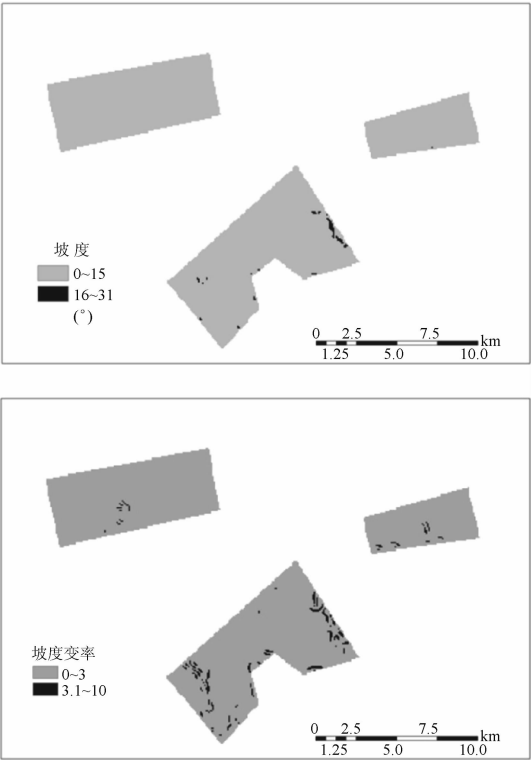


图 4 坡度和坡度变率提取结果

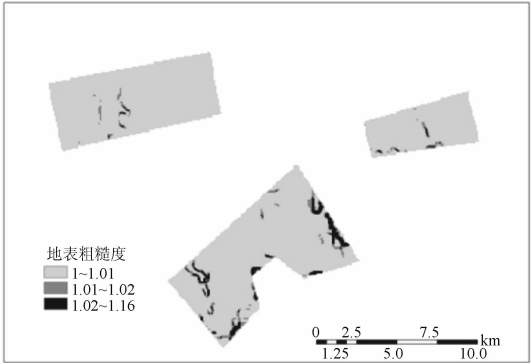


图 5 地表粗糙度提取结果

高程不同点的数量作为重要参考指标，以此来描述局部地形起伏变化。它以格网单元顶点的高程标准差与平均高程的比值来表示。计算结果如图 6。由图可见，风电场区域的高程变异系数较小，主要集中在 0~0.01 之间，说明相对变化小，地形相对平坦的地方适合建风电场。

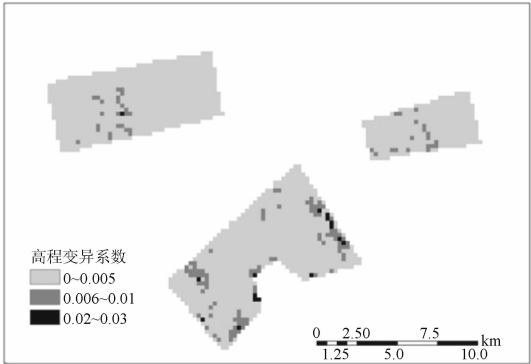


图 6 高程变异系数提取结果

取结果可见，风电场区域的地形起伏度主要集中在 0~35 m 之间，即地形较为平缓，起伏不明显。

④地表粗糙度是反映地表的起伏变化和侵蚀程度的宏观指标，一般定义为地球表面积与其投影面积之比。地面粗糙度的提取步骤：选择表面分析中的坡度（Slope）工具，提取得到坡度数据层 Slope；点击 Slope 图层，在 Spatial Analyst 下使用栅格计算器 Raster Calculator，公式为 $1/\cos ([\text{Slope}] \cdot 3.14159/180)$ ，即可得到地面粗糙度数据层。需要注意的是，在 ArcGIS 中，cos 使用弧度值作为角度单位，而利用表面分析工具提取得到的坡度是角度值，所以在计算时必须把角度转为弧度。计算结果如图 5，由图可见，风电场区域的地表粗糙度主要集中在 1~1.02 之间，即地表比较均匀，粗糙度小。

⑤高程变异系数是反映分析区域内地表单元格网各顶点高程变化的指标。一般邻近范围内相同高程点的数量较多的地方主要位于平原或台地的中间，而邻近范围内高程差异较大的地貌单元主要为山地或丘陵地区，因此可以把邻近范围内

1.2.3 确定适宜的地形因子条件 总结各地形因子的提取结果，得到满足风电场选址的地形因子条件为：坡度 $<15^\circ$ ，坡度变率 <3 ，地形起伏度 $<35\text{ m}$ ，地表粗糙度为 1~1.02，高程变异系数 <0.01 。

根据全省 1:25 万 DEM 数据，在 ArcGIS 软件中，分别提取坡度、坡向、坡度变率、地形起伏度、地表粗糙度和高程变异系数等，并将各提取结果按照满足风电场选址的地形因子条件进行二值化处理（设风电场选址建设的不适宜区的值为 0，适宜区的值为 1）；将以上各地形因子计算结果值进行叠加运算，即栅格值相乘，即可得到全省适宜风电场选址建设的潜在微地形区域如图 7。

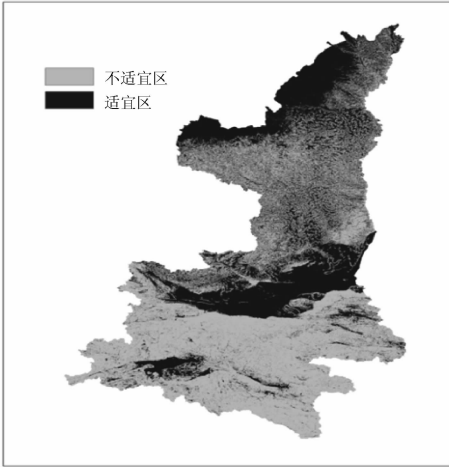


图 7 全省适宜风电场选址建设的潜在微地形区域图

2 结果分析

将图 7 与全省风能资源数值模拟结果图 (图 1) 叠加, 得到全省风电场选址建设区域划分图 (图 8)。由图可见, 全省适宜建设风电场的区域主要集中在风能资源相对丰富的陕北榆林长城沿线区域, 该区域处于陕西省最北部, 黄土高原北端, 毛乌素沙漠南部边缘。主要包括榆林的定边县、靖边县、横山县和榆阳区的长城沿线区域以及神木县西北部部分地区。另外延安地区的洛川、黄龙以及渭南市的韩城、合阳、澄城黄河沿岸区域从地形和风资源状况两方面都适宜建设风电场。陕北榆林地区南部、延安大部、关中地区以及陕南汉中盆地及商洛和安康部分地区风能资源较好, 地形相对平缓, 在一定条件下也能满足风电场建设要求。秦岭山地地形相对复杂, 对风电场的局地影响非常显著, 同时年平均风速低于 3 m/s, 不适宜建设风电场。

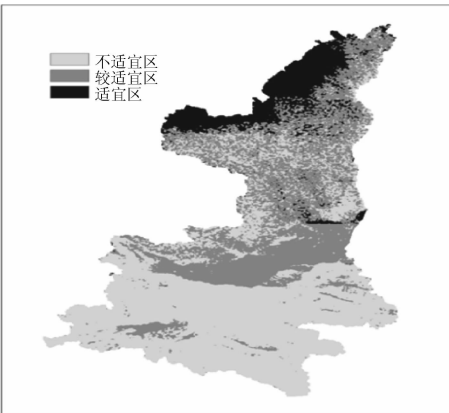


图 8 全省风电场选址建设区域划分图

3 结论与讨论

(1) 陕西省适宜建设风电场的区域主要集中在风能资源相对丰富的陕北榆林长城沿线、延安地区的洛川、黄龙以及渭南市的韩城、合阳、澄城黄河沿岸区域; 全省较适宜建设风电场的区域主要集中在陕北榆林地区南部、延安大部、关中地区以及陕南汉中盆地及商洛和安康部分地区; 秦岭山地地形相对复杂, 对风电场的局地影响非常显著, 同时年平均风速低于 3 m/s, 不适宜建设风电场。

(2) 研究中存在的问题以及下一步需要改进的方面主要有: ①同期测风塔数据较少, 订正完成的榆林地区年平均风速分布结果不够准确, 导致提取的已建风电场的 DEM 数据也不够准确。②DEM 数据精度为 1:25 万, 数据分辨率较低, 本身已经剔除了很多精确的微地形信息, 考虑选用更高精度的 DEM 进行计算。③根据不同地形因子的数值分布阈值, 叠置形成满足风电场选址条件时, 对于有影响力的地形因子只是简单的叠加, 下一步工作可以考虑计算各因子所占的权重, 通过建立合适的评价模型来最终确定适宜风电场建设的微地形区域。

参考文献:

[1] 张希良. 风能开发利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

[2] 罗勇, 杨振斌, 陈显扬, 等. 中国风能资源评估工作现状分析及发展计划咨询报告 [R]. 北京: 中国气象局, 2005.

[3] 于力强, 苏蓬. 风电场选址问题综述 [J]. 中国新技术新产品, 2009 (7): 7-156.

[4] 包小庆, 张国栋. 风电场测风塔选址方法 [J]. 资源节约与环境, 2008, 24 (6): 06-55.

[5] 吴培华. 风电场宏观和微观选址技术分析 [J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16 (15): 154-155.

[6] 周荣卫, 何晓风, 朱蓉. MM5/CAMLET 模式系统在风能资源评估中的应用 [J]. 自然资源学报, 2010, 25 (12): 2101-2112.

[7] 惠小英, 高晓清, 桂俊祥, 等. 酒泉风电基地高分辨率风能资源的数值模拟 [J]. 高原气象, 2011, 30 (2): 538-544.

[8] 张超, 罗伯良. 基于 GIS 技术的湖南风能资源精细化评估 [J]. 湖南电力, 2011, 31 (3): 11-14.

[9] 毕晓玲. 地形因子在四川省滑坡灾害敏感性评价中的适用性分析 [D]. 北京: 首都师范大学, 2011: 11-16.