

基于 GIS 的河南省风能资源时空分布及利用

张红卫^{1,2,3}, 陈怀亮^{1,2}, 张弘^{1,2}

(1. 中国气象局 农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003; 2. 河南省气象科学研究所, 郑州 450003;
3. 河南省新乡市气象局, 河南 新乡 453000)

摘要: 近年来, 无污染、可再生的绿色能源——风能, 其潜在的价值逐渐被开发与利用。为了更加合理地利用河南省风能资源及研究气候变化条件下河南省风能的变化趋势, 论文利用 1971—2000 年期间的河南省气象台站风速资料, 采用统计方法和流体力学风能计算方法, 结合 ArcGIS 系统对河南省的风能及分布进行了研究。研究结果表明: ①特殊的地形特征造就了河南省风速较大区域主要集中在豫北、豫中、豫东的平原地带及豫南, 西部及北部太行山区平均风速相对较小, 区域风速差值较大; ②30 a 间河南大部分区域的风速变化为逐渐减小趋势, 只有个别站点风速表现为趋势略增或趋势稳定; 豫东为风速减小最大的区域, 豫西、豫中及豫南地区风速变化趋势相对较小; ③风能研究发现最大值区域与平均风速地理分布基本一致, 最大风能区域在豫北、豫东、豫中及豫南一带, 最小风能区域主要集中在西部山区。

关键词: 地理信息系统; 风能; 河南省

中图分类号: TK89

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2011)06-1021-09

随着全球能源危机的到来, 风能作为一种无污染、可再生的绿色能源, 其潜在的价值、巨大的商业潜力和环保效益创造了最快增速, 年增幅达 35% 以上^[1], 开发利用风能已成为全球新能源开发的共同责任。随着风力发电技术的成熟, 投资风能是一项极具潜力的大产业, 发展风能对缓解能源危机、经济可持续发展及生态环境保护都具有重要的意义。

近些年来, 我国对风能的研究随着能源危机的加剧而不断深入。20 世纪 80 年代以来, 张文佳、张永战利用 1990—2005 年中国风电发展数据, 对风电的时空分布特征和发展趋势进行了比较分析, 把中国风电发展划分为试验性发展、规模发展、过渡发展 3 个阶段, 将中国风电场按省级划分为 3 个区域和 8 个亚区域^[2]。吴丰林、方创琳构建了中国风能资源开发阶段划分的指标体系, 并对中国风能资源开发利用阶段进行划分, 共分为 4 个阶段: 优化增长阶段、快速发展阶段、缓慢增长阶段和初始发展阶段^[3]。朱瑞兆、薛桁等对我国风能资源的储量和分布进行了研究^[4-5]。张振国对我国北方风能资源的开发利用现状与前景进行了分析, 指出了北方风能潜力的巨大与开发利用非常低之间的矛盾^[6]。钱莉等对河西走廊东部风能资源分布特征及开发利用进行了分析, 指出了不同地段风能利用的潜力差别^[7]; 李艳等研究了中国陆域近地层风能资源的气候变异和下垫面人为改变的影响, 我国年平均风速序列保持整体上减弱的气候变化趋势, 并且逐年降低的现象在中国陆域普遍存在^[8]。张鸿雁等对湖北省风能资源分布进行了数值模拟, 提出了在风速较大的地域进行加密监测, 同时为风能利用场地选择提供理论支持^[9]。毛慧琴等以 Surfer8.0 以及地理信息系统

收稿日期: 2009-12-12; 修订日期: 2010-12-01。

基金项目: “精细化农业气候区划及其应用系统研究”(河南)(GYHY(QX)2007-6-7)。

第一作者简介: 张红卫(1966-), 男, 高级工程师, 研究方向为遥感与应用气象。E-mail: xxqxjzhw1966@163.com

(GIS)为平台,利用广东省气象站历史测风资料以及沿海风能测风塔临时观测资料,进行了广东省风能资源的宏观区划和风电场选址区划^[10]。此外,王玉玺进行了甘肃省风及风能资源的研究^[11],王毅荣等研究了河西走廊风速变化及风能资源^[12],施鹏飞分析了风力发电在中国的现状与前景^[13]等等,这些研究揭示了中国不同地域风能的分布特征和开发利用前景,也得到了一些有意义的结果。

河南位于中国中东部、黄河中下游,界于北纬 $31^{\circ}23' \sim 36^{\circ}22'$,东经 $110^{\circ}21' \sim 116^{\circ}39'$ 之间,区域面积 $16.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,河南的地貌主要有两个特点:其一,地势西高东低,东西差异明显。其二,地表形态复杂多样,山地、丘陵、平原、盆地等地貌类型齐全。地跨暖温带和北亚热带两大自然单元的我国东部季风区内,气候比较温和,具有明显的过渡性特征。由于地形地貌和干旱气候的影响,这里有着极为丰富的光、热、风能等人们直接或间接利用的气候资源,河南境内风能主要来自于大气环流西风带大气运动的动能,特殊地形使河南风能资源丰富,对于能源比较紧张的省情来说十分可贵,但目前对该区域风能的利用率还不能满足国民经济发展的需要。

由于风速是随机性很强的变量,受下垫面地形影响十分显著,先前的研究成果基于地理信息的相对较少。随着“3S”技术的发展,特别是近些年来地理信息系统在资源科学中的应用日益广泛,对风能时空分布及变化趋势进行精细化研究是发展的迫切需要,本文利用1971—2000年河南省区域内地面风速资料结合河南省地理信息对河南省风能分布、变化特征进行研究。

1 资料及方法

采用河南省1971—2000年的风速资料,分别对各县进行统计,然后对各县的风速资料按冬(上年12月—2月)、春(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)及全年(上年12月—11月)进行趋势拟合,在取得各县的风速历史趋势(拟合之斜率)之后,采用ArcGIS方法分别对河南省春、夏、秋、冬及全年风速变化趋势分布进行制图和分析。

同时采用流体力学的方法,计算河南省境内的风能。流体力学定义气体的动能 W 为^[14]:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

式中: m 为气体质量, v 为气流速度。1 s内气流速度垂直流过截面积为 F 的气体体积 V' 为:

$$V' = vF \quad (2)$$

体积为 V' 的空气质量为 $m = \rho V'$,亦即 $m = \rho vF$ 。 ρ 为空气密度,单位为 (kg/m^3) 。

此时空气所具有的动能为:

$$W = \frac{1}{2}\rho v^2 F \quad (3)$$

空气密度 ρ 可用下式计算:

$$\rho = [1.276/(1 + 0.00366T)] \times [(P - 0.378e)/100] \quad (4)$$

式中: P 为气压,单位为hPa; T 为温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$); e 为绝对湿度,单位为hPa;取单位截面积 $F = 1$,即可计算出单位截面积、单位时间的风能。

2 河南省地理信息

河南省地势西高东低、北坦南凹,北、西、南三面有太行山、伏牛山、桐柏山、大别山四大山脉环绕,间有陷落盆地,中部和东部为辽阔的黄淮海冲积大平原。山区丘岭面积占 44.3%,平原面积占 55.7%。境内有黄河、淮河、卫河、汉水四大水系,其中淮河流域面积占 53%。

从河南省地形图可以看出,河南省最低海拔高度为 22 m,最高海拔高度为 2 386 m,不同的地形与环境造成了不同区域、不同季节风速变化的不同。大气压与空气密度会随着海拔高度的不同而变化,进而影响空气的运动速度,从而造成了风能的地区差异。

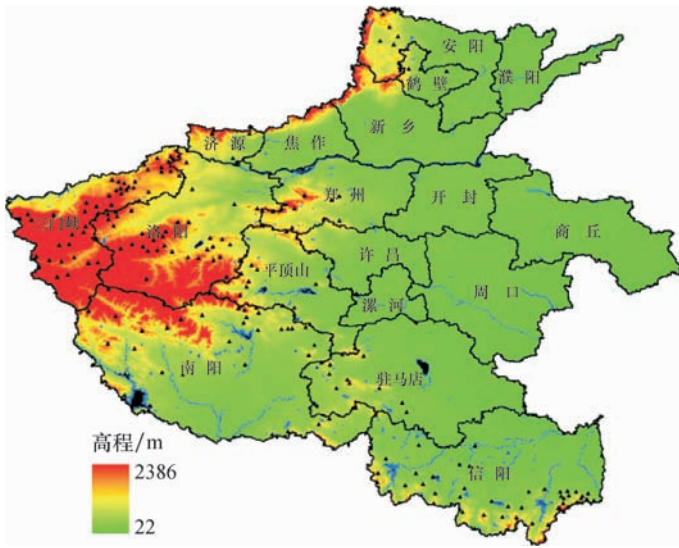


图 1 河南省地形

Fig. 1 The sketch map of GIS information of Henan Province

3 河南省风能资源时空变化

3.1 河南省平均风速的时空分布

在统计河南省各县气象站点平均风速的基础上,分别计算冬、春、夏、秋及全年的平均风速(表 1),采用 ArcGIS 进行分布制图(图 2)。可以看出,风速较大区域主要集中在豫北、豫中、豫东的平原地带及豫南,西部及北部太行山区平均风速相对较小。从全年平均风速来看,最大值(3.2 m/s)与最小值(0.9 m/s)相差 2.3 m/s。不同季节风速分布因气候的差异

表 1 河南省 1971—2000 年不同季节及全年平均风速 (m/s)

Table 1 The statistic value of average wind speed (m/s) in four seasons and whole year with data of 1971—2000

区站	新县	商城	光山	信阳	潢川	...	内黄	汤阴	台前	林州	南乐
春季	3.5	2.3	2.5	2.8	2.6	...	3.1	3.5	3.7	1.8	2.8
夏季	2.9	2	2.1	2.4	2.2	...	2.3	2.7	2.9	1.3	2.2
秋季	2.9	1.8	2	2.1	2	...	2.1	2.4	2.7	1	1.9
冬季	3.5	2.1	2.2	2.3	2.2	...	2.3	2.5	2.9	0.9	2
全年	3.2	2.1	2.2	2.4	2.3	...	2.5	2.8	3.1	1.3	2.2

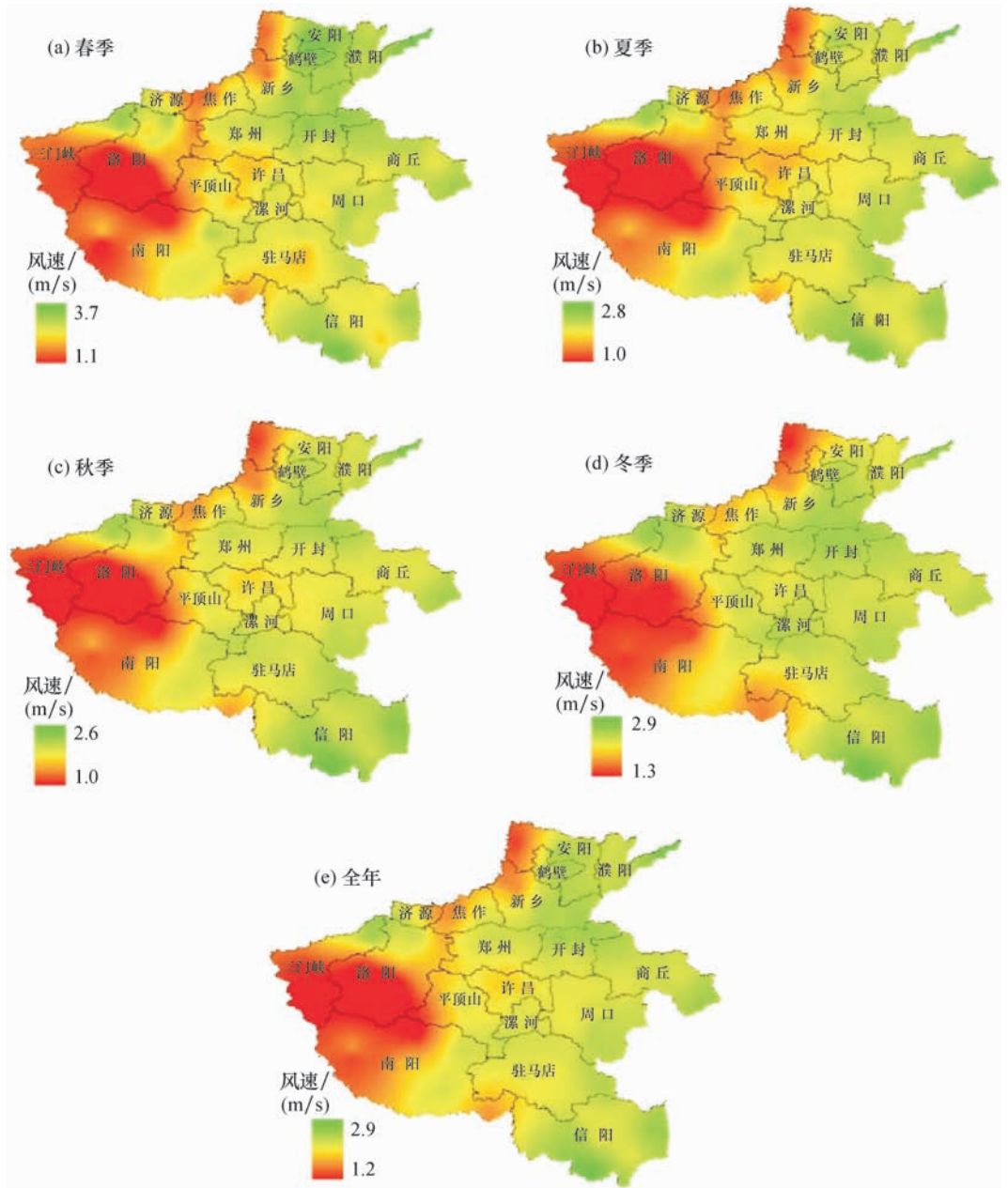


图2 河南省春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)及全年(e)平均风速分布

Fig. 2 The sketch map of average wind speed distribution in four seasons and whole year in Henan Province

及变化而稍有差异:春季最大的风速区域在豫北,最大风速(3.7 m/s)与最小风速(1.1 m/s)相差2.6 m/s;夏季最大(2.9 m/s)与最小(0.8 m/s)风速区域差为2.1 m/s,秋季最大(2.9 m/s)与最小(0.7 m/s)风速区域差为2.2 m/s,夏季与秋季最大的风速区域均在豫南;冬季的最大(3.5 m/s)与最小(0.8 m/s)风速区域差为2.7 m/s,最大风速区域在豫中沿黄一带。分析可以看出,冬季和春季为一年中风速较大的季节,并且不同区域风速相差较大。南阳由于其盆地特殊的地理特征,其东部表现出与其西部不同的风速分布,南阳东部风速较大,西部山区风速相对减小。

理论分析认为,平原地区风速较大主要是由于无论是来自北方的冷干气流,还是来自南方的暖湿气流,受到下垫面阻力较小,而山区及丘陵地区由于其地势的特殊性,增大了大气移动过程中的下垫面摩擦力,这样就造成了平原地区平均风速相对较大,山区及丘陵地区风速相对较小。同时冬季和春季冷空气活跃也造成了河南省风速季节差异增大。此研究成果为风力发电的站址选择上提供了一个宏观的地理分布概念与科学的理论支持。

3.2 河南省平均风速变化趋势

随着全球气候变化,局地气象要素变异性增强。以前的研究表明全球变暖造成了南北温度变化呈现出从南到北变暖趋势逐渐增大的现象,温度的变化就会造成大气运动的改变,从而影响风速的变化。在统计河南全省 30 a 风速的基础上,对风速变化进行趋势模拟,得出风速的变化趋势(表 2)。同时采用 ArcGIS 对风速变化趋势进行分布制图(图 3),可以看出,全省大部分区域的风速变化呈现减小趋势,这与李艳等的研究结果相符^[8],只有几个站点风速表现为趋势略增或趋势稳定;此外,全省变化趋势在不同的时间区间表现不尽相同,春季最大减小幅度最大,达 -0.0933 m/a ,秋季最大减小幅度最小,达 -0.0751 m/a ;夏季和冬季最大减小幅度也达到了 -0.0810 m/a 和 -0.0896 m/a ,全年最大减小幅度为 -0.0840 m/a ,风速减小趋势明显。其中豫东为风速减小最大的区域,而在豫西、豫中及豫南地区风速历史变化趋势相对较小(台站观测环境恶化可能也是导致风速减小的一个原因)。

表 2 河南省 1971—2000 年不同季节及全年平均风速变化趋势(m/a)

Table 2 The statistic value of changing trend of wind speed (m/a) in four seasons and whole year with data of 1971-2000

区站	新县	商城	光山	信阳	潢川	…	内黄	汤阴	台前	林州	南乐
春季	0.025 6	-0.035 0	-0.013 5	0.027 4	-0.059 5	…	-0.047 2	-0.045 4	-0.048 9	-0.030 6	-0.042 5
夏季	0.020 7	-0.034 4	-0.011 5	0.026 4	-0.051 4	…	-0.037 9	-0.031 3	-0.048 8	-0.016 0	-0.026 3
秋季	0.024 4	-0.027 9	-0.016 6	0.032 6	-0.055 1	…	-0.030 1	-0.029 9	-0.041 0	-0.018 1	-0.021 9
冬季	0.015 8	-0.032 2	-0.014 5	0.025 6	-0.061 9	…	-0.036 7	-0.050 1	-0.055 8	-0.018 7	-0.033 4
全年	0.021 6	-0.032 4	-0.014 0	0.028 0	-0.057 0	…	-0.038 0	-0.039 2	-0.048 6	-0.020 9	-0.031 0

3.3 河南省区域风能分布

风能的变化与风速、大气压、水汽压、下垫面温度等诸多气象要素密切相关。河南地势是西高东低,西部是山区,东部是平原,海拔高度差达 2 300 m 以上,由气象学理论知道,随着海拔的增加,空气密度和大气压都会发生变化,同时因为下垫面的不同造成了下垫面温度的差异,也就造成了近地面层空气流动的差异,从而影响风速的多变性。采用流体力学中空气动能的计算公式,同时考虑多种气象要素对河南省区域的风能进行计算,得出了河南省不同时间单位截面积的风能值(表 3),采用 ArcGIS 对风能的区域分布进行制图(图 4)。分析发现不同区域风能差异较大,单位面积春季最大(0.0837 kW)与最小(0.0071 kW)差值达到了 0.0766 kW ,夏季最大(0.0486 kW)与最小(0.0036 kW)差值达到了 0.045 kW ,秋季最大(0.0507 kW)与最小(0.0029 kW)差值达到了 0.0478 kW ,冬季最大(0.0778 kW)与最小(0.004 kW)差值达到了 0.0738 kW ,全年最大(0.0616 kW)与最小(0.0048 kW)差值达到了 0.0568 kW 。可以看出春季地域之间的风能差值最大,冬季次之,夏季地域之间的风能差值最小。风能最大值区域与平均风速地理分布基本一致,最大风能区域在豫北、豫东、豫中及豫南一带,最小风能区域主要集中在西部山区。

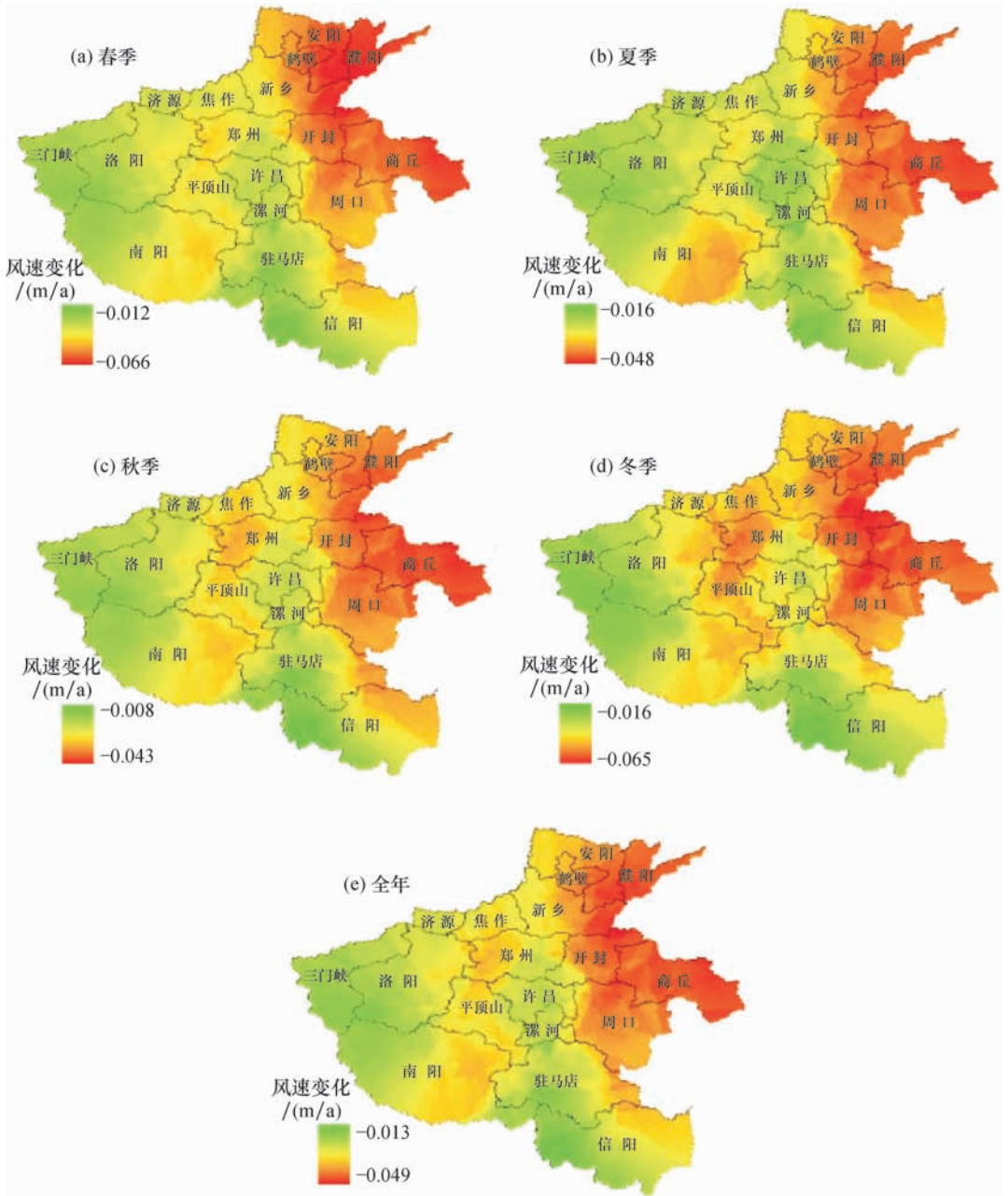


图3 河南省春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)及全年(e)平均风速变化趋势分布

Fig. 3 The sketch map of changing trend of average wind speed in four seasons and whole year in Henan Province

表3 河南省1971—2000年不同季节及全年平均风能(kW)

Table 3 The statistics value of wind energy (kW) in four seasons and whole year with data of 1971 - 2000

区站	新县	商城	光山	信阳	潢川	...	内黄	汤阴	台前	林州	南乐
春季	0.073 7	0.032 0	0.037 9	0.047 2	0.041 0	...	0.058 6	0.074 6	0.083 7	0.019 2	0.047 8
夏季	0.048 0	0.022 9	0.025 4	0.032 9	0.027 9	...	0.030 5	0.042 0	0.048 6	0.009 5	0.027 9
秋季	0.050 7	0.019 6	0.024 3	0.026 6	0.024 3	...	0.027 0	0.035 2	0.044 7	0.006 0	0.022 1
冬季	0.077 8	0.028 1	0.031 0	0.033 7	0.031 1	...	0.034 4	0.040 5	0.054 8	0.005 1	0.026 0
全年	0.061 6	0.025 4	0.029 4	0.034 7	0.030 7	...	0.036 7	0.047 0	0.057 0	0.009 3	0.030 3

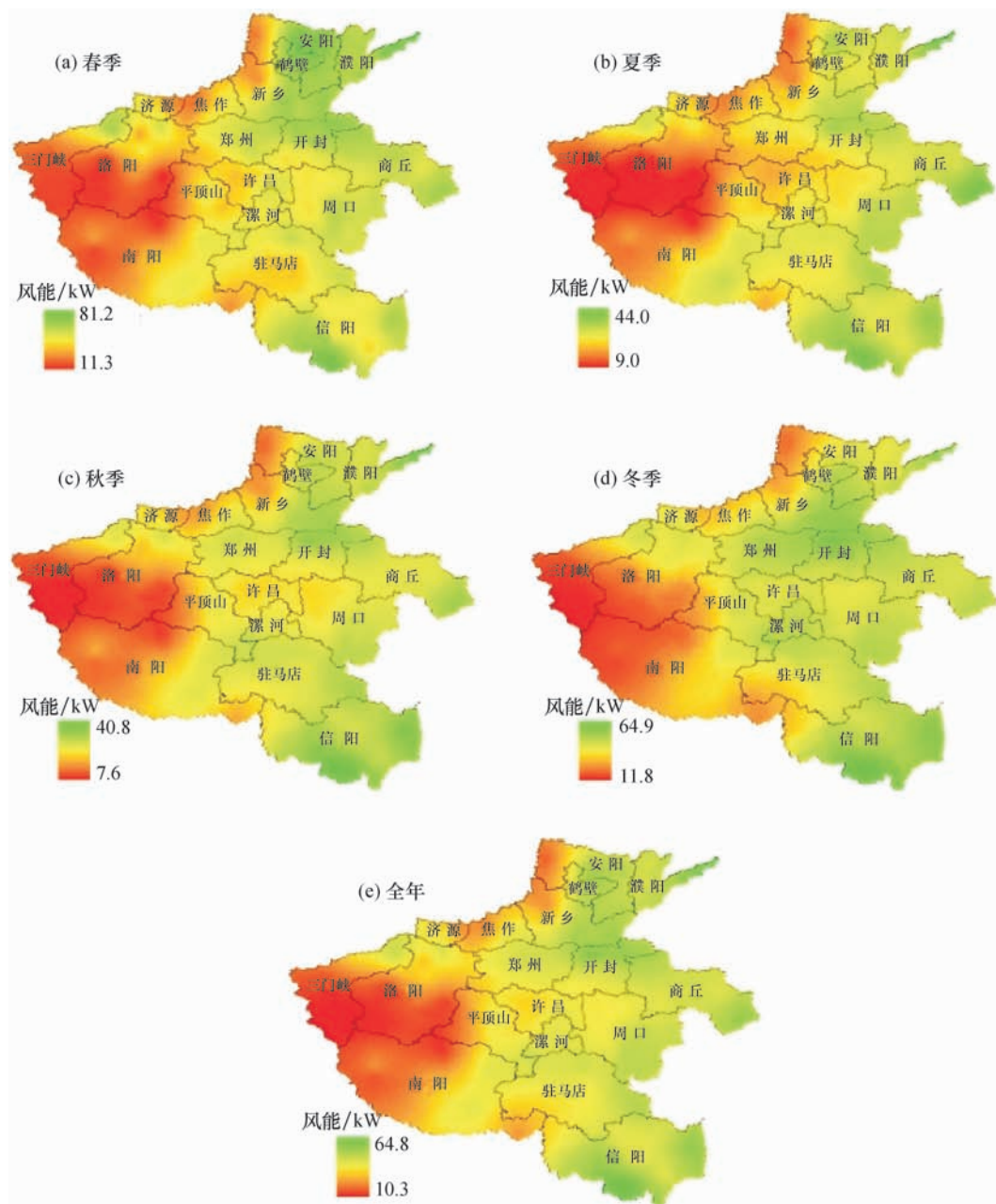


图4 河南省春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)及全年(e)风能分布

Fig. 4 The sketch map of wind energy in four seasons and whole year in Henan Province

4 结论与讨论

通过对河南省平均风速、风能的时空变化研究,可以得到下面结论:

(1) 特殊的地形特征造就了河南省风速较大区域主要集中在豫北、豫中、豫东的平原地带及豫南,西部及北部太行山区平均风速相对较小,且趋于差值较大。

(2) 河南大部分区域的风速变化为逐渐减小趋势,只有个别站点风速表现为趋势略增或趋势稳定;豫东为风速减小最大的区域,豫西、豫中及豫南地区风速变化趋势相对较小。

(3) 风能研究发现最大值区域与平均风速地理分布基本一致,最大风能区域在豫北、豫东、豫中及豫南一带,最小风能区域主要集中在西部山区。

上述研究将为河南省风能资源的开发利用提供有力的理论支持,也为风能电厂的选址提供了科学参考。同时因计算量较大,统计较为繁琐,本文欠缺风能趋势变化的研究,有待于今后进一步探讨。

参考文献 (References):

- [1] 上海图书馆上海科技情报研究所. 第一情报[J]. 风力发电, 2006(5): 1-5. [Institute of Science & Technology Information of Shanghai Library. InfoLib express. *Wind Power*, 2006(5): 1-5.]
- [2] 张文佳, 张永战. 中国风电的时空分布特征和发展趋势[J]. 自然资源学报, 2007, 22(4): 585-596. [ZHANG Wen-jia, ZHANG Yong-zhan. Studies on characteristics of the spatial-temporal distribution and development trend for wind farms in China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 585-596.]
- [3] 吴丰林, 方创琳. 中国风能资源价值评估与开发阶段划分研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1412-1421. [WU Feng-lin, FANG Chuang-lin. Wind power resource appraisal and development stage regional division of China. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1412-1421.]
- [4] 薛桁, 朱瑞兆, 等. 中国风能资源贮量估算[J]. 太阳能学报, 2001, 22(2): 167-170. [XUE Heng, ZHU Rui-zhao, et al. Assessment of wind energy reserves in China. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2001, 22(2): 167-170.]
- [5] 朱瑞兆. 中国风能资源分布[EB/OL]. (2008-11-10)[2009-12-9]. <http://bbs.dianjian.net/thread-60055-1-6.html>. [ZHU Rui-zhao. Wind energy resources distribution in China. (2008-11-10)[2009-12-9]. <http://bbs.dianjian.net/thread-60055-1-6.html>.]
- [6] 张振国. 我国北方风能资源的开发利用现状与前景分析[J]. 山西高等学校社会科学学报, 2004, 16(2): 66-68. [ZHANG Zhen-guo. Exploration and application of wind energy resources in north of China and analysis of prospects. *Social Sciences Journal of Colleges of Shanxi*, 2004, 16(2): 66-68.]
- [7] 钱莉, 杨永龙, 杨晓玲, 等. 河西走廊东部风能资源分布特征及开发利用[J]. 气象科技, 2009, 37(2): 198-204. [QIAN Li, YANG Yong-long, YANG Xiao-ling, et al. Distribution characteristics and utilization of wind energy resources in eastern Hexi Corridor. *Meteorological Science and Technology*, 2009, 37(2): 198-204.]
- [8] 李艳, 王元, 储惠芸, 等. 中国陆域近地层风能资源的气候变异和下垫面人为改变的影响[J]. 科学通报, 2008, 53(21): 2646-2653. [LI Yan, WANG Yuan, CHU Hui-yun, et al. The impact of climate variability and anthropogenic changes of underlying surface press on the change of land surface layer wind energy resources. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(21): 2646-2653.]
- [9] 张鸿雁, 丁裕国, 刘敏, 等. 湖北省风能资源分布的数值模拟[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 35-38. [ZHANG Hong-yan, DING Yu-guo, LIU Min, et al. Numerical simulation of wind energy resources distribution in Hubei Province. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2008, 31(2): 35-38.]
- [10] 毛慧琴, 宋丽莉, 黄浩辉, 等. 广东省风能资源区划研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 679-684. [MAO Hui-qin, SONG Li-li, HUANG Hao-hui, et al. Study on the wind energy resource division in Guangdong Province. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(5): 679-684.]
- [11] 王玉玺. 甘肃风及风能资源的研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1993, 29(2): 142-151. [WANG Yu-xi. Study on the wind and wind energy resources in Gansu Province. *Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition*, 1993, 29(2): 142-151.]
- [12] 王毅荣, 张存杰. 河西走廊风速变化及风能资源研究[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1196-1202. [WANG Yi-rong, ZHANG Cun-jie. Changes of wind speed and wind energy over Gansu Corridor. *Plateau Meteorology*, 2006, 25(6): 1196-1202.]
- [13] 施鹏飞. 风力发电在中国的现状及前景[J]. 水力发电学报, 1998(3): 4-17. [SHI Peng-fei. The status and prospect of wind power development in China. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 1998(3): 4-17.]
- [14] 余志豪. 流体力学[M]. 第三版. 北京: 气象出版社, 2004. [YU Zhi-hao. Hydrodynamics. 3th Edition. Beijing: China Meteorological Press, 2004.]

Utilization and Spatial-Temporal Distribution of Wind Energy Resources in Henan Province Based on GIS

ZHANG Hong-wei^{1,2,3}, CHEN Huai-liang^{1,2}, ZHANG Hong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Agrometeorological Ensuring and Applied Technique, CMA, Zhengzhou 450003, China;

2. Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003, China;

3. Xinxiang Meteorological Bureau, Henan Province, Xinxiang 453000, China)

Abstract: In recent years, wind power, a non-polluting, renewable green energy, has been developed and utilized faster than ever. For better utilization of wind energy resources and understanding wind energy changing trend under climate change condition in Henan Province, the spatial-temporal distribution of wind energy was studied in this paper with the meteorological data from 1971 to 2000, the statistical methods and wind energy calculation methods in hydrodynamics were used in this paper. The results show: 1) the special terrain characters create the features of higher wind speed mostly clustered in plain areas of northern Henan, central Henan, eastern Henan as well as southern Henan, western Henan is a zone with lower wind speed. 2) The wind changing trend reduced gradually from the 1970s to the 2000s in most parts of Henan Province except several districts. Eastern Henan has been tested to be the most serious zone in wind speed decrease, and other parts of Henan have a relative less value in wind speed decrease. 3) Wind energy's distribution was the same as wind speed, the highest wind-energy zone clustered in northern Henan, central Henan, eastern Henan and southern Henan, western Henan is a zone with lower wind energy.

Key words: GIS; wind energy; Henan Province