

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2015.06.002

史培军, 张钢锋, 孔锋, 等. 中国 1961—2012 年风速变化区划 [J]. 气候变化研究进展, 2015, 11 (6): 387-394

中国 1961—2012 年风速变化区划

史培军^{1,2,3}, 张钢锋^{1,3,4}, 孔锋^{1,2,3}, 叶谦^{1,2,3}

1 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

3 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875;

4 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000



摘要: 本文使用 756 个气象站点年值数据, 基于最小二乘的线性拟合方法, 利用 1961—2012 年中国年值风速的趋势变化值和波动特征值来定量识别中国风速的区域变化特征, 以县级行政单位为区划单元, 完成了中国 1961—2012 年风速变化区划, 一级区划根据风速趋势值的变化划分为 6 个变化趋势带, 即东北—华北大幅减小趋势带, 华东—华中中幅减小趋势带, 东南小幅减小趋势带, 西南微幅减小趋势带, 西北中幅减小趋势带, 青藏高原小幅减小趋势带, 二级区划根据风速的波动特征值并结合一级区划的结果, 划分为 12 个波动特征区。

关键词: 风速变化; 区划; 趋势变化; 波动特征

引言

气候变化是当今全球变化研究中的热点, 对人类经济社会的发展产生重要的影响, 应对全球气候变化已经成为全世界共同关注的一项重要任务。IPCC 第五次评估报告 (AR5) 表明^[1], 过去一百年来全球地表温度呈现不断上升趋势。2007 年中国发布的第二次气候变化国家评估报告^[2]表明中国的增温趋势在百年尺度上与全球基本一致, 全球范围内的极端降雨事件也呈不断增加趋势, 并且不同区域间降水差异也在不断增大。气候变化是一个不容忽视的事实, 作为表征气候变化和气候形成的重要气象因素, 风速的变化在当前的气候变化研究中关注度较少, 针对全球范围内不同地区温度、降水, 风的作用不尽一致, 有必要针对风速的变化展开相应

的研究。风速的变化往往对地区的环境产生较为深远的影响, 随着全球工业化程度的不断提高, 人类排放的大气污染物也在不断增加, 近些年来人们逐渐关注到城市雾霾日数在明显增加^[3-5], 风速呈现明显下降趋势^[6-8], 风速的减小不利于城市大气中污染物的扩散^[9-10]。那么风速的变化对雾霾性天气有没有影响, 在全球变暖的大背景下, 风速到底是如何变化的, 这都是需要关注的问题。风速的变化可能与全球增温下温差的改变有关, 温差的改变包括纬度温差以及海陆温差的改变, 随着城市化进程的不断加快, 站点观测数据在一定程度上受到城市化效应的影响, 所以也可能对站点风速的观测有影响。目前国内外关于风的研究主要集中在研究区域或次区域的近地表风速变化, 从全球尺度研究风速大小变化的研究相对较少, McVicar 等^[11]研究发现南北

收稿日期: 2015-05-30; 修回日期: 2015-08-15

资助项目: 国家自然科学基金创新研究群体项目“地表过程模型与模拟” (41321001); 国家重大科学研究计划 (973) “全球变化与环境风险关系及其适应性范式研究” (2012CB955404)

作者简介: 史培军, 男, 教授, spj@bnu.edu.cn

半球中低纬度大部分地区风速减小明显,高纬度地区(纬度 $>70^{\circ}$)风速在增大;Pirazzoli等^[12]通过研究1951—2000年意大利的年平均风速变化,发现意大利风速在20世纪70年代之前为上升期,之后风速开始下降;McVicar等^[13]研究发现1975—2006年以来澳大利亚的年平均风速下降趋势达到 0.009 m/s ;Wan等^[14]关注到加拿大西部和南部的风速呈现明显的下降趋势;但Kousari等^[15]在伊朗的研究却表明研究区整体风速呈上升趋势,但是局部地区风速下降十分显著。国内的学者也在逐渐关注中国风速的变化,王遵娅等^[3]研究1951—2000年中国年均风速的趋势变化发现中国风速存在明显的下降趋势;Jiang等^[7]通过观测数据也表明1956—2004年中国年平均风速、最大风速均在下降;从区域角度来看,华北平原地区风速整体也在不断下降^[16],但是冬季风速下降较快,夏季较小;西北地区^[17-18]、秦岭地区^[19]、东北地区^[20]和青藏高原地区^[21]风速也在不断下降;何旭强等^[22]发现黑河流域风速减小的空间差异性很大;张志斌等^[23]发现西南地区1961—2000年风速呈下降趋势,2000年以后风速却开始增加;另外还有很多学者对省^[24-25]、市^[26-27]区域风速大小进行研究,也得到风速呈下降趋势的结论。此外近些年我国沙尘暴天气的减少^[28]也间接表明了风速的减弱。

综上所述,近几十年以来,中国风速的变化在不同区域间差异较大。本文在研究中国年平均风速变化的趋势性和波动性的基础上,针对风速趋势变化和波动变化的区域差异性,以县级行政单位为基本单元,结合中国基本地形特点,完成了中国1961—2012年风速变化区划。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文使用的年值气象站点数据为中国气象数据共享网的《中国地面气候资料日值数据集 V3.0》,数据集包括756个国家级站点的平均风速、最大风速、最大风速的风向、极大风速、极大风速的风向等日值数据;由于中国大部分站点的修建时间都在

1950—1960年之间,因此按照尽量选择最多站点以及观测数据连续的原则,选取1961—2012年平均风速数据;同时将该研究时间内缺测超过1年以及1961、2012年出现缺测的站点剔除,其他缺测数据利用相邻年份的值取平均代替,最终得到可用的565个风速气象观测站点。本文使用的地形数据来自美国地质调查局提供的Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)高程数据集,数据集的空间分辨率为 1 km 。

1.2 计算方法

本文利用年平均风速序列的变化趋势值和波动特征值进行风速变化的识别,并以此作为风速变化区划的基础。

对于样本量为 n 的一组原始风速序列 z_i ,考虑到小的周期性振动对原始序列的干扰,首先对年平均风速的原始序列进行滑动平均,并利用滑动平均后的序列进行变化趋势值和波动特征值的计算。本文采取5年滑动平均对原始序列进行处理^[29]。用 t_i 代表所对应的时间,建立 y_i 和 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{y}_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

式中, y_i 为5年滑动平均序列, a 为回归常数, b 为回归系数,利用最小二乘法可求出 a 和 b ^[29]。回归系数 b 的符号表示风速的线性趋势, $b>0$ 表示风速随时间增加呈线性增加趋势, $b<0$ 表示风速随时间增加呈线性下降趋势, b 的绝对值反映上升和下降的速率。本文将回归系数 b 表示风速的变化趋势值。

在式(1)基础上,建立滑动平均序列 y_i 与线性回归序列的残差绝对值序列 f_i 的方程:

$$f_i = |y_i - a - bt_i|. \quad (2)$$

用残差绝对值序列 f_i 的平均值代表变量的波动平均值,计算式如下:

$$\bar{f}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i. \quad (3)$$

对于样本量为 n 的残差序列 f_i ,用 t_i 表示对应的时刻,建立 f_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{f}_i = c + dt_i, \tag{4}$$

利用最小二乘法可以求出回归系数 d 和回归常数 c 。回归系数 d 的符号表示残差绝对值序列的线性趋势, $d>0$ 表示随时间增加风速波动呈上升趋势,即变量波动性增强, $d<0$ 表示随时间增加风速波动呈下降趋势,即变量波动性减弱, d 的绝对值大小反映风速波动上升或下降的速率,即风速波动性增强或减弱的程度,本文将回归系数 d 称为风速的波动特征值。

以武汉气象站为例,对 1961—2012 年年平均气温序列进行 5 年滑动平均处理,得到年平均风速的变化曲线(图 1):武汉年平均风速的变化趋势值为 $-0.35\text{ (m/s)}/10\text{a}$;年平均风速的波动特征值为 $0.08\text{ (m/s)}/10\text{a}$ 。

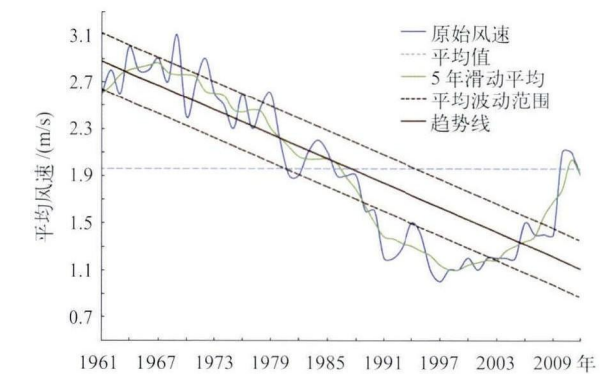


图 1 武汉站 1961—2012 年年平均风速变化
Fig. 1 Annual mean wind speed series of Wuhan station in 1961–2012

1.3 信度检验

在对变量的时间序列进行线性回归的同时,根据 F 检验计算信度水平^[30]。如图 2 所示,对于风速变化趋势而言,66%的气象站点通过 99% 的信度检验,77% 的站点通过 90% 的信度检验;对于风速的波动变化而言,通过检验的站点较趋势变化略低,36% 的站点通过 99% 的信度检验,超过 50% 的站点通过 90% 的信度检验。在 90% 信度水平下,68% 的站点风速呈显著下降趋势,8% 的站点风速呈显著增大趋势;从风速波动特征来看,30% 的站点波动性在显著增强,25% 的站点波动性在显著减少。

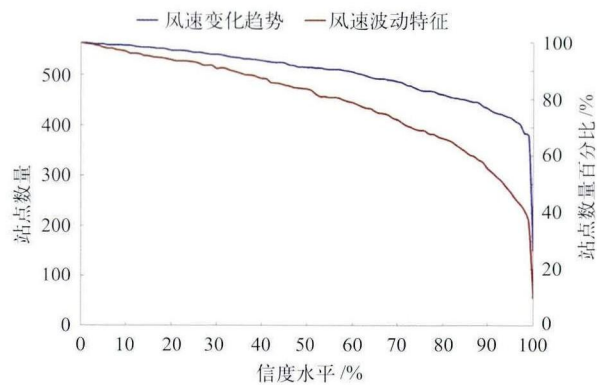


图 2 不同信度水平下气象要素趋势通过检验情况
Fig. 2 Meteorological stations with significant trends under different confidences

2 结果与分析

2.1 中国风速的变化趋势

从空间来看,三北地区(西北、华北、东北)、环渤海、东南部沿海、中部地区和华南西北部地区风速下降明显(图 3)。风速增加的站点只占不到 20%,且主要集中在西南地区以及华南东南部,绝大部分站点增幅 $<0.1\text{ (m/s)}/10\text{a}$,约 3% 的站点增幅 $>0.1\text{ (m/s)}/10\text{a}$ 。风速呈减少趋势的站点占全部站点的 81%,大部分站点减幅 $<0.4\text{ (m/s)}/10\text{a}$,51% 的站点减小趋势明显(表 1)。

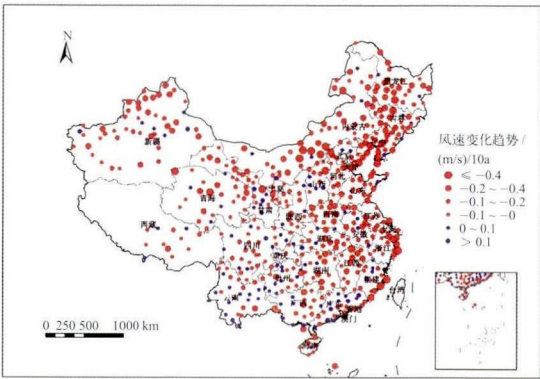


图 3 中国 1961—2012 年风速变化趋势值分布
Fig. 3 Distribution of wind speed trend in China in 1961–2012

2.2 中国风速的波动特征

风速的波动呈现北减南增的格局,波动增加的站点和减小的站点数大致相当(图 4)。约 49% 的站

表 1 中国 1961—2012 年风速趋势变化区域特征
Table 1 Distribution features of wind speed trend in China in 1961–2012

尺度	分布特征		
区域	三北（西北、华北、东北）地区和东南部沿海风速下降速率较快	中部（河南、安徽、湖北、湖南等地）风速下降较慢	西南（重庆、贵州等）和华南北部风速呈缓慢上升
局地	甘肃南部、山西中部风速缓慢增加	湖北北部、福建北部、湖南西南部风速呈缓慢增加趋势	四川中南部、广西西部风速呈下降趋势

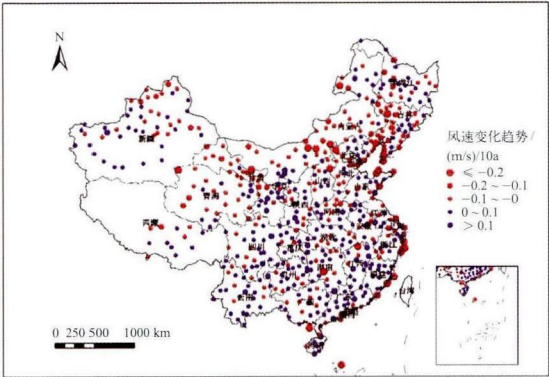


图 4 中国 1961—2012 年风速波动特征值分布
Fig. 4 Distribution features of wind speed variability in China in 1961–2012

点波动增加幅度 ≤ 0.1 (m/s)/10a, 幅度 >0.1 (m/s)/10a 站点约占 5%, 减小幅度 >0.2 (m/s)/10a 站点约占 4%; 其中三北地区以及东南部沿海地区风速波动性在减小, 西南、华南、华中大部分地区风速的波动性在增强 (表 2)。

从以上分析中可以看出, 中国不同区域间风速的趋势变化和波动变化都呈现较大的差异, 正是基于风速变化的这种区域差异, 我们在中国风速趋势变化和波动变化的基础上进行了中国 1961—2012 年风速变化的区划。

表 2 中国 1961—2012 年风速波动变化分布特征
Table 2 Distribution features of trend in wind speed variability in China in 1961–2012

尺度	分布特征	
全国	北方及沿海风速波动下降	南方风速波动增加
区域	西北北部、华北、东北南部风速波动下降最快	华南、西南风速波动增加较快
局地	新疆北部、甘肃北部、山西南部、黑龙江大部风速波动呈上升趋势	湖北南部、江西北部、湖南南部风速波动呈下降趋势

3 中国 1961—2012 年风速变化区划

3.1 区划原则

区划原则是确定区划指标和制定区划方法的主要依据, 本次区划主要考虑到以下 4 个方面的原则: (1)保持县级行政单元的完整性, 即在进行区划时沿着县级行政单元的边界划定分区的界限; (2)空间分布连续性, 在进行风速区划时根据分区的大小进行适当的选择, 尽可能地保持区划的完整性; (3)风速变化趋势和速率相结合的原则, 在确定区划界限时, 考虑变化趋势的同时还要考虑到变化速率, 在分界线附近, 变化趋势交替出现时, 应该优先考虑变化速率较大的一侧; (4)大尺度地形单元一致性, 由于中国三大阶梯地形的存在, 风速变化的区域规律会受到大尺度地形的影响, 因此在区划中需要参考大尺度的地形综合划定风速区划边界。

3.2 区划指标

本次区划主要考虑两个指标: 风速的趋势变化和波动变化。在进行风速变化趋势区划时, 考虑到风速趋势变化的特殊性, 大约 81% 的站点都呈风速下降趋势, 本次区划采用以风速变化趋势值的大小并结合全国平均风速变化百分比设置 3 个衡量指

标: -0.06 、 -0.12 、 -0.18 (m/s)/10a, 将全国划分为风速大幅减小趋势带 (风速减小速率 > 0.18 (m/s)/10a)、风速中幅减小趋势带 (0.12 (m/s)/10a $<$ 风速减小速率 ≤ 0.18 (m/s)/10a)、风速小幅减小趋势带 (0.06 (m/s)/10a $<$ 风速减小速率 ≤ 0.12 (m/s)/10a)、风速微幅减小趋势带 (风速减小速率 ≤ 0.06 (m/s)/10a); 在进行风速波动区划时, 主要是以风速波动特征为判断依据, 通过计算整个区域的风速波动变化值的平均值, 将全国划分为风速波动增强区 (风速波动速率 > 0.02 (m/s)/10a)、风速波动不明显区 (-0.02 (m/s)/10a $<$ 风速波动速率 ≤ 0.02 (m/s)/10a)、风速波动减弱区 (风速波动速率 ≤ -0.02 (m/s)/10a)。此外在进行风速变化趋势区划和风速波动变化区划时, 参考中国地形数据, 并注重考虑大范围的地貌因素影响。

根据上述区划原则和指标体系, 本区划所采取的方法为 GIS 空间叠置法, 在完成风速变化趋势区划和风速波动变化趋势划分后, 综合分析和比较两次区划的分界线, 利用 GIS 空间叠置法对两次区划的结果进行叠置。

3.3 区划结果

3.3.1 一级区划及特征

利用风速变化趋势值计算结果 (图 3) 作为主要指标进行中国 1961—2012 年风速变化区划的一级区划 (图 5), 本区划以中国县级行政单位为基本单元, 在区划时考虑中国的地形特点, 一级区划将中国分

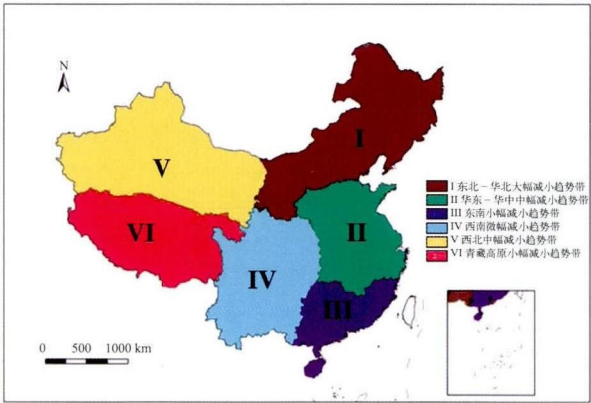
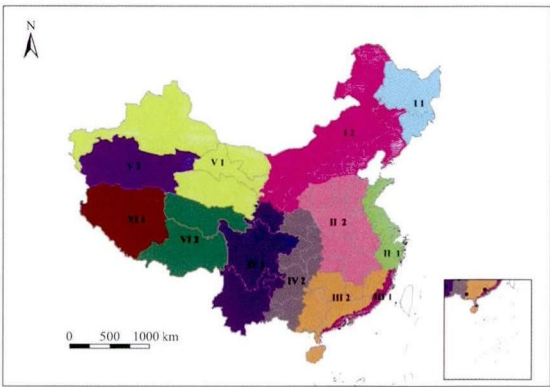


图 5 中国 1961—2012 年风速变化一级区划
Fig. 5 Level-I regionalization of wind speed in China in 1961—2012

为 6 个变化趋势带, 即东北—华北大幅减小趋势带、华东—华中中幅减小趋势带、东南小幅减小趋势带、西南微幅减小趋势带、西北中幅减小趋势带和青藏高原小幅减小趋势带 (图 5)。并统计各分区内风速变化特征值 (附表 1 见 394 页)。

3.3.2 二级区划及特征

在一级区划的基础上, 以中国县级行政单位为单元, 并参考中国的基本地形, 以风速的波动特征值计算结果 (图 4) 为主要指标, 进行中国 1961—2012 年风速变化区划的二级区划, 将中国分为 12 个波动特征区, 并根据二级区划指标分别统计各个波动特征区的特征值 (附表 2 见 442 页), 结合一级区划和二级区划的结果, 并根据各个区的地貌特征进行命名, 完成中国 1961—2012 年风速变化的二级区划 (图 6)。



- I1 小兴安岭—长白山—三江平原风速波动不明显区
- I2 大兴安岭—华北平原—黄土高原风速波动减弱区
- II1 淮河流域—冀北—湘东—华北山地风速波动减弱区
- II2 浙江—上海—江苏—山东半岛风速波动不明显区
- III1 南岭丘陵山地—赣南—闽北风速波动减弱区
- III2 福建—广东沿海风速波动增强区
- IV1 秦岭东部—鄂西山地—云贵高原风速波动增强区
- IV2 秦岭西部山地—四川盆地—横断山区风速波动不明显区
- V1 新疆北部山地—祁连山—内蒙古高原风速波动减弱区
- V2 新疆南部山地风速波动增强区
- VI1 青藏高原东南部风速波动减弱区
- VI2 青藏高原西北部风速波动不明显区

图 6 中国 1961—2012 年风速变化二级区划
Fig. 6 Level-II regionalization wind speed in China in 1961—2012

4 讨论与结论

4.1 讨论

1961—2012 年中国整体风速呈现下降趋势, 这

与王遵娅等^[3]和Jiang等^[7]的研究结果一致。本文通过区划揭示中国区域间风速变化的差异,导致风速下降的原因较多,比如气候变化影响传统的空气流动模式^[31]造成风速的下降,一些地方的森林植被恢复和增长^[32]使得地球表面更为粗糙^[33],也会起到降低风速的效果。中国整体温度上升明显^[34-35],尤其是在高海拔地区^[36],整体的风速变化与温度呈现一个相反的趋势,那么温度上升较快的地区是否风速下降幅度也是最大,Shi等^[29]研究1961—2010年中国温度的趋势变化,发现中国整体呈现增温的趋势,但是中国北方地区温度增大趋势明显,而南方地区特别是云贵高原、华南地区温度增大趋势较小,本文研究发现中国1961—2012年风速整体呈现下降趋势,下降最明显的是北方地区,而南方地区风速的下降幅度要小于北方地区。因此我们推测中国近50年来整体风速的下降可能跟整体的增温趋势有关,增温会引起温差的减小,而温差下降越明显的地区风速下降趋势越明显。在全球变暖后,中国大陆气压的增大^[3]以及垂直结构上温度变化的差异^[37],可能会使中国不同位势高度上气压差减小,从而引起整体风速的减小,此外局地环流的变化也可能对风速的变化产生一定的影响。

对于风速的减小,可能有气象站点迁移^[38]和城市化两方面的影响,曹丽娟等^[39]对风速的均一性问题提出一定的解决方法,区划的结果表明中国东部地区风速下降十分明显,站点迁移一般是由城区迁往郊区,而旷野风速一般会比城市风速大^[40],因此站点的迁移可能会对风速变化趋势计算产生一定影响。由于中国近几十年来城市化进程不断加快,城市规模也在不断增加,城市建筑物聚集,高低大小不等,风流动时增加了阻力,因而城市风速一般来说比郊外小。

目前完成的工作主要是揭示了风速变化的区域规律,接下来我们将会深入讨论近半个世纪中国风速变化区域差异的内在机制,如季风区和非季风区对中国风速变化区划的影响,此外,应重点关注极端天气气候事件的变化对气候变化区划结果的影响,考虑极端风速的变化,以进一步揭示气候变化的区域分异规律及其与灾害和环境风险之间的关系,为

中国更好地应对气候变化提供理论依据。

4.2 结论

(1) 对于风速的变化趋势,从时间上来看,中国1961—2012年大部分站点风速都呈减少趋势;三北地区(西北、华北、东北)、环渤海和东南部沿海等地区风速下降明显。风速趋势呈增加的地区主要集中在西南地区以及华南东南部。

(2) 对于风速的波动,不同区域间风速的波动性也呈现较大的差异:其中三北地区以及东南部沿海地区风速波动性在减弱;西南、华南、华中大部分地区风速的波动性在增强。

(3) 以风速趋势变化值为主要指标,波动特征值为辅助指标,并参考中国地形的特点,以县级行政单位为单元,完成了中国1961—2012年风速变化区划,一级区划根据风速的变化趋势值划分为6个变化趋势带,即东北—华北大减小趋势带、华东—华中中幅减小趋势带、东南小幅减小趋势带、西南微幅减小趋势带、西北中幅减小趋势带和青藏高原小幅减小趋势带,二级区划根据风速的波动特征值并结合一级区划的结果,划分为12个波动特征区。■

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013
- [2] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2011
- [3] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近50年来中国气候变化特征的再分析 [J]. 气象学报, 2004, 62 (2): 228-236
- [4] 胡亚旦, 周自江. 中国霾天气的气候特征分析 [J]. 气象, 2009, 35 (7): 73-78
- [5] Ding Y H, Liu Y J. Analysis of long-term variations of fog and haze in China in recent 50 years and their relations with atmospheric humidity [J]. Sci China Earth Sci, 2014, 57 (1): 36-46
- [6] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63 (6): 942-956
- [7] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z. Maximum wind speed changes over China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 27 (1): 63-74
- [8] Song L C, Gao R, Li Y, et al. Analysis of China's haze days in the winter half year and the climatic background during 1961—2012 [J]. Adv Clim Change Res, 2014, 5 (5): 1-6
- [9] Zhang R H, Li Q, Zhang R N. Meteorological conditions for the persistent

- severe fog and haze event over eastern China in January 2013 [J]. *Sci China Earth Sci*, 2014, 57 (1): 26-35
- [10] 王勇, 刘严萍, 李江波, 等. 水汽和风速对雾霾中 $PM_{2.5}$ / PM_{10} 变化的影响 [J]. *灾害学*, 2015, 30 (1): 5-7
- [11] McVicar T R, Roderick M L, Donohue R J, *et al.* Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: implications for evaporation [J]. *J Hydrol*, 2012, 416 (3): 182-205
- [12] Pirazzoli P A, Tomasin A. Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas [J]. *Int J Climatol*, 2003, 23 (8): 963-973
- [13] McVicar T R, Niel T G V, Li L T, *et al.* Wind speed climatology and trends for Australia, 1975–2006: capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. *Geophys [J]. Res Lett*, 2008, 35 (20): 288-299
- [14] Wan H, Wang X L, Swail V R. Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds [J]. *J Clim*, 2010, 23 (5): 1209-1225
- [15] Kousari M R, Ahani H, Hakimelahi H. An investigation of near surface wind speed trends in arid and semiarid regions of Iran [J]. *Theor Appl Climatol*, 2013, 114 (1-2): 153-168
- [16] 荣艳淑, 梁嘉颖. 华北地区风速变化的分析 [J]. *气象科学*, 2008, 28 (6): 655-658
- [17] 丁彩霞, 延军平, 李敏敏. 西北地区气候变化与风速响应特征 [J]. *水土保持通报*, 2014, 34 (4): 134-137
- [18] 张克新, 潘少明, 曹立国. 1961—2010 年河西地区平均风速时空变化趋势分析 [J]. *地理科学*, 2014, 34 (11): 1404-1408
- [19] 蒋冲, 王飞, 刘焱序, 等. 秦岭南北风速时空变化及突变特征分析 [J]. *地理科学*, 2013, 33 (2): 244-250
- [20] 金巍, 任国玉, 曲岩, 等. 1971—2010 年东北三省平均地面风速变化 [J]. *干旱区研究*, 2012, 29 (4): 648-653
- [21] 杨春艳, 沈渭寿, 林乃峰. 西藏高原气候变化及其差异性 [J]. *干旱区地理*, 2014, 37 (2): 290-298
- [22] 何旭强, 张勃, 赵一飞, 等. 黑河流域 1960—2009 年平均风速时空变化特征 [J]. *水土保持通报*, 2013, 33 (4): 242-247
- [23] 张志斌, 杨莹, 张小平, 等. 我国西南地区风速变化及其影响因素 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (2): 471-481
- [24] 朱颢, 李春华, 马鹏里, 等. 甘肃省风速变化趋势分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26 (12): 90-96
- [25] 郭伟, 赵丽平, 贺洁颖, 等. 山西省近 50 年风速变化及突变特征分析 [J]. *科技与创新*, 2015 (3): 1-3
- [26] 耿孝勇. 1960—2004 年南京市风速变化及其成因研究 [J]. *青海气象*, 2014 (1): 12-18
- [27] 陶勇, 向卫国, 何建希, 等. 江门市年最大风速变化特征分析 [J]. *成都信息工程学院学报*, 2014, 29 (6): 94-98
- [28] 曾淑玲, 程一帆, 王式功, 等. 我国西北和内蒙古地区春季沙尘暴的年代际变化及原因探析 [J]. *中国沙漠*, 2010, 30 (5): 1200-1206
- [29] Shi P J, Sun S, Wang M, *et al.* Climate change regionalization in China (1961–2010) [J]. *Sci China Earth Sci*, 2014, 57 (11): 2676-2689
- [30] 刘苏峡, 邱建秀, 莫兴国. 华北平原 1951 年至 2006 年风速变化特征分析 [J]. *资源科学*, 2009, 31 (9): 1486-1492
- [31] Ding Y H, Liu Y J, Liang S J, *et al.* Interdecadal variability of the east Asian winter monsoon and its possible links to global climate Change [J]. *Journal of Meteorological Research*, 2014, 28 (5): 693-713
- [32] Liu Y B, Ju W M, Chen J M, *et al.* Spatial and temporal variations of forest LAI in China during 2000–2010 [J]. *Chin Sci Bull*, 2012, 57 (22): 2846-2856
- [33] 李军, 胡非, 刘磊, 等. 风能资源评估中地表粗糙度的研究 [J]. *资源科学*, 2011, 33 (12): 2341-2348
- [34] 虞海燕, 刘树华, 赵娜, 等. 1951—2009 年中国不同区域气温和降水量变化特征 [J]. *气象与环境学报*, 2011, 27 (4): 1-11
- [35] 韩翠华, 郝志新, 郑景云. 1951—2010 年中国气温变化分区及其区域特征 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32 (6): 887-896
- [36] Ma Z F, Liu J, Zhang S Q, *et al.* Observed climate changes in Southwest China during 1961–2010 [J]. *Adv Clim Change Res*, 2013, 4 (1): 30-40
- [37] Sun Y, Ding Y H. Responses of south and east Asian summer monsoons to different land-sea temperature increases under a warming scenario [J]. *Chin Sci Bull*, 2011, 56 (25): 2718-2726
- [38] Li Z, Yan Z W. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960–2008 [J]. *Atmos Ocean Sci Lett*, 2009, 2(4): 237-243
- [39] 曹丽娟, 鞠晓慧, 刘小宁. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验 [J]. *气象*, 2010, 10: 52-56
- [40] 辛跳儿, 贺千山, 魏海茹, 等. 上海世博园上空边界层风垂直变化观测研究 [J]. *高原气象*, 2009, 28 (1): 127-135

Wind Speed Change Regionalization in China in 1961–2012

Shi Peijun^{1, 2, 3}, Zhang Gangfeng^{1, 3, 4}, Kong Feng^{1, 2, 3}, Ye Qian^{1, 2, 3}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3 Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China; 4 College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: This research uses the mean wind speed observation data in China, adopts linear fitting method. Aims to quantitatively recognize the change of wind speed using wind speed trend and trend of wind speed variability from 1961 to 2012 and regionalize the wind speed change in China on a county-level basis. The findings suggest that level-I regionalization include six zones according to different change rate of wind speed trend value in different regions. Northeast-North China substantial declining zone, East-Central China declining zone, Southeast China slightly declining zone, Southwest China very slightly declining zone, Northwest China declining zone, Qinghai-Tibetan Plateau slightly declining zone. Level-II regionalization divides China into twelve regions based on trend of wind speed variability and the results from level-I regionalization.

Key words: wind speed change; regionalization; trend; variability

附表 1 中国 1961—2012 年风速变化一级区划特征值

变化趋势带	面积/ 万 km ²	风速特征值							
		风速测站 总数 / 个	平均风速 / (m/s)	风速增大 趋势站点 比例	平均风速 增大速率 / (m/s)/10 a	风速减小 趋势站点 比例	平均风速 下降速率 / (m/s)/10 a	平均风速 减小速率 / (m/s)/10 a	风速变化 趋势类型
I 东北—华北大 幅减小趋势带	213.1	153	2.89	9.2%	0.03	90.8%	−0.21	−0.19	大幅减小
II 华东—华中中 幅减小趋势带	119.0	114	2.67	12.3%	0.05	87.7%	−0.18	−0.16	中幅减小
III 东南小幅减小 趋势带	63.2	73	2.34	24.3%	0.07	75.7%	−0.14	−0.09	小幅减小
IV 西南微幅减小 趋势带	154.9	119	1.63	40.7%	0.05	59.3%	−0.08	−0.03	微幅减小
V 西北中幅减小 趋势带	240.7	84	2.54	11.9%	0.15	88.1%	−0.17	−0.13	中幅减小
VI 青藏高原小 幅减小趋势带	152.4	22	2.51	22.7%	0.03	77.3%	−0.10	−0.07	小幅减小