

董旭光,邱粲,李娟,等.1981—2016年山东陆地观测最大风速变化特征[J].海洋气象学报,2018,38(2):87-95.
Dong Xuguang, Qiu Can, Li Juan, et al. Spatial and temporal distribution of terrestrial annual maximum wind speed in Shandong from 1981 to 2016 [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(2):87-95. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.02.011. (in Chinese)

1981—2016年山东陆地观测最大风速变化特征

董旭光, 邱粲, 李娟, 刘焕彬
(山东省气候中心, 山东 济南 250031)

摘要: 基于山东 1981—2016 年 121 个气象站的年最大风速观测数据, 应用气候倾向率、Mann-Kendall 检验等方法研究了山东年最大风速的空间分布特征、时间演变规律及突变特征、重现期特征。结果表明: 山东年平均最大风速呈逐年波动减小变化趋势, 气候倾向率为 $-1.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 减小趋势极显著; 沿海地区和鲁中山区最大风速较大, 鲁南和鲁西南较小; 2000 年以来, 最大风速相对 20 世纪 80、90 年代明显减小; 莱州湾、山东半岛东南沿海减小趋势最明显, 鲁东南等地减小趋势较小; 山东最大风速在 2002 年前后发生突变, 突变后明显减小, 不同区域最大风速突变发生年份不同; 50 a 和 100 a 最大风速重现期结果与观测的最大风速空间分布类似。

关键词: 最大风速; 气候倾向率; 突变; 重现期

中图分类号: P468.026 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)02-0087-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.02.011

Spatial and temporal distribution of terrestrial annual maximum wind speed in Shandong from 1981 to 2016

DONG Xuguang, QIU Can, LI Juan, LIU Huanbin
(Shandong Climate Center, Jinan 250031, China)

Abstract Based on annual maximum wind speed data from 121 meteorological stations in Shandong from 1981 to 2016, the spatial characteristics, the temporal evolution, mutation, and recurrence intervals of annual maximum wind speed are analyzed using climate tendency rate and Mann-Kendall mutation test, meanwhile the characteristics of other wind parameters such as gust wind speed and wind days are analyzed. The results show that the annual average maximum wind speed presents a significant downtrend with fluctuations year by year and the climate tendency rate is $-1.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$. The maximum wind speed in coastal areas and central mountainous areas is larger than that in the south and southwest of Shandong. The maximum wind speed since 2000 has an obvious decrease compared to that in 1980s and 1990s. The most obvious decrease happens in Laizhou Bay and southeastern coastal areas of Shandong Peninsula, while the decrease is smaller in areas like the southeast of Shandong. The maximum wind speed has abrupt change in 2002 and its is obviously smaller after the abrupt change. The abrupt change of maximum wind speed happens in different time for different areas. The spatial distribution of maximum wind speed of the recurrence interval of 50 years and 100 years is similar to that from the observation data.

Key words maximum wind speed; climate tendency rate; mutation; recurrence intervals

收稿日期: 2017-12-28; 修订日期: 2018-04-03

基金项目: 环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201611); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306034)

作者简介: 董旭光, 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候变化和气候应用研究等工作, dongxugg@sina.com.

引言

近年来,中国的风能开发利用发展迅速,预计在2030年或2040年前后,中国的风力发电装机容量可望超过1亿kW,成为继火电和水电之后的第三大发电能源^[1]。2017年8月1日实施了《低风速风力发电机组选型导则》^[2],内陆低风速地区是未来风电开发利用的重点区域。风能的大小与风速立方成正比,风速很小的变化会对风能资源产生巨大的影响,尤其对风机满发(一般在 $10.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)相对较大的风速,其出现频率和持续时间对风机出力有显著影响。McVicar et al.^[3]回顾了各国与近地层观测风速长期变化的有关研究,认为20世纪后半期全球中纬度和低纬度地区近地层风速呈较为明显的减小趋势。任国玉等^[4]认为,近47年来全国年平均风速每10 a减少 $0.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, Xu et al.^[5]认为1969—2000年中国年平均风速稳定下降了28%,日平均风速大于 $5.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的日数下降了58%;刘学锋等^[6]将河北地区气象站周边环境变化和观测风速变化结合研究,认为测站周边环境变化对观测风速减小趋势影响显著,超过了区域背景风速的减小趋势。Jiang et al.^[7]利用观测资料,通过统计分析定性地认为大气环流的变化是造成中国年平均风速呈显著减小趋势的可能原因。Vautard et al.^[8]研究指出,北半球中纬度地区风速减小得最明显,高纬度地区风速则有增加的趋势。

全球各地关于平均风速变化的研究成果极其丰富,但关于最大风速或极大风速的研究成果则相对较少见,陈兵等^[9]利用江苏省年最大风速资料,应用EOF、REOF等方法分析了江苏省最大风速的时空变化特征,曹永旺和延军平^[10]利用环渤海区域60站最大风速资料,分析了最大风速的年季变化特征,史军等^[11]利用上海风速观测资料,估算了上海市不同重现期最大风速的时空变化。对于地面地貌特征较复杂的山东区域,关于大风的研究成果相对较少,前期成果主要集中在山东北部海上或沿海地区^[12-13]。

王凯等^[14]利用气象站最大风速数据,确定了北盘江大桥的设计基准风速,李永乐等^[15]利用最大风速数据,提出了大跨度桥梁的复合风速标准,聂利英和李江飞^[16]分析桥梁主梁和桥墩的设计基准风速和风荷载。马韞娟和马淑红^[17]利用我国铁路客运专线738个气象站近40 a最大风速和风向数据,确定了客运专线铁路沿线桥梁工程设计风速。

刘勇胜等^[18]对核电厂构筑物设计基准风速进行了推算。翟明雷等^[19]利用气象站建站至2015年日最大风速资料,分析了输电线路的抗风设计标准。谭波和赵志军^[20]利用林芝机场2006、2007年自动观测大风数据,分析了机场地面大风特征,并探讨了大风成因及对飞行的影响。袁春红等^[21]通过对最大风速数据的订正,估算了R年重现期的最大风速。呼津华和王相明^[22]对风电场多年一遇最大风速重现期进行了研究,得到风电场不同高度多年一遇最大风速值。大风研究成果对于指导桥梁、核电项目、机场、高耸建筑、港口、码头、输变电线路、风电场等大型基础工程建设的风荷载等工程气象设计参数的确定,对于农业生产、近海渔业养殖、航海作业、保险行业、风机选型的风险防范等均具有重要的意义,亦可为当地开展气候变化监测、评估和风能资源开发、规划提供参考和科学依据。因此,有必要对山东内陆最大风速的时空变化、突变和重现期特征进行详细深入的研究。

1 资料和方法

1.1 数据资料

文中使用的资料为山东123个国家级气象观测站1981—2016年历年最大风速。最大风速原始信息化记录值来源于山东省气象信息中心,均已经过了数据质量控制。1981—2016年历年最大风速序列完整的站点共36个,其他各站均在20世纪90年代至21世纪初期缺乏信息化年最大风速记录,经过查阅纸质版和扫描版的年最大风速报表,补充完善了其他站点未信息化的年最大风速记录,由于迁站造成的最大风速序列变化,既考虑数据变化范围是否超出该站历年最大风速极值,同时与周边台站同期最大风速记录进行对比,确定迁站前后最大风速序列的可靠性,最终得到完整的山东各气象站1981—2016年历年最大风速序列。由于河口站于1990年建站,年最大风速序列不足30 a,齐河站缺乏1991—1995年最大风速记录,造成历年最大风速不连续,故剔除河口和齐河站。经过补充完善后得到山东121个气象站1981—2016年历年最大风速序列数据(选取的气象站点地理位置分布见图1)。

1.2 研究方法

1.2.1 时距订正

由定时观测方式获取风速资料的,需要把定时观测到的年最大风速值换算为标准风速。采用线性回归进行标准风速的次数换算:

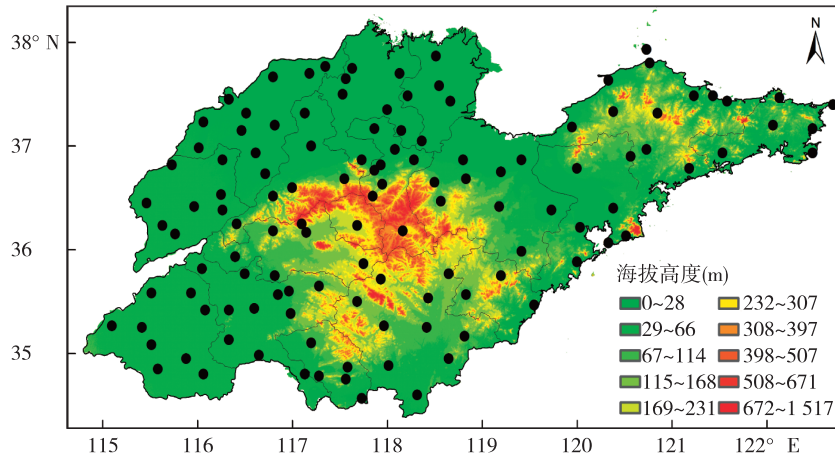


图 1 山东省行政区划及使用的气象站点地理位置分布图(黑色圆点为最大风速站点)

Fig.1 Administrative division of Shandong Province and the distribution of its meteorological stations (black dots are stations of maximum wind speed)

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中： y 为自记 10 min 平均最大风速； x 为定时观测的 2 min 平均最大风速(表 1)。

表 1 定时观测最大风速与自记最大风速换算公式

Table 1 Conversion equations between fixed time observation of maximum wind speed and self-recording maximum wind speed

2 min 最大风速次数/次	10 min 自记最大风速换算公式
3	$y = 0.679x + 8.51$
4	$y = 0.8559x + 5.44$

1.2.2 高度订正

由于气象站迁站、测风仪器型号的变更、测风仪器安装位置等在 1981—2016 年间发生不同次数的迁移和变更,使得各气象站不同时期测风高度存在较明显的差异,需要进行高度订正,使得不同时期测得的最大风速统一订正到相对高度 10 m。根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012)中关于风切变指数的相应规定,若气象站为乡村站,则 α 取 0.15,若气象站为城市站,则 α 取 0.22。

1.2.3 气候倾向率

采用气候趋势分析最大风速的空间分布特征,气候趋势为正值表示要素序列为上升趋势,负值表示下降趋势,并进行显著性检验。

假设数据系列 x_i 可用一元线性回归的数学模型拟合:

$$x = a + bt \quad (2)$$

其气候趋势系数为 r_{xt} ,它定义为 n 个时刻(年)

的要素序列与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (3)$$

其中 n 为年数, x_i 是第 i 年要素值, \bar{x} 为其样本均值。 $\bar{t} = (n+1)/2$ 。显然,气候倾向率(为气候趋势 10 a 的变化量)为正(负)时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增加(减少)的趋势。 $r_{xt} = \sqrt{n-2}/\sqrt{1-r_{xt}^2}$ 符合自由度 $n-2$ 的 t 分布,从而检验这种气候趋势是否有意义,是否是一种随机振动。

1.2.4 插值方法

采用反距离加权(inverse distance weighted, IDW)插值法对最大风速统计结果进行插值,反距离加权插值法是一种常见而简便的空间插值方法,基于相近相似原理,即两个物体离得越近,它们的性质就越相似,以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。

1.2.5 Mann-Kendall 检验

在实际序列趋势分析中, Mann-Kendall 检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法。 Mann-Kendall 非参数突变检验正序列曲线超过临界值信度线的前提下,若正序列和反序列两个统计量序列仅有一个明显的交叉点,且位于信度线之间,则表明该交叉点为突变点,且统计上显著;若交叉点位于信度线之外,或者是存在多个明显的交叉点,则不确定是否为突变点,可结合其他方法综

合判断该点是否为突变点。

1.2.6 重现期最大风速估算

采用《核电厂区域选择的极大气象事件》(HAD101/10)附录推荐的极值统计理论(耿贝尔分布函数)分析所选气象站的最大风速年序列。耿贝尔分布模式是计算最大风速和极大风速的最佳模式,几乎适用于全中国各个气候区^[23]。按照《核电厂区域选择的极大气象事件》(HAD101/10)所述步骤对各站最大风速的1981—2016年历年序列数据分别做分组、排序和有序数据最佳拟合,得到各气象站50 a、100 a最大风速重现期最佳估计值。

2 结果与分析

2.1 最大风速的年际变化

山东各站年平均最大风速呈逐年波动减小变化趋势(图2),其气候倾向率为 $-1.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,相关系数为0.937,通过了0.01显著性检验,年最大风速减少趋势极显著。由逐年变化看,2002年以前,年最大风速多在平均值 $14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,属于风速较大时期,其中1983年平均最大风速最大,为 $17.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,2002年以后,年最大风速多低于平均值,尤其自2007年以来,历年最大风速属于历史最低风速期,其中2014年最小,为 $11.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

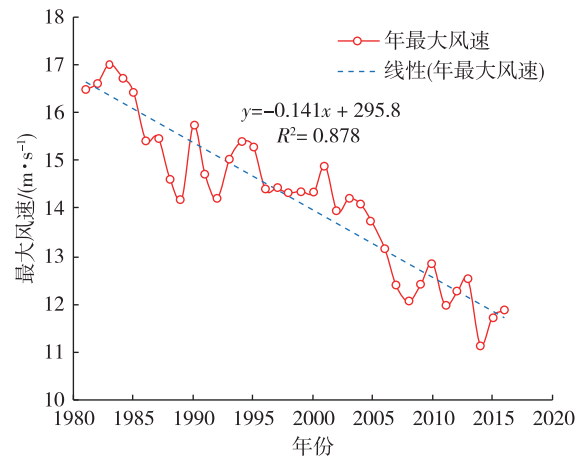


图2 山东年平均最大风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)历年变化
Fig.2 Change of annual average maximum wind speed (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in Shandong from 1981 to 2016

2.2 最大风速的空间分布

1981—2016年,山东年平均最大风速为 $14.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,各站在 $9.8 \sim 27.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,泰山站最大,菏泽站最小,最大风速空间分布差异较大(图3),整体表现为沿海地区和鲁中山区大,鲁南和鲁西南小的空间分布特征,大值区主要位于山东半岛东部烟台沿海和威海一带以及泰山站,最大风速超过 $16.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,潍坊以东半岛地区和滨州、东营北部最大风速一般在 $14.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,鲁西南一带最大风速最小,不超过 $12.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

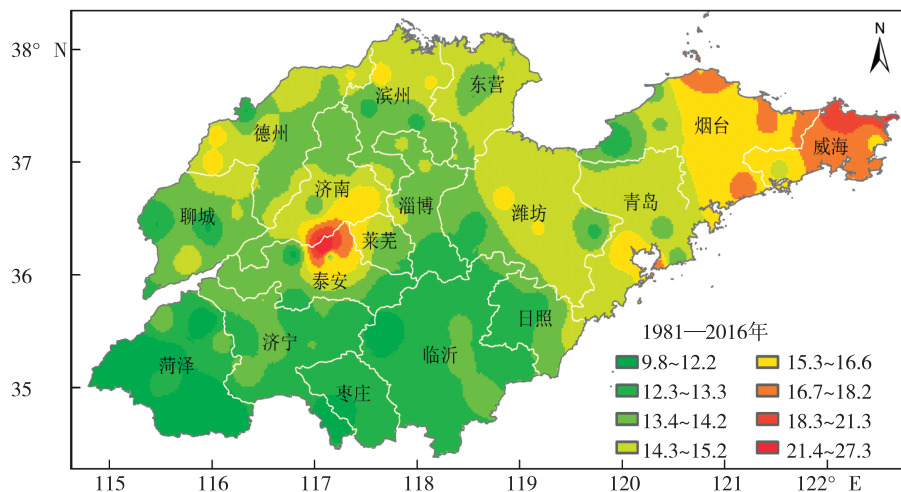


图3 山东年平均最大风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the average annual maximum wind speed (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in Shandong from 1981 to 2016

2.3 最大风速的年代际变化

山东各年代际最大风速呈减小趋势,20世纪80、90年代,21世纪最初10年和2011—2016年,全

省平均最大风速分别为 $15.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $14.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $13.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $11.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,逐年代际最大风速减小趋势明显,20世纪80年代最大,2011年以来最小,

从 20 世纪 80 年代开始,逐年代际最大风速减小量分别为 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,2011 年以来减小最明显。

山东各年代际最大风速空间分布差异明显(图 4)。20 世纪 80 年代,山东半岛东部和鲁中山区超过 $19.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,潍坊东部、鲁北、鲁西一带最大风速超过 $15.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,鲁南、鲁东南、鲁西南一带最大风

速相对较小,一般在 $14.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下。20 世纪 90 年代,最大风速超过 $15.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域明显减小,低风速区域明显增大,21 世纪最初 10 年,山东大部分区域最大风速均在 $15.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,2011—2016 年除了鲁中山区的泰山站、半岛东北部沿海以外,其他大部分区域最大风速低于 $13.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

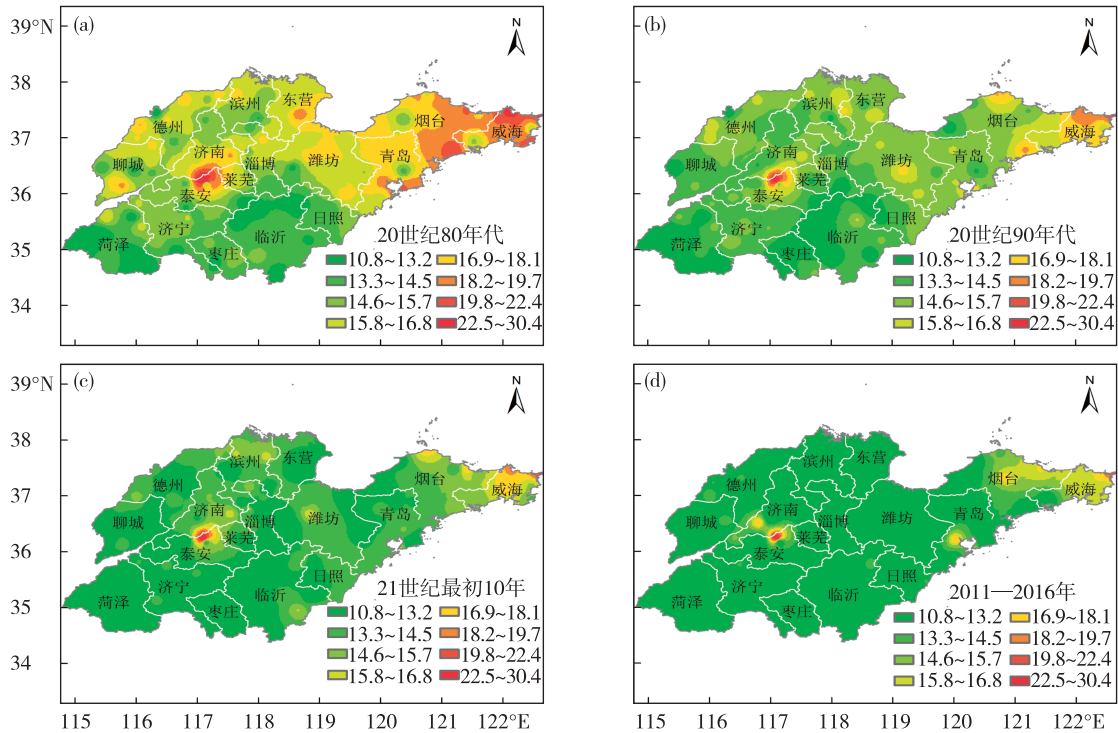


图 4 1981—2016 年山东最大风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)的年代际变化

Fig.4 Decadal spatial distribution of the maximum wind speed (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in Shandong from 1981 to 2016

2.4 最大风速的气候倾向率

1981—2016 年山东各站年最大风速变化趋势在 $-4.11 \sim 1.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (图 5),区域差异明显,大部分区域呈减小趋势,莱州湾、山东半岛东

南沿海及内陆部分区域减小趋势最明显,在 $-2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 以下,共计 90 站(图 5)减小趋势通过了 0.01 显著性水平检验,减小趋势极显著。鲁东南的临沂和日照、半岛部分区域、滨州、济南部分

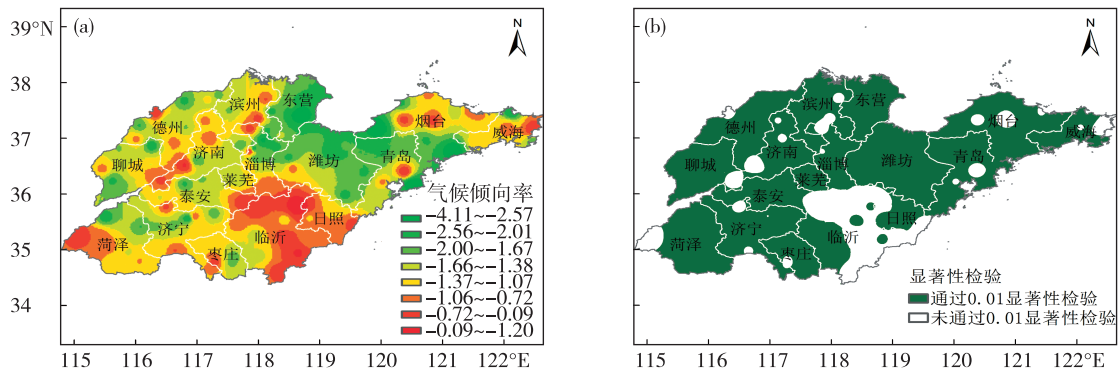


图 5 1981—2016 年山东最大风速的气候倾向率(a;单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$)及通过显著性检验区域(b)的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of the climate tendency rate (a; units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$) of maximum wind speed and regions (b) that pass significance test in Shandong from 1981 to 2016

区域减小趋势较小,部分站点变化趋势接近0,未通过0.01显著性水平检验,另外山东仅长清、临沭、沂水三站最大风速历年变化为正值,即有增大的变化趋势,但长清和临沭最大风速的气候倾向率分别为 $0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $0.04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,没有通过0.05显著性水平检验,增大趋势不显著,沂水站为 $1.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,通过了0.01显著性水平检验,增大趋势极显著。气象站迁站可能是造成沂水站、长清站与临沭站最大风速增大变化趋势的原因之一(详见讨论部分论述)。

2.5 最大风速的突变特征

2.5.1 全省平均

采用Mann-Kendall法对山东各站年平均最大风速序列进行突变检验(图6a),图中红色实线是最大风速的顺序统计曲线(UF),蓝色实线是逆序统计

曲线(UB),并给定显著性水平0.05,临界线为 ± 1.96 (图中虚直线)。从图中可知,年最大风速呈逐年波动减小变化趋势,1988年减小趋势超过0.05的临界线,表明其减小趋势更显著,之后一直呈减小趋势。UF和UB线相交于两条临近线以外,因此通过年最大风速的累积距平变化曲线(图6b)来判断UF和UB交点是否是突变点,2002年以前,年最大风速为正距平,年最大风速多超过平均值,2002年以后,年最大风速多为负距平,年最大风速多低于平均值,结合Mann-Kendall突变检验和累积距平综合判断,山东年最大风速在2002年前后发生了突变,突变后最大风速显著减小。突变发生前,山东年平均最大风速为 $15.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,突变发生后,年平均最大风速为 $12.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

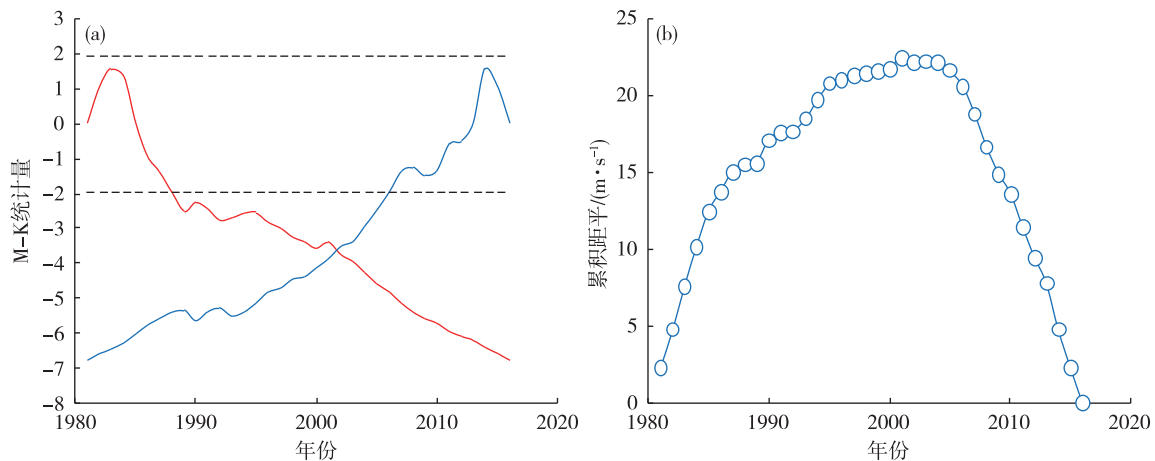


图6 1981—2016年山东年最大风速Mann-Kendall突变检验(a)和累积距平(b)

Fig.6 Mann-Kendall mutation test (a) and accumulation curve (b) of anomaly of annual maximum wind speed in Shandong from 1981 to 2016

2.5.2 各地市平均

山东各地最大风速突变年份并不一致(表2),莱芜市年最大风速突变年份最早,为1989年,临沂市没有发生突变,其他各地市突变年份一般在20世纪90年代和21世纪最初10年,枣庄市年最大风速突变最晚,为2007年。各地市年平均最大风速突变前后,最大风速明显减小,其中莱芜年平均最大风速减小最大,为 $5.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,济南减小最弱,为 $1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.6 最大风速的重现期

基于山东1981—2016年各站最大风速数据,利用耿贝尔分布估算的山东50 a和100 a重现期最大风速结果见图7。山东各站50 a最大风速重现期结果在 $15.7 \sim 41.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,100 a结果在 $16.9 \sim$

$44.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,均是菏泽站最小,泰山站最大。50 a和100 a最大风速重现期结果和观测的最大风速空间分布类似,沿海地区和鲁中山区较大,鲁南和鲁西南较小。其中山东半岛东部和泰山一带,50 a、100 a最大风速重现期结果分别超过 $29.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $31.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,鲁西南一带最小,分别小于 $19.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $21.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3 讨论

造成近地面风速减小的原因主要有大气环流的变化和人类活动改变地面粗糙度。在东亚,大尺度环流模式变化主要由东亚季风系统变化代表,包括东亚夏季风和东亚冬季风。Ding et al.^[24]研究指出,过去50多年,东亚冬季风和东亚夏季风均有减

弱变化趋势, Xu et al.^[5]指出, 1969—2000 年东亚季风的减弱造成中国近地面风速减小, 其中中国东南部近地面风速是受东亚季风影响最显著的地区。Jiang et al.^[25]对中国 174 个城市站和 180 个乡村站的风速对比结果看, 城市的风速比乡村更低, 城市的近地面风速减小趋势更明显。Li et al.^[26]也发现大城市的近地面风速减小最明显, 其次是中小城市, 乡村站减小趋势最弱。Guo et al.^[27]同样指出, 城市的近地面风速比乡村站减小更明显。

表 2 1981—2016 年山东各地最大风速突变发生年份

Table 2 Mann-Kendall test for abrupt climate change of annual maximum wind speed (units: $m \cdot s^{-1}$) in 17 cities of Shandong from 1981 to 2016

地市	气象站数/个	突变年份	最大风速/ $(m \cdot s^{-1})$	
			突变前	突变后
济南	6	1993	15.6	13.7
青岛	7	1997	17.1	12.9
淄博	8	2004	14.8	12.0
枣庄	5	2007	13.5	10.2
东营	4	2005	15.9	11.2
烟台	11	1994	18.2	14.8
潍坊	9	2005	15.7	11.7
济宁	11	2006	14.3	11.1
泰安	6	2005	16.3	13.3
威海	6	1999	19.6	17.2
日照	3	2006	14.1	11.4
莱芜	1	1989	17.8	12.5
德州	10	1999	15.7	13.4
滨州	7	2006	15.2	12.3
临沂	10	无	-	-
菏泽	9	2005	12.6	10.2
聊城	8	1998	15.1	12.3

由表 2 可知, 山东各地最大风速突变发生年份区域差异明显, 但主要集中在 20 世纪 90 年代和 21 世纪最初 10 年, 这两个时段是我国改革开放以来国民经济快速发展的时段, 大部分城市面积急剧扩张, 城市土地利用类型也发生了显著改变, 城市区域粗糙度增加使得当地气象站测风环境发生改变, 减弱了当地的近地面风速。另外, 由于气温升高能减弱地面气压强度^[28], 使得大气驱动力减小, 也可能是造成近地面风速减小和突变的原因, Xu et al.^[5]指出最低气温增加 $1^{\circ}C$ 能使得中国北部地区风速减小 $0.15 m \cdot s^{-1}$, Yang et al.^[29]揭示了中国西南部地区年平均风速和气温要素的相关性, 相关系数达到 -0.54 。我国不同地区气温要素一般也多在 20 世纪 90 年代和 21 世纪最初 10 年发生突变, 突变后气温显著升高, 比如安徽省平均气温在 1996 年^[30]、华北地区平均气温在 1993 年^[31]、黄河三角洲地区平均气温在 1993 年突变^[32]。同时山东各站最大风速需要时距订正和高度订正的时段主要集中在 20 世纪 90 年代和 21 世纪最初 10 年, 个别站点的时距订正和高度订正公式计算得到的数据会与原始的最大风速记录有所偏离, 也可能是造成最大风速在这两个时段集中发生突变的原因之一。特别是在最大风速增大趋势的 3 个台站中, 其中沂水站分别于 2004 年和 2010 年迁站, 迁站后最大风速明显增大, 另外, 该站 1998—2004 年为定时观测, 经过时局订正后最大风速与 1997 年以前差别较大, 是造成沂水站 1998 年以来最大风速增大的主要因素之一, 长清站、临沭站与沂水站情况类似。由于风的观测记录局地性较强, 虽然通过时局订正和高度订正后形成的各站历年最大风速数据完整序列, 但该序列受观测站观测环境变化、观测仪器

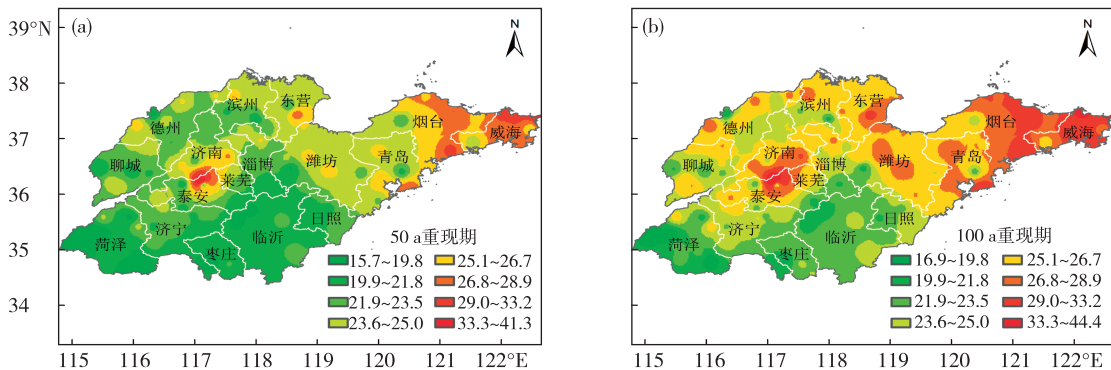


图 7 1981—2016 年山东 50 a(a) 和 100 a(b) 重现期最大风速(单位: $m \cdot s^{-1}$) 空间分布

Fig.7 Distribution of maximum wind speed (units: $m \cdot s^{-1}$) for the recurrence intervals of 50 years (a) and 100 years (b) in Shandong from 1981 to 2016

变更等因素影响,仍表现为各站不同的长期变化趋势。同时不同天气系统对局地最大风速数据的影响显著,对于出现历史极值的最大风速记录,需要结合当时的天气实况及周边观测站最大风速观测记录进行综合判断,仅依赖均一性或一致性检验并不完全可靠。因此发展综合考虑大气环流和人类活动影响的高时空分辨率的风场模拟数值模式系统是未来分析风速变化的有效途径之一。

近地面风速变化原因复杂,其中大气环流减弱和人类活动造成的下垫面粗糙度增加是近地面风速减小的关键因素,人类活动排放的温室气体增加也可能是造成风速减小的原因之一^[33-34]。气象站迁站,观测仪器更换、观测仪器的灵敏度或测风高度改变甚至风能开发利用^[35]都可能造成近地面风速的减小。影响风速变化的各种因素之间相互关联,难以用量化指标确定各种因素对风速变化的影响程度。

4 结论

1) 山东年平均最大风速呈逐年波动减小变化趋势,气候倾向率为 $-1.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,减小趋势极显著。沿海地区和鲁中山区最大风速较大,鲁南和鲁西南较小。潍坊以东半岛地区和滨州、东营北部最大风速一般在 $14.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,鲁西南一带最大风速最小,不超过 $12.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。各年代际最大风速呈减小趋势,20世纪80、90年代、21世纪最初10年和2011—2016年全省平均最大风速分别为 $15.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $14.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $13.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $11.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,逐年代际最大风速减小趋势明显。

2) 山东各站年最大风速变化趋势在 $-4.11 \sim 1.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,区域差异明显,大部分区域呈减小的变化趋势。山东年最大风速在2002年前后发生了突变,突变后最大风速显著减小。不同区域最大风速突变发生年份不同。

3) 山东各站50 a最大风速重现期结果在 $15.7 \sim 41.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,100 a结果在 $16.9 \sim 44.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,均是菏泽站最小,泰山站最大。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划[J]. 可再生能源, 2007, 25(5): 32.
- [2] 国家能源局. NB/T 31107-2017 低风速风力发电机组选型导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [3] McVicar T R, Van Niel T G, 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 [J]. Geophys Res Lett, 2008, 35(20): 288-299.
- [4] 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.
- [5] Xu M, Chang C-P, Fu C, et al. Steady decline of East Asian monsoon winds, 1969-2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed [J]. J Geophys Res, 2006, 111(D24): 1-8.
- [6] 刘学锋, 梁秀慧, 任国玉, 等. 台站观测环境改变对我国近地面风速观测资料序列的影响[J]. 高原气象, 2012, 31(6): 1645-1652.
- [7] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z C, et al. Changes in wind speed over China during 1956-2004 [J]. Theor Appl Climatol, 2010, 99(3): 421-430.
- [8] Vautard R, Cattianx J, Yiou P, et al. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness [J]. Nature Geosci, 2010, 3(11): 756-761.
- [9] 陈兵, 邱辉, 赵巧华. 江苏省年最大风速的时空分布及突变分析[J]. 气象科学, 2010, 30(2): 214-220.
- [10] 曹永旺, 延军平. 1971—2013年环渤海地区风速的时空特征[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1320-1329.
- [11] 史军, 徐家良, 谈建国, 等. 上海地区不同重现期的风速估算[J]. 地理科学, 2015, 35(9): 1191-1197.
- [12] 郭俊建, 孙莎莎. 山东沿海精细化海区大风特征分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(4): 41-46.
- [13] 刘桂才, 王善芳, 周树华, 等. 莱州湾海区与内陆大风对比分析[J]. 海洋预报, 2010, 27(4): 53-58.
- [14] 王凯, 廖海黎, 李明水, 等. 山区峡谷桥梁设计基准风速的确定方法[J]. 西南交通大学学报, 2013, 48(1): 29-35.
- [15] 李永乐, 唐康, 蔡宪堂, 等. 深切峡谷区大跨度桥梁的复合风速标准[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(2): 167-173.
- [16] 聂利英, 李江飞. 山区峡谷桥梁抗风设计基准风速取值与风荷载计算[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2014, 13(3): 324-329.
- [17] 马韞娟, 马淑红. 我国铁路客运专线桥梁设计风速研究[J]. 铁道技术监督, 2009, 37(10): 34-37.
- [18] 刘勇胜, 陈龙泉, 傅小城. 核电厂设计基准风速计算有关问题探讨[J]. 气象与减灾研究, 2013, 36(3): 69-72.
- [19] 翟明雷, 李钢, 肖湘, 等. 蓝山至临武220 kV输电线路工程抗风及抗冰设计[J]. 化学工程与装备, 2017, (4): 215-218.
- [20] 谭波, 赵志军. 林芝机场地面大风特征分析及其对飞行的影响[J]. 资源开发与利用, 2010, 26(12):

- 1071-1074.
- [21] 袁春红, 薛桁, 杨振斌. 建筑风荷载风压计算中的若干问题[J]. 气象, 2002, 28(1): 39-42.
- [22] 呼津华, 王相明. 风电场不同高度的50年一遇最大和极大风速估算[J]. 应用气象学报, 2009, 20(1): 108-113.
- [23] 孙安健, 刘小宁. 极端风速分布模式在我国各气候区的适用性[J]. 气象, 1993, 19(10): 12-15.
- [24] Ding Y, Liu Y, Liang S, et al. Interdecadal variability of the East Asian winter monsoon and its possible links to global climate change[J]. J Meteor Res, 2014, 28(5): 693-713.
- [25] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z, et al. Projections of wind changes for 21st century in China by three regional climate models[J]. Chin Geogra Sci, 2010, 20(3): 226-235.
- [26] Li Z, Yan Z, Tu K, et al. Changes in wind speed and extremes in Beijing during 1960—2008 based on homogenized observations[J]. Adv Atmos Sci, 2011, 28(2): 408-420.
- [27] Guo H, Xu M, Hu Q. Changes in near-surface wind speed in China: 1969—2005[J]. Int J Climatol, 2011, 31(3): 349-358.
- [28] Dadaser-Celik F, Cengiz E. Wind speed trends over Turkey from 1975 to 2006[J]. Int J Climatol, 2014, 34(6): 1913-1927.
- [29] Yang X, Li Z, Feng Q, et al. The decreasing wind speed in southwestern China during 1969—2009, and possible causes[J]. Quatern Int, 2012, 263(3): 71-84.
- [30] 刘永婷, 徐光来, 尹周祥. 全球变化背景下安徽近55a气温时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 680-691.
- [31] 张一驰, 吴凯, 于静洁. 华北地区1951—2009年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1930-1941.
- [32] 宋德彬, 于君宝, 王光美. 1961—2010年黄河三角洲湿地区年平均气温和年降水量变化特征[J]. 湿地科学, 2016, 14(2): 248-253.
- [33] Lin C, Yang K, Qin J, et al. Observed coherent trends of surface and upper-air wind speed over China since 1960[J]. J Climate, 2013, 26(9): 2891-2903.
- [34] Wang C, Prinn R G. Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms[J]. Atmos Chem Phys, 2010, 10(4): 2053-2061.
- [35] 赵宗慈, 罗勇, 江滢. 风电场对气候变化影响研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(6): 400-406.