

文章编号: 1000-0534(2009)03-0680-08

近 30 年我国高空风速变化趋势分析

张爱英¹⁻³, 任国玉^{2*}, 郭军⁴, 王颖⁵

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国气象局气候研究开放实验室/国家气候中心, 北京 100081;
3. 山东省气候中心, 山东 济南 250031; 4. 天津市气候中心, 天津 300074;
5. 中国气象局国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要: 1980—2006 年间采用全国 119 个探空站 14 个等压面的月平均风速资料, 分析了我国高空对流层和平流层下层风速变化的时间和空间特征, 并和同期地面风速变化进行了对比。结果表明, 我国近 27 年对流层中下层和对流层上层风速呈下降趋势, 年平均风速线性变化速率分别为 $-0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 均未通过 0.05 显著性水平检验; 平流层下层全国年平均风速呈上升趋势, 上升速率为 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 亦未通过 0.05 显著性水平检验。同期全国地面风速则呈现更显著的降低趋势, 年平均风速线性变化速率为 $-0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 通过了 0.05 显著性水平检验。我国地面气象站记录的平均风速减弱可能受到大尺度大气环流变化的影响, 更可能与台站附近观测环境变化和城市化等人为因素影响有密切关系。

关键词: 中国; 风速; 气候变化; 对流层; 平流层; 地面

中图分类号: P457.5 **文献标识码:** A

1 引言

风是研究大气动力学和气候变化的一个重要参量。利用风的数据, 可以认识大气运动状态的变化, 提高气候分析和预测的能力。风向和风速的变化与大气的能量和物质循环紧密相关, 对区域气候有重大影响。我国高空风以纬向风速为绝对优势, 高空平均风速变化基本上反映了纬向平均风速的变化。分析高空风速变化对深入理解区域气候变化机理具有重要帮助^[1-2]。另外, 包括风场在内的高空大气环流的变化也对低层的天气系统产生重要作用, 研究高空风速变化对了解低层天气系统的发生和发展也具有重要借鉴意义^[3-4]。

风能资源评估要求对近地面风速的时空变化特征进行系统分析。近年来, 一些学者分别分析了我国区域平均风速的气候变化趋势, 一致得出近地层年和季节平均风速存在显著减弱趋势的结论^[5-7]。这和全国风能资源普查获得的大部分地区风能资源储量减小的结果是一致的。地面风速的减弱可能也

对观测到的近 50 年沙尘天气日数减少和陆地潜在蒸发量下降具有一定影响^[6-7]。但是, 对于地面风速减弱的原因, 目前还没有完全了解。研究高空和地面风速变化以及它们之间的关系, 为了解观测场周围环境变化对风速变化产生的影响也提供了一种新的思路, 因为高空观测风速基本不受地面观测环境变化的影响, 高空风速与地面风速变化的差异在一定程度上代表观测环境变化对实测地面风速的影响^[8]。

长期以来, 对高空风速和风向异常的研究多采用全球再分析资料, 利用实测探空资料分析高空风速变化的研究较少。王丽琼等^[9]利用 1991—1995 年台北高空气候资料年报表分析了该地区对流层顶风的年变化特征; 马瑞平等^[10]利用 Nimbus-7 卫星 1979—1981 年的平流层和中间层大气温度探测数据和热层风原理, 计算了高空风场, 得到中国上空 20~80 km 范围风场的一些特征。但这些研究多限于小区域或是较短的时间序列。因此, 在全国范围内利用各等压面实测数据分析高空风的变化是

收稿日期: 2008-05-28; 改回日期: 2009-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40575039); 国家科技支撑项目课题(2007BAC03A01) 共同资助

作者简介: 张爱英(1974—), 女, 山东济宁人, 工程师, 主要从事气候与气候变化的研究。E-mail: zhangay66@sohu.com

*通信作者: 任国玉。E-mail: guoyou@cma.gov.cn

非常必要的。

本文利用全国 119 个台站的探空资料, 对我国不同高度层平均风速的年和季节变化趋势进行分析, 并与相同台站地面风速变化进行对比。研究结果对了解我国高空风速变化规律及其潜在的气候学意义, 理解地面风速减弱现象的可能原因具有一定的理论和实际意义。

2 资料及处理

所用资料来自中国气象局国家气象信息中心, 为全国 119 个站无线电探空仪观测的 13 个等压面和地面 1980—2006 年月平均风速值。这 13 个等压面包括 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30 和 20 hPa。1980 年之前的高空风资料在多数台站是缺测的, 资料连续性和质量不好, 故本文分析的起始时间确定为 1980 年。另外, 20 世纪 70 年代末也是中国气候的一个重要转折阶段, 此后地面气候明显变暖, 降水异常的空间分布也出现显著变化^[11-12]。分析 1980 年以来我国高空平均风速变化对了解气候态转折后大气环流背景具有实际参考价值。

本文所用月探空风速资料经过质量控制。这套资料整体缺测率为 8.4%。为了保证资料的连续性和代表性, 规定在所分析时期内, 如果某年缺测资料达到 4 个月以上, 则该年平均风速作为缺测, 不参与统计; 如果某年资料缺测少于或等于 3 个月, 则采用该年其余月份观测值计算年平均值。高空测风资料分布除青藏高原中西部相对稀少外, 其他省份分布比较均匀, 可以保证全国平均风速趋势值的估计以及趋势空间分布特征的分析。

为了和高空风速变化比较, 地面资料同样取自 119 个探空站, 而且也是这些地点的探空风速观测记录。我国的探空站基本上也是国家基准气候站, 因此, 根据这些站地面观测统计的风速变化特征值与此前根据国家级地面气象站获得的风速变化分析结果^[6]具有一定可比性。

3 方法介绍

在气候变化分析中, 国内学者常采用 Jones 等^[13]的方法, 计算各个气候要素的区域平均时间序列^[14-16]。本文也应用这种方法统计获得全国平均高空和地面风速时间序列。

首先, 分别计算每个站点和每一等压面上的平均风速, 获得所有站点和各等压面上的月、季、年

平均风速时间序列。在计算全国平均各等压面上的平均风速时, 把中国区域按经纬度划分为 $5^\circ \times 5^\circ$ 的网格, 计算每个网格内各站点的算术平均, 得到该网格的平均风速值, 然后应用面积加权法计算获得各等压面上的全国平均逐年月、季、年平均风速时间序列。

对月、季和年平均风速进行一次线性趋势拟合, 得到风速变化速率值。具体算法如下:

对风速序列 x_i 及相应的时间 t_i , $x_i = a + bt_i$, 回归系数 b 和常数 a 的最小二乘法估计为

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}, \quad (1)$$

$$a = \bar{x} - b\bar{t}, \quad (2)$$

式中回归系数 b 表示风速 x 的趋势倾向, $b > 0$ 时, 说明随时间 t 的增加 x 呈上升趋势; $b < 0$ 时, 说明随时间 t 的增加 x 呈下降趋势。 b 的大小反映了上升或下降的速率, 即表示上升或下降的倾向程度。文献^[17]将 $10 \times b$ 称为气候倾向率, 单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

风速气候倾向率也可采用风速与时间序列号之间的相关系数表示, 称作趋势系数^[17]。趋势系数 r 表示风速 x 与时间 t 之间线性相关的密切程度。 $|r|$ 越大, 表明 x 与 t 之间的线性相关就越大。要判断气候倾向率的程度是否显著, 需要对趋势系数进行显著性检验。确定显著性水平 α , 若 $|r| > r_\alpha$, 表明 x 随时间 t 的气候倾向率是显著的, 否则气候倾向率不显著^[17-18]。本文选择 $\alpha = 0.05$ 为显著性水平(下称显著性水平), 对风速气候倾向率进行显著性水平检验。同时以 $\alpha = 0.01$ 显著性水平作为参考。

季节的划分方法是: 上年 12 月至当年 2 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季。年平均风速为一年内 12 个月平均风速的算术平均。

在计算分析各等压面平均风速变化的基础上, 借鉴文献^[16]的划分方法, 并参照各等压面年平均风速气候倾向率的一致性(表 1), 把垂直大气剖面进一步划分为 3 个厚度层, 分别是: 对流层中下层(包括 850, 700, 500, 400 hPa 等压面)、对流层上层(包括 300, 250, 200, 150 hPa 等压面)、平流层下层(包括 100, 70, 50 hPa 等压面)。除个别季节(如冬季对流层中部平均风速为正趋势)外, 同一厚度层内各个等压面的风速趋势一般也是相似的。计

算每个厚度层的平均风速和风速线性变化趋势, 获得 3 个厚度层的全国平均逐年月、季、年平均风速时间序列和风速变化趋势值, 以便分析不同厚度层平均风速变化的时空规律。

4 结果分析

4.1 风速变化垂直分布特征

图 1 为全国平均各等压面的年平均风速气候倾向率垂直分布情况, 表 1 则给出所有等压面年和季节平均风速的气候倾向率和趋势系数。可见, 年平均风速变化趋势在整个对流层都是减弱的, 其中地面平均风速气候倾向率为 $-0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 趋势系数达 -0.774 , 通过了 0.05 显著性水平检验。850 hPa 和 400 hPa 等压面的平均风速气候倾向率虽未通过 0.05 显著性水平检验, 但趋势系数较大, 变化趋势较为显著; 100 hPa 及其以上的平流层各等压面年平均风速均呈增加趋势, 其中 50 hPa 和 70 hPa 的增加也较显著。150 hPa 等压面处于过渡层次, 年平均风速变化最不明显。

图 1 表明, 地面年平均风速变化与 250 hPa 以下风速减少幅度自上而下逐渐变弱的趋势不吻合, 风速下降趋势比近地面各等压面层显著得多。只有地面的年平均风速变化趋势是显著的, 地面以上包

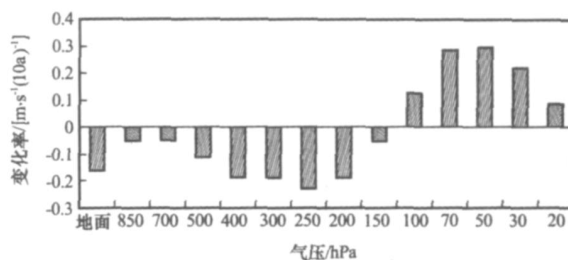


图 1 全国年平均风速气候倾向率的垂直特征

Fig. 1 Vertical characteristic of annual mean wind speed trend in China

括近地面层年平均风速变化趋势均未通过显著性水平检验。这种风速变化垂直方向上的不协调性应该反映观测环境变化对地面实测风速的影响, 即地面风速减小可能受到了包括城市化在内的观测环境变化等非自然因素的影响。

春、夏和秋季平均风速变化的垂直分布特点与年平均较相近, 表现为对流层平均风速普遍减弱, 但平流层变化不明显或上升(见表 1)。夏季变化的垂直结构则与年平均几乎一致, 秋季也较相似, 但春季平流层平均风速则呈下降趋势。冬季平均风速变化的垂直分布特点与年和其他季节平均比较相差较大, 对流层中层的 700 hPa 到 300 hPa 平均风速表现出微弱增加趋势, 但近地面和对流层上部仍为

表 1 全国各等压面年和四季平均风速气候倾向率($\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$)和趋势系数

Table 1 Change trends($\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$) and trend coefficients of annual and seasonal mean wind speeds and statistical significance at different altitude levels in China

	冬季		春季		夏季		秋季		年	
	$10 \times b$	r	$10 \times b$	r	$10 \times b$	r	$10 \times b$	r	$10 \times b$	r
地面	-0.20 *	-0.755	-0.13 *	-0.565	-0.17 *	-0.666	-0.17 *	-0.686	-0.16 *	-0.775
850	-0.08	-0.190	0.03	0.067	-0.07	-0.192	-0.09	-0.249	-0.05	-0.342
700	0.08	0.098	0.01	0.004	-0.15	-0.317	-0.17	-0.281	-0.05	-0.235
500	0.18	0.110	-0.07	-0.056	-0.18	-0.277	-0.23	-0.208	-0.11	-0.271
400	0.11	0.053	-0.18	-0.102	-0.25	-0.287	-0.32	-0.219	-0.19	-0.332
300	0.11	0.041	-0.28	-0.124	-0.39	-0.317	-0.4	-0.227	-0.19	-0.263
250	-0.11	-0.041	-0.37	-0.157	-0.51	-0.346	-0.44	-0.230	-0.23	-0.269
200	-0.02	-0.005	-0.42	-0.162	-0.63	-0.359	-0.36	-0.193	-0.19	-0.216
150	0.15	0.048	-0.21	-0.072	-0.61	-0.311	-0.25	-0.145	-0.05	-0.054
100	0.37	0.118	-0.16	-0.054	-0.11	-0.078	-0.12	-0.074	0.13	0.152
70	0.53	0.15	-0.13	-0.048	0.25	0.299	0.04	0.028	0.29	0.345
50	0.41	0.104	-0.05	-0.023	0.22	0.200	0.04	0.028	0.30	0.342
30	-0.04	-0.011	-0.07	-0.035	0.22	0.172	-0.08	-0.047	0.22	0.263
20 hPa	-0.71	-0.172	-0.34	-0.143	0.26	0.194	-0.06	-0.031	0.09	0.095

注: *通过 $=0.05$ 显著性水平检验, b 是线性回归系数

减弱，平流层则以上升趋势为主。

各个季节地面平均风速降低趋势全部通过了显著性水平。地面平均风速气候趋势最为显著的季节是冬季，趋势系数达到 - 0.755；其次是秋季和夏季；春季平均风速下降趋势最弱，但趋势系数也达到 - 0.565。相比较之下，高空各个等压面上季节平均风速的气候倾向率均未通过 0.05 显著性水平检验(见表 1)。夏季对流层上层 200 hPa 和 250 hPa 等压面的平均风速减小趋势虽未通过 0.05 显著性水平检验，但趋势系数较大，减小趋势较为明显。因此，尽管与对流层各等压面平均风速变化方向相近，但地面各个季节平均风速减少趋势要更加显著。

表 2 给出了高空不同厚度层和地面全国平均风速之间的相关系数矩阵。由表可看出，地面和对流层中下层、对流层上层存在正相关关系，其中地面和对流层中下层相关显著，通过 0.05 显著性水平检验。但地面与平流层下层存在负相关关系，说明地面和高空各厚度层平均风速之间具有明显的动力相互作用，我国地面平均风速的明显减弱与对流层平均纬向风速下降具有一定联系。

表 2 高空不同厚度层和地面全国平均风速之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of annual mean wind speeds at the different altitude levels in China

	地面	对流层中下层	对流层上层	平流层下层
地面	1	0.405 *	0.278	- 0.238
对流层中下层		1	0.919 *	0.416 *
对流层上层			1	0.547 *
平流层下层				1

注：*通过 =0.05 显著性水平检验

4.2 各厚度层风速时间变化特征

图 2 为全国平均各厚度层(对流层中下层、对

表 3 全国各厚度层和地面年平均风速变化气候倾向率及趋势系数

Table 3 Change trend and the trend coefficient of mean wind speeds at different atmospheric levels in China

厚度层	地面	对流层中下层	对流层上层	平流层下层
气候倾向率 /[m · s ⁻¹ · (10a) ⁻¹]	- 0.16 *	- 0.10	- 0.17	0.24
趋势系数	- 0.774 *	- 0.328	- 0.201	0.296

注：*通过 =0.05 显著性水平检验

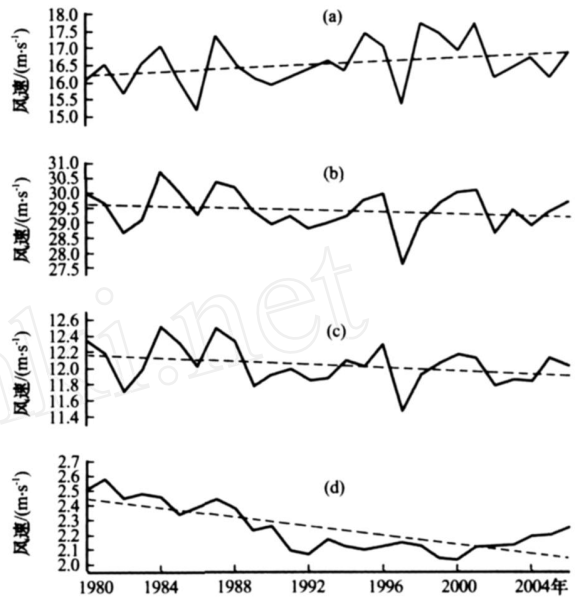


图 2 全国各厚度层和地面年平均风速及气候倾向率 (a) 平流层下层, (b) 对流层上层, (c) 对流层中下层, (d) 地面, 折线为历年值, 虚线为线性趋势

Fig. 2 Change trends in annual mean wind speed over China from 1980 to 2006. (a) lower stratosphere, (b) upper troposphere, (c) mid- and lower-troposphere, (d) surface. Curve is calendar year value, dashed line is linear trend

流层上层、平流层下层)和地面年平均风速变化。表 3 为各厚度层和地面风速气候倾向率及其显著性检验结果。在 1980—2006 年期间，全国对流层中下层年平均风速呈降低趋势，平均气候倾向率为 - 0.10 m · s⁻¹ · (10a)⁻¹，未通过 0.05 显著性水平检验，但通过了 0.1 的显著性水平检验；对流层上层年平均风速也呈降低趋势，气候倾向率为 - 0.17 m · s⁻¹ · (10a)⁻¹，未通过显著性水平；平流层下层风速呈上升趋势，气候倾向率为 0.24 m · s⁻¹ · (10a)⁻¹，未通过 0.05 显著性水平检验。与高空各层平均风速变化比较，全国地面年平均风速同样呈现出独特的显著降低趋势。

表 4 给出四季各厚度层平均风速气候倾向率和趋势系数。由表 4 可以看出，对流层中下层四季风速气候倾向率不很明显，均未通过 0.05 显著性水平检验。春、夏、秋季平均风速呈现降低趋势，冬季呈微弱上升趋势，夏季的下降趋势未通过 0.05 显著性水平检验(但通过了 0.1 的显著性水平检验)；对流层上层四季风速气候倾向率与中下层相似，春、夏、秋季呈现降低趋势，冬季呈微弱上升趋势，夏季平均风速减小趋势未通过 0.05 显著性

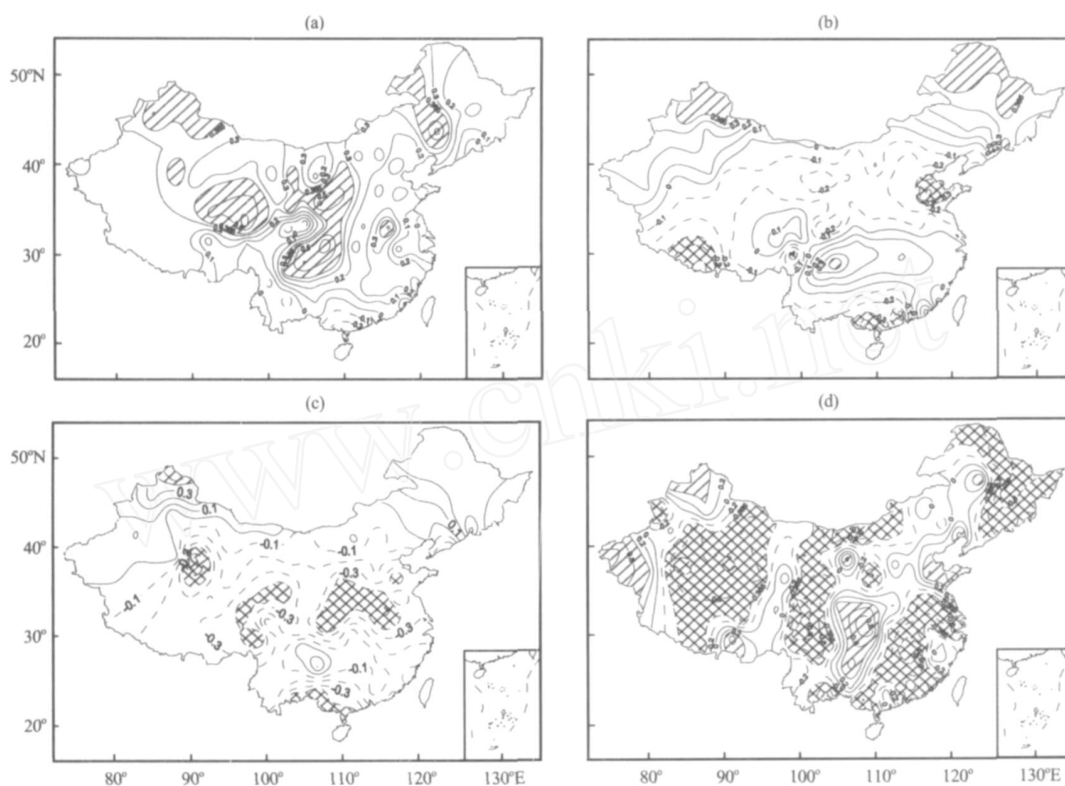


图3 全国高空和地面年平均风速变化趋势系数分布

(a) 平流层下层, (b) 对流层上层, (c) 对流层中下层, (d) 地面, 交叉斜线阴影区代表负趋势变化通过了0.05显著性水平检验, 斜线阴影区代表正趋势变化通过了0.05显著性水平检验, 实线代表正值, 虚线代表负值

Fig. 3 Distribution of annual mean wind speed trend coefficient at different atmospheric levels in China.

(a) lower stratosphere, (b) upper troposphere, (c) lower-and mid-troposphere, (d) surface. Shaded areas with oblique lines denote that the positive change trends have passed statistically significant level at 0.05, and shaded areas with cross lines denote that the negative change trends significant level at 0.05. Solid line is positive value, dashed line is negative value

水平检验, 但通过了0.1显著性水平检验; 平流层下层冬季和夏季风速呈上升趋势, 春季和秋季呈下降趋势, 但各季气候倾向率均未通过0.05显著性水平检验。

4.3 各厚度层风速变化水平分布特征

图3为各厚度层年平均风速趋势系数的空间分布。对流层中下层年平均风速在多数地区呈减少趋势, 仅南方个别台站风速呈上升趋势。风速下降趋势最显著的地区在华北和青藏高原。尽管多数台站风速减少, 但通过0.05显著性水平检验的台站只有18个; 对流层上层的气候倾向率与中下层有较大差异, 年平均风速呈上升趋势和下降趋势的台站数几乎相等, 东北大部、新疆西北部、四川、贵州、湖北、浙江的部分地区风速均呈上升趋势; 风速呈下降趋势的台站一般分布在北京、河北、山东、西藏和华南的部分地区。就全国范围来看, 对流层上

层风速气候倾向率不很显著, 通过0.05显著性水平检验的台站只有13个; 平流层下层年平均风速总体呈上升趋势, 仅海口、西沙、厦门等局部地区呈微弱下降趋势。在风速表现为增加的台站中, 通过0.05显著性水平检验的台站数达到26个, 主要分布在西北东部、青藏高原东北部、东北西部以及中南部分地区。

图3d给出地面年平均风速变化趋势系数分布。除山东省部分台站及西南部分台站有较小的风速上升趋势外, 全国大部分地区风速都呈较显著的下降趋势, 其中通过0.05显著性水平检验的台站达65个。地面年平均风速变化趋势负值中心分布在西北东部、内蒙古西部、东北东部以及东南部地区, 这些地区的多数台站通过了0.05显著性水平检验。因此, 台站变化趋势分布情况再次说明, 我国地面平均风速的减少趋势较之对流层中下层明显得多。

表 4 全国各厚度层四季风速气候倾向率($m \cdot s^{-1} \cdot (10a)^{-1}$)与趋势系数

Table 4 Change trends ($m \cdot s^{-1} \cdot (10a)^{-1}$) and trend coefficients of seasonal mean wind speeds and the statistical significance at different atmospheric layers in China

		冬季	春季	夏季	秋季
对流层 中下层	气候倾向率 ($10 \times b$)	0.070	-0.060	-0.160	-0.210
	趋势系数 (r)	0.061	-0.054	-0.310	-0.240
对流层 上层	气候倾向率 ($10 \times b$)	0.03	-0.320	-0.540	-0.360
	趋势系数 (r)	0.011	-0.129	-0.351	-0.203
平流层 下层	气候倾向率 ($10 \times b$)	0.440	-0.110	0.120	-0.020
	趋势系数 (r)	0.127	-0.046	0.157	-0.012

5 结果分析

上述分析说明,近 30 余年我国上空平均风速在对流层一般下降,平流层则上升。对流层平均风速的下降幅度在近地面和高层较大;暖季下降趋势较明显,而冬季对流层中层则出现弱的增加趋势。春、夏、秋季对流层平均风速降低说明,对流层低层我国东部的西南气流和中高层的西风均有减弱。低层西南气流减弱与广泛报道的冬、夏季风减弱现象^[12, 19-21]是一致的,这可能和近 30 年大尺度海陆热力差异减小有关^[12-20];而中高层夏半年西风的减弱可能与大尺度海陆热力差异以及中纬度近地表经向热力梯度减小均有联系。夏季大尺度海陆热力差异减小可能与低纬度海洋表层水温升高有关,同时也与青藏高原和中国东部地面升温趋势微弱有一定联系^[12]。20 世纪 80 年代以来北半球高纬地区地面气温增暖比低纬地区明显,是中纬度近地表经向热力梯度减小的直接原因。

此外,施能等^[22]发现,1951—1995 年间西太平洋副热带高压与极涡强度都趋于加强,纬向环流趋于加强,经向环流则趋于减弱,显著的转折发生在 1976 年及 20 世纪 80 年代初;Lucarini 等^[23]研究表明,1960—2000 年间北半球 850, 500 和 200 hPa 年平均位势高度在中纬度地带上升,高纬度地

带则降低。夏季从华北到阿留申群岛一带为位势高度上升区,西伯利亚北部为下降中心。这说明高空西风的增强主要发生在中高纬度,而处于中低纬度的中国大陆西风风速一般趋于减弱。朱锦红等^[24]也发现,20 世纪 80 年代中期以后对流层中高纬度西风有明显加强趋势。Frauenfeld 等^[25]报道的 20 世纪 70 年代以后北半球极涡显著收缩等事实与本文的分析结果也是一致的。因此,我国高空平均风速的变化主要是大尺度大气环流改变的结果。

分析还表明,地面平均风速气候倾向率较之对流层中下层显著得多(表 1、表 3、表 4)。地面年平均风速的变化与 250 hPa 以下风速减少幅度自上而下逐渐变弱的趋势十分不协调(见图 1),说明观测环境改变、城市化和更大规模土地利用变化等非自然因素对地面实测风速可能产生了显著影响。文献[7]的模拟结果和一些地点的临时观测记录表明,我国城市以外地区地面平均风速的减少可能没有气象台站观测到的明显。最近,根据河北省所有台站地面风速资料分析发现,乡村站或观测环境变化不大的台站地面风速也有减少,但减少幅度显著偏低,说明城市化和观测环境改变是导致国家级台站观测到的风速明显下降的主要原因之一^[26]。

根据对流层风速趋势的垂直变化规律分析,自然情况下全国地面年平均风速的减少速率应仅为目前观测值($-0.16 m \cdot s^{-1} \cdot (10a)^{-1}$)的 1/3 左右。即在目前观测的年平均地面风速下降趋势中,大约有 2/3 是由于各种非自然因素变化引起的。夏季和秋季平均风速的下降趋势至少有一半可能是由非自然因素变化引起的。但是,由于对流层各个层次平均风速呈减弱趋势,说明我国大尺度大气环流场也经历了变化,这可能与近年来青藏高原的动力和热力作用改变以及海陆之间的热力差异改变有关,并对地面风速造成了一定影响^[27-28]。因此,我国地面风速减弱现象又不能完全归结于非自然因素的影响。

本文选用的地面风速资料为探空观测记录,这和地面站的风速观测记录有一定差异。另外,分析的时段和所采用的台站数量及分布也与前人不同。因此,简单地比较本文分析结果与前人根据地面站记录获得的结果不一定合适。尽管如此,本文对地面平均风速变化的分析结果与文献[5-6, 12]的研究结果较为接近。计算的地面年平均风速气候倾向率为 $-0.16 m \cdot s^{-1} \cdot (10a)^{-1}$,而文献[6]利用国家级气象站资料得到的结果为 $-0.2 m \cdot s^{-1} \cdot$

$(10a)^{-1}$, 风速下降趋势均非常显著, 其差异主要与观测方法、台站分布和分析时段不同有关。因此, 前人研究发现的我国大范围地面平均风速下降现象, 既有局地人为因素的影响, 也有大尺度大气环流变化的作用, 但可能以城市化和观测台站附近环境变化等人为因素影响为主。

6 结论

根据上述分析, 得到以下主要结论:

(1) 1980—2006 年期间, 我国地面、对流层中下层和对流层上层年平均风速均呈降低趋势。其中, 地面气候倾向率为 $-0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10a)^{-1}$, 通过了显著性水平, 对流层中下层平均风速下降趋势也比较明显。平流层下层年平均风速增加, 但未通过 0.05 显著性水平检验。

(2) 对流层中下层春、夏、秋季平均风速呈降低趋势, 冬季有微弱上升趋势, 夏季气候倾向率最大。平流层下层冬、夏季平均风速上升, 春、秋季则下降。地面各季节平均风速下降趋势明显, 均通过 0.05 显著性水平检验。

(3) 我国高空年平均风速变化存在区域差异, 其中对流层中下层在多数地区呈减少趋势, 华北和青藏高原更明显; 对流层上层风速上升明显的台站主要在东北、新疆和西南等地区, 而华北、西藏和华南地区风速下降比较明显。平流层下层年平均风速多数地区呈上升趋势。

(4) 我国年平均风速在整个对流层都是减弱的, 其中地面、850 hPa 和 400 hPa 等压面上的减弱趋势显著或较显著; 100 hPa 以上各等压面年平均风速均呈增加趋势, 其中 50 hPa 上的增加较显著。春、夏和秋季平均风速变化的垂直分布特点与年平均相近, 但冬季对流层中层平均风速表现出微弱增加。

(5) 我国地面风速变化趋势可能主要与观测环境改变和城市化等非自然因素影响有关, 但大尺度大气环流的变化也对地面风速减弱具有一定影响。

参考文献

[1] Jian Li, Rucong Yu, Tianjun Zhou. Why is there an early spring cooling shift downstream of the Tibetan Plateau[J]. *J Climate*, 2005, 18(22): 4660 - 4668

[2] 庞洪喜, 何元庆, 张忠林. 季风降水中 ^{18}O 与高空风速关系[J]. *科学通报*, 2004, 49(9): 905 - 908

[3] 李勇红, 张可苏. 急流加速产生的高空锋生和 low 空锋生[J]. 大

气科学, 1992, 16(4): 452 - 463

[4] 况雪源, 张耀存, 刘健. 对流层上层副热带西风急流与东亚冬季风的关系[J]. *高原气象*, 2008, 28(4): 701 - 712

[5] 王遵娅, 丁一汇, 何金海. 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

[6] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近五十年来中国地面气候变化的基本特征[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 942 - 956

[7] Zuo Hongchao, Li Dongliang, Hu Yinqiao, et al. Characteristics of climatic trends and correlation between pan-evaporation and environmental factors in the last 40 years over China[J]. *Chinese Sci Bull*, 2005, 50(12): 1235 - 1241

[8] 穆海振, 徐家良, 柯晓新, 等. 高分辨率数值模式在风能资源评估中的应用初探[J]. *应用气象学报*, 2006, 17(2): 152 - 159

[9] 王丽琼, 张立凤. 台北高空气象要素年变化特征分析[J]. *气象科学*, 2001, 21(2): 193 - 199

[10] 马瑞平, 廖怀哲. 中国地区 20 ~ 80 km 高空风的一些特征[J]. *空间科学学报*, 1999, 19(4): 334 - 341

[11] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. *高原气象*, 1999, 18(4): 465 - 475

[12] 丁一汇, 董文杰, 何金海, 等. 亚洲季风及其与中国气候和环境变化的关系[M]// 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰主编. 中国气候与环境演变(上卷). 北京: 科学出版社, 2005

[13] Jones P D, Hulme M et al. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations et al[J]. *Int J Climatol*, 1996, 16: 361 - 377

[14] 张莉, 任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J]. *气象学报*, 2003, 61(6): 744 - 750

[15] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 717 - 727

[16] 王颖, 任国玉. 中国高空温度变化初步分析[J]. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 780 - 790

[17] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. *气象学报*, 1995, 53(4): 432 - 438

[18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007

[19] 姜大膀, 王会军. 20 世纪后半期东亚夏季风年代际减弱的自然属性[J]. *科学通报*, 2005, 50(20): 2256 - 2262

[20] 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 东亚夏季风的年代际变率对中国气候的影响[J]. *地理学报*, 2003, 58(4): 569 - 576

[21] 龚道溢, 朱锦红, 王绍武. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析[J]. *高原气象*, 2002, 21(1): 8 - 14

[22] 施能, 朱乾根. 北半球大气环流特征量的长期趋势及年代际变化[J]. *南京气象学院学报*, 1996, 19(3): 283 - 389

[23] Lucarini V, GL Russell. Comparison of mean climate trends in the Northern Hemisphere between National Centers for Environmental Prediction and two atmosphere-ocean model forced runs[J]. *J Geophys Res*, 2002, 107, 4269, doi: 10.1029/2001JD001247

[24] 朱锦红, 王绍武, 张向东, 等. 全球气候变暖背景下的大气环流基本模态[J]. *自然科学进展*, 2003, 13(4): 417 - 421

[25] Frauenfeld O W, R E Davis. Northern Hemisphere circumpolar

- vortex trends and climate change implications [J]. *J. Geophys Res.*, 2003, 108, 4423, doi: 10.1029/2002JD002958
- [26] 刘学锋, 江滢, 任国玉, 等. 河北城市化和观测环境改变对地面风速观测资料序列的影响 [J]. *高原气象*, 2009, 28 (2): 433 - 439
- [27] 王同美, 吴国雄, 万日金. 青藏高原的动力和热力作用对亚洲季风区环流的影响 [J]. *高原气象*, 2008, 27(1): 1 - 9
- [28] 王同美, 吴国雄. 南亚海陆热力差异及其对热带季风区环流的影响 [J]. *热带气象学报*, 2008, 24(1): 37 - 43

Change Trend Analyses on Upper-Air Wind Speed over China in Past 30 Years

ZHANG Ai-ying¹⁻³, REN Guo-yu², GUO Jun⁴, WANG Ying⁵

(1. *Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China;*

2. *Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration/ National Climate Center, Beijing 100081, China;*

3. *Shandong Climate Center, Jinan 250031, China;*

4. *Tianjin Climate Center, Tianjin 300074, China;*

5. *National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)*

Abstract : Based on the monthly mean upper-air wind speed data from 1980 to 2006 at 119 radiosonde stations in China, the long-term change trends in upper-air wind speed are analyzed, and a comparison of the change with surface wind speed change in the same time period is made as well. Results show that both in the mid- and lower- and upper troposphere the annual mean wind speed decreases during the period analyzed, with change rates of $-0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ and $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, and has not passed the significant level at 0.05, respectively. The stratospheric wind speed, however, increases in the same period, with the rate of $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, which has passed the significant level at 0.05. Contrast to the upper atmosphere, the surface wind speed significantly decreases in the same time period, with the rate of $-0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, which has passed the significant level at 0.05. The results indicate that the decrease of surface wind speed widely reported is not only associated with the large-scale circulation change, but also with the urbanization-induced change in observational settings around the meteorological stations.

Key words : China; Wind speed; Climate change; Troposphere; Stratosphere; Surface