

近50年中国风速减小的可能原因

赵宗慈^{1, 2} 罗勇¹ 江滢³ 黄建斌¹

(1 清华大学地球系统科学研究中心, 北京 100084; 2 国家气候中心, 中国气象局, 北京 100081;

3 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 综述了近50年中国风速变化的特征和可能原因。绝大部分研究指出, 观测的中国风速近50年明显减小, 大约为 $(-0.10 \sim -0.18\text{m/s})/10\text{a}$ 。风速减小的原因来自自然和人类强迫两大方面, 自然原因即气候系统内部的相互作用, 包括近几十年东亚冬季风和夏季风的减弱, 中国南海夏季风强度减弱, 南亚夏季风减弱, 寒潮频数减小, 沙尘暴频数减小, 以及东亚温带气旋频数减小。人类强迫包括城市化效应, 土地利用变化, 人类排放导致的全球变暖, 以及风电场效应, 等等。引起近50年中国风速减小的原因是复杂和多方面的, 需要更深入的研究来揭示相互作用与反馈机制, 以及定量评估各种因子的贡献。

关键词: 中国, 风速, 减小, 可能原因

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.03.014

Possible Reasons of Wind Speed Decline in China for the Last 50 Years

Zhao Zongci^{1, 2}, Luo Yong¹, Jiang Ying³, Huang Jianbin¹

(1 Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084 2 National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081 3 Public Meteorological Service Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: This paper summarizes the possible reasons of wind speed decreased in China for the last 50 years. Most studies pointed out the observed wind speed in China decreased obviously by about $(0.10 \sim 0.18\text{m/s})/10\text{a}$ for the last 50 years. The possible reasons came from both natural (internal climate system) changes and anthropogenic effects. The former includes both of the winter and summer East Asian monsoons weakened, the South China Sea summer monsoon intensity weakened, the South Asian summer monsoon reduced, the frequencies of cold waves and dust storms over China decreased, and frequencies of extratropical cyclones over East Asia declined. The latter refers to urbanization, the changes of land use, the global warming caused by anthropogenic emissions, and the effects of wind farms. The reasons causing the wind speed decline are very complicated in China for the last 50 years, further research is needed to explore a quantitative estimation on the mechanisms and key factors.

Keywords: China, wind speed, decline, possible reasons

0 引言

风速直接影响人们的生活、交通、农林牧业等, 近20年随着风力发电的广泛开展和利用, 加上空气污染状况与风速密切相关, 因此风速的变化越来越受到政策制定者和公众的关注。关于风速长期变化的研究远少于对温度和降水的研究, 对风速变化原因的研究则更少。近些年的研究表明, 全球中纬度的风速有减小的趋势, 究其原因涉及大气环流的变化, 季风的变

化, 人类排放温室气体增加造成全球变暖以及土地利用的变化(包括城市化和风电场影响等), 对有些原因如风电场与城市化的影响的争论较大^[1-4]。近10余年中国风速变化特征以及影响风速变化的可能原因一直受到关注, 本文综述了近50年中国风速变化呈减小趋势以及可能原因的分析^[5-24]。

1 近50年中国风速变化呈减小趋势

近10余年对观测的中国风速变化的研究表明, 观测到的近50余年中国风速变化的主要特征是: 1) 年平均近地面风速减小, 1961—2014年大约是每10年减小 0.18m/s (表1)^[5-14]; 2) 四个季节风速都在减小, 尤以冬季和春季风速减小最明显^[8-11]; 3) 全国大部分地区风速减小, 尤以风资源丰富地区如西北、华北和东北

收稿日期: 2015年9月15日; 修回日期: 2016年3月23日
第一作者: 赵宗慈(1940—), Email: zhaozc@cma.gov.cn
资助信息: 国家自然科学基金项目(41475066); 清华大学
创新科学研究项目(20131089357)

表1 近些年研究观测中国年平均近地层风速变化统计
Table 1 Annual wind speed changes observed near-surface in China in previous studies

作者 (时间)	气象站类别 (站数)	时段 (年)	风速变化特征
王遵娅, 等 (2004) ^[5]	国家基本和基准站 (686站)	1954—2000	显著减小趋势, 每10年0.11m/s
任国玉, 等 (2005) ^[6]	国家基本和基准站 (323站)	1951—2002	减小趋势, 每10年0.10m/s
Xu Ming, 等 (2006) ^[7]	国家基本和基准站 (305站)	1969—2000	减小28%
李艳, 等 (2008) ^[8]	国家基本和基准站 (604站)	1960—1999	风速显著减弱, 每10年0.12m/s
Jiang, 等 (2010) ^[9]	国家基本和基准与一般站 (535站)	1956—2004	明显减小趋势, 每10年0.12m/s
Guo, 等 (2011) ^[10]	国家基本和基准站	1969—2005	减小趋势
Lin, 等 (2013) ^[11]	国家基本和基准站 (大于300站)	1960—2009	明显减小趋势, 2003年开始有增加趋势
陈练, 等 (2013) ^[12]	国家基本和基准站 (540站)	1971—2007	明显减小趋势
中国气象局气候变化中心 (2015) ^[14]	国家基本和基准与一般站 (大于700站)	1961—2014	显著减小趋势, 每10年0.18m/s

地区风速减小更明显, 可达每10年减小0.20m/s^[9, 12];
4) 中国风速的减小, 是从近地面到对流层整层年平均风速都在减小^[11-13]; 5) 年平均大风风速和日数都明显减小^[9]; 6) 小风 ($\leq 3\text{m/s}$) 风速在增加^[9]。近期的一个研究在增加了更新的风速观测资料基础上提出, 自2003年以来中国年平均风速有略增加趋势^[11]。但是最新的一个研究表明, 这只是总体减小趋势变缓, 2014年是自1961年以来中国年平均风速最小的一年^[13]。

近50年中国近地面风速的减小趋势得到佐证, 即陆地温度与相应气温的差值和近地层风速的相关很明显, 当温差小时, 对应风速大, 反之亦然。以青藏高原为例, 相关系数高达-0.76 (显著性水平为0.01)。观测表明, 近50年陆温与气温的温差明显增加, 相应近地层风速明显减小, 从而从另一个侧面证实近50年中国风速减小的事实^[11]。

需要说明的是, 由于中国近地层风速的资料不是很长, 因此, 尚难于计算与分析风速自身是否具有多年代际变率或周期性的变化特征。此外应注意到, 虽然中国观测风速受到观测站周边环境变化和观测仪器更改的影响, 但是国家气象信息中心已经做了资料均一性等订正, 因此弥补了一些缺陷^[6], 上述的研究也都表明是用经过其信息中心加工后的资料进行计算与分析的。

2 中国风速减小的原因分析

探究中国风速减小的可能原因的研究较少, 主要从气候系统内部的相互作用 (自然变化) 和人类活动造成的可能影响进行研究和分析。

2.1 气候系统内部相互作用

部分研究^[9, 11-19, 24]注意到气候系统内部的相互作用和反馈, 认为是影响中国风速减小趋势的主要原因。

2.1.1 东亚和南亚季风呈减弱趋势

一些观测和诊断分析研究^[9, 11-14, 24]表明, 东亚夏季风和冬季风有年代际时间尺度的变化, 1961—2014

年东亚夏季风强度总体呈显著减弱趋势, 尤以1970年代后期以来更明显。东亚冬季风在20世纪80年代到21世纪初期以偏弱为主。南亚夏季风在1961—2014年总体有减弱趋势, 尤其在2006—2014年期间持续异常偏弱, 另一方面南亚夏季风具有明显的年代际变化特征。因此季风处在减弱时期, 相应中国近地面风速呈现减弱趋势, 对流层整层风速亦是减小趋势。

2.1.2 中国沙尘暴、寒潮、温带气旋和西北太平洋生成台风数呈现减小趋势

几个观测资料的研究^[9, 12-19]表明: 1) 近50年来, 中国北方的沙尘暴频数总体呈下降趋势, 1956—2004年, 年沙尘暴日数每10年下降0.63日, 春季每10年下降0.33日。中国北方沙尘暴日数与强风日数有明显的正相关, 相关系数在大部分地区达到0.25~0.35 (显著性水平为0.05); 2) 近50年中国寒潮日数有明显的下降趋势, 年寒潮日数每10年减少0.3日, 冬季每10年减少0.17日。中国寒潮日数与强风日数呈明显正相关, 相关系数达到0.25 (显著性水平为0.05~0.10)。研究表明, 东亚冬季风强度减弱以及全球变暖, 都是造成寒潮频次减少的可能原因; 3) 近几十年, 北半球和东亚中纬度温带气旋数有减少的趋势, 高纬度有增加的趋势, 例如1979—2001年春季蒙古气旋日数明显减小, 与同期中国北方沙尘暴日数减少, 两者呈明显正相关, 相关系数为0.68 (显著性水平为0.01), 相应强风日数减少。计算表明, 温带气旋的减少可能与全球变暖、中纬度斜压波、北大西洋涛动以及海温变化有关。此外, 计算还表明, 1961—2014年, 西北太平洋和南海生成台风数 (中心风力大于8级) 频次呈减少趋势, 由此也可能影响使东南部沿岸风速有减小趋势。但是登陆中国台风的强度波动性增强, 可能造成风速增加。

2.1.3 海陆气压梯度减弱

利用1971—2007年NCEP/NCAR和ERA-40两套再分析资料以及中国540个台站观测资料计算与分析

表明, 中国气压梯度在中低层近几十年来呈现下降趋势, 冬(夏)季欧亚大陆海平面气压下降(上升), 使东西向的海陆气压梯度减弱, 由此造成近地面风速减小, 尤以华北地区和内蒙东部气压梯度减弱趋势最明显, 与地面风速的减弱是一致的。计算还表明, 中国平均气压梯度冬春季减弱最明显, 分别为 $-0.03\%/a$ 和 $-0.01\%/a$, 风速亦是冬春季减弱更明显^[12]。

2.2 人类活动的影响

2.2.1 城市化效应

城市化效应是研究者提出最多的一个因素, 例如, 计算观测的1956—2004年中国174个城市站和相应180个乡村站年平均风速变化, 都表明风速有减小的趋势, 分别是 $(-0.13m/s)/10a$ 和 $(-0.12m/s)/10a$, 即城市化造成风速平均减小大约占总减少的12%^[9]。另一项研究, 利用全国119个探空站观测的1980—2006年中国近地面风速和对流层各层风速资料, 计算得到近地层风速明显减弱, 大约每10年减小 $0.16m/s$, 而临近的850hPa高度风速减弱很小, 大约每10年减小 $0.05m/s$, 由此推断可能城市化效应在近地层风速减小中占大约69%^[12]。

2.2.2 人为下垫面变化

对比台站观测资料与NCEP/NCAR再分析资料, 分别计算风能密度1960—1999年的变化趋势表明, 虽然观测和再分析资料都是下降趋势, 但是再分析资料的下降趋势(每10年 $-0.67W/m^2$)明显小于台站观测资料(每10年 $-4.51W/m^2$), 由此认为台站观测资料受到人为下垫面作用(如城市化和植被的人为改变等)造成风速更明显下降, 大约占总下降的85%^[8]。

2.2.3 风电场影响

少量研究注意到, 大规模风电场建设和发电对风电场及周边特别是下游方向气候变化有明显影响, 对更大范围是否有影响尚存在较大争议^[2]。近年用区域气候模式WRF计算四种大规模风电场建设对中国气候变化的潜在影响, 在中国北方风资源丰富区分别设计风电装机为460~5400GW, 计算有无风电场的对比表明, 风电场建设和发电造成当地及下游近地层风速衰减 $-16.6\% \sim -29.3\%$, 在风电场其上1km风速下降, 尤以100m风速减小最明显。风电场建设对中国更大范围环流和风速亦有影响, 但是显著性较低^[21]。

此外, 利用WRF计算大规模光伏建设对中国气候的潜在影响, 也注意到由于下垫面粗糙度改变, 对光伏发电场及周边地区近地层风速亦有减小的影响^[22]。需要强调的是, 风电场影响的数值试验是较为理想化的设计, 因此仅提供参考。

2.2.4 人类排放温室气体增加

考虑未来人类排放温室气体继续增加(高中低排放情景, 即SRES A2, A1B, B1), 造成全球变暖, 用20个CMIP3全球气候模式和3个中国区域气候模式预估, 将使得中国年平均风速和秋季、冬季、春季风速减小。例如, 20个全球模式考虑中等排放A1B情景, 预估中国2011—2099年年平均风速平均减小 $(-0.06m/s)/100a$, 范围 $(0.06 \sim -0.17m/s)/100a$, 20个模式有13个模式预估风速减小, 约占65%, 5个预估略增加, 2个预估无变化^[19]。因此, 人类排放温室气体继续增加, 将可能造成中国年平均和冬半年风速减小(65%可靠性)。其他一些研究也得到类似结论^[8, 12]。此外, 空气污染的加重, 例如自然和人为造成的沙尘增加, 以及人为排放气溶胶颗粒物增加等, 增加了空气的阻力, 对近地层风速也会有减小的作用^[20]。

综上所述, 人类活动对中国风速的影响, 研究文献多数考虑人类排放增加下的全球变暖和下垫面土地利用变化(如城市化, 下垫面植被变化以及风电场影响)是主要的可能影响因子。但是由于研究文献较少, 计算与试验设计过于简化, 因此存在较大争议和不确定性, 有待开展更深入的研究。还需要强调的是, 人类活动中的许多因子的空间和时间尺度是不一样的, 例如, 城市化效应和风电场效应主要是局地影响, 而大范围土地利用变化和人类排放增加, 则是空间尺度大和影响时间长远。

3 结论和展望

从以上的分析可以发现, 多数研究认为气候系统内部自然变化是风速减小的主因, 而人类活动的作用尚有较大争议。本综述试图把全部有关风速减小的原因分析的文章概括成一张贡献分析表, 以便对比各种作用。但是需要说明的是, 各个有关文献的作者只是研究单一因素对风速减小的影响的贡献分析, 不是计算多因素对风速减小的联合贡献分析。例如, 一些文献单纯研究城市化效应对中国风速减小的贡献大约是12%~69%, 另一些文献单纯研究土地利用变化对中国风速减小的贡献大约是85%。表2试图综合给出, 影响中国风速减小的各种可能因子的贡献分析以及可靠性, 虽然表内和文内都分成气候系统内部相互作用和人类活动两个方面叙述, 但是实际气候系统内部各因素也可能受到人类活动的影响, 因此对原因的分析, 实际上不可能是绝对分开的^[24]。另一方面, 各个因子之间也存在联系或相互作用和影响, 表内没有表述。还需要强调指出的是, 由于目前涉及中国风速减小的原因分析这方面的研究较少, 特别是影响风速变化的

表2 综合影响中国风速减小的因子贡献分析
Table 2 Comprehensive analyses of impact factors on the wind speed decline in China

影响因子	贡献分析	可靠性
气候系统内部		
东亚冬季季风	多年代际变率: 减弱期	证据多
东亚夏季季风	多年代际变率: 减弱期	证据多
南亚夏季季风	多年代际变率: 减弱期	证据多
中国沙尘暴数	减少趋势	证据多
中国寒潮数	减少趋势 (与全球变暖, 冬季风减弱有关)	证据多
东亚温带气旋数	中纬度减少 (高纬度增加) (与全球变暖等有关)	证据中等
西北太平洋和南海生成台风数	多年代际变率: 减少期	证据少
人类活动		
城市化效应	年平均风速减小12%~69%	证据多 (有争议)
土地利用变化	年平均风速减小85%	证据少 (包含城市化与人类排放增加等) (有争议)
风电场效应	风速减小 (风电场及下游地区减小15%~30%)	证据中等 (有较大争议)
人类排放温室气体增加, 全球变暖	秋冬春季风速减小	证据中等 (有争议)
空气污染加重 (沙尘, 气溶胶等)	风速减小	证据中等 (有争议)

注: 表内的贡献分析数字取自原文献作者的计算与估计值, 其中给出的百分数, 是文献作者计算的单一因素对风速减小的贡献的百分数。表内的“可靠性”, 是以研究的论文数、相应资料数以及模式的一致性, 定性综合给出, 供参考。

因子很多, 且有局地效应, 因此, 目前的综述, 只是给出一些探索, 有待更多的研究, 进一步充实、证实和修改。最后尚需说明的是, 思考中国风速变化特征和原因分析, 需要与全球风速变化特征和可能原因与贡献联系起来^[1, 4]。因此, 在全球变化大背景下, 更深入分析中国风速变化的原因是必不可少的。

参考文献

- 赵宗慈, 罗勇, 江滢. 全球大风在减少吗? 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 149-151.
- 赵宗慈, 罗勇, 江滢. 风电场对气候变化影响研究进展, 气候变化研究进展, 2011, 7(6): 400-406.
- Vautard R, Cattiaux J, Yiou P, et al. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geoscience*, 2010, 3: 17, doi: 10.1038/NGEO979.
- IPCC. *Climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近50年来中国气候变化特征再分析. *气象学报*, 2004, 62(2): 228-236.
- 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-956.
- 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 Geophys Res*, 2006, 111, D24111, doi: 10.1029/2006JD007337.
- 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. *科学通报*, 2008, 53(21): 2646-2653.
- Jiang Y, Luo Y, Zhao Z, et al. Changes in wind speed over China during 1956-2004. *Theor Appl Climatol*, 2010, 99: 421-430.
- Guo H, Xu M, Hu Q. Changes in near-surface wind speed in China: 1969-2005. *Int J Climatol*, 2011, 31: 349-358.
- Lin C, Yang K, Qin J, et al. Observed coherent trends of surface and upper-air wind speed over China since 1960. *J Climate*, 2013, 26(9): 2891-2903.
- 陈练, 李栋梁. 气候变化背景下中国风速(能)变化及其影响因素研究. 南京信息工程大学博士论文, 2013.
- 张爱英, 任国玉, 郭军. 近30年中国对流层风速变化趋势分析. *高原气象*, 2009, 28(3): 680-687.
- 中国气象局气候变化中心. 2014年中国气候变化监测公报. 北京: 气象出版社, 2015.
- 王遵娅, 丁一汇. 近53年中国寒潮频率的气候变化及可能原因. *大气科学*, 2006, 30(6): 1068-1076.
- Zou X, Alexander L V, Parker D. Variations in severe storms over China. *Geophys Res Lett*, 2006, 33, L17701, doi:10.1029/2006GL026131.
- 范一大, 史培军, 周俊华, 等. 近50年来中国沙尘暴变化趋势分析. *自然灾害学报*, 2005, 14(3): 22-28.
- 王新敏, 邹旭凯, 翟盘茂. 北半球温带气旋的变化. *气候变化研究进展*, 2007, 3(3): 154-161.
- Jiang Y, Luo Y, Zhao Z C, et al. Projections of wind changes for 21st century in China by three regional climate models. *Chin Geogra Sci*, 2010, 20(3): 226-235.
- 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 城市热岛对未来气候变化有影响吗? *气候变化研究进展*, 2012, 8(6): 469-472.
- 楼鹏康. 大规模风电场建设对中国气候变化的潜在影响. 清华大学硕士论文, 2014.
- 汪付星. 大面积光伏铺设对中国气候的潜在影响, 清华大学硕士论文, 2014.
- 余辉, 李红卫, 王金莲, 等. 不同观测频次的风资料对大气污染物扩散的影响分析. *气象与环境科学*, 2009, 32(增刊): 177-179.
- 王会军, 范可. 东亚季风近几十年的主要变化特征. *大气科学*, 2013, 37(2): 313-318.