

The Updated Understanding of the Change in Near-Surface and Upper Air Wind and Wind Energy

Cheng Chen¹, Guoyu Ren²

¹Hubei Meteorological Information and Technological Support Center, Wuhan Hubei

²Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing
Email: 252636271@qq.com

Received: Jan. 13th, 2016; accepted: Jan. 24th, 2016; published: Jan. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The assessment of wind speed and energy change and the main results of IPCC (AR5), SRREN AND domestic researchers are reviewed in this paper. The first working group of IPCC (AR5) concluded that the surface wind speed decreased in low and mid-latitude areas while increasing in high-latitude areas including Arctic and Antarctic. There are few studies about the upper-air with systematic global trend analysis. The domestic studies expose that the near-surface and upper-air wind speed decreased in most parts of China except some places located in high-latitude or on the mountains, but the decrease tendency of the upper-air is much more inconspicuous than that of near-surface. Because lacking of the homogenized records, the confidence in both near-surface and upper-air wind speed trend is low. The SRREN considers that the climate change will change the quality of the wind power by changing the distribution and the yearly variation. But it will not prohibit the using of the wind power resource.

Keywords

Wind Speed, Climate Change, Wind Power, Upper Air Wind, IPCC, AR5, SRREN

全球及中国风速变化及对风能影响的新认知

陈 城¹, 任国玉²

¹湖北省气象信息与技术保障中心, 湖北 武汉

²中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京

Email: 252636271@qq.com

收稿日期: 2016年1月13日; 录用日期: 2016年1月24日; 发布日期: 2016年1月29日

摘要

评述了IPCC第五次评估报告(AR5)、可再生能源与减缓气候变化特别报告(SRREN)以及国内作者近年来对风速和风能资源变化评估、研究的主要成果。AR5第一工作组(WGI)报告认为,过去几十年全球近地表风速在中低纬度地区表现为下降趋势,在高纬度部分地区以及两极地区表现出增加趋势;且对空中风速变化的研究很少,目前尚没有系统的全球高空风速变化分析。国内的研究表明,近地表和高空风速在我国大部分地区为减小趋势,但高空风速减小趋势比近地表弱得多;个别高纬度地点及高山站平均风速有增加趋势。由于资料缺乏均一性,近地表风速和高空风速变化研究的可信度还不高。SRREN指出,全球气候变化可能改变风力资源的地理分布和/或年内和年际变异性,并可改变风能资源的质量,但难以对全球风能利用潜力造成显著影响。

关键词

风速, 气候变化, 风能, 高空风, IPCC, AR5, SRREN

1. 引言

全球气候变化是否影响到近地表(陆地或海洋)或空中风速变化,一直没有引起太多注意。只在最近才有了少量的研究,其中根据近几十年来的观测资料,发现中低纬度陆地近地面平均风速有减小的趋势,大风日数亦呈减小趋势,即大区域和全球陆地上近地表平均风速存在长期减弱趋势,但高纬度及一些海洋区域风速有增大的趋势[1]-[7]。后来的研究发现,中国大陆过去30余年对流层平均风速也存在一定程度下降趋势,但比近地表平均风速下降趋势弱得多(张爱英等,2009)[8]。

由于风能是重要的可再生能源,且已开始大范围商业应用,对节能减排具有重要意义,所以近地表和低空风速变化的研究对风能开发极其重要。风速和风能问题得到IPCC的特别关注。2013年发布的IPCC第五次评估报告(AR5)第一工作组(WGI)报告[9]在气候变化观测事实部分着重对全球地表(陆地或海洋)或空中风速观测资料数据集来源、可信度及其观测变化的初步结论进行了评估,其中对资料的描述尤为详尽,且关于大气边界层以上风速变化的评估为新内容。此前,IPCC还于2011年发布了《可再生能源与减缓气候变化特别报告(SRREN)》[10],对包括风能在内的6种可再生能源的开发潜力、远景及需要克服的障碍进行了分析和预测。

本文评述了以上两个报告关于风速和风能变化的主要结论,同时补充综述了近年来国内学者对陆地近地表及高空风速变化研究成果,以及作者所在团队针对高空风能资源变化和近地面风能资源订正所做的最新工作,希望对气候变化研究及风能行业规划和设计提供一定参考。

2. 观测资料来源与信度

IPCC AR5 (2013) [9]将地表风速观测分为大陆和海洋两大块。早期海洋观测是通过观察轮船或帆船在水中航行速度或用肉眼观察海面状况并进行估算和利用蒲福风级转换为风速。1950年代开始使用风速计测量。但这种转换以及测风仪离地平均高度随时间的增加可导致虚假的趋势。ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, 国际综合海气数据集)发布的2.5版本包含测量方法以及风观测高度,允许对结果进行一定的调整。基于此数据集的WASWind (Wave and Anemometer-Based Sea-

Surface Wind Dataset, 海浪和基于测风仪的海洋表面风数据集), 以及通过内插得到的 NOCSv2.0 (美国国家海洋学中心数据集 V2.0), 在进行改进的同时进行了数据订正。NOCSv2.0 给出的大西洋上风速是通过将很少的观测数据内插得到的。

海洋风速测量也使用来自天基的不同波段测量仪器。主要包括: 散射计和合成孔径雷达得到风矢量, 而高度计和被动辐射计只能测量风速; 后期仪器所具有的最长连续记录始于 1987 年 7 月; 基于卫星、内插的海表风速数据集使用客观的分析方法来融合不同卫星和大气再分析得到的数据。后期的产品能够提供风向, 比如 WSW (Blended Sea Winds, 融合的海风数据集); 或者背景场, 比如 CCMP (Cross-Calibrated Multi-Platform, 交叉校准的多平台风场数据集) 和 OAFflux (Ocean and Atmosphere Flux, 全球海洋的海-气通量数据集)。CCMP 相比其它卫星数据使用了额外的动力限制, 是根据现场观测数据和 SSM/I 观测数据融合的均一化数据集。

陆地表面风速几十年来是采用测风仪测量, 但是直到最近数据也很少被用于分析。全球的数据集都缺乏重要的元数据, 如关于观测仪器更换和测风位置的记录。长期的、均一化的资料也稀少。而且风速变化趋势与测风高度有很大关系。近地面的风可以用再分析产品获得, 但进行趋势分析时和观测获得的资料有较大不同。

相比地表风速, 大气边界层以上的风速在 AR4 中没有得到重视。1930 年开始使用无线电探空仪和探空气球进行测量。相比无线电气温记录, 连不均一化的无线电测风探空记录都很少, 也很少有人研究。空中风速也可以通过卫星追踪云和水汽或者风廓线仪、飞行器、热气球等来获得, 这些风速都被作为分析产品的输入变量。

至于风能, 除了与风速有关, 还与当地的地形地貌、植被条件、空气密度、风机技术水平、电网接入难易程度、交通条件等密切相关, 但仍能根据观测或模式模拟近地面风速及其随高度变化, 并利用流体力学软件(CDF), 在充分考虑以上影响因子后进行科学估算。

3. 1988~2010 年观测与大气再分析地表风速变化及其信度

AR4 总结得出南北半球中纬度西风有所增强。但由于观测方面的缺陷, SREX (《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告》) 表明地表风速变化趋势的可信度较低, AR5 报告进一步证明了这一点。

图 1 (原文图 2.38) 比较了 1988 年至 2010 年根据各种数据集分析得出的近地表风速线性变化趋势, 包括基于卫星资料的插补数据集, 插补或没有插补的实时资料数据, 或者大气再分析数据集。由于序列比较短, 这些趋势主要反映了年平均风速的年代际差异, 难以反映长期气候变化。IPCC AR5 引用了的研究结论, 最近比较了各种数据集并发现了许多不同, 它们也体现在图中趋势的差异里。但是, 统计出来的一些明显特征在大部分数据集中都有体现, 包括北太平洋上的增加和减小趋势, 北美西海岸的增加趋势。大西洋上有增加趋势, 这和 SAM (卫星数据) 和实际观测到的风场变化是一致的, 在其他卫星数据分析和大气再分析资料中也得到体现。

说明:

1) 第 1 行均为基于卫星观测的分析结果:

- (a) 交叉验证的多平台风产品(简称 CCMP, Atlas *et al.*, 2011);
- (b) 客观分析大气 - 海洋热通量数据集 V3.0 (简称 OAFflux);
- (c) 融合的海风(BSW, Zhang *et al.*, 2006)。

第 2 行均为基于地表观测的分析结果:

- (d) 取自于地表通量数据集 V2.0, 来自英国南安普顿的国家海洋中心(Berry and Kent, 2009);
- (e) 基于海浪和测风仪的海表风(简称 WASWind, Tokinaga and Xie, 2011);

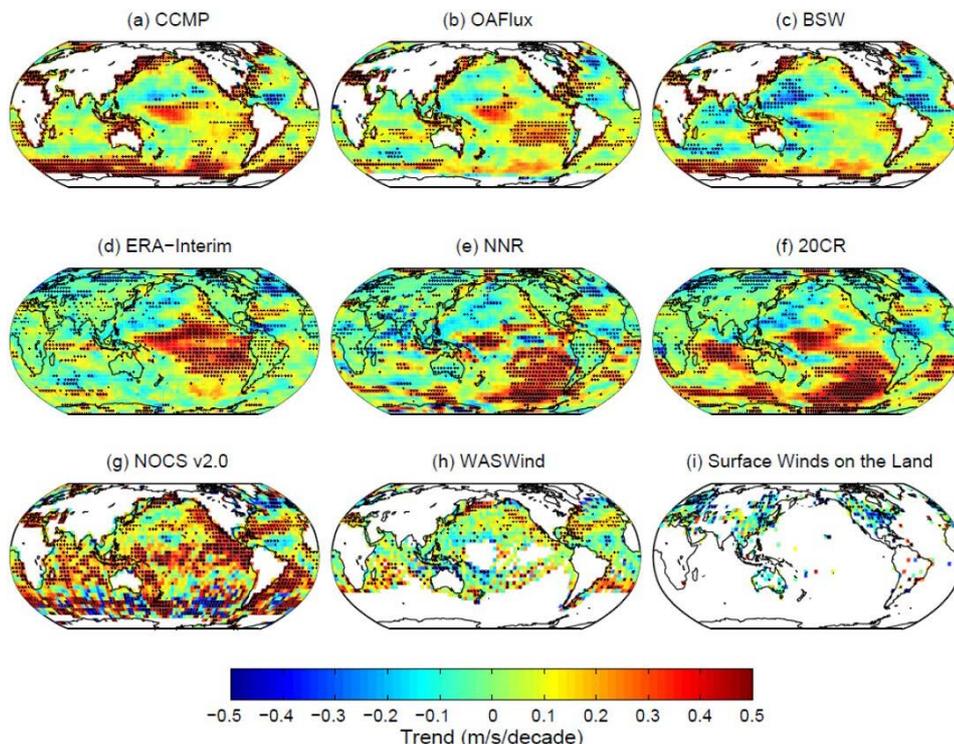


Figure 1. The trend of change of the annual mean near surface wind speed from 1988 to 2010 (Pic.2.38 in IPCC AR5)

图 1. 1988-2010 年间近地表面平均风速变化趋势(在 IPCC AR5 中为图 2.38)

(f) 陆面地表风 (Vautard *et al.*, 2010)。

第 3 行均为基于大气再分析资料的分析结果:

(g) 欧洲数值预报中心的再分析资料(中期版);

(h) 美国环境预报中心 - 大气研究中心(NCEP-NCAR, v1.0, 或 NNR1);

(i) 20 世纪再分析资料 (20CR, Compo *et al.*, 2011)。

2) 所有产品均基于离地 10 m 高处风速(仅澳大利亚为 2 m), 单位为 m/s/10 a, 网格距统一为 $4^\circ \times 4^\circ$ 。

3) 具有 8 个月以上月平均风速才计算年平均风速, 具有 17 年以上年平均风速且在第一年和最后三年中至少有一年数据才进行 23 年平均风速趋势计算。

4) 白色区域为数据不完整或缺失。黑色(+)标志表示所在网格中变化趋势显著。

IPCC AR5 [9]引用了 McVicar 等(2012)的工作, 包括收集评估了全球 148 份研究, 结果表明自 1960 或 1970 年代至 2000 年代早期, 陆地近地层风速包括季节平均风速、年平均风速及最大风速在南北半球的热带和中纬度地区为下降趋势($-0.14 \text{ m/s}\cdot 10\text{a}$), 这些地区包括中国(含青藏高原)(但 2000 年后变化不明显), 西欧和南欧、美国的大部分、澳大利亚、加拿大南部和西部。不过在南北半球高纬度地区以及两极地带近地表风速有增加趋势, 如阿拉斯加、加拿大北极区以及南极洲海岸。而 Vautard 等(2010) [6]根据世界风速数据集, 利用全球 822 个地面观测站 1979~2008 年不间断资料研究发现: 1978~2008 年北半球大部分区域有 $-0.10 \text{ m/s}\cdot 10\text{a}$ 的下降趋势, 风速明显减小的地区有中亚、东亚、东南亚 - 南亚、欧洲和北美, 近地面风速近 30 年已经下降了 5%~15%, 达到高显著性水平($\alpha = 0.05$)。一些研究表明, 地面风速增大趋势仅出现在高纬度部分地区。

总之, 由于各数据集和方法使用的不确定性, 尽管多数研究发现中低纬度陆地地区近地表平均风速

有较明显下降趋势, 仍存在局地差异, 可能是气候变化、台站周边环境的不均一性, 分析资料、研究范围、数据起止时间差异等多种原因导致。但对于全球大陆和海洋表面风速变化趋势的分析结果可信度较低。

4. 近 30 年观测空中风速变化及其信度

在过去的几年中, 对高空风速变化的研究开始增多, 其目的主要是通过估算大气环流和高空风速变化来解释地面风速的变化。IPCC AR5 [9]引用了 Allen and Sherwood (2008)的研究表明, 1979~2005 年间在北温带的对流层上层和平流层西风为显著增加趋势, 而在热带的对流层上层为减少趋势; Vautard 等(2010) [6]几乎同时发现 1979~2008 年间欧洲和北美上空对流层中低层探空风速存在变大趋势, 而亚洲中东部为减少趋势。然而, 迄今仍缺少系统性的全球高空风速变化研究, 这阻碍了对高空平均风速变化趋势的综合评估。

总的来说, 高空风速相比大气环流中其他要素的研究要少很多, 且各种数据产品的质量也参差不齐。因此, 目前对于高空风速变化趋势的研究和评估结论可信度比较低。

5. 气候变化对风能开发的可能影响

2011 年 IPCC 公布的 SRREN [10]报告指出, 全球风能技术潜力从 70EJ/年(仅限陆地)到 450EJ/年(陆地和靠近陆地), 相当于 2008 年全球发电量的 1~6 倍, 因此风能资源开发利用可为近期(2020 年)和长期(2050 年)温室气体减排做出巨大贡献。到 2009 年底, 风电已满足全球电力需求约 1.8%, 通过不懈努力, 到 2050 年其贡献率预计可增至 20% 以上。

SRREN [10]指出, 全球气候变化可改变风力资源的地理分布和/或年内和年际变异性, 也可改变风力资源的质量, 并可改变极端天气事件的频率和强度, 从而可对风力涡轮机的设计和运行产生影响。迄今为止所开展的研究表明, 平均风速的年内变化明显, 欧洲以冬季风最大, 大西洋东北地区则冬夏差异大; 本世纪欧洲和北美大部分地区多年年均风速变化最大值将超过 $\pm 25\%$; 而针对欧洲北部地区的研究表明, 多年年均风力密度将可能保持在当前值的 $\pm 50\%$ 之内; 其它地区研究极少, 巴西研究表明该国风能对气候变化不敏感甚至会增加, 南美洲西海岸风速增加 15%。尽管如此, 全球风力的改变仍难以对全球风能利用潜力造成显著影响。

6. 中国地表及空中风速变化的研究

大多数研究表明, 过去几十年来我国近地表平均风速、大风频率及风能呈减小趋势[1] [3] [5] [11]-[13]。这些分析结论的主要不确定性来自资料质量。因为已有这些研究都采用地面气象站的风速资料, 随着政策的调整和城市的发展, 近地面观测风速往往会因迁站、测风仪离地高度变化、测站周边环境干扰等诸多因素而明显减小, 几乎失去了大尺度气候变化研究的价值, 所以观测风速的趋势性减小并不表明我国可利用的风能资源的降低。

从近几年建成的风电场的运行情况可看出, 风速存在剧烈年际间波动, 但无显著的趋势变化。在另外一项研究中, 王毅荣等(2006) [14]利用河西走廊地区 17 个绿洲气象站和 10 个高山站 1970~2004 年的资料以及 7 个测风塔 2004~2005 年的资料分析得出: 探测环境变化较大的绿洲气象站风速减小明显, 而探测环境变化较小的高山站风速减小不明显甚至有增加趋势。

张爱英等(2009) [8]利用 1980~2006 年全国探空站资料分析得出, 对流层中下层(包括 850, 700, 500, 400 hPa 等压面)年平均风速线性变化速率为 $-0.10 \text{ m/s}\cdot 10\text{a}$, 其中 850 hPa 和 700 hPa 等压面年平均风速线性变化速率均为 $-0.05 \text{ m/s}\cdot 10\text{a}$, 但均未通过显著性检验; 另一方面, 全国相同探空站的近地表平均风速却

存在显著的下降趋势, 说明观测环境变化对近地表风速变化有主要影响。于宏敏等(2013) [15]利用黑龙江4个探空站50 a的资料研究得出, 近地表年平均风速显著减弱, 但300 m, 600 m, 900 m层的年平均风速有不显著的增加趋势, 作者认为这印证了朱锦红等(2003) [16]的研究结论即中高纬度西风有增强趋势。刘学锋等(2009) [17]利用河北省3个探空站36 a的资料分析得出其中两个站点地面平均风速显著减小, 另一站点有略微减小趋势, 而300 m, 600 m, 900 m层的年平均风速各站变化均不同, 有的呈增加趋势, 有的呈下降趋势, 这与台站的观测环境有关; 在他们的另一项研究中(刘学锋等, 2009) [18], 则发现河北省城市化和观测环境改变是造成全省范围内近地表观测到的平均风速显著下降的主要原因, 但背景风速也存在一定减少趋势。

由于探空风观测不受城市化和地面观测环境变化的影响, 出于验证近地表风速分析结论以及对区域风能资源进行长年代订正的需要, 根据湖北省2个探空站500 m、1000 m、1500 m、2000 m、3000 m各层探空资料研究表明, 武汉地区1958~2012年平均风速均为减少趋势, 且随着高度增加, 减少趋势增强(陈城等, 2014) [19]; 恩施地区1981~2012年各层平均风速则有增加趋势(丁乃千等, 2014) [20]。可见, 两个站差异明显, 但总体趋势与张爱英等(2009) [8]对于华中地区不同高度风速变化趋势的分析基本一致。

中低空风速及其长期变化的研究和评估, 对我国广大丘陵山区风电开发具有重要意义(方怡等, 2014) [21], 对于理解近地表和高空平均风速长期变化的原因和机理也将具有重要帮助, 应该得到进一步重视。

7. 结果讨论

相比于气温和降水等要素, 关于近地表平均风速变化的系统研究至今仍然很少。究其原因, 一是地面风观测资料的严重非均一性, 处理和订正的难度大, 研究结果可信度较低; 二是缺乏研究的外源性驱动力。因而, 关于全球尺度“高纬度风速增加、中低纬度风速减少”的结论, 其可信度评级为“低”。就中国地表测风资料而言, 早期资料的缺失, 测风方法及设备的更换, 观测站点逐渐受到城市化影响等因素都可能造成结论的不准确。至于高空风速变化研究则更少, 分析结果更加受到观测资料密度和质量的影响。所以无论近地表还是高空平均风速变化研究, 都亟需加强, 尤其是对观测资料的均一化处理和订正, 进而深入探究风速变化的根本原因, 如大气环流改变, 全球气候变暖等。

鉴于风能开发的巨大潜力和社会的迫切需求, 以及出于对风能开发的需要和探空风资料的使用, 人们进一步开展近地表及高空风速和风向变化研究的热情可能被激发, 加深对近地表及高空风和风能变化特征和机理的了解。

基金项目

中国气象局气候变化专项“我国中低空风能资源变化规律研究”(CCSF201510)、湖北省气象服务中心自立课题“探空风资料在风能资源评价中的应用”资助。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 王遵亲, 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.
- [3] 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): 948-952.
- [4] Guo, H., Xu, M. and Qi, H. (2010) Changes in Near-Surface Wind Speed in China: 1969-2005. *International Journal of Climatology*, **31**, 349-358.
- [5] Jiang, Y., Luo, Y., Zhao, Z.C. and Tao, S.W. (2010) Changes in Wind Speed over China during 1956-2004. *Theoretical and Applied Climatology*, **99**, 421-430.
- [6] Vautard, R., Cattiaux, J., Yiou, P., Jean-Noël Thépaut, J.-N. and Philippe Ciais, P. (2010) Northern Hemisphere Atmospheric Stilling Partly Attributed to an Increase in Surface Roughness. *Nature Geoscience*, **3**, 756-761.

- [7] 赵宗慈, 罗勇, 江滢. 全球大风在减少吗?[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 149-151.
- [8] 张爱英, 任国玉, 郭军, 等. 近 30 年我国空中风速变化趋势分析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 680-687.
- [9] Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., *et al.* (2013) IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- [10] Wiser, R., Yang, Z., Hand, M., *et al.* (2011) IPCC, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation 2011: Wind Energy. Cambridge University Press, Cambridge.
- [11] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 中国及世界风资源变化研究进展[J]. 科技导报, 2009, 27(13): 96-104.
- [12] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 中国未来风功率密度变化预估[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 640-649.
- [13] Jiang, Y., Luo, Y. and Zhao, Z.C. (2013) Maximum Wind Speed Changes over China. *Acta Meteorologica Sinica*, **17**, 63-74.
- [14] 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.
- [15] 于宏敏, 任国玉, 刘玉莲. 黑龙江省大气边界层不同高度风速变化[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1718-1730.
- [16] 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.
- [17] 刘学锋, 任国玉, 梁秀慧. 河北地区边界层内不同高度风速变化特征[J]. 气象, 2009, 35(7): 46-53.
- [18] 刘学锋, 江滢, 任国玉, 梁秀慧, 张成伟. 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
- [19] 陈城, 陈正洪, 孟丹. 1958-2013年武汉市中低空风能资源变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014: 录取(增刊).
- [20] 丁乃千, 陈正洪, 孟丹. 1980-2013 年恩施中低空风速变化特征研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2014, 48(6): 937-943
- [21] 方怡, 陈正洪, 孙朋杰, 等. 武汉云雾山风能资源定量评价及开发建议[J]. 风能, 2014, (7): 108-113.