

陈艳春,王娜,顾伟宗,等.环渤海区域再分析资料地面风速场的适用性对比分析[J].海洋气象学报,2017,37(1):67-72.  
Chen Yanchun, Wang Na, Gu Weizong, et al. Comparative analysis of wind velocity of reanalysis datasets over the Bohai Rim Region[J].Journal of Marine Meteorology,2017,37(1):67-72. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.007. (in Chinese)

## 环渤海区域再分析资料地面风速场的适用性对比分析

陈艳春,王娜,顾伟宗,汤子东,刘焕彬,孟祥新,伯忠凯  
(山东省气候中心,山东 济南 250031)

**摘要:** 利用环渤海区域的气象站资料和 NCEP/NCAR、NCEP/DOE、CFSR、ERA-Interim、JRA-55 共 5 种再分析资料,讨论了再分析资料近地面 10 m 平均风速场在环渤海区域的适用性问题。结果表明:JRA 资料与观测站的相关系数最大,ERA 资料与 23 站均方根误差的平均最小;再分析资料与气象站观测资料的相关系数在山东半岛和辽东半岛高于其他地区、冬半年大于夏半年。环渤海区域地面 10 m 平均风速场 JRA 和 ERA 两套资料的适用性较好。由于 ERA-Interim 的水平分辨率更高,所以在强风过程分析中确定使用 ERA-Interim 再分析资料。

**关键词:** 再分析资料; 平均风速场; 相关系数; 均方根误差; 强风过程

**中图分类号:** P412.16 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)01-0067-06

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.007

## Comparative analysis of wind velocity of reanalysis datasets over the Bohai Rim Region

CHEN Yanchun, WANG Na, GU Weizong, TANG Zidong,  
LIU Huanbin, MENG Xiangxin, BO Zhongkai  
(Shandong Climate Center, Jinan 250031, China)

**Abstract** Using weather stations and reanalysis data of NCEP/NCAR, NCEP/DOE, CFSR, ERA-Interim and JRA-55, the applicability evaluation of the ground wind velocity over the Bohai Rim Region is conducted in this paper. Results showed as follows: JRA dataset has the highest correlation coefficient with weather stations observations, and ERA dataset has the smallest average root mean square error compared with observations of 23 weather stations. The correlation coefficients are higher in the Shandong and Liaodong Peninsulas than in other areas and also higher in winter half year than in summer half year. Results indicate that the JRA and ERA-interim ground wind velocities have better evaluation applicability over the Bohai Rim Region, and on account of higher horizontal resolution, ERA-interim dataset is selected to use in the strong gale process analysis.

**Key words** reanalysis data; mean wind velocity; correlation coefficient; RMSE; strong gale

### 引言

近年来,环渤海区域海洋经济规模发展迅速,海上强风对海洋工程、安全生产、航运作业等影响

愈来愈大,但是由于环渤海海上气象站大范围空白,观测资料严重匮乏,制约了对海上强风时空分布特征和影响评估的研究。

20 世纪 80 年代后期,科学家们提出了大气资

收稿日期:2016-08-26; 修订日期:2017-01-12

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306034)

作者简介:陈艳春(1963—),女,硕士,高级工程师,主要从事农业气象、气候工作,yech126@126.com。

料“再分析”,即利用数值天气预报中的资料同化技术来恢复长期的气候记录。20世纪90年代中期至今重建了多套全球气候要素的历史数据,比如,美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)的合作项目NCEP/NCAR<sup>[1]</sup>,NCEP与美国能源部(DOE)的NCEP/DOE<sup>[2]</sup>,NCEP气候预测系统再分析计划CFSR、CFSv2<sup>[3]</sup>,欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的ERA-interim<sup>[4]</sup>,日本气象厅(JMA)和日本电力中央研究所(CRIEPI)联合组织实施的JRA-55<sup>[5]</sup>等。

再分析资料的出现解决了观测资料的匮乏和时空不均等问题,在气象研究中得到广泛使用,但受观测资料、数值预报模式和同化方案等因素影响,不同数据集存在差异,可信度也有待于进一步检验。国内外学者已开展了较多关于全球和区域尺度上再分析资料地表及高空变量适用性的研究,Monney等<sup>[6]</sup>发现再分析资料易高估陆地上的冬季气温,ERA-Interim对冬季气温的描述优于NCEP/NCAR;ERA-Interim对中亚地区降水的模拟精度高于CFSR,夏季的可信度高于冬季、东部地区的可信度高于西北地区<sup>[7-8]</sup>;NCEP/NCAR在冬季对流层中、低层风场的可信度较高,ERA-interim在对流层高层和平流层低层风场的可信度较高,中国东部地区高空风场的适用性优于西部地区<sup>[9-10]</sup>;Decker等<sup>[11]</sup>研究表明ERA-Interim对近地面气温、风速和降水的描述均优于NCEP/DOE和CFSR。

本文利用环渤海区域沿海气象观测站评估了5种再分析资料近地面10 m平均风速场的适用性,确定了能够较好表征环渤海海上大风的再分析资料。

## 1 资料

文中使用了1979年1月1日—2014年12月

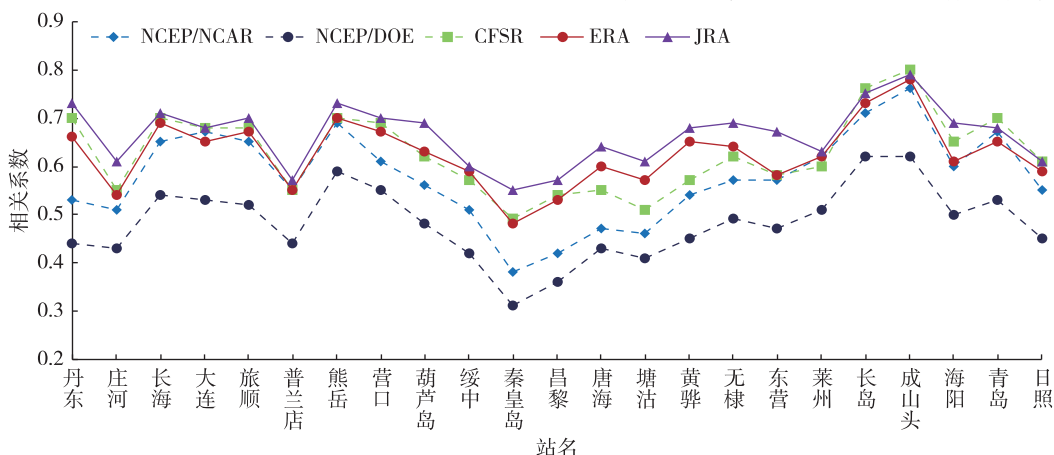


图1 5种再分析资料和23个气象站逐日平均风速的相关系数

Fig.1 Correlation coefficients of daily mean speed between 5 reanalysis datasets and observations of 23 weather stations

31日环渤海区域23个国家气象站的逐日地面10 m平均风速资料。本研究还使用了同时段的NCEP/NCAR(Sig995层,水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,逐日数据)、NCEP/DOE(10 m高度,水平向为高斯格点分布,逐日数据)、CFSR(Sig995层,水平分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ,一日4次数据)、ERA-Interim(10 m高度,水平分辨率 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ ,下文简称ERA,一日4次数据)、JRA-55(10 m高度,水平分辨率 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ ,下文简称JRA,一日4次数据)共5种再分析资料的U、V变量。

## 2 方法

为了便于比较再分析资料与气象站资料的差异,对再分析资料进行了插值,采用国内外通用的双线性插值方法,首先将一日4次的再分析资料计算4个时次的平均值得到逐日资料,然后将再分析资料格点上的逐日U、V分量插值到相应的气象站点上,通过公式 $\sqrt{U^2 + V^2}$ 计算得到环渤海区域再分析资料的逐日近地面平均风速。利用线性相关系数和t检验来对比分析再分析资料对气象站平均风速的模拟程度,利用均方根误差比对再分析资料对气象站平均风速的偏离程度<sup>[12]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 平均风速相关系数的对比分析

对比5种再分析资料和23个气象站逐日平均风速的相关系数(图1),相关系数全部通过信度为0.001的显著性检验(10 000个样本时通过信度为0.001显著性检验的相关系数临界值为0.06),山东半岛和辽东半岛气象站的相关系数普遍高于其他地区(图2a-e)。JRA的相关系数最大,23站平均

的相关系数为 0.66,20 站的相关系数达到 0.60 及以上;ERA 的相关系数次大,23 站平均的相关系数为 0.63,15 站的相关系数达到 0.60 及以上;

NCEP/DOE 的相关系数最小,23 站平均的相关系数为 0.48。

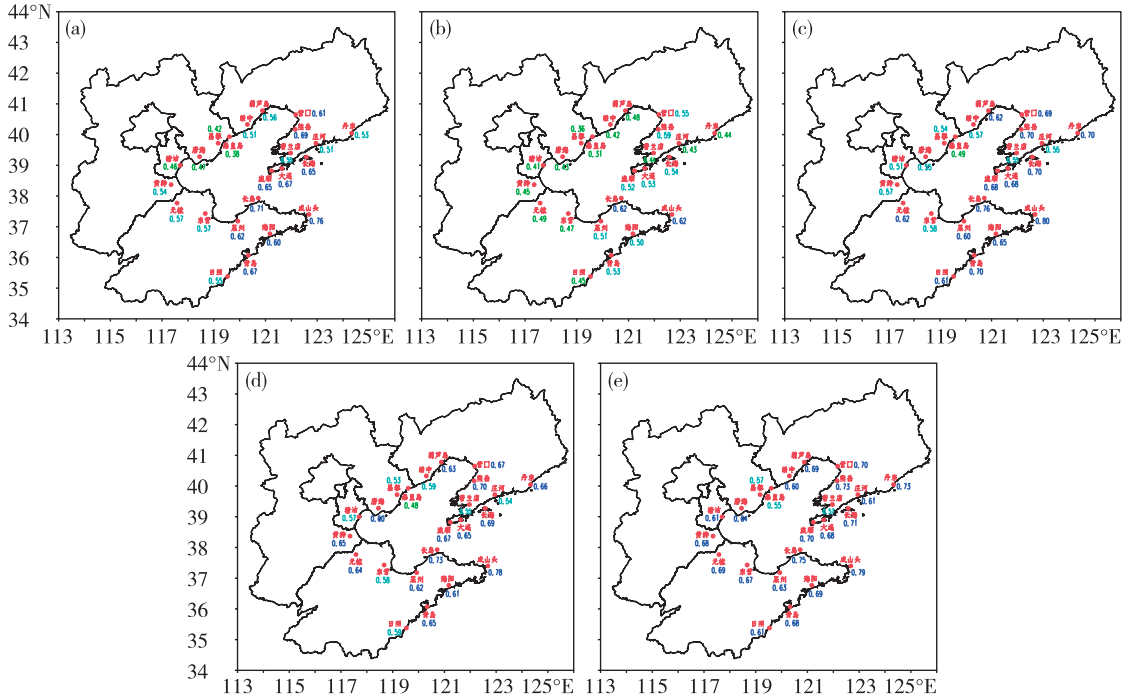


图 2 5 种再分析资料和 23 个气象站逐日平均风速的相关系数分布 (a. NCEP/NCAR, b. NCEP/DOE, c. CFSR, d. ERA, e. JRA)

Fig.2 Spatial distribution of correlation coefficients of daily mean wind speed between 5 reanalysis datasets and observations of 23 weather stations( a.NCEP/NCAR, b.NCEP/DOE, c.CFSR, d.ERA, e.JRA)

对比 5 种再分析资料和 23 个气象站逐日平均风速在不同月份的相关系数(图 3a-e),相关系数全

部通过信度为 0.001 的显著性检验(1 000 个样本时通过信度为 0.001 显著性检验的相关系数临界值为

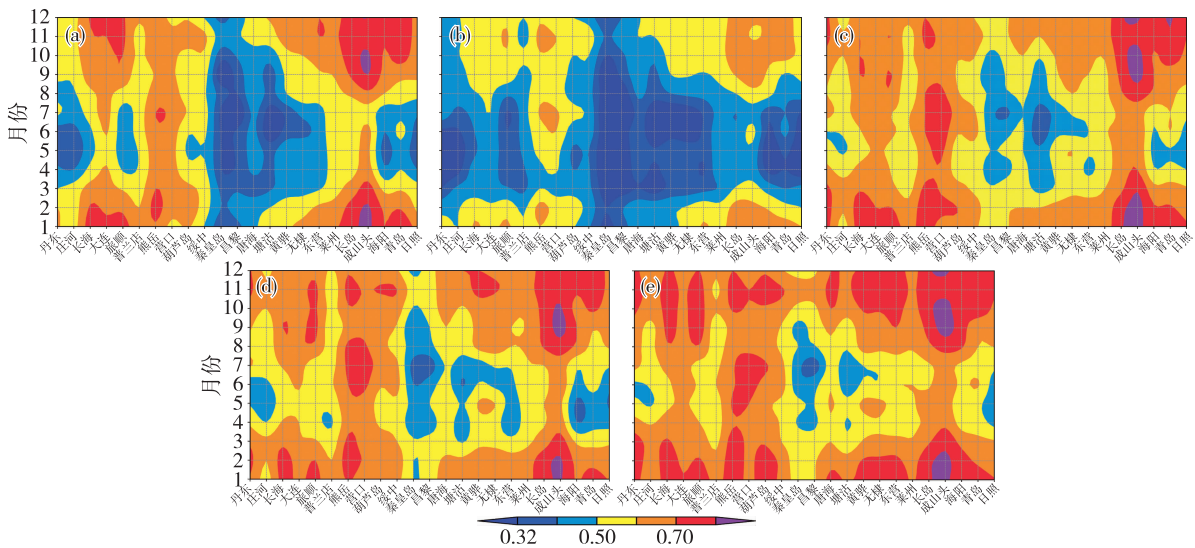


图 3 5 种再分析资料和 23 个气象站逐日平均风速在不同月份的相关系数 (a. NCEP/NCAR, b. NCEP/DOE, c. CFSR, d. ERA, e. JRA)

Fig.3 Correlation coefficients of daily mean wind speed between 5 reanalysis datasets and observations of 23 weather stations in different months(a. NCEP/NCAR, b. NCEP/DOE, c. CFSR, d. ERA, e. JRA)

0.10)。JRA、ERA 和 CFSR 各月的相关系数明显高于 NCEP/NCAR 和 NCEP/DOE,前 3 种资料秋、冬季各站的相关系数基本在 0.60 以上,春、夏季环渤海西部地区的相关系数较其他地区偏小,但绝大多数站点的相关系数达到 0.50 以上。NCEP/DOE 各月的相关系数最小,大部分站点各月的相关系数在 0.50 以下。4—9 月的相关系数普遍小于其他月份。

### 3.2 平均风速均方根误差的对比分析

比较 5 种再分析资料与 23 个气象站逐日平均

风速的均方根误差(图 4),ERA 和 JRA 的均方根误差小于其他 3 种再分析资料,各站均方根误差的差异也较小。ERA 的均方根误差最小,23 站平均的均方根误差值为 1.6 m/s,18 站的均方根误差在 2.0 m/s 及以下;NCEP/DOE 的均方根误差最大,23 站平均的均方根误差值为 3.0 m/s,14 站的均方根误差在 3.0 m/s 及以上。

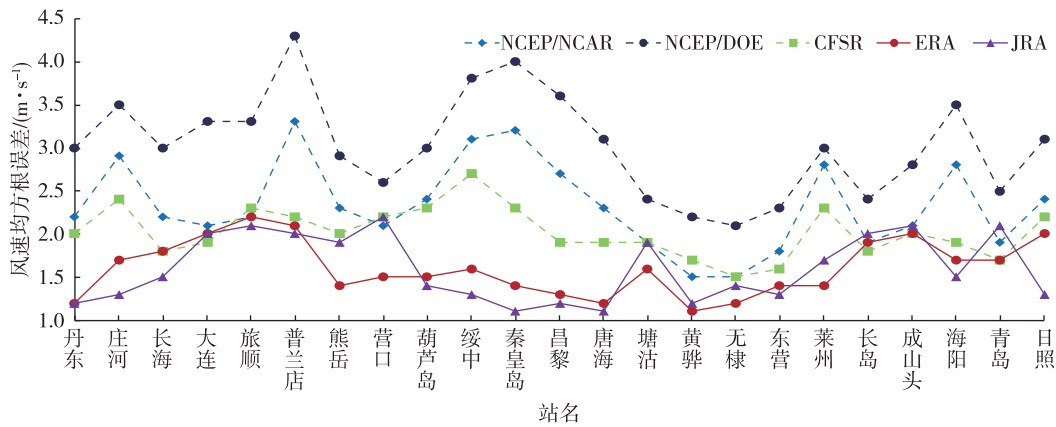


图 4 5 种再分析资料与 23 个气象站逐日平均风速的均方根误差(单位:m/s)

Fig.4 Root mean square error of daily mean wind speed in 5 reanalysis datasets compared with observations of 23 weather stations (unit: m/s)

对比 5 种再分析资料和 23 个气象站逐日平均风速在不同月份的均方根误差(图 5),夏季的均方根误差整体小于冬季、山东半岛和辽东半岛的均方根误差

差整体大于其他区域,大的均方根误差与平均风速有一定关系。ERA 的均方根误差最小,冬、春、秋季山东半岛和辽东半岛各站的均方根误差较大,数值

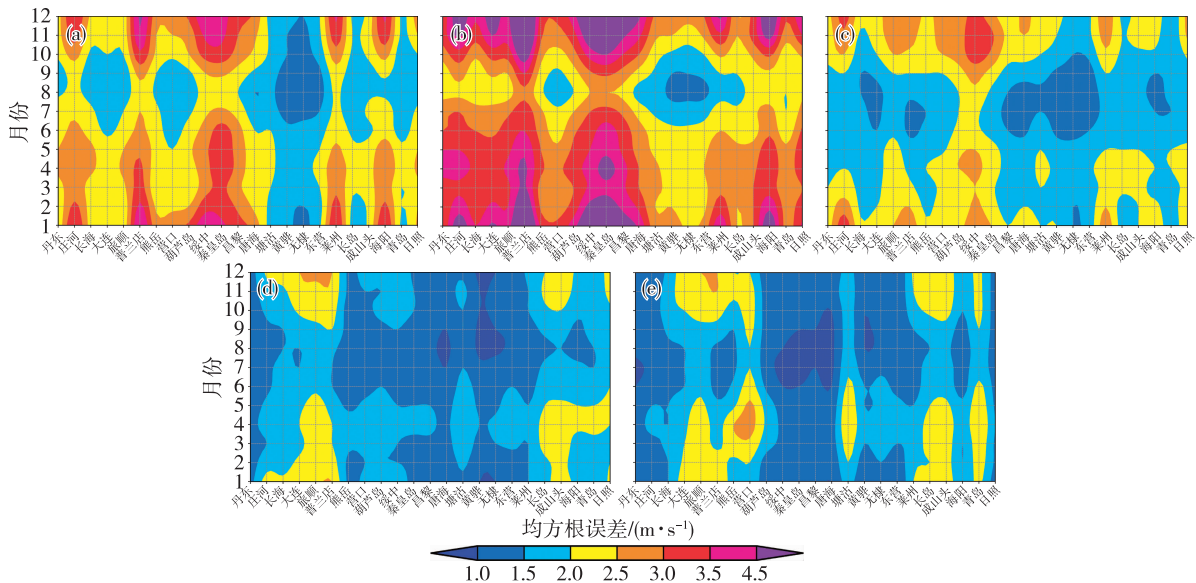


图 5 5 种再分析资料和 23 个气象站逐日平均风速在不同月份的的均方根误差(单位:m/s) (a. NCEP/NCAR, b. NCEP/DOE, c. CFSR, d. ERA, e. JRA)

Fig.5 Root mean square error of daily mean wind speed in 5 reanalysis datasets compared with observations of 23 weather stations in different months (unit:m/s) (a. NCEP/NCAR, b. NCEP/DOE, c. CFSR, d. ERA, e. JRA)

在 2.0 m/s 以上,其他各站在各月的误差都小于 2.0 m/s。NCEP/DOE 的均方根误差最大,仅部分站点在夏、秋季有均方根误差小于 2.0 m/s 的月份,大部分站点各月的均方根误差都在 2.5 m/s 以上。

### 3.3 强风过程平均风速的对比分析

根据韩永清等<sup>[13]</sup>的定义标准:某日环渤海区域出现风速超过 10.8 m/s(6 级风及以上)站数 ≥ 12 站、且其中一站最大风速超过 20 m/s,或者出现超过 10.8 m/s 大风站数 ≥ 17 站、且其中一站最大风速超过 17.2 m/s 时,为一次影响环渤海区域强风天气过程,挑选 1980—2012 年环渤海区域出现强风的天数,共 202 d。

5 种再分析资料和 23 个气象站强风过程日平均风速的相关系数全部通过信度为 0.001 的显著性检验(200 个样本时通过信度为 0.001 显著性检验的相关系数临界值为 0.23),相关系数整体大于再分析资料和气象站全序列逐日平均风速的相关系数,表明强风时段再分析资料与观测资料更为接

近,山东半岛和辽东半岛地区的优势有所减弱。JRA 的相关系数最大,23 站平均的相关系数为 0.70,13 站的相关系数达到 0.70 及以上;海阳和成山头站强风时段的相关系数比全序列的系数小,其他各站的相关系数增大。ERA 的相关系数次大,23 站平均的相关系数为 0.67,8 站的系数达到 0.70 及以上,大连、旅顺、长岛、成山头和海阳 5 站强风时段的相关系数比全序列的相关系数小。NCEP/DOE 的相关系数最小,23 站平均的相关系数为 0.50。

对比 5 种再分析资料与 23 个气象站强风过程日平均风速的均方根误差(图 6),误差数值整体大于再分析资料和气象站全序列逐日平均风速的误差数值。ERA 和 JRA 的均方根误差较其他 3 种再分析资料偏小,各站均方根误差数值的差异也较小。ERA 的均方根误差最小,23 站平均的均方根误差值为 2.4 m/s,19 站的误差在 3.0 m/s 及以下;NCEP/DOE 的均方根误差最大,23 站平均的均方根误差值为 4.3 m/s,14 站的误差在 4.0 m/s 及以上。

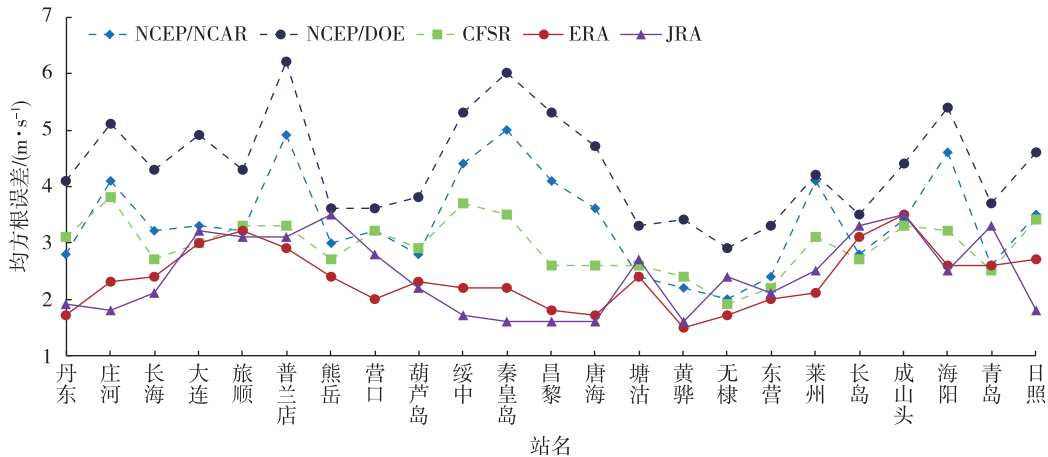


图 6 5 种再分析资料与 23 个气象站强风过程日平均风速的均方根误差(单位:m/s)

Fig.6 Root mean square error of daily mean wind speed in 5 reanalysis datasets compared with observations of 23 weather stations during strong gale processes(unit:m/s)

## 4 结论

本文利用 NCEP/NCAR、NCEP/DOE、CFSR、ERA-Interim、JRA-55 共 5 种再分析资料和环渤海区域 23 个气象站的平均风速资料,采用相关系数和均方根误差统计方法,对环渤海区域再分析资料近地面平均风速场的适用性进行了对比分析,结果表明:1)从相关系数看,JRA 资料与气象站观测资料的相关系数最大,其次是 ERA 资料,从均方根误差看,ERA 资料与 23 站平均的均方根误差最小,可见 JRA 和 ERA 两套再分析资料都能较好地代表地面

风速;2)从空间分布特征来看,山东半岛和辽东半岛再分析资料与气象站观测资料的相关系数高于其他地区,从季节分布特征来看,秋、冬季大于春、夏季。

对上述结果进行综合评估,认为再分析资料可以较好地表征强风时段的近地面平均风速,环渤海区域地面平均风速场 JRA 和 ERA 两套资料的适用性较好,由于 ERA 的水平分辨率更高,所以在强风过程分析中确定使用 ERA-Interim 再分析资料。

## 参考文献:

- [1] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3): 437-471.
- [2] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R2) [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2002, 83(11): 1631-1643.
- [3] Sara S, Moorthi S, Pan H L, et al. The NCEP climate forecast system reanalysis [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2010, 91(8): 1015-1057.
- [4] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 2011, 137(656): 553-597.
- [5] Ebata A, Kobayashi S, Ota Y, et al. The Japanese 55-year reanalysis "JRA-55": an interim report [J]. SOLA, 2011, 7(1): 149-152.
- [6] Monney P A, Mulligan F J, Fealy R. Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperature over Ireland [J]. Int J Climatol, 2010, 31(4): 545-557.
- [7] 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展 [J]. 地球科学进展, 2010, 25(3): 242-254.
- [8] 胡增运, 倪勇勇, 邵华, 等. CFSR、ERA-Interim 和 MERRA 降水资料在中亚地区的适用性 [J]. 干旱区地理, 2013, 36(4): 700-708.
- [9] 赵佳莹, 徐海明. 中国区域探空资料与再分析资料风速场的对比分析 [J]. 气候与环境研究, 2014, 19(5): 587-600.
- [10] 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析 [J]. 气象学报, 2006, 64(6): 709-722.
- [11] Decker M, Brunke M A, Wang Z, et al. Evaluation of the reanalysis products from GSFC, NCEP and ECMWF using flux tower observations [J]. J Climate, 2011, 25(6): 1916-1944.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 15-28.
- [13] 韩永清, 郭俊建, 张少林, 等. 环渤海区域强风的特征及变化分析 [J]. 海洋预报, 2015, 32(6): 26-33.