

Doi:10.11840/j.issn.1001-6392.2023.02.005

ERA5 海面气压和风速再分析资料在渤海 和北黄海适用性分析

耿姗姗, 韩春花, 徐珊珊, 杨锦坤, 史潇潇, 梁建峰, 刘玉龙, 武双全
(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘 要: 利用渤海和北黄海9个站位浮标的海面10 m气压和风速观测资料对ERA5再分析资料的适用性进行了初步评估。结果表明: 海面气压和风速再分析资料与观测资料具有良好的相关性, 不同时间尺度的统计结果具有一定差异, 累年逐月的相关性优于日均和日极值, 极端天气下的相关系数最低。不同时间尺度的统计结果显示, 气压再分析资料与观测值的偏差总体为负值, 即高压再分析资料较观测值偏弱、低压再分析资料较观测值偏强, 二者存在一定的系统性偏差; 风速统计结果显示, 偏差与风力级别有关, 大风速时, 风速再分析资料普遍小于观测值。累年逐月再分析资料反映了研究区气压和风速的季节变化特征, 偏差也呈现出季节性变化, 且冬季的适用性优于夏季; 极端天气情况下, 气压和风速再分析资料的适用性较差, 需要开展进一步的订正处理。

关键词: ERA5再分析资料; 海面气压; 风速; 相关系数; 适用性分析

中图分类号: P732.6; P468 文献标识码: A 文章编号: 1001-6932(2023)02-0159-10

Applicability analysis of the sea surface pressure and wind speed of ERA5 reanalysis data in the Bohai Sea and the northern Huanghai Sea

GENG Shanshan, HAN Chunhua, XU Shanshan, YANG Jinkun, SHI Xiaoxiao,
LIANG Jianfeng, LIU Yulong, WU Shuangquan
(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: A preliminarily assessment of the applicability of the sea surface pressure and wind speed of ERA5 reanalysis data is carried out using the observation data at 10m height observation data of 9 buoys in the Bohai Sea and the northern Huanghai Sea. The results show that: the sea surface pressure and wind speed of ERA5 reanalysis data has high correlation coefficients with the observation data, the correlation between sea surface pressure and wind speed is different in different time scales. The correlation of monthly average is better than that of daily average and daily extreme value, and the correlation coefficient is the lowest in extreme weather. In generally, the deviation between statistical products of the ERA5 and the observed products is negative. It means that the high pressure is weaker than the observed data, and the low pressure is stronger than the observed data, and there is some systematic deviation between ERA5 reanalysis data and the observed data. The deviation varies with the different wind speed level, when the wind is high, the reanalysis wind speed is generally less than the measured. By analyzing the monthly average data, the reanalysis data reveal the seasonal variation of sea surface pressure in the study area, and the deviation from the observed data also show seasonal variation characteristics, the applicability in winter is better than in summer. The error of reanalysis data of sea surface pressure and wind speed is large under extreme weather conditions, especially the typhoon process, further evaluation and revision of the data are needed.

Keywords: ERA5 reanalysis data; sea surface pressure; wind speed; correlation coefficient; applicability analysis

收稿日期: 2022-01-06; 修订日期: 2022-08-28

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2017YFC1405300)

作者简介: 耿姗姗 (1984—), 硕士, 工程师, 主要研究方向为海洋气象, 电子邮箱: shannuist@126.com

通信作者: 刘玉龙, 博士, 高级工程师, 电子邮箱: yulong0361@163.com; 武双全, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为物理海洋学, 电子邮箱: 03shuangquan@163.com

随着数值预报模式技术的不断发展, 20 世纪 80 年代, Bengtsson 和 Trenberth 等科学家提出了利用数值预报中的资料同化技术再现长期历史气候记录的新方法^[1-2], 大气再分析资料应运而生。大气再分析资料具有时间序列长、空间分辨率高等优点, 在大气科学领域发挥着极其重要的作用^[3-5], 既可应用于天气诊断分析和气候特征研究^[6-7], 亦可作为数值模式积分的初始场, 特别是高分辨率再分析资料在中小尺度数值预报系统中的应用更为迫切^[8]。20 世纪 90 年代以来, 美国、欧盟和日本先后研发了一系列全球大气再分析资料产品^[9], 美国国家海洋环境预测中心 (NCEP) 和大气研究中心 (NCAR) 发布了 NCEP/NCAR 全球再分析计划, NCEP 和美国能源部 (DOE) 发布了 NCEP/DOE 全球再分析计划^[10], NCEP 于 2010 年发布了 CFRS 资料^[11], 美国国家航天局 (NASA) 发布了 MERRA 和 MERRA2^[12], 日本气象厅 (JMA) 和电力中央研究所 (CRIEPI) 联合实施的 JRA 大气再分析计划从早期的 JRA15 发展到 JRA55^[13]。同时, 我国大气再分析产品也取得了长足的进步, 中国气象局于 2021 年 5 月发布的我国第一代全球大气和陆面再分析产品 (CRA), 填补了我国在全球大气再分析领域的空白。本文采用的资料来自欧洲中期数值预报中心 (ECMWF) 实施的 ERA 再分析计划, 该计划包括始于 1979 年的 FGGE 项目产品、20 世纪 90 年代中期推出的 ERA-15、2001—2003 年推出的 ERA-40、2006—2019 年推出的 ERA-Interim 和目前推出的第五代 ERA5 大气再分析产品, ERA5 产品采用了集合 4D-Var 资料同化系统, 除了水平和垂直分辨率显著提高外, 还提供了更多产品参数^[14]。

尽管再分析产品解决了以往资料匮乏的难题, 但作为观测资料和数值模式的融合产物, 无法完全取代实测资料来真实反映大气的真实三维状态^[15], 影响其质量的因素主要来源于观测系统、数值模式和同化方法。具体来说, 观测资料的种类和数量是影响再分析资料的重要因子, 观测系统的改变容易给气候长期变化趋势带来虚假信号^[16], 这些偏差并非大气真实的活动状态, 对于气候态研究十分不利; 数值模式和同化方法的误差会导致再分析变量存在线性误差, 出现系统性

偏高或偏低等问题。Kistler 等指出受观测系统和数值模式的影响, 再分析资料不同要素按照可信度从高到低可分为 A、B、C、D 四类^[17]。A 类产品的质量主要受观测资料 (如位势高度场、温度场和风场等) 的影响, 可信度较高; B 类产品的质量受到观测资料和模式的共同影响, 可信度低于 A 类; C 和 D 类产品的质量几乎完全是由模式决定的, 这两类产品的可信度较低^[17]。

再分析资料在应用前应充分进行资料的适用性评估, 很多国内学者已经开展了相关工作。赵天保等选取了 ERA-40、NCEP/NCAR、NCEP/DOE 和 JRA-25 再分析资料中的地表气温、气压和降水的观测资料与中国区域台站观测资料的差异进行了分析, 结果表明几套再分析资料在一定程度上反映出观测资料所具有的时空分布特征, 特别是 1979 年以后的资料可靠性更高一些^[18]。相比而言, 再分析资料在冬季的可信度一般要高于夏季, 东部地区的可信度一般要高于西部地区, ERA-40 和 JRA-25 再分析产品的适用性要高于 NCEP/NCAR 和 NCEP/DOE^[18-20]。支星等利用探空观测资料与 NCEP/NCAR、NCEP/DOE、ERA 和 JRA 等再分析资料对比, 讨论了温度场和高度场在中国区域的年、季平均特征, 发现几种再分析资料均能较好地反映高空温度和位势高度的长期变化趋势、年际变化特征和季节平均特征^[21-26]。同时发现, 不同高度上几种再分析资料的适用性有明显差异, 在我国北方的描述能力比南方好、东部比西部好、冬季比夏季好, 这也进一步验证了利用再分析高空资料来分析无实测探空资料地区上空气象参量变化特征的可行性。范苏丹等评估了黄渤海沿海地区 CFRS 地面再分析 10 m 风场资料, 结果表明天气系统产生的西北以及偏北大风的次数及其风向的评估均较好, 对北方气旋和东高西低产生的偏南大风评估也比较准确, 但对南方气旋产生的东北以及偏东大风评估略差^[27]。孟宪贵等利用山东和浙江省 2016 年的观测资料对 ECMWF 发布的系列再分析产品进行区域评估, 发现 ERA5 的适用性总体上要优于 ERA-Interim, 地表温度、地面和对流层低层相对湿度、风场改善更为明显^[28]。陈艳春等利用环渤海区域的气象站资料和 NCEP/NCAR、NCEP/DOE、CFRS、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, 发现在渤海周边 JRA 资料与观测资料相关性最大, ERA 资料与观测资料离散程度最小^[29]。综合以上研究表明, ERA5 再分析资料无论在气候还是天气尺度均有较好的适用性。

渤海及黄海北部海域地处我国北方, 属于东亚季风区, 受季风、副热带高压及北上台风、西伯利亚冷高压等大型环流系统的影响, 易出现海上低压、大风等灾害性天气。在前人研究的基础上, 本文利用海上浮标观测资料评估 ERA5 再分析资料气压资料在渤海及黄海北部的适用性。

1 资料与方法

1.1 资料选取

本文所用资料来自渤海及北黄海海域 9 个浮标的观测数据, 分别位于渤海中部、渤海湾、莱州湾、辽东湾、渤海海峡和北黄海, 具体分布位置见图 1, 站位分布较均匀, 能够很好地代表渤海及北黄海气压场/风场的分布特征。浮标的观测频率为逐时, 在大风天气加密观测。本文从中挑选了 2012 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日的逐时资料进行分析研究 (有效观测时间见表 1), 其中 B2 和 B4 浮标于 2014 年 12 月停止观测, B8 浮标自 2015 年开始观测, 其余浮标观测正常。对观测资料进行质量控制, 剔除奇异值和缺测值, 保证资料的可靠性, 逐时气压/风速场观测样本数为 468 786 站次 (图 2), 满足再分析资料评估的要求。

表 1 浮标有效观测时间及分布区域

序号	标号	有效时段	海域	位置
1	B1	2012—2019 年	辽东湾口	120.5°E, 39.5°N
2	B2	2012—2014 年	渤海湾口	119.0°E, 38.9°N
3	B3	2012—2019 年	渤海中部	119.9°E, 38.5°N
4	B4	2012—2014 年	渤海中部 (南侧)	120.1°E, 38.3°N
5	B5	2012—2019 年	渤海中部 (北侧)	120.0°E, 39.0°N
6	B6	2012—2019 年	渤海海峡北部	121.1°E, 38.5°N
7	B7	2012—2019 年	渤海海峡南部	121.0°E, 38.0°N
8	B8	2015—2019 年	北黄海北部	123.3°E, 38.9°N
9	B9	2012—2019 年	北黄海南部	123.5°E, 38.0°N

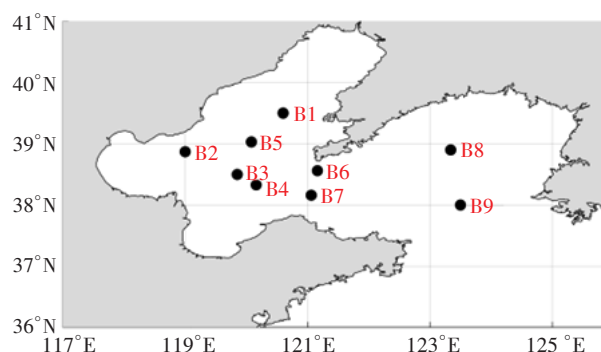


图 1 研究区域浮标站位分布图

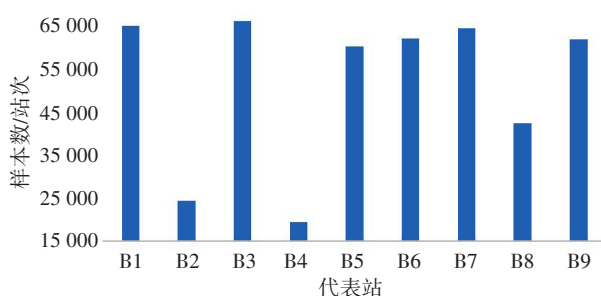


图 2 逐日浮标观测站有效统计样本个数

再分析资料来自 ECMWF 运营的哥白尼气候变化服务推出的最新一代 ERA5 再分析产品。该产品是 2019 年 8 月 31 日停产的 ERA 中期再分析资料 (ERA-Interim) 的升级版, 实现了 1950 年至今的长时间序列覆盖, 提供延迟 3 个月发布逐月资料, 延迟 5 天发布逐日资料。产品具有以下特点: 时空分辨率大幅提升, 水平空间分辨率达到 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 垂向从地表至 80 km 高度共计 137 层, 时间分辨率达到小时级; 产品同化的资料来源增多, 特别是历史卫星遥感资料的加入使得产品能够更为准确地再现大气状况; 产品要素包括大气、海浪和陆地表面等, 共 240 种, 可满足各类用户的研究需求。本文下载了 2012—2019 年逐时海面 10 m 气压和 10 m 风速场 ERA5 再分析产品资料, 利用双线性插值方法插值得到观测浮标站数据。

1.2 评估方法

本文利用相关系数 (R)、平均偏差 (MAE)、均方根误差 ($RMSE$) 等参数评估再分析资料的适用性。 $RMSE$ 表示两组资料的离散程度; MAE 表示再分析资料与观测资料之间的偏离程度, $RMSE$ 和 MAE 数值越小, 代表两组数据的一致性越好^[31], 相应的计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - o_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - o_i)^2}$$

式中： n 为样本数， x 和 o 分别代表再分析资料和观测资料。

2 适用性分析

2.1 逐时资料分析

为评估渤海和北黄海海域ERA5再分析资料的适用性，首先对逐时气压场和风速场进行分析，计算了ERA5逐时气压、风速与观测资料的相关系数（图3）、平均偏差和均方根误差，相关系数均通过置信度为0.001的显著性检验，结果见表2。

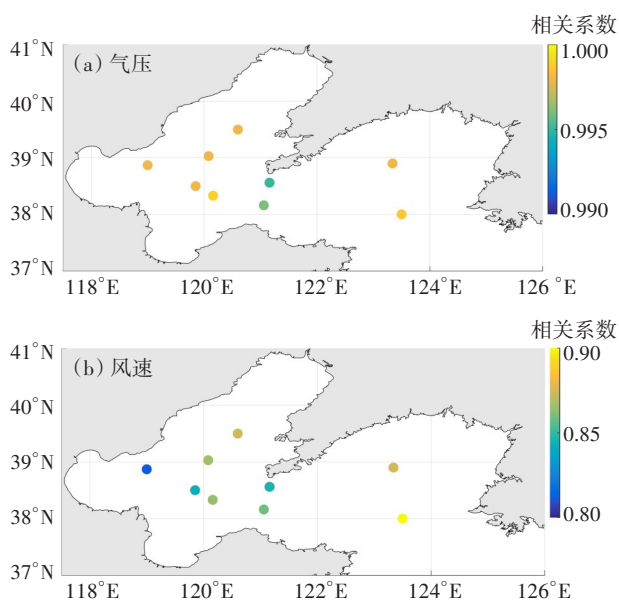


图3 逐时气压(a)和风速场(b)再分析资料和观测资料相关系数

评估结果表明：气压再分析数据与观测资料的相关系数较高，具有强相关性，不同海区仅具有细微差异，9个代表站的相关系数平均值为0.998 1，与孟宪贵等研究的山东省ERA5海平面气压与陆地站相关系数基本在0.99以上结论一致^[28]。相关系数最大的是渤海中部的B4号标，达

到0.999 1，最小的位于渤海海峡北部的B6号标，为0.998 5。总体来看，逐时气压的平均偏差结果显示再分析资料能够较好地再现气压的逐时变化规律，但存在系统性偏差，9个代表站的平均偏差均值为-1.2 hPa，平均偏差中位数为-1.3 hPa，其中仅B6号标平均偏差为正值，其余代表站平均偏差均为负值，反映了气压再分析资料较观测普遍偏低。具体来说，各代表站再分析资料和观测资料具有一定差异，B3号标偏离观测最大，为-2.55 hPa，B1号标偏离观测最小，为-0.05 hPa，表明逐时气压再分析资料在不同代表站的适用性具有差异。在此基础上，对其进行了独立样本t检验，通过统计结果可以看出，样本未假设方差齐性，即样本方差不相等的情况下，得到的P值中B1号标气压差异不显著（P值为0.387，均大于临界值0.05），与前文对应浮标平均偏差值最小结论一致，其他各标的逐时气压均具有显著性差异，且多数站为负偏差。9个代表站均方根误差最大值为2.56 hPa，最小值为0.53 hPa，均方根误差均值为1.54 hPa，表示研究区逐时气压再分析资料离散程度较小，评估效果良好。

根据表3可知，研究海域风速再分析资料与观测资料的相关系数平均值为0.861 7，各站显著差异不同。具体来说，相关系数方面：位于北黄海南部的B9号标相关系数最大，地处渤海湾内近滦河入海口附近的B2站相关系数最小，初步考虑受下垫面影响，导致风速在相对宽阔且光滑海面的适用性优于受复杂下垫面影响的近岸，但限于浮标站位分布存在不均一性，结论尚有待进一步考证。误差分析方面：风速平均偏差均值为0.04 m/s，均方根误差均值为1.61 m/s，渤海湾中部及偏北的B1、B2和B5号标风速再分析资料小于观测资料。总体而言，风速场再分析资料在研究海域的适用性良好，但逐时风速存在系统性偏高的现象。相对气压而言，风速受气压梯度力和摩擦力等影响，存在瞬时变化的特征，因此逐时风速相关系数较气压低。

2.2 逐日资料分析

本节对再分析资料和观测资料进行历年逐日平均，并计算各类评估参数，讨论逐日气压和风速的评估情况，为读者利用再分析资料进行气候学特征分析提供参考。

根据表2可知, 9个浮标站的逐日气压场相关性良好, 相关系数均值为0.998 8, 略高于逐时气压。其中, 相关系数最大的是渤海中部的B4号标, 达到0.999 8, 位于渤海海峡北部的B6号标最小, 为0.996 3, 初步考虑是日平均抵消了部分逐时资料偏差波动导致。根据独立样本t检验结果, 研究海区中B1、B4和B7号标差异不显著, 平均偏差均值仅为-0.45 hPa; 其余6站具有显著差异, 平均偏差均值为-1.59 hPa, 同样表现出负偏差, 即气压再分析值略小于观测值。赵天保等讨论得到逐日气压再分析值与观测值的差异在我国陆地东部大多数地区基本在2 hPa以内, 而在西部很多地区的差异均超过了2 hPa, 特别是青藏高原部分地区的最大差异甚至在10 hPa以上^[20]。本文得到的渤海和北黄海海域代表站气压差异绝对值为1.21 hPa, 与赵天保等的研究结论一致^[20], 数值较小原因初步考虑与海洋下垫面相对光滑有关。总体上, 逐日气压再分析资料的评

估效果良好, 受下垫面影响, 海面气压差异要小于陆地差异。

根据表2可知, 逐日风速场相关系数均值为0.932 3, 且最大值同样为北黄海开阔海域的B9号标, 最小值为渤海湾附近的B2号标。与气压逐时情况相似, 风速场经平均后抵消了分部日变化带来的偏差。独立样本t检验结果显示, 研究海区B1、B7和B8号标差异显著, 其余各标差异不显著。与陈艳春等利用地面站评估环渤海区域ERA-Interim的23站陆地风速场均方根误差1.6 m/s相比^[29], 本文9个代表站均方根误差较小为0.88 m/s, 原因有二: 其一为ERA5与ERA-Interim风场产品准确度提升, 其二为下垫面影响。综上, ERA5渤海风速场的适用性较ERA-Interim陆地风速场好。

为详细阐述再分析资料日均适用性, 本段选取气压日极小值(反映低压强度)、气压日极大值(反映高压强度)和风速日极大值(反映大风强度)进行分析。气压方面: 9个代表站气压日极

表2 研究区海面气压评估参数

标号	相关系数				平均偏差/hPa			显著性(双尾检验)			
	逐时	日均	极小	极大	逐时/日	极小	极大	逐时	日均	极小	极大
B1	0.998 7	0.999 7	0.999 0	0.991 4	-0.05	0.00	-0.15	0.387	0.846	0.999	0.584
B2	0.998 7	0.999 4	0.998 6	0.999 0	-1.97	-1.92	-2.08	0.000	0.000	0.000	0.000
B3	0.998 4	0.999 2	0.998 5	0.998 8	-2.55	-2.56	-2.58	0.000	0.000	0.000	0.000
B4	0.999 1	0.999 8	0.999 1	0.999 4	-0.83	-0.77	-0.89	0.000	0.088	0.109	0.074
B5	0.998 8	0.999 4	0.998 8	0.999 1	-2.51	-2.46	-2.61	0.000	0.000	0.000	0.000
B6	0.995 8	0.996 3	0.995 5	0.996 0	0.52	0.56	0.48	0.000	0.038	0.026	0.065
B7	0.996 7	0.997 3	0.996 3	0.997 0	-0.47	-0.39	-0.56	0.000	0.069	0.131	0.035
B8	0.998 4	0.999 2	0.998 3	0.998 9	-1.75	-1.68	-1.82	0.000	0.000	0.000	0.000
B9	0.998 6	0.999 2	0.998 5	0.991 4	-1.27	-1.23	-1.32	0.000	0.000	0.000	0.000

表3 研究区海面风速评估参数

标号	相关系数				平均偏差/(m·s ⁻¹)			显著性(双尾检验)			
	逐时	日均	极小	极大	逐时/日	极小	极大	逐时	日均	极小	极大
B1	0.874 0	0.934 9	0.840 8	0.892 9	-0.19	0.47	-1.07	0.000	0.003	0.000	0.000
B2	0.811 5	0.883 9	0.759 9	0.845 5	0.00	0.47	-0.78	0.757	0.970	0.000	0.000
B3	0.842 5	0.922 3	0.803 7	0.868 1	0.09	0.72	-0.72	0.000	0.133	0.000	0.000
B4	0.864 8	0.938 1	0.824 8	0.882 5	0.05	0.65	-0.79	0.152	0.656	0.000	0.000
B5	0.865 7	0.930 7	0.835 1	0.871 8	-0.04	0.56	-0.84	0.020	0.573	0.000	0.000
B6	0.846 8	0.929 6	0.798 7	0.883 4	0.00	0.71	-0.91	0.999	0.966	0.000	0.000
B7	0.859 1	0.933 5	0.832 7	0.885 2	0.31	0.79	-0.45	0.000	0.000	0.000	0.000
B8	0.874 9	0.949 4	0.827 2	0.907 8	0.17	0.92	-0.75	0.000	0.038	0.000	0.000
B9	0.916 4	0.968 1	0.894 0	0.941 4	0.01	0.66	-0.77	0.623	0.872	0.000	0.000

小/大值相关系数平均为 0.998 1/0.997 6, 通过 t 检验和平均偏差分析得到, 6 个代表站的日极值具有显著差异, 日极小和日极大偏差绝对值大于日均, 且为负值。由此考虑再分析资料逐日平均适用性优于逐时的原因为日平均抵消了极值引起的波动。风速方面: 风速日极大相关系数均值 0.886 5, 介于逐时与逐日之间, t 检验结果显示各站再分析与观测值具有显著性差异。日极大值平均偏差均为负, 9 个代表站的均值 -0.79 m/s, 结论

与傲雪等研究辽宁省海岸带 ERA 的最大小时风速明显较观测值偏小^[30]一致。此外, 根据风速再分析资料日极大值出现时刻与观测时刻比差的正态拟合直方图 (图 4) 可知, 二者服从正态分布, 且比差概率 50% 集中在 ± 5 hr 内。就研究海域和选取时段而言, 利用再分析资料日极大值评估观测风速, 尤其在海洋工程抗风性预测评估时应引起特别注意, 存在最大小时风速被低估的风险, 且出现时刻存在 ± 5 hr 左右的误差。

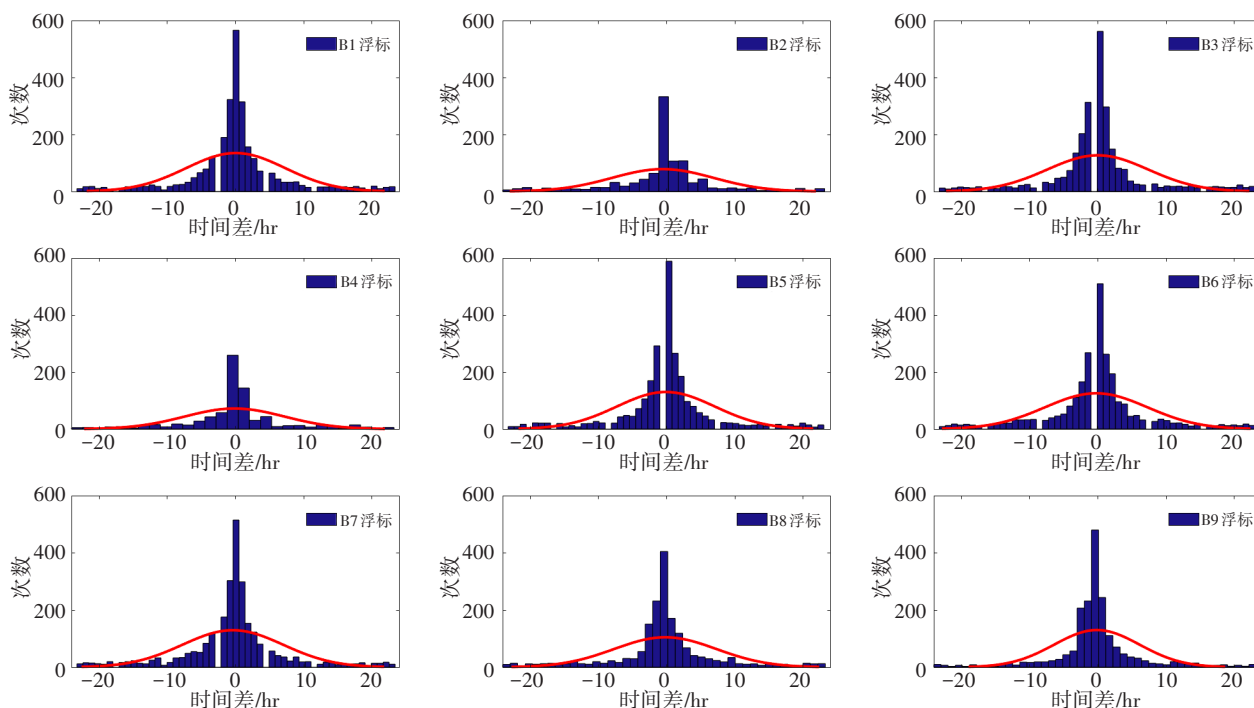


图 4 日极大风速值再分析资料和观测资料出现时刻的比差直方图

2.3 月均资料分析

由于 B2 和 B4 浮标站观测时长较短, 累年逐月统计样本少, 不参与本次月均分析。图 5 为累年逐月气压再分析资料和观测统计结果, 可以看出渤海和北黄海海域气压呈现显著的季节性变化, 图 6 中二者散布图均落在中值线上, 逐月气压再分析资料可以较好地反映实际情况。研究区地处半封闭内海, 主要受大陆天气系统控制, 在亚洲季风季节性转换背景下, 我国冬季陆地上空常年盘踞着冷性蒙古高压, 槽前脊后的西北气流将大陆冷空气不断输送到渤海及北黄海海域, 形成影响研究区冬季主要的天气系统—寒潮高压。由图 5 可知, 研究区的海面气压月均统计结果在冬季均呈现为高值, 且变化趋势一致, 从冬季到夏季,

我国大陆气压系统出现反相位变化, 陆地上空为暖性大低压控制, 受东南季风及温带气旋影响, 研究区夏季表现为低压系统特征。再分析资料的季节性变化趋势与观测资料一致, 反映了研究区冬季气压高于夏季气压的特征, 差值约 19 hPa, 通过相关分析得到二者相关系数约为 0.999 9, 具有强相关性。然而, 这种强相关性存在季节和空间上的细微差异。就季节角度而言, 研究区各站逐月气压季节性差异趋势基本一致, 由图 7 可知, 冬季 ERA5 与观测值的差异最小, 再分析比观测值偏低 0.92 hPa 左右; 在夏季差异最大, 再分析比观测值偏低 1.38 hPa 左右。就空间区域而言, 各站配对样本 t 检验的 P 值均大于 0.05, 再分析与观测值差异不显著, 平均偏差均值为 -1.15 hPa。

总体而言, ERA5在渤海和北黄海海域冬季的适用性优于夏季, 且研究海区逐月相关性最大, 与观测差异较小。

从累年逐月风速再分析资料和观测资料的统计结果得到, 研究海域风速具有显著的季节性变

化, 反映了渤海和北黄海海域气候特征: 冬季受贝加尔湖冷空气向东南扩散等影响, 研究海域灾害性天气主要为寒潮大风, 风速可达10级^[33]; 夏季风速较冬季明显偏小, 其主要影响天气系统为北抬的副热带高压, 偶受北上减弱台风或热带气

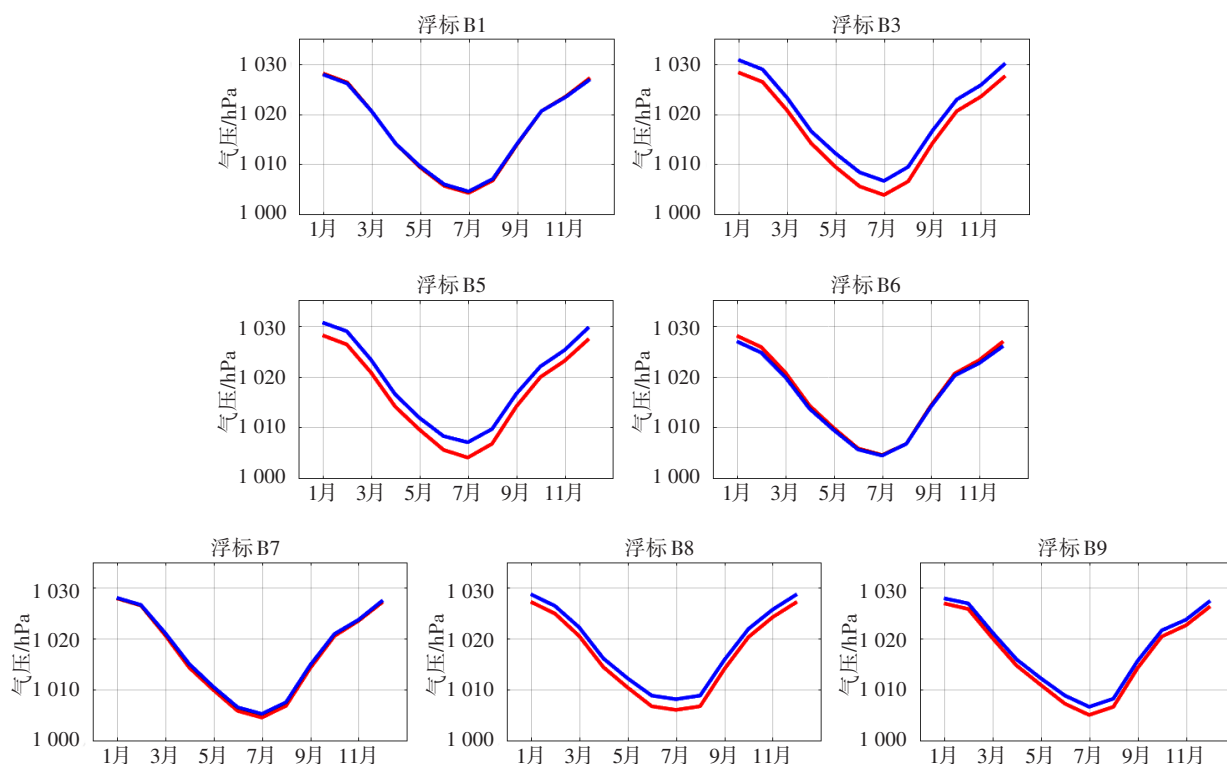


图5 逐月气压再分析资料和观测资料的时间序列

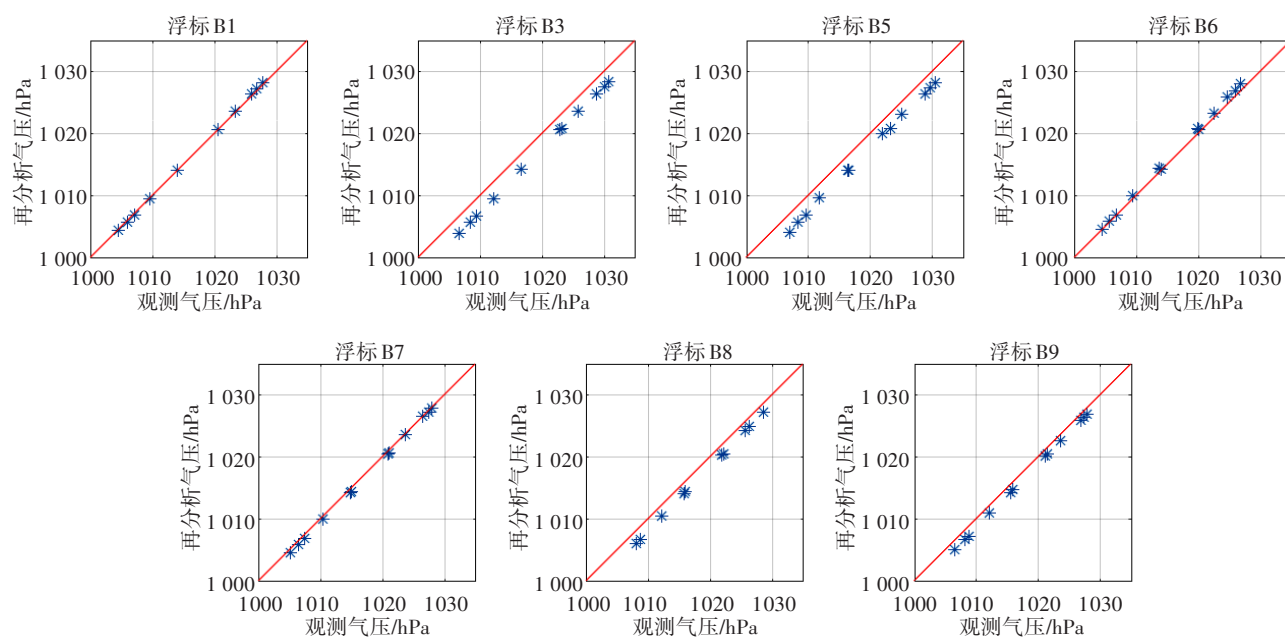


图6 逐月气压再分析资料和观测资料的相关性

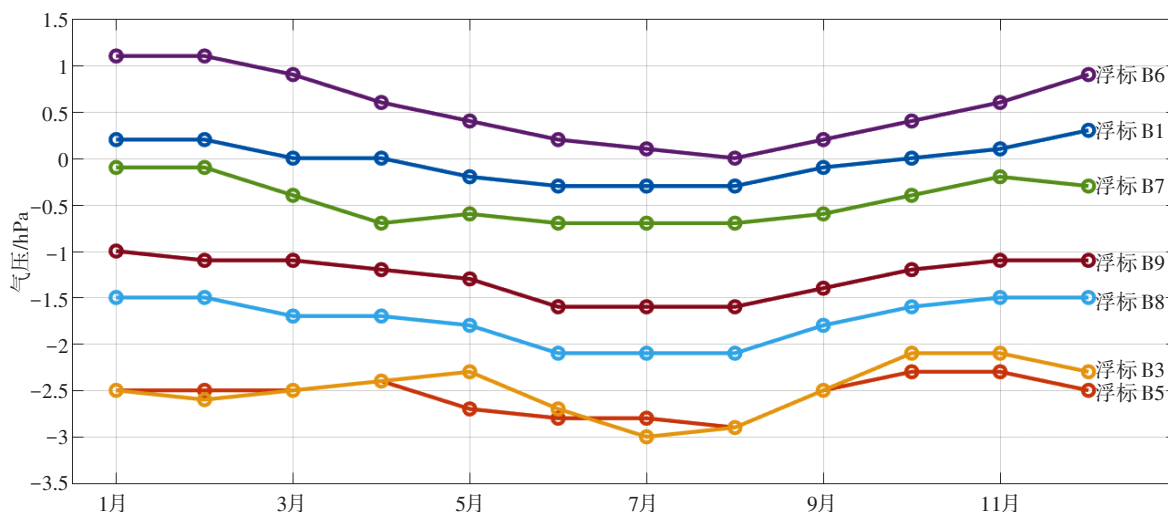


图7 逐月气压再分析资料与观测资料的偏差时间序列

旋影响。ERA5与观测风速的相关系数均值为0.9416,考虑到累年月均的平滑效果,风速再分析资料与观测的差异并不显著,且平均偏差均值在 $-0.21 \sim 0.31$ m/s,不同站位略有差异,位于渤海中部附近B5号标相关系数最低,为0.9103,位于北黄海南部的B9号标相关系数较高,为0.9724。ERA5与观测风速的存在相同的季节变化,冬季风速普遍大于夏季;平均偏差均值不同季节差异较大,冬季为负偏差,夏季为正偏差,即冬季累年逐月风速再分析资料比观测偏小,夏季累年逐月风速再分析比观测偏大。

2.4 极端过程分析

本文讨论极端天气过境时再分析资料的适用性,依据基于平均值2倍偏差作为极端低压数据选取标准、3倍偏差作为极端大风数据选取标准^[32],在浮标观测资料不缺测的情况下,共选取出4156个极端低压样本数据和3558个极端大风样本数据。对9个浮标站的资料分别进行相关性分析、独立样本t检验和误差分析等。总体来看,9个浮标站位的气压相关系数均值为0.9391,风速相关系数均值为0.6282,远小于逐时全体样本相关系数,说明在极端事件发生时,再分析资料的准确程度明显降低,极端低压或大风过境时再分析资料数值均小于观测值,气压偏差均值为 -1.27 hPa,偏差最大值为 -2.64 hPa,风速偏差均值为 -2.70 m/s,偏差最大值为 -2.97 m/s,即极端低压过境时气压场强度再分析资料普遍强于观测值(图8),风速场再分析强度普遍弱于

观测值。通过独立样本t检验P值分析,除B1号标P值大于0.05外,其余8个代表站气压差异显著;所有代表站风速再分析资料与观测均具有显著差异。

3 结论与讨论

利用渤海和北黄海水域布设的海上浮标观测资料,对ERA5逐时气压和风速资料进行评估,评估结果总体良好。受海洋下垫面影响,与前人评估陆地和近岸适用性结论相比,本文两类要素具有更强的相关性,且气压场评估效果优于风速场。结论如下:

(1) 对于日变化、日平均和日极值统计结果的相关系数具有如下关系: $R_{p\text{日均}} > R_{p\text{逐时}} \approx R_{p\text{极小}} > R_{p\text{极大}}, R_{w\text{日均}} > R_{w\text{逐时}} > R_{w\text{极大}}$ 。气压再分析资料普遍小于观测资料,即低压强度被高估、高压强度被低估;风速再分析资料与观测资料的关系与风速有关,大风速被低估、日均和逐时与观测风速接近。

(2) 对于累年月均而言,二者具有强相关性,气压场和风速场再分析资料在渤海和北黄海的气候特征分析中适用性良好,且冬季适用性略高于夏季,各站具有相同的季节变化趋势,可作为一个整体讨论。

(3) 在极端天气发生时,海面气压场和风速场再分析资料的适用性显著降低:低压再分析资料强度普遍强于观测资料,风速再分析资料强度普遍弱于观测资料,且差异显著。因此,在极端

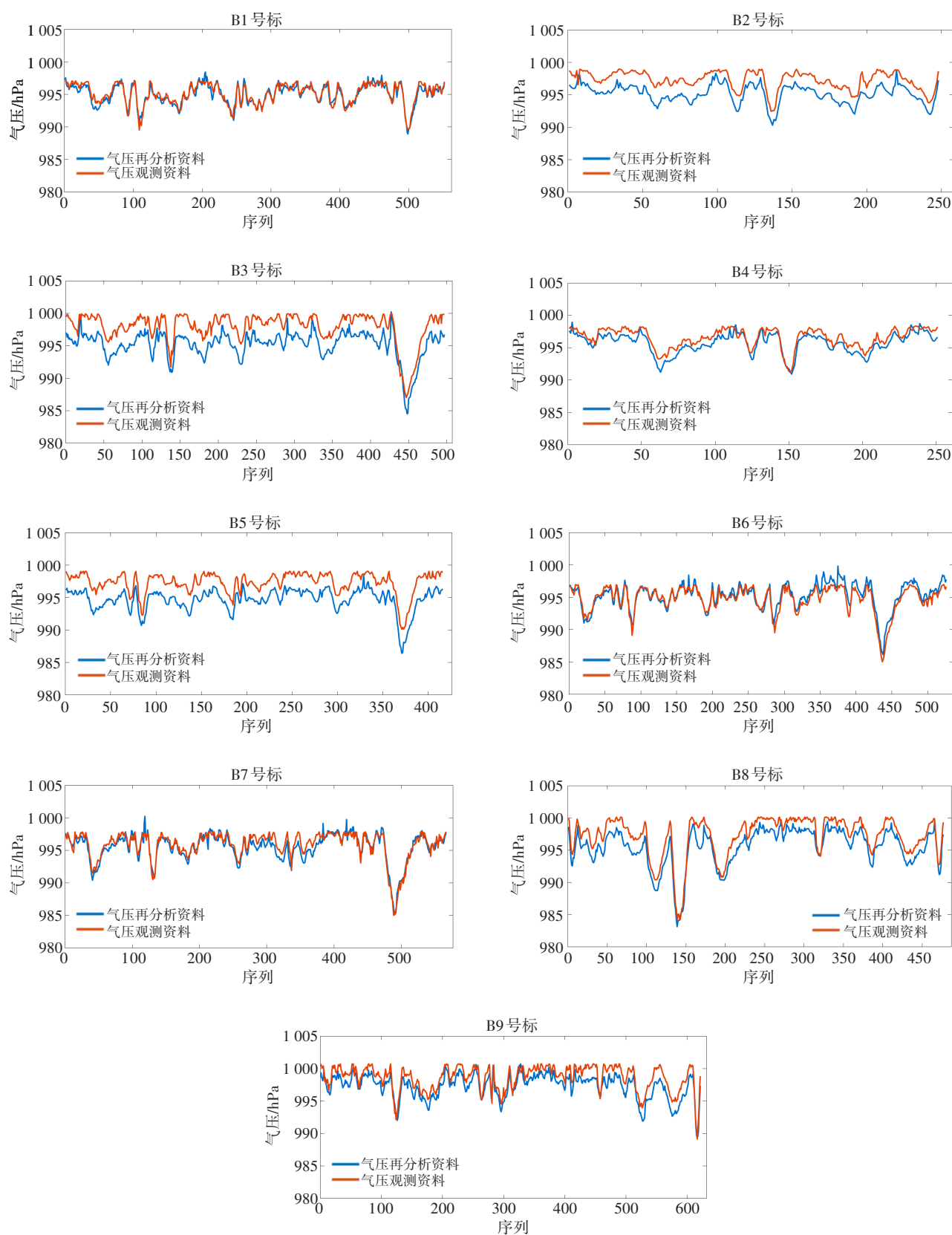


图8 极端天气过程气压时间序列图

天气过程下使用ERA5再分析资料时,有必要对海面气压和风速场进行订正。

参考文献

- [1] BENGTTSSON L, SHUKLA J. Integration of space and in situ observations to study global climate change[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1988, 69(10): 1130-1143.
- [2] TRENBERTH K E, OLSON J G. An evaluation and intercomparison of global analyses from the National Meteorological Center and the European Centre for Medium Range Weather Forecasts[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1988, 69(9): 1047-1057.
- [3] 谢潇, 何金海, 祁莉. 4种再分析资料在中国区域的适用性研究进展[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(5): 58-65.
- [4] 谭海燕, 邵珠晓, 梁丙臣, 等. ERA5风场与NCEP风场在黄海、东海波浪模拟的适用性对比研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 524-540.
- [5] 江森汇, 舒懿俊, 王青, 等. 基于长时间序列ERA-Interim再分析资料的广东沿海波浪能资源分布特征分析[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 550-558.
- [6] 陈彬, 于恩洪. 渤海湾西部海陆风的天气气候特征[J]. 海洋通报, 1989(1): 23-29.
- [7] 贺琪, 武欣怡, 黄冬梅, 等. 多视图协同的海洋多要素环境数据关联关系分析方法[J]. 海洋通报, 2019, 38(5): 533-542.
- [8] 刘成, 曹祥村, 尹朝晖, 等. 2007—2018年黄渤海海冰气候特征及其对气象因子的响应[J]. 海洋通报, 2019, 38(2): 173-178.
- [9] 李帅, 郭俊如, 姜晓轶, 等. 海洋水文气象多时空尺度资料来源分析[J]. 海洋通报, 2020, 39(1): 24-39.
- [10] KALNAY E, KANAMITSU M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437-472.
- [11] SAHA S, MOORTHY S, PAN H L, et al. The NCEP climate forecast system reanalysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 91(8): 1015-1057.
- [12] RIENECKER M, SUAREZ M J, GELARO R, et al. MERRA: NASA's modern-ERA retrospective analysis for research and applications[J]. Journal of Climate, 2011, 24(14): 3624-3648.
- [13] SHINYA K, YUKINARI O, YAYOI H, et al. The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 2015, 93(1): 5-48.
- [14] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656): 553-597.
- [15] BENGTTSSON L, HAGEMANN S, HODGES K I. Can climate trends be calculated from reanalysis data[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2004, 109 (D11): 112-123.
- [16] BENGTTSSON L, HODGES K I, HAGEMANN S. Sensitivity of the ERA40 reanalysis to the observing system: determination of the global atmospheric circulation from reduced observations[J]. Tellus A, 2004, 56(5): 456-471.
- [17] KISTLER R, KALNAY E, COLLINS W, et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(2): 247-267.
- [18] 赵天保, 符淙斌. 中国区域ERA-40、NCEP-2再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. 气候与环境研究, 2006(1): 14-32.
- [19] 赵天保, 符淙斌. 几种再分析地表气温资料在中国区域的适用性评估[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 594-606.
- [20] 赵天保, 华丽娟. 几种再分析地表气压资料在中国区域的适用性评估[J]. 应用气象学报, 2009, 20(1): 70-79.
- [21] 赵天保, 符淙斌. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性[J]. 大气科学, 2009, 33(3): 634-648.
- [22] 支星, 徐海明. 3种再分析资料的高空温度与中国探空温度资料的对比: 年平均特征[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 77-87.
- [23] 支星, 徐海明. 三种再分析资料的高空温度与中国探空温度资料的季节平均特征对比分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 97-109.
- [24] 支星, 徐海明, 米卫红, 等. 中国东北和西北地区三种再分析资料与探空资料的温度对比[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(6): 147-157.
- [25] 韦芬芬, 汤剑平, 王淑瑜. 中国区域夏季再分析资料高空变量可信度的检验[J]. 地球物理学报, 2015, 58(2): 383-397.
- [26] 袁松, 程华, 王东勇, 等. 模式再分析与实际探空资料的对比分析[J]. 气象科学, 2012, 32(1): 62-67.
- [27] 范苏丹, 盛春岩, 曲巧娜, 等. 利用春季黄渤海沿海大风观测资料评估CFSR风场再分析数据[J]. 气象科技, 2017, 45(5): 917-924.
- [28] 孟宪贵, 郭俊建, 韩永清. ERA5再分析数据适用性初步评估[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(1): 91-99.
- [29] 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(1): 67-72.
- [30] 傲雪, 翟晴飞, 崔妍, 等. 三种风场再分析资料在辽宁省海岸带的比较与评估[J]. 高原气象, 2018, 37(1): 275-285.
- [31] 朱景, 袁慧珍. ERA再分析陆面温度资料在浙江省的适用性[J]. 气象科技, 2019, 47(2): 289-298.
- [32] 朱江萍, 谢爱红, 丁明虎, 等. 中国第一代再分析产品CRA Interim气温在东南极中山站-Dome A断面的适用性分析[J]. 冰川冻土, 2020, 42(4): 1145-1157.
- [33] 李燕, 程航, 吴杞平. 渤海大风特点以及海陆风力差异研究[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 289-303.

(本文编辑: 王少朋)