

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.
Meng Xiangui, Guo Junjian, Han Yongqing. Preliminary assessment of ERA5 reanalysis data [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(1): 91-99. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.011. (in Chinese)

ERA5再分析数据适用性初步评估

孟宪贵,郭俊建,韩永清
(山东省气象台,山东 济南 250031)

摘要: 利用山东省及周边地区10个站点的地面和高空观测资料对ERA5再分析资料的适用性进行了初步评估。结果表明:再分析的海平面气压和2 m温度与实况资料的相关性明显优于2 m相对湿度和10 m风场;高空温度和相对湿度在对流层中低层的适用性要好于高层,而位势高度和风场在中高层适用性较好;海平面气压再分析与实况的相关有着最明显的季节变化,2 m温度、2 m相对湿度和10 m风速则在部分站点有较明显的季节变化,而10 m风向的相关系数更多地表现出站点之间的差异,高空要素的适用性,季节和区域差异不明显。另外,对比发现,ERA5的适用性总体上要优于ERA-Interim再分析资料,地面和对流层低层的相对湿度、风场提高更为明显。

关键词: ERA5再分析数据; 相关系数; 评估; 对比

中图分类号: P468 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)01-0091-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.011

Preliminary assessment of ERA5 reanalysis data

MENG Xiangui, GUO Junjian, HAN Yongqing
(Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031, China)

Abstract The ERA5 reanalysis data is introduced firstly, then the conventional observation data from 10 meteorological stations in Shandong province and its surrounding areas are compared with ERA5 reanalysis for the verification preliminarily. The results are as follows. Mean sea level pressure and 2 m temperature have higher correlation coefficients than 2 m relative humidity and 10 m wind between ERA5 reanalysis and observation. Temperature and relative humidity have better evaluation applicability in the middle and lower level than the upper level troposphere, meanwhile geopotential height and wind agree well with the observed data in the middle and upper level of troposphere. The correlation of mean sea level pressure has the most significant seasonal variation, while 2 m temperature, 2 m relative humidity and 10 m wind speed have more significant seasonal variation at partial stations. The correlation of 10 m wind direction has obvious regional differences. The evaluation applicability of upper level elements from ERA5 doesn't have significant seasonal variation and regional differences. ERA5 reanalysis has better evaluation applicability than ERA-Interim reanalysis based on comparisons, especially relative humidity and wind have more improvement in surface and low level of troposphere.

Key words ERA5 reanalysis data; correlation coefficient; assessment; comparison

收稿日期:2017-11-28; 修订日期:2018-01-06

基金项目:山东省气象科学研究所数值天气预报应用技术开放研究基金项目(SDQXKF2014M07)

作者简介:孟宪贵,男,硕士,工程师,主要从事短期天气预报和数值预报研究, mxg129@163.com。

引言

大气再分析资料同化了大量卫星资料及地面和高空等常规观测资料,具有时间序列长、分辨率高等优点,不仅可用于天气与气候的诊断分析,还可用作天气和气候模式的驱动场。20世纪90年代以后,美国、欧洲、日本等相继推出了再分析产品,美国再分析产品包括最早发布的 NCEP/NCAR^[1],随后的 NCEP/DOE^[2],以及近年来发展的 CFSR 和 CFSv2^[3];此外美国国家航空航天局(NASA)近年来也发布了 MERRA 及 MERRA2^[4]再分析资料;日本气象厅(JMA)和日本电子能源工业中央研究所(CRIEPI)联合完成了 JRA25^[5]及其新一代产品 JRA55^[6];欧洲中期天气预报中心(ECMWF)是较早开展数据再分析研究的机构,其再分析资料已历经 FGGE、ERA-15、ERA-40^[7]、ERA-Interim^[8-9] 四代。2016年11月 ECMWF 推出了其第五代再分析产品(ERA5)的两个月预览版数据,并于2017年7月发布了 ERA5 2010—2016年7a的数据。由于各家机构的再分析资料所采用的数值模式、同化方案及同化数据均有不同,对大气真实状况的再现能力也有所不同,因而在利用再分析资料之前有必要对其描述大气真实状态的能力进行客观评价,亦即对适用性进行充分的评估分析。

目前针对再分析资料不同要素的适用性国内已有不少研究。支星和徐海明^[10-11]利用中国105站的探空资料对 NCEP/NCAR、ERA 和 JRA 三种再分析资料温度要素的可信度进行了分析,结果表明 NCEP/NCAR 资料在对流层上层更接近于探空资料,ERA 资料和 JRA 资料在对流层中下层与探空资料更为接近。韦芬芬等^[12]发现 NCEP/NCAR、NCEP/DOE 及 CFSR 对高空变量的再现能力较 JRA25、ERA-Interim 和 MERRA 弱。袁松等^[13]对比分析了2007年11月—2008年11月的 NCEP/NCAR 再分析资料与安徽阜阳、安庆两站的高空资料,结果表明探空资料与再分析资料的绝对差值随地点、高度和季节变化较小,从而验证了利用再分析高空资料来分析无实际探空资料地区上空气象参量变化特征的可行性。王秀明等^[14]利用 NCEP 再分析资料统计了强对流天气的环境物理量特征,并与探空资料的计算结果进行了对比,认为 NCEP 再分析资料提取的温度场、中高空流场、K 指数、垂直风切变等参量与探空资料较一致,可用于分析强对流天气的环流背景和大气层结条件。朱彦良

等^[15]利用在安徽寿县获得的为期7个月逐6h RS92 探空资料对比分析了 NCEP/NCAR 和 ERA-Interim 两种再分析资料,发现 ERA-Interim 再分析资料与探空资料的相关性优于 NCEP/NCAR 再分析资料,并且温度和风速的相关性好于相对湿度场。余君等^[16]交叉对比分析了取自 L 波段探空、COSMIC 掩星和 ERA-Interim 的温度、湿度数据,结果表明,在对流层顶以下,三者表现为明显的正相关,而在对流层顶以上表现为负相关。

再分析资料在山东地区的适用性研究主要集中在地面风场,滕华超等^[17]和陈艳春等^[18]分别利用地面风速对比了 ERA-Interim 再分析风速资料和 NCEP/NCAR、NCEP/DOE、CFSR、ERA-Interim、JRA55 共5套再分析风速资料,结果表明 ERA-Interim 和 JRA55 两套资料的适用性较好。范苏丹等^[19]则利用黄渤海沿海风场观测资料对比了 CFSR 再分析10m风场,CFSR 再分析资料不仅能够反映出随着蒙古气旋东移南下造成的陆地及黄渤海海上大风的变化特征,而且对不同天气系统下发生7级以上大风站点的风速及风向的评估大都基本正确。

综合以上研究可以发现 ERA-Interim 再分析资料在气候以及天气领域均有较好的适用性,但目前在其基础上后继开发的 ERA5 再分析资料对真实大气状况的模拟能力尚无人开展研究。本文利用山东及周边地区10个站点的地面和高空资料对 ERA5 再分析资料的适用性进行初步评估。

1 ERA5 再分析资料简介

ERA5 再分析资料是由欧盟资助、ECMWF 运营的哥白尼气候变化服务(Copernicus Climate Change Service, C3S)打造的最新一代再分析资料,目前 ECMWF 发布了2010—2016年的数据,预计在2019年第一季度可以全部完成,实现从1950年开始到现在的历史时期覆盖,并实现滞后约3个月的实时更新。

ERA5 在其前身 ERA-Interim 的基础上实现了很大升级。首先是时空分辨率的大幅提升,用户将首次在水平分辨率为31km、从地表开始降至0.01hPa(距地面约80km)共137模式层的情况下获取大气变量的每小时估计数据,而 ERA-Interim 的时空分辨率分别是80km和6h,垂直方向上是从地面开始到0.1hPa的60层。其次,ERA5 首次利用由10个成员组成,时间分辨率为3h,空间分辨率为62km的集合再分析产品来评估大气的不确定

性。这个新功能以 ECMWF 开发的数据同化集合 (EDA) 系统为基础,可以解释观测和预报模型中的误差,给用户在分析不同时间、地点的大气参数时带来更多的信心。再次,ERA5 将更多的历史观测数据尤其是卫星数据利用到先进的数据同化和模式系统中,用以估计更为准确的大气状况,最终这些同化数据以及它们如何被使用的信息也将全部公开供用户访问。此外,ERA5 提供的变量将由 ERA-Interim 的 100 种增加到 240 种,这其中包括由耦合的海浪模式所提供的波高、波向等变量,方便用户更准确地分析过去的大气甚至海洋状态。

所有 ERA5 数据产品均开放获取,并可免费下载,存储在 ECMWF 的气象资料归档和检索系统 (Meteorological Archival and Retrieval System, MARS) 中,并且通过 ECMWF Web API 供用户下载使用。目前 ERA5 资料只能利用 Python 脚本从 MARS 下载,所以下载 ERA5 数据的前提是安装 Python 软件以及 ECMWF WebAPI 客户端和 API 密钥。下载数据的软件环境完成之后,可以登录 ECMWF 的 ERA5 数据网址 <http://apps.ecmwf.int/data-catalogues/era5/?class=ea>,依次点选所需数据的数据流、类型、年份、月份、层次、日期、时间、变量后,获得 Python 脚本文件,用 Python 执行便可开始下载所选数据。在对数据结构熟悉之后也可直接修改脚本文件,获得所需的数据。

2 资料与方法

ERA5 再分析资料提供的要素数目非常多,但在天气诊断分析中仍以一些常规气象要素最为常用,这其中包括 2 m 温度、2 m 相对湿度、海平面气压、10 m 风等地面要素以及温度、相对湿度、位势高度、风场等高空要素,本文利用观测资料对以上要素的适用性进行初步分析。使用上节所介绍方法下载了 2016 年全年逐 1 h 的 ERA5 地面再分析资料,具体气象要素为 2 m 温度、海平面气压、2 m 露点温度、10 m 经向风速和 10 m 纬向风速,为与观测要素一致分别计算了 2 m 相对湿度和 10 m 风速、风向;此外还下载了 00 时 (UTC, 下同) 和 12 时的高空再分析资料,具体要素为高空标准层 (1 000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100 hPa) 的位势高度、温度、相对湿度、风速、风向 (风向风速由纬向风速和经向风速计算而得)。为了比较 ERA5 的可信度较 ERA-Interim 是否有所提高,下载了与 ERA5 相同时段相同要素的 ERA Interim 再分析资

料。两者的空间分辨率分别是 0.3° 和 0.75°。

用于评估再分析资料的是 2016 年全年每天 2 次 (00 时, 12 时) 的高空观测资料,具体包括山东省内章丘、青岛、荣成 3 站以及周边 7 站共 10 站 (图 1) 的高空标准层的温度、位势高度、相对湿度、风速、风向等资料,以及相同站点的逐小时的地面 2 m 温度、2 m 相对湿度、海平面气压和 10 m 风场数据。由于地面气象要素具有很强的日变化,因此对地面要素的观测和再分析数据均进行了日平均再做相关分析,以去除日变化信息。再分析数据利用双线性插值方法插值到站点,观测资料有部分日期缺失并包含一些奇异极值,整理后 10 个站点的具体样本数量见图 2,其中地面一年的逐时观测样本数量应为 8 784 次,高空每天 2 次 11 个层次的观测样本数量应为 8 052 次,10 个站点的地面观测样本数量均在 8 500 以上,除邢台外,高空观测样本数量均在 7 500 以上,缺测率均较小。

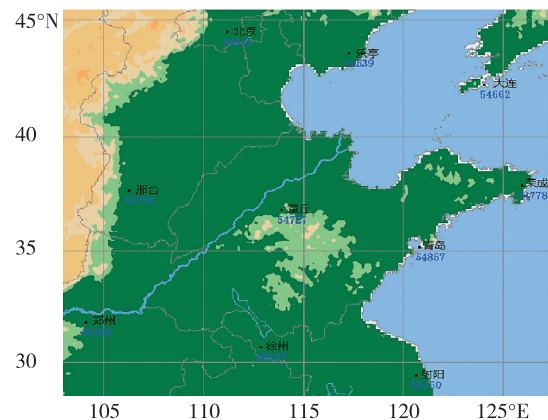


图 1 10 个观测站的分布
Fig.1 Location of ten observation stations

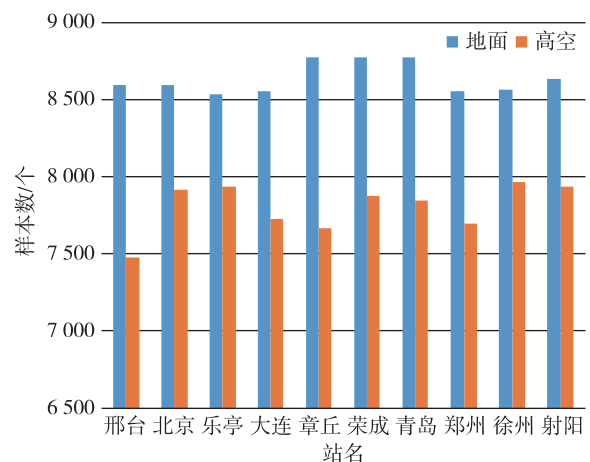


图 2 10 个观测站的样本个数
Fig.2 The number of observation samples of ten stations

利用线性相关系数来对比分析再分析数据对观测数据的模拟程度,利用相对偏差、平均绝对偏差、均方根误差等比对再分析数据对观测数据的偏离程度。某一变量观测与再分析的相关系数计算公式为:

$$R = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a}) \cdot (o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \cdot (o_i - \bar{o})^2}} \right] \quad (1)$$

相对偏差为:

$$B_{ias} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - o_i)/n}{\sum_{i=1}^n o_i/n} \right] \times 100 \quad (2)$$

平均绝对偏差为:

$$M_{ae} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n |a_i - o_i|}{n} \right] \quad (3)$$

均方根误差为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(a_i - \bar{a}) \cdot (o_i - \bar{o})]^2}{n}} \quad (4)$$

其中, n 为有效样本数, a 和 o 分别代表再分析资料和观测资料。

泰勒图能够简明地总结统计再分析资料与观测值之间的相匹配程度^[20]。基于余弦定理,泰勒图将相关系数、均方根误差和标准差比率三种统计数据显示在一张图中。观测值被定为沿横坐标距离

原点一个单位的点,距离原点的环形长度为再分析资料和观测值的方差比率,代表再分析与观测值离散度的相似性;方位角的余弦代表相关系数,再分析距离观测点的长度为再分析与观测之间的均方根误差,距离观测点的长度越短,表明再分析资料越接近观测值。

3 地面资料适用性

图3为地面要素的泰勒图,图中红蓝标志分别代表ERA5和ERA-Interim两种再分析资料。通过图中红色标志分布可以直观地发现ERA5再分析地面要素与观测资料的匹配程度:海平面气压10个站点分布极为紧凑,再分析与观测之间的相关系数基本都在0.999以上,再分析各点基本分布在方差比率为1的线上,离观测值很近,表明不仅相关性好,再分析与观测之间的偏差也非常小;各个站点的2 m气温相关系数在0.99左右,但分布较海平面气压分散一些,站点之间的差异开始增大;2 m相对湿度站点间的差异进一步增大,相关系数维持在0.9左右;10 m风速的相关系数在0.7~0.9之间,各点之间的方差比率差别较大,部分站点甚至在1.25以上,导致与观测之间的均方根误差也区别很大,与此不同的是,10 m风向方差比率分布基本在1.25附近,但相关系数离散分布在0.3~0.9之间,也造成了不同站点间均方根误差区别很大。综合来看,

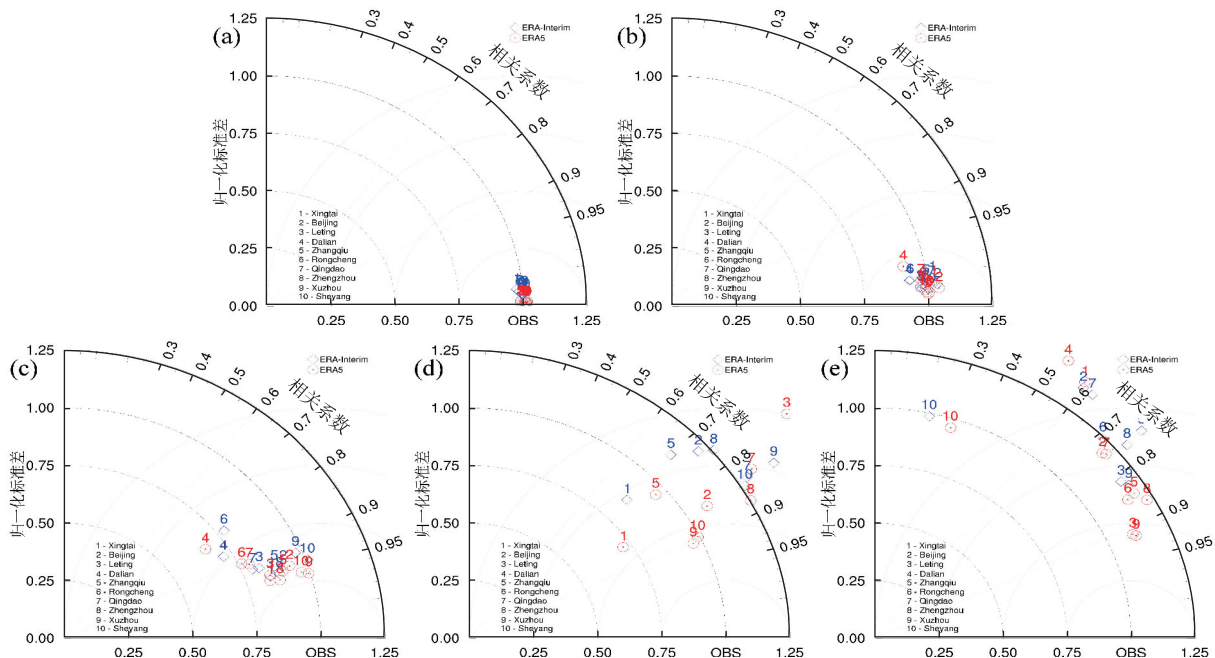


图3 不同地面要素泰勒图(a. 海平面气压, b. 2 m 温度, c. 2 m 相对湿度, d. 10 m 风速, e. 10 m 风向)

Fig.3 Taylor diagrams of different surface parameters (a. mean sea level pressure, b. 2 m temperature, c. 2 m relative humidity, d. 10 m wind speed, e. 10 m wind direction)

海平面气压再分析与观测场的相关性最好, 2 m 气温次之, 再分析资料对相对湿度和 10 m 风的再现能力稍差, 四种要素随着相关系数的减小, 站点之间的差异也逐渐明显。另外比较图中红蓝点的分布可以发现, 同一变量中, 相同站号的红色点大部分要比蓝色点更接近于观测点, 表明 ERA5 再分析与观测的相关要好于 ERA-Interim 再分析, 其适用性较 ERA-Interim 有一定提升, 这在 2 m 相对湿度场和 10 m 风场表现得更为明显。

比较不同站点各要素的相对偏差和平均绝对偏差(表 1)可以发现, 海平面气压的相对偏差基本为 $-0.07\% \sim 0.03\%$ 之间的负偏差, 而大部分站点绝

对偏差在 0.4 hPa 左右, 郑州和射阳稍大在 0.7 hPa 以上, 这也与其极高的相关系数分布是一致的; 2 m 温度的相对偏差在 $-7\% \sim 3\%$ 之间, 平均绝对偏差在 1°C 左右; 2 m 相对湿度偏差除徐州和射阳为 5% 的负偏差外, 其余站均为正偏差, 偏差分布范围较大, 绝对偏差在 $4\% \sim 13\%$ 之间; 10 m 风速偏差除邢台为负外, 其余均为正偏差, 大连和荣成的平均绝对偏差较大, 在 1.5 m/s 以上, 其余站点的平均绝对偏差在 1 m/s 左右, 而 10 m 风向的平均绝对偏差在 $20^\circ \sim 60^\circ$ 之间, 相对偏差分布离散程度较大, 与其相关系数的分布也是一致的。

表 1 不同地面要素相对偏差 (B_{ias}) 和平均绝对偏差 (M_{ae})

Table 1 Percent biases and mean absolute errors of different surface parameters

站点	海平面气压		2 m 温度		2 m 相对湿度		10 m 风速		10 m 风向	
	$B_{ias}/\%$	M_{ae}/hPa	$B_{ias}/\%$	$M_{ae}/^\circ\text{C}$	$B_{ias}/\%$	$M_{ae}/\%$	$B_{ias}/\%$	$M_{ae}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$B_{ias}/\%$	$M_{ae}/(^{\circ})$
邢台	-0.04	0.40	-2.85	0.88	2.14	5.57	-35.82	1.21	-7.37	30.47
北京	-0.04	0.40	-2.49	0.84	7.05	6.28	5.15	0.35	6.67	33.79
乐亭	-0.04	0.40	-2.86	0.84	1.21	5.24	52.44	1.25	3.58	20.27
大连	-0.03	0.34	-0.37	1.68	19.73	12.62	86.00	2.47	-3.26	40.04
章丘	-0.03	0.31	-7.57	1.22	11.44	7.25	11.14	0.59	-5.03	22.31
荣成	-0.03	0.36	0.87	0.77	0.48	4.96	57.57	1.64	-1.29	27.43
青岛	-0.02	0.28	0.65	0.85	7.93	6.32	41.28	1.36	-10.74	34.28
郑州	-0.07	0.74	-2.75	0.60	1.57	4.45	31.90	0.66	0.77	25.99
徐州	-0.03	0.34	3.13	0.55	-4.97	4.35	14.72	0.53	-2.94	19.75
射阳	-0.07	0.73	1.53	0.50	-5.00	4.48	17.96	0.49	-10.84	61.16

分析各个站点不同要素 ERA5 再分析与观测的逐月相关系数分布(图 4)发现, 大连、青岛两站的 2 m 温度相关系数在春夏季节较其他时间和地区相对要小; 大连、章丘、荣成、青岛 4 站的 2 m 相对湿度在 1 月和 7 月相关性较差, 表现出明显的季节变化; 几乎所有站点的海平面气压相关系数在秋冬季节要高于春夏季节, 这在邢台、章丘和郑州 3 个站点表现更为明显; 北京、荣成、青岛、郑州、徐州和射阳 6 站的 10 m 风速相关系数在冬半年要高于夏半年, 其他站点的季节变化不明显, 章丘站在 1 月和 8 月的相关比其他月份和其他站点相差较大; 10 m 风向的相关系数站点间的差异要大于其季节变化, 这其中邢台、射阳以及部分月份的大连和青岛与其他站点相差较大, 尤其是射阳站的相关系数非常小。总体来看, 海平面气压再分析与实况的相关有着最明显

的季节变化, 2 m 温度、2 m 相对湿度和 10 m 风速则在部分站点有较明显的季节变化, 而 10 m 风向的相关系数更多地表现出站点之间的差异。

4 高空资料适用性

对比 5 种高空要素在不同高度的相关系数(图 5)发现, 高空温度的相关系数在 300 hPa 以下维持在 0.996 左右, 300 hPa 以上逐渐减小, 各站点间的差异也逐渐明显, 但 100 hPa 相关性又要稍好于 150 hPa。相对湿度的相关性基本是随高度降低的, 从对流层低层的 0.9 左右逐渐下降到对流层高层的 0.3 以下。说明以上两种要素在对流层中低层的适用性要好于对流层上部。位势高度相关系数在高低空均在 0.99 以上, 1 000 hPa 以上先是逐渐转小, 在 700 hPa 或 850 hPa 高度上出现最小值之后又逐

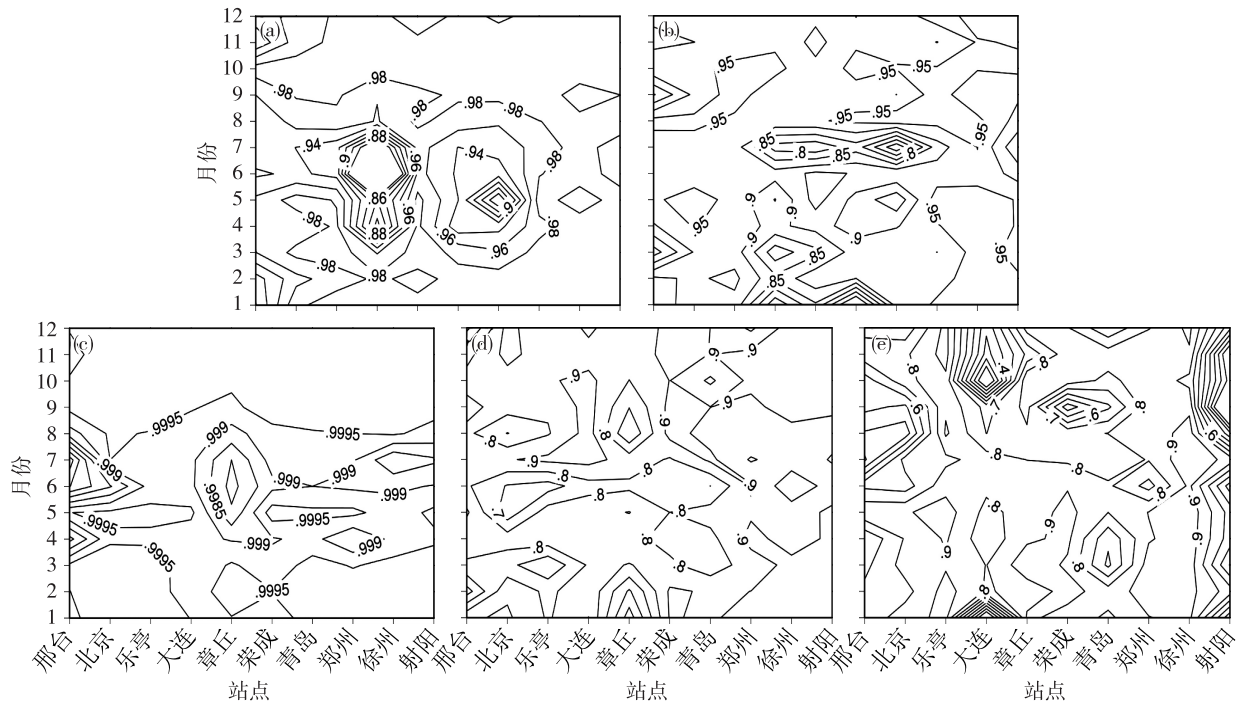


图4 10个站点不同地面要素ERA5再分析与观测相关系数的逐月分布(a.2 m 温度,b.2 m 相对湿度,c.海平面气压,d.10 m 风速,e.10 m 风向)

Fig.4 Correlation coefficients of different surface parameters between ERA5 reanalysis and observations of 10 stations in different months (a.2 m temperature, b.2 m relative humidity, c. mean sea level pressure, d.10 m wind speed, e. 10 m wind direction)

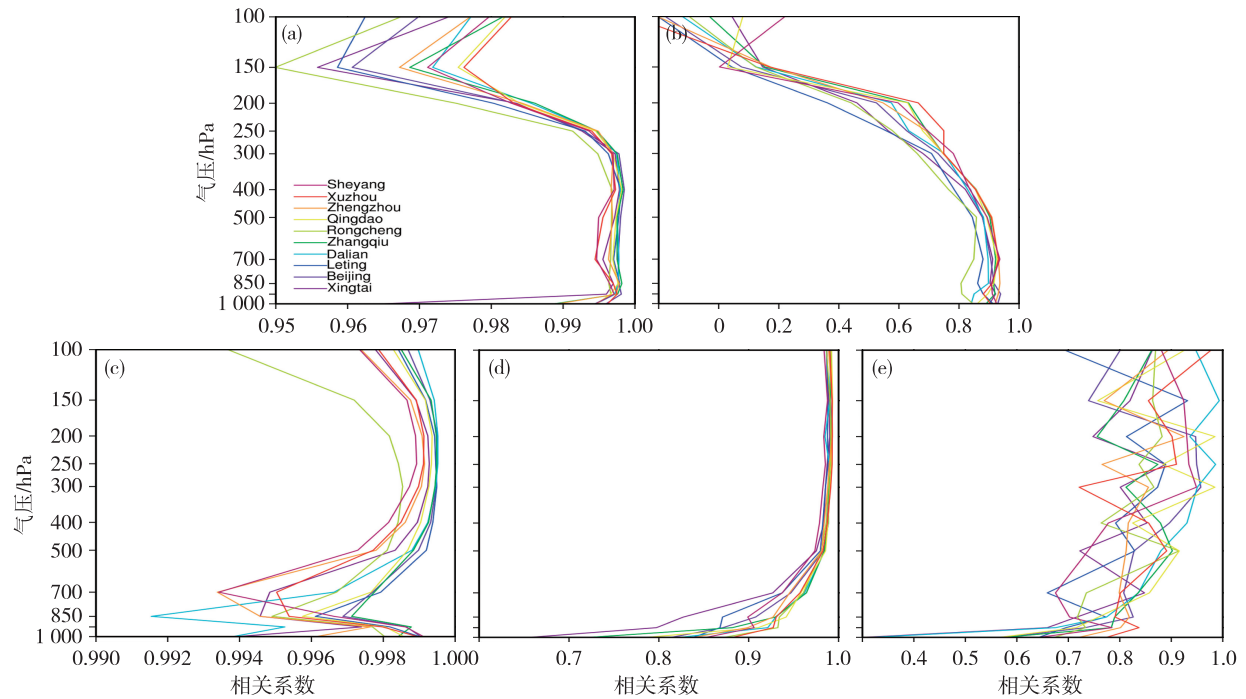


图5 高空要素相关系数廓线图(a.温度,b.相对湿度,c.位势高度,d.风速,e.风向)

Fig.5 Profiles of different upper air elements correlation coefficients (a. temperature, b. relative humidity, c. geopotential height, d. wind speed, e. wind direction)

渐增大,基本稳定在 0.998 以上。风速的相关系数随高度是逐渐增大的,对流层低层基本在 0.9 以下,但在其上逐渐接近 1。风向的相关性整体也是随高度升高逐渐增大的,但不同站点不同高度之间变化较大,相关系数基本在 0.7 以上,所以整体上看位势高度和风场的适用性对流层中上层要好于下层,这与温度和相对湿度的分布正好相反。而分析各高空要素相关系数的逐月分布(图略)可以发现,相比于地面要素较明显的季节和区域差异,高空要素的季节和区域差异较小。

通过比较各高空要素的平均绝对偏差廓线(图 6)可以发现,温度场的平均绝对偏差 300 hPa 以下在 0.4~0.6 °C 之间,其上随高度逐渐增大;相对湿度平均绝对偏差 300 hPa 以下随高度是增大的,由底层 10% 以下增大到 25% 左右,300 hPa 以上又随高度而减小;位势高度场的平均绝对偏差随气压的对数基本是呈线性分布的;风速偏差由低层的 1.4 m/s 左右到 300 hPa 增大到 1.8 m/s 左右,往上又逐渐减小,而风向的绝对偏差是随高度减小的,500 hPa 以上基本稳定在 10° 以下。

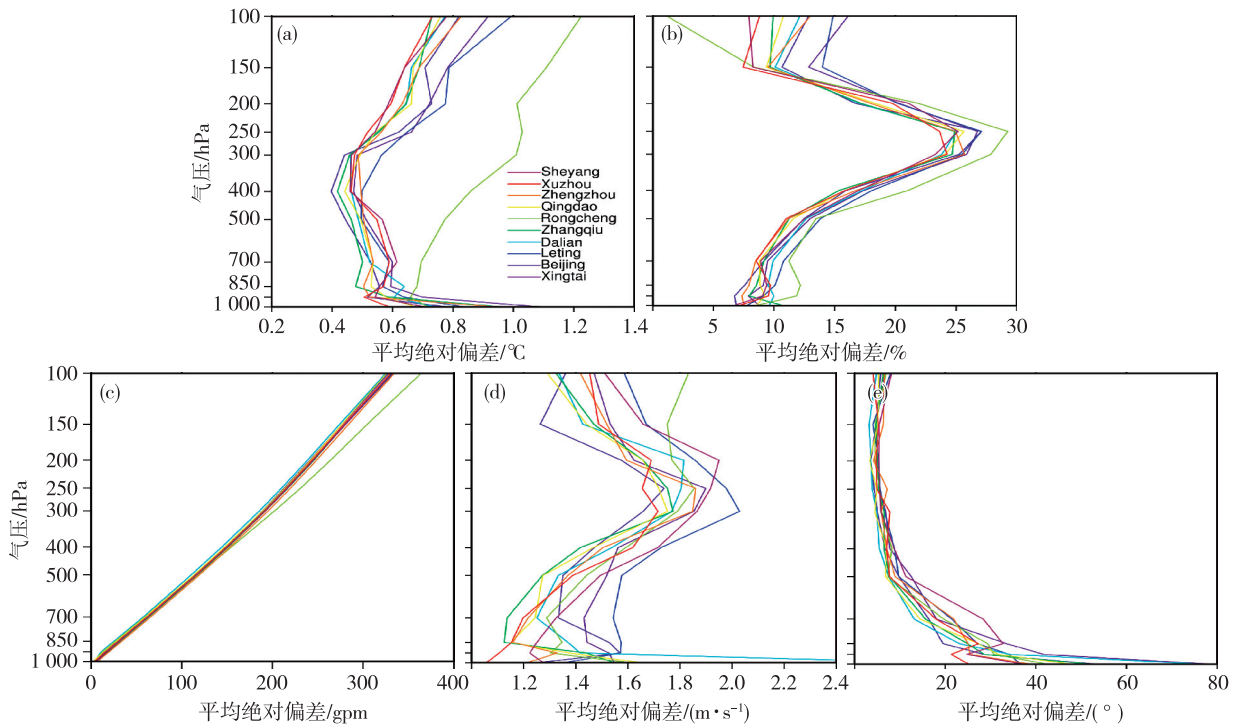


图 6 高空要素平均绝对偏差廓线图(a.温度,b.相对湿度,c.位势高度,d.风速,e.风向)

Fig.6 Profiles of different upper air parameters' mean absolute error (a. temperature, b. relative humidity, c. geopotential height, d. wind speed, e. wind direction)

分析各个要素的相对偏差(图 7)可以发现,温度场的相对偏差在 700 hPa 较大,可能是由于 700 hPa 高度上部分站点的平均温度较小所导致的。相对湿度的相对偏差先是随高度正偏差逐渐增大,250 hPa 以上又逐渐减小,200 hPa 以上转为负偏差,其廓线分布与平均绝对偏差是一致的。位势高度和风速风向的相对偏差在边界层中发散度较大,边界层以上分别稳定在-2.0、0、0 左右,这和它们的相关系数随高度逐渐增大是一致的,位势高度可能存在一定的系统误差。

观测资料的相关系数、方差比率等所做的泰勒图显示,各等压面上 ERA5 和 ERA-Interim 再分析位势高度、温度与观测的相关均较好(图略),ERA5 提高不明显,但对流层低层(图 8 所示 850 hPa、925 hPa 和 1 000 hPa)的相对湿度和风场大部分站点 ERA5 再分析与实况的相关性要好于 ERA-Interim 与实况的相关。这与地面要素的结论相似,可见,ERA5 的适用性总体要好于 ERA-Interim,温度和位势高度(海平面气压)提升不明显,地面和对流层低层的相对湿度和风场有较大提高。

利用 ERA5 和 ERA-Interim 再分析数据与高空

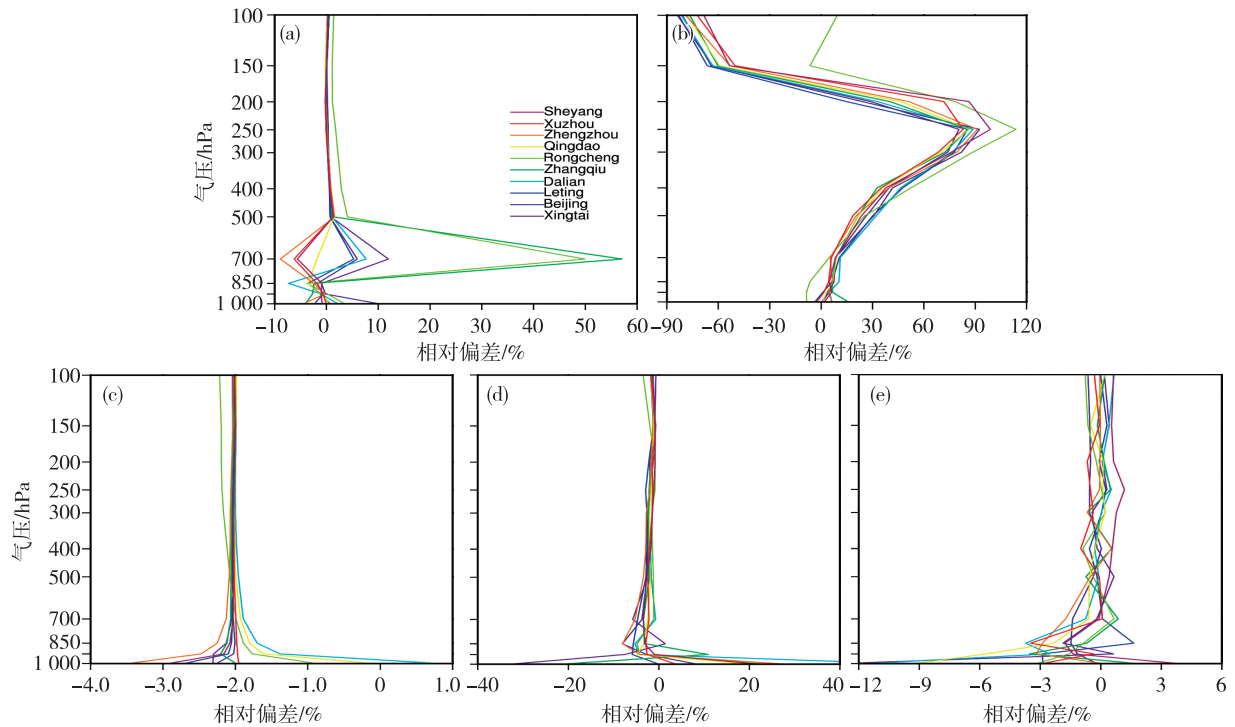


图7 高空要素相对偏差廓线图(a.温度,b.相对湿度,c.位势高度,d.风速,e.风向)

Fig.7 Profiles of different upper air elements percent bias (a. temperature, b. relative humidity, c. geopotential height, d. wind speed, e. wind direction)

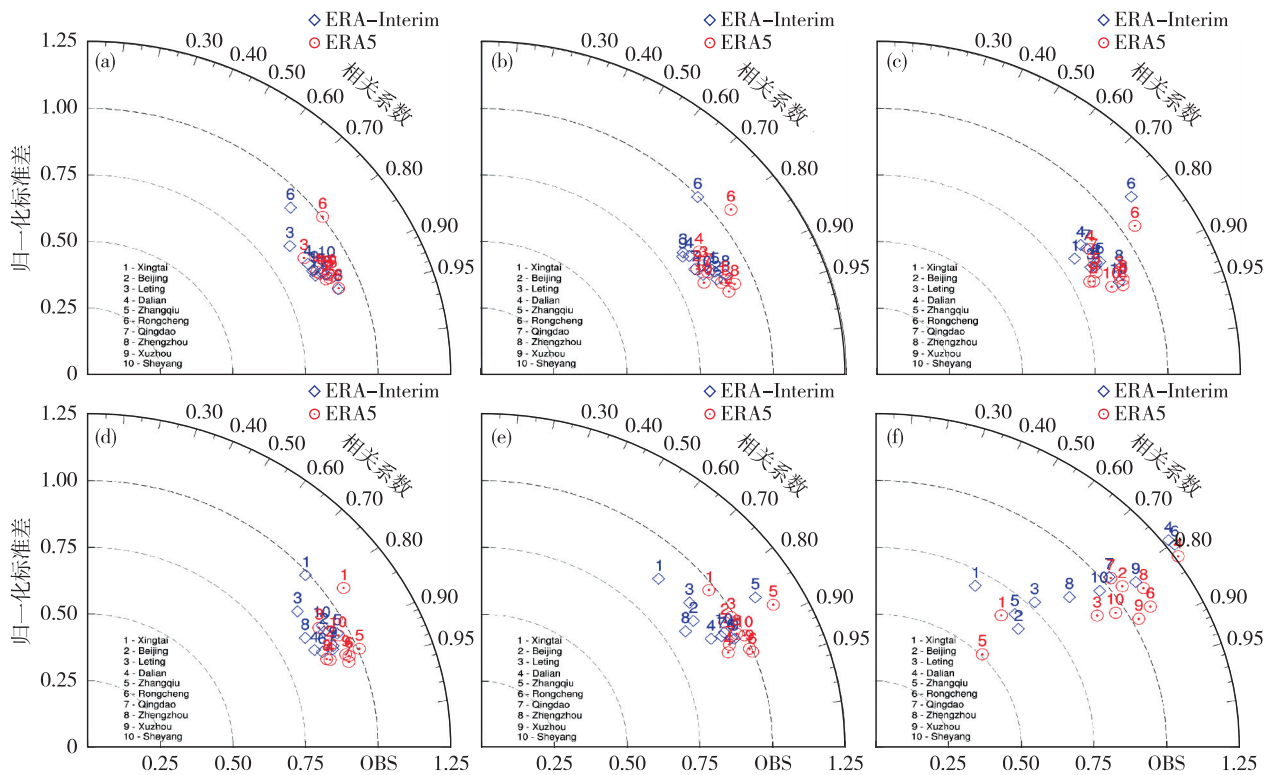


图8 对流层低层相对湿度(a.850 hPa,b.925 hPa,c.1 000 hPa)和风速(d.850 hPa,e.925 hPa,f.1 000 hPa)泰勒图

Fig.8 Taylor diagrams of lower troposphere relative humidity (a.850 hPa, b.925 hPa, c.1 000 hPa) and wind speed (d.850 hPa, e.925 hPa, f.1 000 hPa)

5 结论

本文利用山东及周边地区 10 个观测站的地面、高空观测数据和 2016 年 ERA5、ERA-Interim 两种再分析资料,采用相关系数、相对偏差和平均绝对偏差等统计方法,对 ERA5 再分析数据的适用性进行了初步分析,并与 ERA-Interim 再分析数据进行了对比,结果表明:

1) ERA5 再分析地面要素中,海平面气压和温度与实况资料的相关性明显优于相对湿度和风场。

2) ERA5 再分析高空要素中,温度和相对湿度在中低层的适用性要好于高层,而位势高度和风场的适用性在中高层较好。

3) 海平面气压再分析与实况的相关有着最明显的季节变化,2 m 温度、2 m 相对湿度和 10 m 风速则在部分站点有较明显的季节变化,而 10 m 风向的相关系数更多的表现出站点之间的差异;高空要素的适用性没有明显的季节变化和区域差异。

4) 整体来看,ERA5 的适用性优于 ERA-Interim 再分析资料,地面和对流层低层的相对湿度、风场两种要素提高更为明显,并且 ERA5 更高的时空分辨率有助于更精细的描述大气状态。

需要注意的是,以上结论是基于一年的再分析和观测资料所得出,更长时间尺度上的年际变化以及 ERA5 与其他再分析资料的横向对比分析仍需进一步研究。

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): 437-472.
- [2] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2) [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2002, 83(11): 1631-1643.
- [3] Saha 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] Rienecker M M, Suarez M J, Gelaro R, et al. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications [J]. J Climate, 2011, 24(14): 3624-3648.
- [5] Onogi K, Tsutsui J, Koide H, et al. The JRA-25 reanalysis [J]. J Meteor Soc Japan, 2007, 85(3): 369-432.
- [6] Kobayashi S, Ota Y, Harada Y, et al. The JRA-55 reanalysis; General specifications and basic characteristics [J]. J Meteor Soc Japan Ser i, 2015, 93(1): 5-48.
- [7] Uppala S M, Källberg P W, Simmons A J, et al. The ERA-40 re-analysis [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 2005, 131(612): 2961-3012.
- [8] Uppala S M, Dee D, Kobayashi S, et al. Towards a climate data assimilation system; Status update of ERA-Interim [J]. ECMWF Newslett, 2008(115): 12-18.
- [9] 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.
- [10] 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对比: 年平均特征 [J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 77-87.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 王秀明, 俞小鼎, 朱禾. NCEP 再分析资料在强对流环境分析中的应用 [J]. 应用气象学报, 2012, 23(2): 139-146.
- [15] 朱彦良, 凌超, 陈洪滨, 等. 两种再分析资料与 RS92 探空资料的比较分析 [J]. 气候与环境研究, 2012, 17(3): 381-391.
- [16] 余君, 李庆祥, 廖捷, 等. 中国区域高空三种气温、湿度资料交叉对比 [J]. 气象, 2016, 42(6): 743-755.
- [17] 滕华超, 陈艳春, 汤子东. ERA-Interim 风速再分析数据在山东省的适用性评估 [J]. 山东气象, 2016, 36(1): 27-31.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Taylor K E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram [J]. J Geophys Res: Atmospheres, 2001, 106(D7): 7183-7192.