

贾蓓西,徐海明,安月改. 2014. 中国区域再分析湿度资料与均一化探空湿度资料的对比分析. 气象, 40(9):1123-1131.

# 中国区域再分析湿度资料与均一化探空湿度资料的对比分析<sup>\*1</sup>

贾蓓西<sup>1</sup> 徐海明<sup>2</sup> 安月改<sup>3</sup>

1 清华大学地球科学中心,北京 100084  
2 南京信息工程大学 大气科学学院,南京 210044  
3 河北省气候中心,石家庄 050021

**提 要:** 利用 1980—2010 年中国 98 个探空站均一化月平均温度和温度露点差资料(OBS)和 NCEP/NCAR(NCEP)、ERA-Interim(ERA)、JRA-25(JRA)3 种再分析月平均比湿资料,使用相似分析、趋势分析等方法对中国区域 4 种资料高空比湿进行了对比分析。结果表明:(1)从空间分布特征分析,JRA 比湿与 OBS 比湿的空间分布相似系数最大。(2)3 种再分析资料比湿普遍大于 OBS 比湿,除个别站点个别层次外,JRA 和 OBS 比湿更加接近;再分析比湿和 OBS 比湿的相对偏差随高度增加而增大,且冬春季大于夏季。(3)从长期变化趋势分析,在对流层低层,JRA 和 OBS 比湿较接近,在对流层中高层 ERA 和 OBS 比湿较接近。

**关键词:** 探空资料,再分析资料,比湿,对比分析

**中图分类号:** P468      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.09.010

## Comparisons of Atmospheric Specific Humidity in Reanalysis Datasets and Homogenized Radiosonde Dataset in China

JIA Beixi<sup>1</sup> XU Haiming<sup>2</sup> AN Yuegai<sup>3</sup>

1 Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084  
2 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044  
3 Hebei Climate Centre, Shijiazhuang 050021

**Abstract:** Based on monthly mean homogenized radiosonde temperature and dewpoint depression dataset from 98 stations in China during the period 1980—2010, NCEP/NCAR reanalysis dataset, ERA-Interim reanalysis dataset and JRA-25 reanalysis dataset, a comparative analysis of specific humidity from these four datasets over China is performed by means of analogical analysis and tendency analysis. The results suggest that: (1) In terms of spatial distributions, the spatial correlation coefficients between JRA and OBS datasets are the highest. (2) The values of three reanalysis datasets are generally higher than that of radiosonde dataset, JRA dataset is much closer to observed dataset except for several stations and levels. Relative tolerance between reanalysis and radiosonde datasets increases with height and it is higher in winter and spring than in summer. (3) When it comes to the long term trend, JRA is closer to OBS in lower troposphere, and in middle and upper troposphere, ERA is much closer to OBS.

**Key words:** radiosonde dataset, reanalysis dataset, specific humidity, comparative analysis

<sup>\*</sup> 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206013)资助  
2013 年 8 月 17 日收稿; 2013 年 12 月 28 日收修定稿  
第一作者:贾蓓西,主要从事气候变化研究. Email:rainyday1218@sina.com

## 引言

随着资料同化技术水平的提高,大气再分析资料已经成为气象科学研究、气象业务开展和数值模拟的主要资料。目前广泛应用的有 NCEP/NCAR 和 NCEP/DOE, ERA-40 以及 JRA-25 再分析资料。除了受观测系统变更所引入的误差影响外,再分析资料的质量还受到数值预报模式和同化方案等所含系统性误差的影响,特别是受模式系统误差的影响比较大。在研究气候的长期变化趋势时,再分析资料的不确定性较大(赵天保等, 2009; 高庆九等, 2010), 所以在使用再分析资料做气候变化、气候诊断等研究前, 有必要对不同再分析产品之间的差异和质量进行分析。

目前已有很多国内外学者对再分析资料进行了研究。赵天保等(2004; 2006)就中国区域月平均降水在空间的分布及变化趋势对三套再分析资料的可信度进行了检验, 认为 NCEP-1 再分析降水资料数值普遍比观测值偏高, NCEP-2 比 NCEP-1 有所改进, ERA-40 在中国大部分地区比观测值略偏少, 但在量级上更接近观测值, 可信度最高。由于东亚地区处于季风区, 且该地区地理位置独特, 天气气候受到热带海洋和青藏高原大地形的影响, 所以长期以来东亚地区夏季降水一直是各类数值模式模拟的一个难题(戴泽军等, 2011), 李健等(2010)专门针对我国夏季降水对 NCEP-2、ERA-40 和 JRA-25 再分析资料进行了评估, 发现三套资料都对弱降水有过高估计, 强降水有过低估计, 且对暴雨的预报能力都非常弱。Ma 等(2008)利用均一化观测资料对 NCEP-1、NCEP-2 和 ERA-40 再分析地面温度资料进行了对比分析, 发现三套再分析资料在中国大部分地区都较观测值偏低, 对地面温度的模拟 NCEP-2 比 NCEP-1 有一定的改进, ERA-40 较 NCEP-2 更接近观测值。支星等(2013)利用中国区域探空温度资料评估了高空不同层次再分析温度资料, 认为 3 种再分析资料的高空温度均低于探空资料的高空温度; NCEP 资料在对流层上层、ERA 和 JRA 在对流层中下层与探空资料更为接近; 在描述年际变化和长期变化趋势方面, ERA 资料在我国北方的对流层上层再现能力较好, NCEP 在南方的对流层上层再现能力较好。对于再分析位势高度资料, 赵天保等(2009)认为高度场的绝对偏差主要出现在对流层上

层, ERA-40 在 20 世纪 70 年代中期以前适用性较好, NCEP-1 在 70 年代中期以后的可信度则相对较高。有研究认为, 再分析地表通量产品的质量几乎完全是由模式决定的, 可信度较低(Kistler et al, 2001)。周连童(2009)比较了 NCEP-1 和 ERA-40 再分析感热资料和由观测资料中空气密度、风速、温度等物理量计算得到的感热资料的差异, 发现 ERA-40 的感热资料在年代际时间尺度上更接近于观测资料。游庆龙等(2009)利用念青唐古拉峰扎当冰川垭口和纳木错站的短期观测资料与同期 NCEP/NCAR 再分析资料进行了对比分析。

上述研究主要针对温度、位势高度、风速、降水、地表感热等气象要素, 对湿度的研究还未发现。本文利用相关分析、趋势分析等统计方法对中国区域均一化探空湿度资料、NCEP/NCAR、ERA-Interim 以及 JRA-25 再分析湿度资料进行对比分析, 以期气象业务科研工作提供参考。

## 1 资料和方法

所用探空资料是国家气象信息中心提供的 1980—2010 年 850、700、500、400 和 300 hPa 等压面上中国区域探空站的月平均温度资料以及温度露点差资料, 该资料序列利用 20 世纪再分析资料作为参考序列, 对非均一性进行了初步订正。利用温度和温度露点差计算得到了各层逐月比湿(简称探空比湿或 OBS)(盛裴轩等, 2003), 公式如下:

$$e = e_{s0} \cdot 10^{\frac{at}{b+t}}$$
$$q = \frac{\epsilon \cdot e}{p - 0.378e}$$

式中,  $e$  为实际水汽压,  $e_{s0}$  为  $0^\circ\text{C}$  时的饱和水汽压,  $a$  和  $b$  为常数,  $t$  为摄氏温标下的露点温度,  $\epsilon = 0.622$ ,  $q$  为比湿。

所用 3 种再分析资料分别为 1980—2010 年 NCEP 月平均比湿资料, 水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ; ERA 月平均比湿资料, 水平分辨率为  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ ; JRA 月平均比湿资料, 水平分辨率为  $1.25^\circ \times 1.25^\circ$ ; 3 种再分析比湿资料简称为再分析比湿。

根据探空资料选择缺失较少的站点 98 个(站点分布见图 1), 对个别缺测值用该月多年平均值代替。为分析和比较探空站点资料和再分析格点资料之间的差异, 本文采取双线性差值方法将再分析资料的格点值内插到选出的 98 个探空站点上, 在各台

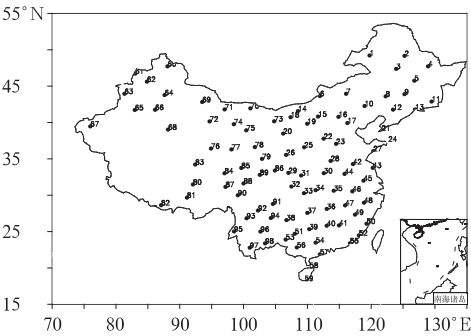


图 1 中国区域探空站的分布  
(序号为站点标号)

Fig. 1 Distribution of radiosonde stations in China  
(The number represents the series number of the station)

站上对再分析资料和探空资料进行对比分析。

## 2 再分析比湿与探空比湿的空间分布特征

### 2.1 多年平均比湿的空间分布特征

从 3 种再分析比湿和 OBS 比湿多年平均值的空间分布分析(图 2 为 850 hPa,500 和 300 hPa 图略),3 个层次一致表现为,随着纬度的增加,比湿减小;850 hPa 上,3 种再分析比湿和 OBS 比湿高值区均位于我国的广西、云南,OBS 比湿的最高值比再

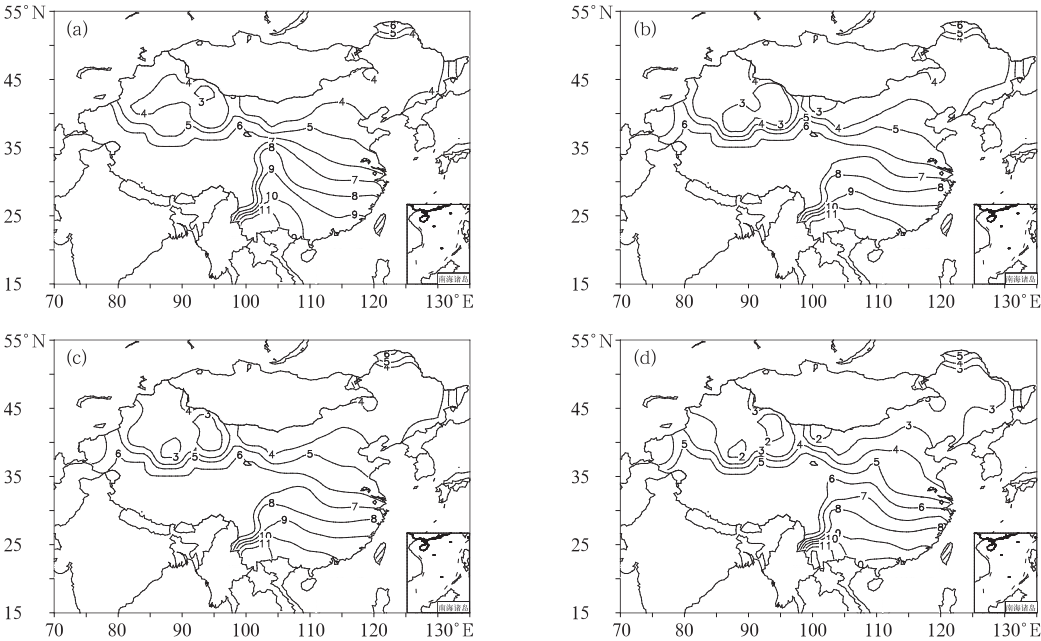


图 2 850 hPa 多年平均比湿分布(单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
(a)NCEP,(b)ERA,(c)JRA,(d)OBS

Fig. 2 Distribution of 850 hPa multi-year mean specific humidity (unit:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
(a) NCEP, (b) ERA, (c) JRA, (d) OBS

分析比湿最高值高,最低值比再分析比湿最低值低;低值中心均位于新疆东南部。500 hPa 比湿明显减小,3 种再分析比湿的高值中心在青藏高原,而 OBS 比湿的高值中心比再分析比湿偏东。

表 1 为多年平均再分析比湿和 OBS 比湿的空间分布相似系数。可见,3 种再分析比湿与 OBS 比湿的空间分布的相似性很高,均通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。相似系数在 850 hPa 最高,均在 0.9 以上,并随高度增加而减小;3 种再分析资料中,JRA 与 OBS 比湿分布的相似性最好,表明 JRA 比

湿与 OBS 比湿分布最一致。

表 1 多年平均再分析比湿与探空比湿  
的空间分布相似系数

Table 1 Spatial analogical coefficients between  
multi-year mean specific humidity in reanalysis  
datasets and radiosonde dataset

高度/hPa	NCEP 与 OBS	ERA 与 OBS	JRA 与 OBS
850	0.97	0.99	0.99
500	0.90	0.91	0.89
300	0.61	0.75	0.80

2.2 多年月平均比湿的空间分布特征

表 2 为多年月平均再分析比湿与探空比湿的空间分布相似系数。可见,3 种再分析比湿与 OBS 比湿之间的相似系数较大,均通过  $\alpha=0.05$  的显著性

检验。8 月 300 hPa NCEP 与 OBS 比湿的相似系数最小,为 0.5;EAR 和 JRA 与 OBS 比湿的相似系数差别很小,且 12 个月均随高度减小;NCEP 与 OBS 比湿的空间分布相似系数较 EAR 和 JRA 比湿小,且在一些月份、一些层次相似系数随高度增大。

表 2 多年月平均再分析比湿与探空比湿的空间分布相似系数  
Table 2 Spatial analogical coefficients between monthly mean specific humidity  
in reanalysis datasets and radiosonde dataset

	高度/hPa	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
NCEP 与 OBS	850	0.92	0.85	0.85	0.86	0.90	0.92	0.91	0.92	0.91	0.88	0.81	0.79
	500	0.74	0.78	0.81	0.83	0.89	0.93	0.93	0.94	0.93	0.90	0.76	0.68
	300	0.76	0.75	0.71	0.74	0.76	0.73	0.55	0.50	0.63	0.73	0.76	0.73
ERA 与 OBS	850	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
	500	0.83	0.85	0.85	0.86	0.91	0.94	0.93	0.94	0.94	0.90	0.80	0.79
	300	0.76	0.80	0.81	0.82	0.82	0.81	0.75	0.74	0.76	0.76	0.78	0.74
JRA 与 OBS	850	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
	500	0.84	0.85	0.85	0.86	0.90	0.92	0.91	0.92	0.91	0.88	0.81	0.79
	300	0.83	0.84	0.82	0.83	0.86	0.87	0.81	0.81	0.83	0.81	0.81	0.79

3 再分析比湿与观测比湿的差异分析

为了比较 3 种再分析比湿和 OBS 比湿的差异,计算了 98 个站点再分析比湿与 OBS 比湿多年平均和多年月平均相对偏差,用下式表示:

$$\epsilon_{\text{NO}} = \frac{q_{\text{NCEP}} - q_{\text{O}}}{q_{\text{O}}} \times 100\%$$
$$\epsilon_{\text{EO}} = \frac{q_{\text{ERA}} - q_{\text{O}}}{q_{\text{O}}} \times 100\%$$
$$\epsilon_{\text{JO}} = \frac{q_{\text{JRA}} - q_{\text{O}}}{q_{\text{O}}} \times 100\%$$

式中, $\epsilon_{\text{NO}}$ 、 $\epsilon_{\text{EO}}$ 、 $\epsilon_{\text{JO}}$ 分别为 3 种再分析比湿与 OBS 比湿的相对偏差, $q_{\text{NCEP}}$ 、 $q_{\text{ERA}}$ 、 $q_{\text{JRA}}$ 、 $q_{\text{O}}$ 分别为 NCEP、ERA、JRA 再分析比湿和观测比湿。

3.1 多年平均比湿的差异分析

图 3 是 3 种再分析比湿和 OBS 比湿多年平均值的相对偏差随高度的分布。可以看出,仅有个别站点在 850 和 700 hPa 存在负值,其余站点在各高度均为正值,即再分析比湿普遍较 OBS 比湿偏高。从相对偏差的空间分布分析,3 种再分析资料一致表现为,21~26 号站点(渤海湾附近)整层相对偏差较小,低于 30%,61 号站点和 68 号站点附近(新疆西部)整层相对偏差较大;从高度分布看,相对偏差随高度增大,500 hPa 以上,除青藏高原和渤海湾附近站点外,其他站点相对偏差可达 200%;从 3 种再

分析比湿资料分析,JRA 比湿与 OBS 比湿的相对偏差较 ERA 和 NCEP 比湿偏小。图 4 为再分析比湿和 OBS 比湿全国平均相对偏差的垂直廓线。可见,在 700 hPa 以下,3 种再分析比湿与 OBS 比湿之间的相对偏差较小,在 30% 以下,且 3 种再分析比湿之间的差异不明显;在 500 hPa 以上,JRA 比湿与 OBS 比湿的相对偏差较 NCEP、ERA 比湿明显偏小。

3.2 多年月平均比湿的差异分析

为了分月比较再分析比湿与 OBS 比湿的差异,计算了各站点、各层次、12 个月多年平均再分析比湿与 OBS 比湿的相对偏差。与年平均比湿一致,再分析比湿普遍较 OBS 比湿偏高,且偏差随着高度的增加而增大,个别站点在 850 和 700 hPa 存在负值,NCEP 与 OBS 比湿差值为负值的站点最多,主要出现在广东和海南的 54~59 号站点,其中在 59 号海南站,3 种再分析比湿与 OBS 比湿的相对偏差在 12 个月均为负;从逐月分布看,冬春季月份相对偏差大,夏季月份相对偏差小,负值多出现在夏季月份(图 5)。850 hPa 上新疆地区 61~71 号站点 3 种再分析比湿相对偏差较其他站点明显偏大,到 300 hPa 上这种区域差异消失;在 850 hPa,NCEP 与 OBS 比湿的相对偏差较大,ERA 和 JRA 比湿与 OBS 比湿之间的相对偏差不明显,500 hPa 以上,JRA 与 OBS 比湿之间的相对偏差较小,NCEP 比湿

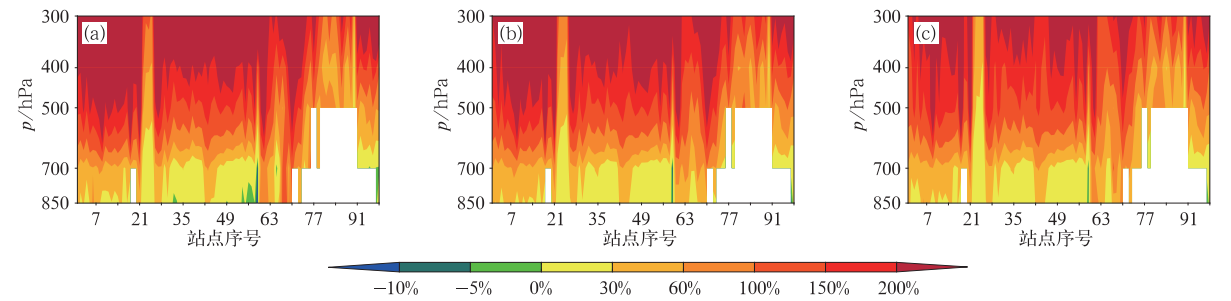


图 3 再分析比湿与探空比湿多年平均值的相对偏差(单位:%)  
(a)NCEP 与 OBS,(b)ERA 与 OBS,(c)JRA 与 OBS

Fig. 3 Relative tolerance between multi-year mean specific humidity in reanalysis datasets and radiosonde dataset (unit: %)  
(a) NCEP and OBS, (b) ERA and OBS, (c) JRA and OBS

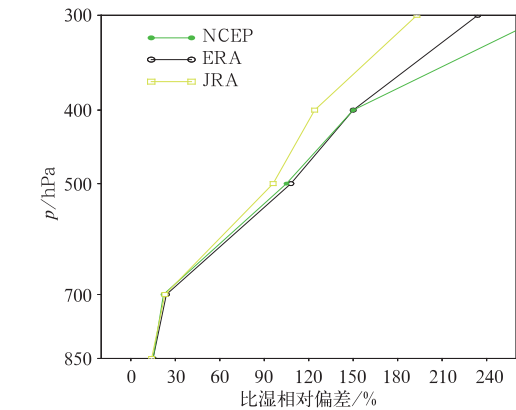


图 4 再分析比湿和探空比湿全国平均相对偏差的垂直廓线  
Fig. 4 Vertical profile of mean relative tolerance between specific humidity in reanalysis datasets and radiosonde dataset over the whole country

最大。

4 长期变化特征

4.1 年平均比湿的长期变化特征

表 3 给出了年平均再分析比湿和 OBS 比湿的气候趋势系数和气候倾向率(施能等,1995),加粗部分表示可以通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。表 4 为年平均再分析比湿与探空比湿之间的相关系数。

在 850 hPa(图 6),ERA、NCEP、JRA 比湿均没有明显的趋势性变化。数值上,OBS 比湿比再分析比湿偏低  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  左右,这一结论与赵天保等(2004;2009)的研究结论 NCEP-1 再分析降水资料数值比观测值偏高相一致。3 种再分析比湿与 OBS 比湿的相关性都很高,其中 JRA 相关最高,达到

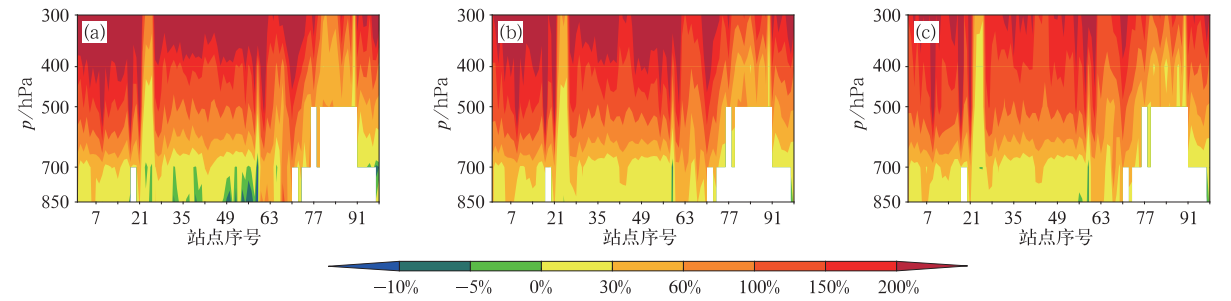


图 5 7 月多年平均再分析比湿与探空比湿的相对偏差(单位:%)  
(a)NCEP 与 OBS,(b)ERA 与 OBS,(c)JRA 与 OBS

Fig. 5 Relative tolerance between the multi-year mean specific humidity in reanalysis datasets and radiosonde dataset in July (unit: %)  
(a) NCEP and OBS, (b) ERA and OBS, (c) JRA and OBS

0.81 (表 4)。  
在 500 hPa(图略),3 种再分析比湿的趋势系数  
均为负值,但仅 NCEP 比湿可以通过显著性检验。  
在量值上,JRA 比湿比其他再分析比湿偏小。与再

分析比湿不同, OBS 比湿气候趋势系数为正值且通过了显著性检验,说明 OBS 比湿呈升高的趋势;在数值上, OBS 比湿比再分析比湿平均偏低  $0.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 与 JRA 比湿最接近。

在 300 hPa(图略), JRA 和 NCEP 比湿气候趋势系数均为负值且通过了显著性检验,说明呈减小的趋势。在数值上, 1992 年以前, NCEP 比湿比其

他再分析比湿明显偏高, 2001 年后 NCEP 比湿与 ERA 比湿基本相同, 而 JRA 比湿则明显偏低。OBS 比湿呈升高趋势, 通过了显著性检验。在数值上 OBS 比湿比再分析比湿偏低, 与 JRA 最接近。在相关关系上, OBS 比湿与 ERA 存在较高的相关(表 4)。

表 3 年平均再分析比湿和探空比湿的气候趋势系数和气候倾向率[单位:  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]

Table 3 Climatic trend coefficients and climatic trend rate of reanalysis datasets and radiosonde dataset [unit:  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]

高度/hPa	ERA 比湿		JRA 比湿		NCEP 比湿		OBS 比湿	
	气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率
850	-0.03	-0.005	0.32	0.053	-0.17	-0.027	<b>0.54</b>	0.096
500	-0.18	-0.01	-0.28	-0.02	<b>-0.68</b>	-0.06	<b>0.70</b>	0.05
300	0.28	0.003	<b>-0.50</b>	-0.007	<b>-0.78</b>	-0.021	<b>0.65</b>	0.003

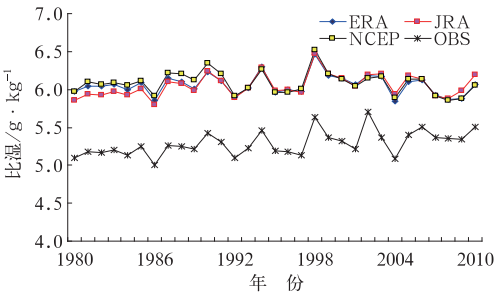


图 6 850 hPa 全国年平均再分析比湿和探空比湿的变化曲线

Fig. 6 Curves of 850 hPa annual mean specific humidity in reanalysis and radiosonde datasets of the whole country

表 4 年平均再分析比湿与探空比湿的相关系数

Table 4 Relative coefficients of annual mean specific humidity reanalysis datasets and radiosonde dataset

高度/hPa	ERA 比湿	JRA 比湿	NCEP 比湿
850	<b>0.68</b>	<b>0.81</b>	<b>0.57</b>
500	0.09	-0.09	<b>-0.35</b>
300	<b>0.68</b>	-0.09	-0.16

4.2 月平均比湿的长期变化特征

图 7 为 3 种再分析比湿与 OBS 比湿的逐月分布, 可见 3 个层次上, 3 种再分析比湿与 OBS 比湿一致为冬季月份低, 夏季月份高, OBS 比湿比再分析比湿低。与相对偏差不同, 比湿差值夏季月份大,

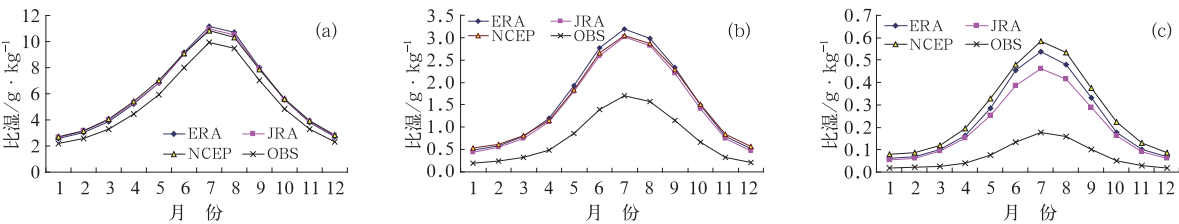


图 7 再分析比湿与探空比湿的逐月分布  
(a)850 hPa, (b)500 hPa, (c)300 hPa

Fig. 7 Distribution of monthly specific humidity in reanalysis datasets and radiosonde dataset  
(a) 850 hPa, (b) 500 hPa, (c) 300 hPa

冬季月份小, JRA 比湿与 OBS 比湿的差异最小, NCEP 比湿与 OBS 比湿的差异最大。

表 5 为 3 种月平均再分析比湿和 OBS 比湿的气候趋势系数, 加粗部分, 表示通过了  $\alpha=0.05$  的显

著性检验, 表 6 为月平均再分析比湿与探空比湿的相关系数。

在 850 hPa, OBS 比湿气候趋势系数仅在 11 月为负, 其他月均为正值, 其中 6、7、8、9 月的气候趋势

系数可以通过显著性水平检验。7 月比湿从 1992 年以后波动增加趋势最为明显(图 8),9 月比湿从 2006 年以后连续 4 年持续增加。3 种再分析比湿中,JRA 比湿的气候趋势系数为正值的月最多,但只有 7 月的趋势统计上是显著的,ERA 和 NCEP 比湿的气候趋势系数为正值的月份很少,表明月平均 JRA 比湿的长期变化特征与 OBS 比湿最接近。1992 年后,7 月 OBS 比湿呈增加的趋势,3 种再分析比湿呈相反趋势。2006 年后,9 月 OBS 比湿连续

4 年持续增加,3 种再分析比湿都能较好的拟合。  
在 500 hPa,OBS 比湿 3—10 月的气候趋势系数均为正值,其中 5—9 月的气候趋势系数可以过显著性检验。3 种再分析比湿,除 ERA 和 JRA 比湿的气候趋势系数在个别月为正值外,其他气候趋势系数均为负值,且 NCEP 比湿各月的气候趋势系数都可以通过显著性检验,其中 ERA 比湿与 OBS 比湿的变化趋势相对接近。  
在 300 hPa,OBS 比湿 3—8 月上升趋势显著,

表 5 月平均再分析比湿与探空比湿的气候趋势系数和气候倾向率[单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ]  
Table 5 Climatic trend coefficients and climatic trend rate of monthly mean specific humiditty in reanalysis and radiosonde datasets [unit:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ]

高度/hPa	月份	ERA 比湿		JRA 比湿		NCEP 比湿		OBS 比湿	
		气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率	气候趋势系数	气候倾向率
850	1	0.02	0.006	0.03	0.008	−0.01	−0.002	0.12	0.028
	2	0.23	0.089	0.27	0.104	0.24	0.093	0.34	0.13
	3	−0.11	−0.036	0.0	$−6 \times 10^{-4}$	−0.11	−0.035	0.03	0.011
	4	−0.07	−0.025	0.19	0.07	−0.12	−0.045	0.13	0.049
	5	−0.20	−0.08	0.04	0.016	−0.28	−0.113	0.15	0.057
	6	−0.05	−0.017	0.21	0.078	−0.22	−0.077	<b>0.40</b>	0.156
	7	0.11	0.049	<b>0.38</b>	0.189	0.08	0.036	<b>0.56</b>	0.287
	8	−0.16	−0.056	0.18	0.067	−0.2	−0.071	<b>0.43</b>	0.147
	9	0.26	0.126	0.33	0.171	0.16	0.074	<b>0.49</b>	0.248
	10	−0.10	−0.049	−0.03	−0.016	−0.17	−0.082	0.08	0.039
	11	−0.17	−0.081	−0.15	−0.071	−0.22	−0.102	−0.09	−0.034
	12	0.03	0.013	0.05	0.019	−0.02	−0.006	0.11	0.039
500	1	0.05	0.003	0.02	0.001	<b>−0.39</b>	−0.028	−0.05	−0.002
	2	−0.26	−0.016	−0.25	−0.016	<b>−0.5</b>	−0.04	−0.16	−0.005
	3	−0.04	−0.002	−0.1	−0.007	<b>−0.49</b>	−0.039	0.05	0.002
	4	−0.14	−0.012	−0.2	−0.018	<b>−0.55</b>	−0.059	0.11	0.006
	5	0.07	0.007	0.02	0.002	<b>−0.44</b>	−0.055	<b>0.68</b>	0.068
	6	−0.13	−0.017	−0.24	−0.035	<b>−0.57</b>	−0.098	<b>0.69</b>	0.143
	7	0.00	$5 \times 10^{-4}$	−0.11	−0.023	<b>−0.37</b>	−0.083	<b>0.64</b>	0.163
	8	−0.02	−0.004	−0.13	−0.024	<b>−0.41</b>	−0.075	<b>0.72</b>	0.146
	9	−0.06	−0.008	−0.20	−0.027	<b>−0.48</b>	−0.068	<b>0.56</b>	0.082
	10	−0.25	−0.046	−0.27	−0.051	<b>−0.45</b>	−0.09	0.22	0.02
	11	−0.27	−0.028	−0.28	−0.028	<b>−0.54</b>	−0.07	−0.17	−0.008
	12	−0.10	−0.005	−0.03	−0.001	<b>−0.49</b>	−0.038	−0.18	−0.005
300	1	<b>0.38</b>	0.004	0.10	$7 \times 10^{-4}$	−0.30	−0.004	0.13	$3 \times 10^{-4}$
	2	0.11	0.001	−0.17	−0.002	<b>−0.36</b>	−0.006	0.33	$7 \times 10^{-4}$
	3	0.26	0.003	−0.26	−0.003	<b>−0.36</b>	−0.006	<b>0.65</b>	0.002
	4	0.13	0.002	−0.34	−0.005	<b>−0.67</b>	−0.017	<b>0.5</b>	0.002
	5	<b>0.48</b>	0.014	−0.04	$8 \times 10^{-4}$	<b>−0.58</b>	−0.023	<b>0.72</b>	0.007
	6	−0.10	−0.003	<b>−0.51</b>	−0.018	<b>−0.80</b>	−0.047	<b>0.51</b>	0.007
	7	0.20	0.008	<b>−0.36</b>	−0.014	<b>−0.63</b>	−0.041	<b>0.53</b>	0.012
	8	0.20	0.008	<b>−0.36</b>	−0.015	<b>−0.61</b>	−0.033	<b>0.5</b>	0.008
	9	0.13	0.003	<b>−0.56</b>	−0.014	<b>−0.63</b>	−0.026	0.11	$10^{-3}$
	10	0.11	0.003	−0.30	−0.008	<b>−0.50</b>	−0.021	−0.06	$−5 \times 10^{-4}$
	11	−0.18	−0.003	<b>−0.37</b>	−0.006	<b>−0.57</b>	−0.015	−0.15	$−6 \times 10^{-4}$
	12	−0.11	−0.001	−0.30	−0.003	<b>−0.55</b>	−0.008	0.13	$3 \times 10^{-4}$



表 6 月平均再分析比湿与探空比湿的相关系数

Table 6 Relative coefficients of monthly mean specific humidity in reanalysis and radiosonde datasets

月份	850 hPa			500 hPa			300 hPa		
	ERA	JRA	NCEP	ERA	JRA	NCEP	ERA	JRA	NCEP
1	0.97	0.97	0.95	0.83	0.86	0.82	0.28	0.50	0.56
2	0.98	0.98	0.97	0.71	0.75	0.76	0.34	0.27	0.26
3	0.96	0.97	0.93	0.74	0.73	0.60	0.60	0.29	0.23
4	0.93	0.94	0.91	0.72	0.73	0.53	0.77	0.48	0.20
5	0.89	0.94	0.84	0.36	0.29	0.01	0.78	0.41	0.02
6	0.82	0.89	0.70	0.25	0.07	-0.07	0.56	0.09	-0.04
7	0.79	0.88	0.79	0.48	0.30	0.21	0.79	0.21	0.21
8	0.70	0.80	0.68	0.33	0.16	0.02	0.81	0.35	0.04
9	0.94	0.94	0.89	0.58	0.36	0.21	0.79	0.52	0.28
10	0.97	0.97	0.94	0.77	0.74	0.66	0.89	0.89	0.76
11	0.97	0.97	0.96	0.75	0.77	0.74	0.80	0.84	0.76
12	0.98	0.98	0.96	0.63	0.70	0.76	0.67	0.64	0.60

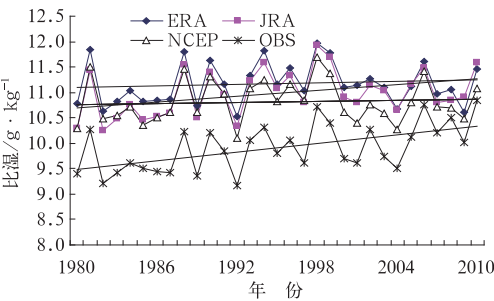


图 8 7 月 850 hPa 再分析比湿和探空比湿的变化曲线

Fig.8 Curves of 850 hPa specific humidities in reanalysis and radiosonde datasets in July

其他月份趋势性不明显。ERA 比湿 1 和 5 月上升趋势显著,其他月不明显;JRA 比湿多数月份的气候趋势系数为负值,有 5 个月统计上是显著的;NCEP 12 个月气候趋势系数均为负值,11 个月统计上是显著的,表明 ERA 比湿的长期变化特征与 OBS 比湿最接近。

5 结 论

利用中国 98 个探空站均一化温度和温度露点差资料计算了 850、700、500、400 和 300 hPa 比湿,分析了 3 种再分析比湿与探空比湿的差异,结论如下:

(1) 从多年平均比湿的空间分布特征分析, JRA 比湿与 OBS 比湿的空间分布相似系数最大,表明两者的空间分布一致性最好。从多年月平均再分析比湿与探空比湿之间的空间分布相似系数分析,3

种再分析比湿与探空比湿之间的相似系数在 12 个月都很大,且均随高度减小。ERA 比湿和 JRA 与 OBS 比湿的相似系数基本相同,NCEP 比湿与 OBS 比湿的空间分布相似系数相对较小。

(2) 从多年平均比湿的差异分析,渤海湾附近再分析比湿和探空比湿整层相对偏差较小,新疆西部整层相对偏差较大。相对偏差随高度增大,500 hPa 相对偏差已达 200%;700 hPa 以上,JRA 比湿与探空比湿的相对偏差较小。从月平均再分析比湿与探空比湿的相对偏差分析,冬春季月份相对偏差大,夏季月份相对偏差小,负值多出现在夏季月份,各月相对偏差最大的区域都出现在新疆;NCEP 比湿与 OBS 比湿的相对偏差在各层均最大,500 hPa 以上,JRA 比湿与 OBS 比湿之间的相对偏差明显较小。

(3) 从年、月平均再分析比湿与探空比湿的长期变化趋势分析,在 850 hPa,JRA 比湿与探空比湿的变化趋势较一致,特别是夏季的升高趋势;在 500 hPa,3 种再分析比湿与 OBS 比湿的气候趋势系数大多数符号相反,其中 ERA 比湿与 OBS 比湿相对接近。在 300 hPa,ERA 比湿的长期变化趋势与 OBS 比湿最接近。

参考文献

戴泽军,宇如聪,李健,等. 2011. 三套再分析资料的中国夏季降水日变化特征. 气象,31(1):21-30.  
高庆九,管兆勇,蔡佳熙,等. 2010. 两种再分析资料中夏季地表气温与中国测站资料的差异. 大气科学,34(3):471-482.  
李健,宇如聪,陈昊明,等. 2010. 对三套再分析资料中国大陆地区夏季降水量的评估分析. 气象,36(12):1-9.  
盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 2003. 大气物理学. 北京:北京大学出版



社,19-21.

施能,陈家其,屠其璞. 1995. 中国近 100 年四个年代际的气候变化特征. 气象学报,53(4):531-539.

游庆龙,康世昌,李潮流,等. 2009. NCEP/NCAR 再分析资料在纳木错流域湖泊/冰川区适用性分析. 气象,35(5):66-73.

赵天保,艾丽坤,冯锦明. 2004. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较. 气候与环境研究,9(2):278-294.

赵天保,符淙斌. 2006. 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. 气候与环境研究,11(1):14-31.

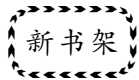
赵天保,符淙斌. 2009. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性. 大气科学,33(3):635-648.

支星,徐海明. 2013. 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. 大气科学学报,36(1):77-87.

周连童. 2009. 比较 NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料与观测资料计算得到的感热资料的差异. 气候与环境研究,14(1):9-20.

Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. Bull Amer Meteor Soc, 82:247-267.

Ma LiJuan, Zhang Tingjun, Li Qingxiang, et al. 2008. Evaluation of ERA-40, NCEP-1, and NCEP-2 reanalysis air temperatures with ground-based measurements in China. J Geophy Res. 113(D15). D15115.



《塔里木河流域气候变化影响评估报告》

陈亚宁, 苏布达, 陶辉等 主编

全书共分八章,在阐述塔里木河流域气候变化事实的基础上,分析了气候变化对流域水资源、农业、自然生态系统、人体健康、能源、交通、旅游、城市安全等方面的影响、脆弱性和适应性,并提出了适应与减缓对策,为全球气候变化背景下塔里木河流域社会经济的可持续发展提供理论依据和科技支撑。本书是我国关于流域气候变化研究系列评估报告中的一本。本书可供中央各部委和流域有关机构以及地方政府决策参考,亦可作为气候、气象、水文水资源、生态与环境、社会经济等领域的科研人员和有关大专院校师生的参考书。

16 开 定价: 48.00 元

《人工防霜冻技术研究》

尹宪志等 编著

该书较系统地介绍了霜冻灾害,重点介绍了人工防霜冻技术及其研究成果。全书共分 9 章:第一章概述了寒潮天气;第二章和第三章介绍了霜冻灾害及其变化特征;第四章分析了主要农林作物抗霜冻的温度临界值;第五章介绍了人

工影响小气候防霜冻的主要方法与防霜机的防霜效果;第六章介绍了各类人工防霜冻技术;第七章介绍了霜冻综合防御技术;第八章介绍了霜冻天气预报预警;第九章介绍了霜冻灾害损失救济。本书可供各级气象为农服务部门指导霜冻防御工作,也可供气象、农业等相关部门的科技工作者和大中专院校师生参考。

16 开 定价: 48.00 元

《孟加拉湾风暴对高原地区的影响》

段旭等 著

该书统计了 1977—2010 年共 34 年在孟加拉湾发生的风暴个例,分析研究了风暴生成、发展、消亡和移动路径等时空分布特征以及大尺度环流背景和制约系统,基本掌握了其活动规律;从风暴登陆位置、登陆前后结构(动力和热力)变化特征、水汽输送及辐合、辐散特征等方面入手,分析了偏北路径(孟加拉国)和东北路径(缅甸)登陆风暴对高原地区降水产生的影响;对典型登陆风暴个例进行了数值模拟试验,研究了高原大地形阻挡和抬升作用对降水强度和分布的影响。本书可供天气预报人员和大气科学研究人员参考。

16 开 定价: 85.00 元