

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 [J]. 大气科学, 33 (3): 634–648. Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2009. Applicability evaluation for several reanalysis datasets using the upper-air observations over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (3): 634–648.

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

赵天保 符淙斌

中国科学院大气物理研究所东亚气候-环境重点实验室, 北京 100029

摘 要 通过与中国 8 个不同区域温度场和高度场的探空观测资料相比较发现, ERA-40、NCEP/NCAR 和 NCEP/DOE 等再分析资料所描述的温度场和高度场产品的平均值以及年际变化特征等与观测结果的差异均在夏季比较明显, 尤其 1970 年代以前在中国的西部和西南部地区的差别较为显著。其中, 温度场的差别主要存在于对流层上层; 高度场的绝对偏差也主要出现在对流层上层, 而它们在年际变化特征及其长期变化趋势上的差别则反映在对流层中、下层, 特别是 NCEP/NCAR 对流层中、下层的夏季高度场在 1970 年代以前存在着过于明显的“低压”现象, 从而夸大了很多地区的年代际气候变化特征。就大多数地区而言, ERA-40 在中国区域气候变化研究中具有相对较好的适用性, 特别是在年代际气候变化研究中要明显好于 NCEP/NCAR。研究还表明, NCEP/DOE 与 NCEP/NCAR 在大多数地区除了在均值上有所不同外, 它们的年际变化特征则并无显著差别。

关键词 再分析资料 高空观测资料 适用性评估 比较与分析

文章编号 1006-9895 (2009) 03-0634-15

中图分类号 P468

文献标识码 A

Applicability Evaluation for Several Reanalysis Datasets Using the Upper-Air Observations over China

ZHAO Tianbao and FU Congbin

Key Laboratory of Regional Climate - Environment Research for the Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Intercomparison of temperature and geopotential heights from ERA-40, NCEP/NCAR and NCEP/DOE reanalyzed products with the upper-air observations is made in eight regions over China. The results show that the differences of the mean values and interannual variations represented by the reanalysis and the observations exist mainly in the summer, especially obvious in southwestern and western China before the mid-1970s. The discrepancies of temperature are more obviously presented in the upper troposphere, but in terms of the geopotential heights, their absolute differences are larger in the upper troposphere too, however, the more obvious differences of their interannual variations and long-term trends are mainly found in the middle-lower troposphere, especially, the NCEP/NCAR reanalysis shows tremendously summer geopotential heights in the middle-lower troposphere before the 1970s, and overestimates interdecadal changes in most regions of China. For most regions of China, the applicability of the ERA-40 reanalysis is better than that of the NCEP/NCAR counterparts in climate change researches, espe-

cially in the researches on interdecadal variations. The results also show that few differences of the interannual variations can be detected from the NCEP/DOE and NCEP/NCAR reanalysis, except that of the mean values between them.

Key words reanalysis datasets, upper-air observations, applicability evaluation, comparison and analysis

1 引言

在过去十多年,利用资料同化技术来再分析过去的气象观测数据、重建长期而连续的格点再分析资料取得了长足发展。再分析资料的问世为人们深入了解大气运动的方式、认识不同时空尺度内气候变化和变率提供了强有力的、甚至不可替代的研究工具(Trenberth, 1995; Uppala, 1997; Bengtsson et al., 1998, 2004a, 2004b)。然而,作为一种利用资料同化方法把数值预报产品和观测资料融合起来的“再生产物”,再分析产品在不同时空尺度内都包含有数值模式、同化方案和观测系统变更所引入的误差,特别是观测系统的改变可能会在气候长期变化的趋势中引入虚假的信号(Trenberth et al., 1988, 2001; Kalnay et al., 1996; Fiorino, 1999; Simmons et al., 2000; Ebisuzaki et al., 2000; Kistler et al., 2001; Uppala et al., 2005)。

除了受观测系统变更所引入的误差影响外,再分析产品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。模式系统误差的影响不仅体现在一些重要的物理参数化方案所存在的缺陷或不足,而且也体现在其会放大观测系统所引入的误差,反映出虚假的气候变化信号。研究表明,由于地表观测资料不能显著影响高空位势涡旋,因此,再分析系统所同化的高空观测资料对再分析产品的质量来说具有更为重要的意义。根据再分析资料受观测系统和模式强迫影响的相对大小,可把其产品归为四类,其中位势高度场、温度场和风场等产品的质量主要受所同化的观测资料的影响,而受模式系统的影响相对较小。因此,这类产品是最值得信赖的(Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001)。

近年来,随着各种再分析数据集的广泛使用,特别是 2003 年 ERA-40 再分析资料(Simmons et al., 2000; Uppala et al., 2005)的发布和使用,人们开始更加关注不同再分析产品之间的差别与质量问题,尤其是对早期再分析产品(20 世纪 50~60

年代)所反映出来的年际和年代际气候变化特征的真实性的产生了很多的质疑。如,有研究发现 NCEP/NCAR 再分析数据集(Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001)中早期的夏季海平面气压和高度场产品在欧亚大陆东部一些地区存在一定的质量问题(Yang et al., 2002; Inoue et al., 2004; Wu et al., 2005; 黄刚, 2006)。目前,已经有不少研究探讨再分析资料在东亚和中国区域气候变化研究中的存在的适用性问题(徐影等, 2001; 赵天保等, 2004, 2006; 施晓晖等, 2006; Zhao et al., 2006),但这些工作大多是一些针对地表通量如气温和降水等产品的可信度分析和验证,而对于高空产品的质量问题的,特别是不同再分析数据集中温度场和高度场等再分析产品的质量问题的缺乏系统性评估和检验。鉴于此,本文主要以中国区域的探空观测资料为参考,对 NCEP/NCAR (简称 NCEP-1)、NCEP/DOE (Kanamitsu et al., 2002) (简称 NCEP-2) 和 ERA-40 等几种最常用的再分析资料集中的温度场和高度场等产品在中国不同区域、不同高度、不同季节和不同年代所存在的适用性问题进行详细的评估,以期为中国区域的气候变化研究,特别是年际和年代际气候变化研究中再分析资料的选择和使用提供借鉴和帮助。

2 资料及其处理

本文所用的观测资料是中国区域 140 个台站的标准等压面的 B01 探空观测资料。该数据集中,大部分台站资料的时间跨度是从建站到 2001 年 12 月,时间分辨率为一日两次(0000 UTC 和 1200 UTC);垂直方向上是从地面到 5 hPa,共有 20 层。该资料所用的观测仪器是 59 型探空仪;数据来源主要有:原有的 B01 高空资料、卡片格式的高空资料、CARDS 资料和全球通信系统(GTS)资料。数据处理方法主要是:(1) 1980 年以前的部分,以原有的 B01 高空资料为基础,对缺测部分依次用卡片格式的高空资料和 CARDS 资料进行插补;(2) 1980 年以后的资料来源于中国气象局国家气象信

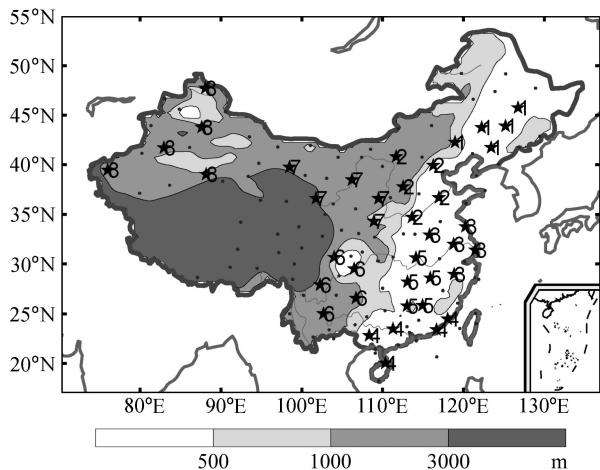


图1 中国区域观测台站分布及其海拔高度(阴影)。★: 代表站; 数字: 对应表1中的序号

Fig.1 The distribution of upper-air stations with topography (shaded) over China. ★: the typical stations; numbers: the region numbers shown in Table 1

息中心通过 GTS 接收的实时探空资料。由于探空观测仪与测量或订正方法变换, 1960 年代探空资料中, 特别是在对流层上部存在着一定的不均一性, 而近期探空资料尤其是探空湿度资料, 在对流层高层也存在过分偏高的情况(翟盘茂, 1997; 翟盘茂等, 2006)。因此, 在应用观测资料之前先对其进行了质量检验, 即首先对各站、各层数据中的个别极大值进行了剔除, 然后将某定时观测值与其多年平均值求差值, 如果其绝对值大于 4 倍标准差, 则该数据也被剔除。

从台站分布图(图1)中可以看到, 中国东部地区的测站分布较密, 而在西部地区, 尤其在青藏高原地区分布则较为稀疏。为了能够较为详细地了解再分析资料与观测资料在中国不同地区的差异, 最大程度地减小观测资料的不均一性, 我们将中国大陆地区分了 8 个区域, 然后在每个区域挑选出时间序列最长、连续性最好的 5 个测站(表1)的资料的平均值作为该地区的观测结果。对个别台站存在缺测的部分采用了一元线性回归的方法进行了拟合插补。就长期变化而言, 这种处理方式引起的误差相对甚微, 在总体上不足以影响资料的年际变化特征和长期趋势。由于有些台站, 如西南地区的贵阳和西昌以及西北地区的西宁和酒泉等测站的实际海拔都超过了 850 hPa 所在的高度, 所以本文主要用的是 200、500、700 hPa 的温度场和高度场资料。

本文所用的 ERA-40、NCEP-1 和 NCEP-2 再

表1 分区及探空代表站

Table 1 The sub-regions and their typical stations over China

序号	地区	代表站
1	东北	哈尔滨、长春、沈阳、通辽、赤峰
2	华北	呼和浩特、北京、太原、济南、郑州
3	华东	南京、上海、射阳、阜阳、衢州
4	华南	南宁、梧州、汕头、海口、厦门
5	华中	武汉、长沙、南昌、赣州、郴州
6	西南	成都、重庆、贵阳、昆明、西昌
7	西北	西安、延安、银川、酒泉、西宁
8	新疆	阿勒泰、乌鲁木齐、喀什、库车、若羌

分析资料也是一日两次(0000UTC 和 1200UTC)的月平均资料, 其分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。关于 ERA-40 和 NCEP-1 再分析系统的详细介绍可参考后面相关文献, 这里不再赘述。NCEP-1 与 NCEP-2 所用的同化系统基本上是一致的, 只是 NCEP-2 订正 NCEP-1 中已发现的一些“人为”误差问题, 改进了模式中一些物理过程和边界层方案, 增加了对陆地观测降水的简单同化等。本文是采用双线性内插法将再分析数据内插到每个分区相应的站点上, 然后将 5 个台站平均值作为该地区的再分析值来与观测结果进行比较和分析。

3 温度场的比较与分析

3.1 200 hPa

图2是 200 hPa 冬、夏季月平均温度场在 8 个分区的时间序列。从大多数地区来看, 无论是冬季还是夏季, NCEP (NCEP-1 和 NCEP-2) 和 ERA-40 基本上都能较好地描述观测资料所反映的年际变化特征, 特别是在 1970 年以后具有较好的一致性。相比而言, 再分析值在大多数地区都比观测结果偏低, 特别是在 1970 年以前和 1990 年以后两个时段的差异相对较大。

从冬季来看, 再分析值与观测值在东北和华北地区的差异最小, 其次是西北和新疆地区, 而在其他地区的差别则相对较大; 再分析值在华东、华南、华中和西南等地区 1970 年以前和 1990 年以后均比观测结果明显偏低, 尤其是在 1965 年左右的差别比较突出; 相比较而言, 在 1990 年以后, ERA-40 在大多数分区均比 NCEP 更为接近观测结果。与冬季相比, 夏季的差异在很多地区都明显变大, 其主要特征也是再分析值在 1970 年以前和

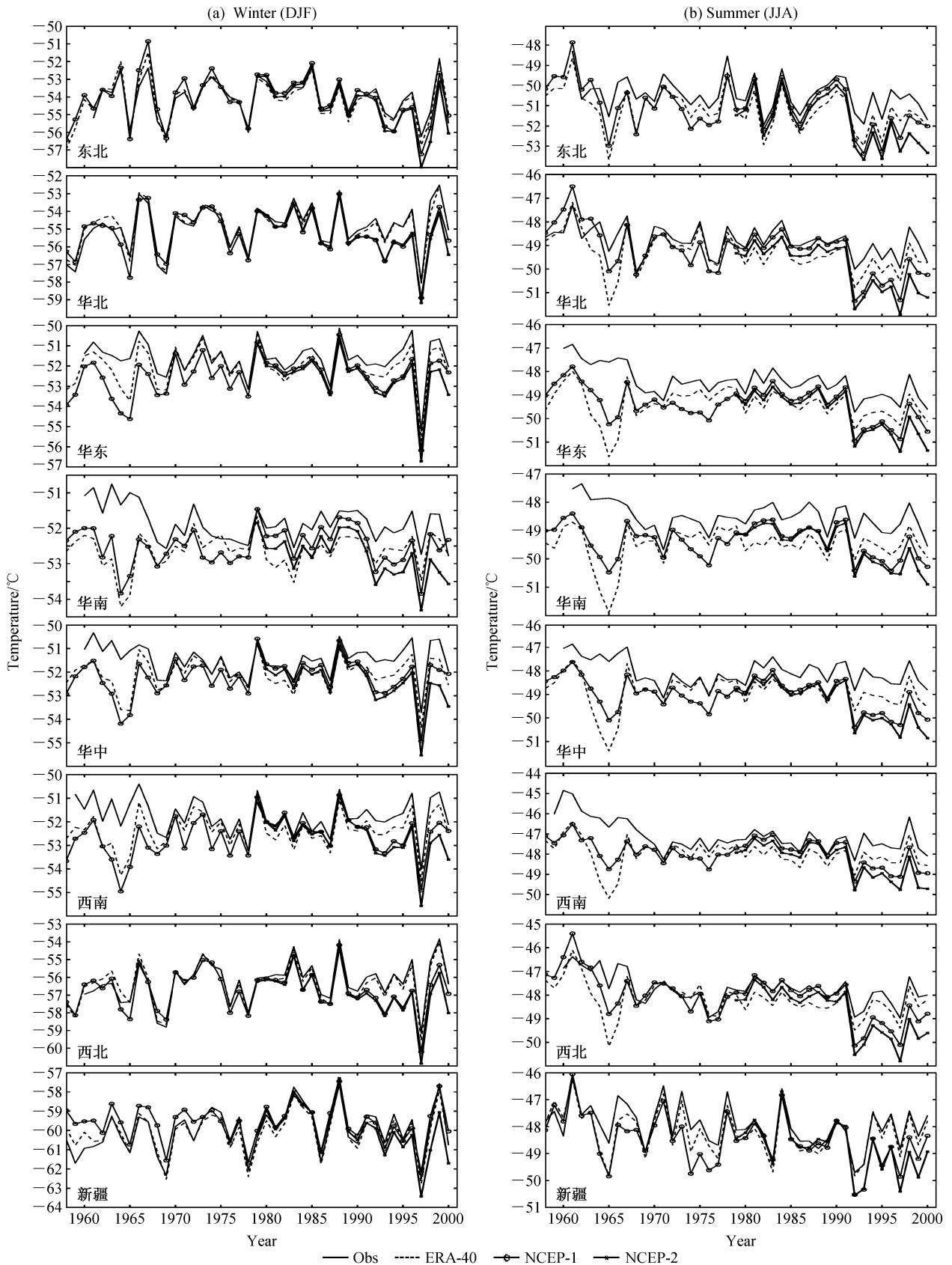


图2 200 hPa 温度场在中国8个区域的时间序列

Fig. 2 The time series of 200-hPa temperature over eight regions of China from the reanalysis and the upper-air observations

1990 年以后两个时段里都显著偏低, 其中华东、华南、华中和西南地区的差异更为明显; 而且在很多地区, 特别是在南方地区夏季再分析值在 1965 年左右均出现了显著的“下凹”现象, 尤以 ERA-40 为甚。对于 NCEP-2 来说, 在大多数地区与 NCEP-1 所反映出来的特征基本上是一致的, 但在 1990 年以后其结果要略低于 NCEP-1。

表 2 是两个不同时段再分析与观测值的偏差(再分析值减去观测值)在 8 个不同地区的统计特征。由于在有些地区观测值的起始时间存在一定的差异, 所以前一时段的统计是以观测值的起始时间为准。从表 2 中可以看到, ERA-40 冬季的结果在大多数区域、两个不同时段里均要比 NCEP-1 更为接近观测值, 尤其体现在华东、华南、华中和西南地区; 而夏季再分析值与观测结果的偏差则明显变大, 且在 8 个地区均比观测值偏低, 但在第一时段 ERA-40 在大多数地区是与观测值的差异均相对较

大(东北和新疆地区除外)。从 1979 年以后的来看, 无论是冬季还是夏季, 在大多数地区都是 NCEP-2 与观测值的差别相对更大一些。

3.2 500 hPa

图 3 是 500 hPa 温度场在中国 8 个分区的时间序列。与观测值相比, 无论从相对差异的大小还是年际变化特征上来看, 几种再分析产品对 500 hPa 温度场的描述均要优于 200 hPa。从冬季来看, 再分析值除 1965 年以前在西南和新疆地区要比观测结果偏低一些外, 在其他大多数地区它们的时间序列具有非常好的一致性, 甚至在某些年代里几乎重合。从夏季来看, 再分析值在大多数地区要略比观测结果偏低, 尤其是 1990 以后较为显著, 其中 NCEP-1 与观测结果的差别相对更大一些。相比来看, 在大多数地区 NCEP-2 均比 NCEP-1 略偏低, 但它们在夏季的差别相对较大。

表 3 是 500 hPa 温度场偏差的统计特征。可以

表 2 200 hPa 温度场差异 (单位: °C)

Table 2 The differences of 200-hPa temperature (°C) between the reanalysis and the observations in the eight regions of China

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3
东北	0.06	0.15	-0.70	-0.67	-0.18	-0.13	-0.37	-0.90	-0.77	-1.17
华北	0.09	-0.23	-0.54	-0.40	-0.21	-0.68	-0.69	-0.70	-0.69	-1.07
华东	-0.57	-0.99	-1.23	-1.15	-0.57	-0.56	-0.84	-0.95	-0.88	-1.08
华南	-1.00	-0.97	-1.12	-1.08	-0.74	-0.55	-0.89	-0.90	-0.82	-0.99
华中	-0.61	-0.97	-1.00	-1.00	-0.58	-0.62	-0.88	-0.80	-0.99	-1.23
西南	-0.74	-1.15	-1.06	-1.00	-0.52	-0.61	-0.76	-0.80	-0.74	-1.05
西北	0.16	-0.09	-0.47	-0.26	-0.27	-0.76	-0.92	-0.50	-0.47	-0.84
新疆	-0.05	0.57	-0.36	-0.67	-0.22	0.08	-0.28	-0.14	-0.43	-0.54

注: ΔT_1 、 ΔT_2 、 ΔT_3 分别为 ERA-40、NCEP-1、NCEP-2 温度场再分析值减去观测值(下同)。

表 3 同表 2, 但为 500 hPa

Table 3 Same as Table 2, but for 500 hPa

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3
东北	-0.01	-0.2	-0.19	-0.28	-0.08	-0.29	-0.34	-0.36	-0.46	-0.53
华北	0.06	-0.01	-0.09	-0.14	-0.1	-0.04	-0.13	-0.29	-0.4	-0.45
华东	-0.13	-0.13	-0.19	-0.24	-0.14	-0.02	-0.12	-0.32	-0.26	-0.35
华南	-0.25	-0.32	-0.22	-0.24	-0.16	-0.12	-0.18	-0.24	-0.2	-0.34
华中	-0.05	-0.09	-0.18	-0.27	-0.09	-0.05	-0.12	-0.36	-0.38	-0.46
西南	-0.16	-0.72	-0.08	-0.1	0.01	-0.23	-0.31	-0.36	-0.37	-0.46
西北	0.09	-0.03	-0.1	-0.26	-0.09	-0.35	-0.15	-0.12	-0.22	-0.13
新疆	-0.25	-0.36	-0.1	-0.26	-0.09	-0.35	-0.15	0.01	-0.51	-0.31

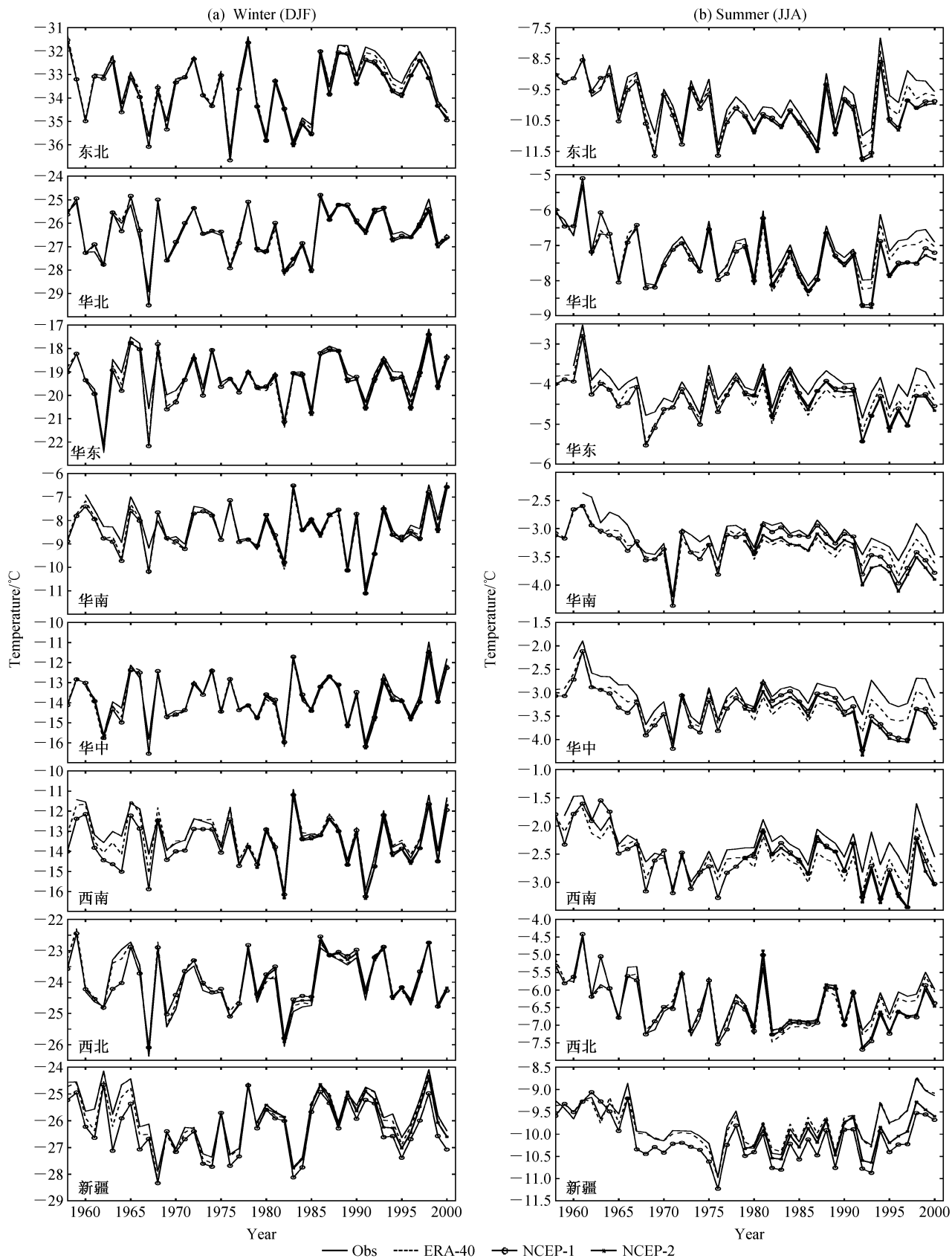


图 3 同图 2, 但为 500 hPa

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for 500 hPa

看到,无论是前一时段还是后一时段,再分析值在大多数地区基本上都要低于观测值结果,尤其反映在夏季,而且除了西南地区的冬季外,在其他大多数地区的差异主要体现在 1979~1999。从绝对偏差来看,ERA-40 冬、夏季结果在前后两个时段都要比 NCEP-1 更为接近观测值。除西北和新疆地区外,NCEP-2 在其他地区都要低于 NCEP-1,也是三种再分析产品中与观测资料差异最大的。

3.3 700 hPa

图 4 是 700 hPa 温度场的情形。与 200 hPa 和 500 hPa 情形一样,再分与观测值的差异特征同样是夏季大而冬季小,而且在大多数地区具有更为相似的年际变化特征。在冬季,几种再分析产品在东北和华北地区与观测气温所反映出来的年际变化特征的一致性非常好,其次是在华东、华中和西南地区也较好,而在华南、西北和新疆地区略有差异。到了夏季后,再分析与观测结果的差异则有所加大,同时也反映出了一定的年代际变化差别和地域差异。这主要体现在:大多地区的差异都主要出现在 1970 年以期,特别是 NCEP-1 在 1965 年左右的再分析值在西南、华南、西北和新疆等中国西部和西南部地区明显高于 ERA-40 和观测结果,从而使得它们在年代际变化特征上显著不同。与前述结果类似,NCEP-2 在大多数地区仍比 NCEP-1 要偏低。

表 4 是 700 hPa 温度场偏差的统计特征,由表可见,几种再分析产品与观测资料的差异与表 3 的结果较为相似,只是在有些地区的差异要比 500 hPa 的结果更明显而已。此外,还可以发现,再分析值在西南和西北地区要比观测结果偏高,而且 NCEP-

2 对 NCEP-1 有一定的改进。

通过上述比较和分析可以看到,几种再分析资料对于整个中国区域高空温度场的气候平均态、年际和年代际变化特征的描述在不同高度、不同季节和不同区域所反映出来的适用性也是不同的。与观测资料相比,几种再分温度场产品的年际变化特征的一般是对流层中、下层比上层好,冬季比夏季好,北方地区比南方地区好;ERA-40 除了在对流层上层夏季的描述相对较差外,在其他层次和地区则都略好于 NCEP 再分析产品。

4 高度场的比较与分析

4.1 200 hPa

图 5 是中国 8 个分区 200 hPa 冬、夏季月平均高度场的时间序列。与温度场的差异情形相似,再分析与观测资料之间的迥异不仅具有显著的季节和年代差异,而且也具有一定的地域分布特征。

从冬季来看,几种再分析资料在大多数地区基本上都能捕捉到观测结果的年际变化特征,但其值均偏低;1970 年以前和 1990 年以后是它们差异相对较大的两个时段,其中华南和西南地区在 1970 年以前差异相对较大,而其他地区的显著差异则主要出现在 1990 年以后。从夏季来看,虽然再分析与观测结果在大多数地区所反映出来的差异特征与冬季的类似,但绝对偏差明显变大;除了东北和华北地区外,再分析产品在 1980 年以前的结果在其他大多数地区,特别是在华南、华中和西南以及新疆地区,明显低于观测值,从而使得它们的长期变化趋势也存在较大的不同;从大多数地区来看,

表 4 同表 2, 但为 700 hPa
Table 4 Same as Table 2, but for 700 hPa

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3
东北	-0.06	-0.16	-0.28	-0.21	-0.06	-0.07	-0.1	-0.31	-0.3	-0.42
华北	-0.08	-0.21	-0.06	0.15	-0.11	-0.24	-0.21	-0.11	-0.06	-0.2
华东	-0.17	-0.31	-0.17	-0.17	-0.15	-0.17	-0.3	-0.14	-0.14	-0.26
华南	-0.28	-0.51	-0.2	-0.23	-0.13	-0.19	-0.61	-0.06	-0.08	-0.21
华中	-0.12	-0.52	-0.13	-0.23	-0.14	-0.3	-0.27	-0.18	-0.18	-0.27
西南	0.16	0.24	0.08	0.6	0.14	-0.06	0.05	-0.12	0.14	-0.09
西北	0.01	-0.78	0.24	0.83	0.11	-0.77	-0.25	0.06	0.16	0.08
新疆	-0.73	-0.66	-0.28	-0.41	-0.51	-0.72	0.17	-0.44	0.61	-0.5

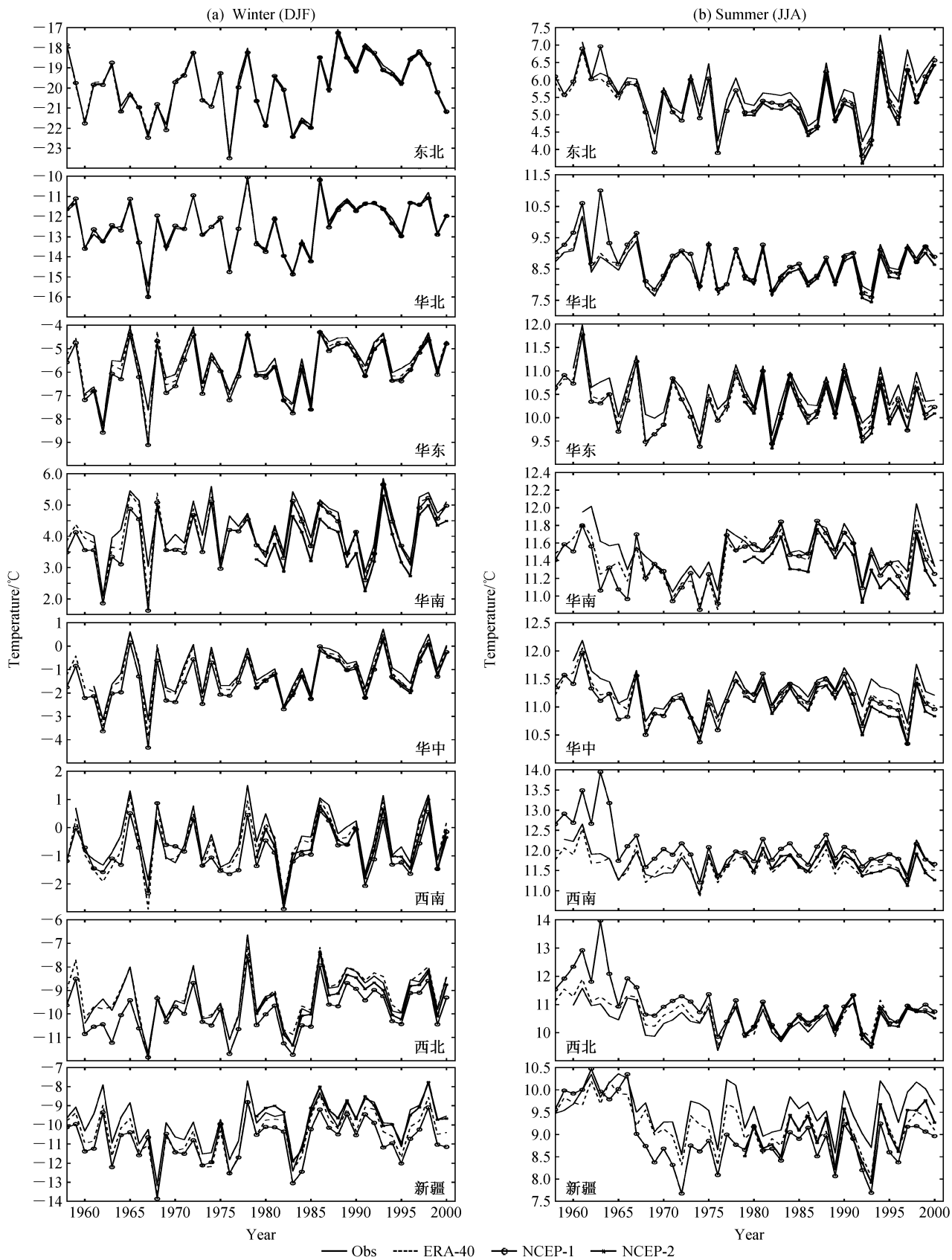


图 4 同图 2，但为 700 hPa

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for 700 hPa

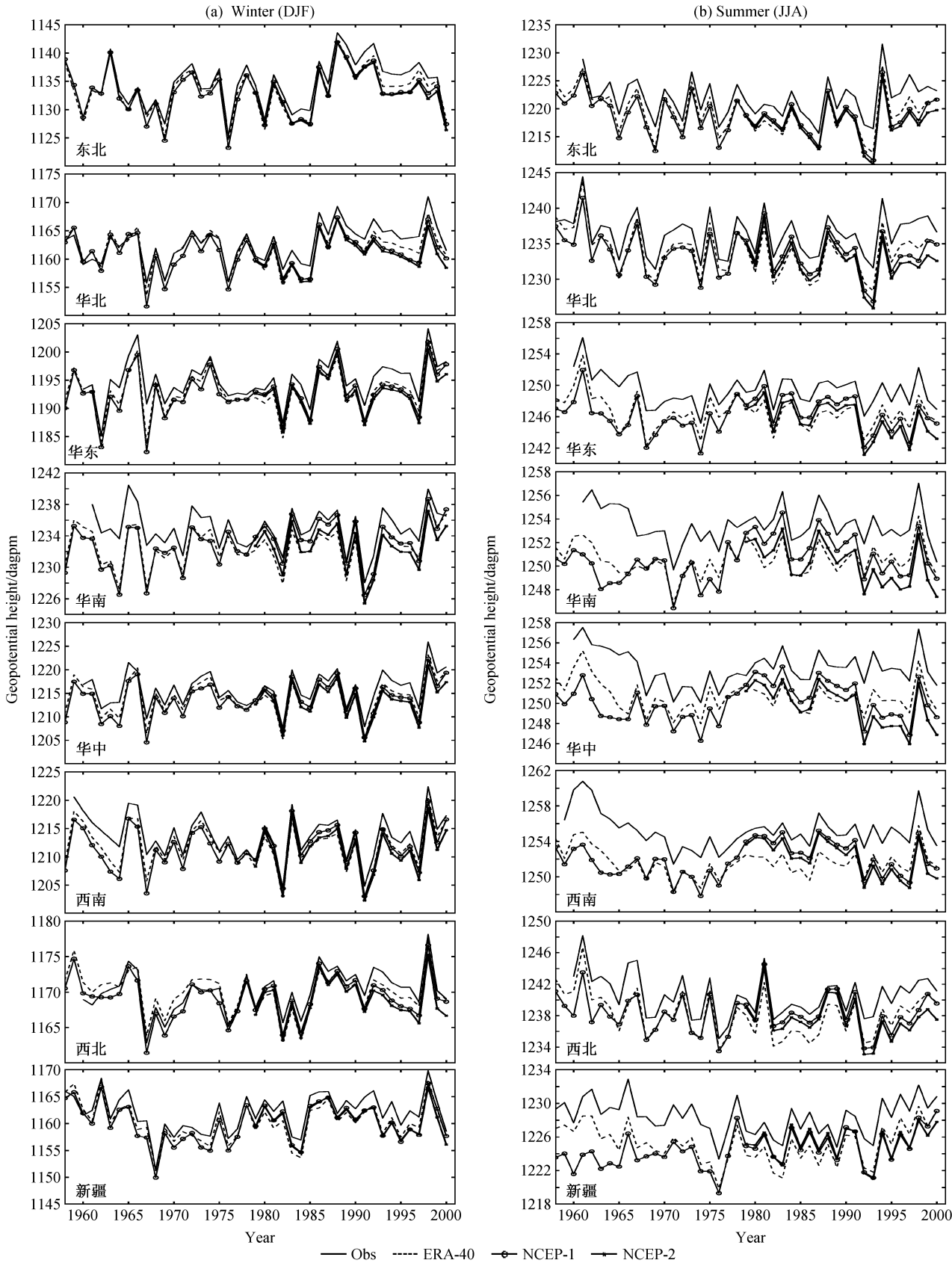


图 5 200 hPa 高度场在中国 8 个区域的时间序列

Fig. 5 The time series of 200-hPa geopotential heights from the reanalysis and the upper-air observations over the eight regions of China

表 5 200 hPa 高度场偏差 (单位: gpm)

Table 5 The differences of 200-hPa geopotential heights (gpm) between the reanalysis and the observations in the eight regions of China

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3
东北	-6.8	-13.1	-22.1	-31.6	-18.2	-22.2	-24.7	-34.2	-34.5	-40.5
华北	1.2	-7.9	-17.3	-26.3	-21.2	-24.8	-29.6	-32.5	-29.3	-38.2
华东	-17.2	-23.5	-28.2	-39.1	-23.7	-20.4	-26.9	-31.8	-27.5	-36.1
华南	-29.3	-32.7	-33.4	-40	-23.4	-11.7	-26.7	-28.6	-21.3	-32.9
华中	-14.2	-24.6	-26.9	-41	-23.4	-18.8	-28.1	-31.5	-29.1	-39.2
西南	-19.1	-29.2	-39	-43.5	-19.7	-13.7	-23.3	-35.1	-24.4	-30
西北	8.9	-6.7	-22.8	-29.3	-14.7	-15.1	-21.9	-28.6	-19.7	-26.6
新疆	-9.8	-18.6	-33.6	-52.2	-24.7	-21.5	-23.5	-30.8	-27.7	-26.7

注: ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 分别为 ERA-40、NCEP-1、NCEP-2 高度场再分析值减去观测值 (下同)。

ERA-40 与观测值在 1977 年以前以及 1992 年以后具有更好的一致性, 但 NCEP-1 在 1977~1992 年期间更为接近观测结果。无论是冬季还是夏季, NCEP-2 在大多数地区均低于 NCEP-1。

表 5 是 200 hPa 高度场偏差的统计特征。可以看到, 观测结果在大多数地区是高于再分析值的, 而且主要出现在夏季; 其中, 第一时段是 ERA-40 与观测值的绝对偏差相对较小, 而第二时段则是 NCEP-1 更为接近观测结果。此外, 在东北和华北地区, ERA-40 和 NCEP-1 与观测结果差异均是第二时段要大于第一时段。

4.2 500 hPa

图 6 是 500 hPa 冬、夏季月平均高度场的时间序列。与 200 hPa 的分析结果相比, 观测和再分析值在这个层次上的差别不仅反映在绝对偏差和年际变化特征上, 而且更主要体现在年代际变化特征上。

从冬季来看, 再分析结果在大多数地区仍然能够很好地描述观测资料所具有的年际变化特征; 除东北、华北、华东以及华中等地区外, 它们的差别主要出现在华南、西南、西北和新疆等地区的 1970 年代中期以前, 而此后则明显变小; 还可以看到, 在 1960 年代中期至 1970 年代后期, 在很多地区, 如华北、西北和新疆等地区, NCEP-1 要比观测值偏低, 而 ERA-40 则略偏高。从夏季来看, 几种再分析结果在大多数地区的偏低特征更为明显, 特别是反映在 1970 年代中期以前; 与观测和 ERA-40

的结果相比, NCEP-1 在 1968 的再分析结果存在着过于“夸大”的低压现象, 从而在长期趋势上出现了非常明显的“跳跃”变化特征。可见, 再分析与观测值在年代际变化特征上所反映出来的差别主要出现在 1970 年以前的夏季, 特别是 NCEP-1 与观测结果的差别比较大。1979 年以后, NCEP-2 与 NCEP-1 在大多数地区虽具有相似的年际变化特征, 但其结果在南方地区更为偏低。

从偏差的统计情况 (表 6) 来看, 再分析与观测值的差异也主要出现在夏季。就大多数地区而言, 在第一时段, 无论是冬季还是夏季都是 ERA-40 更为接近观测值; 在第二时段, NCEP-2 与观测值在冬季的差别相对最大, 但 NCEP-1 与观测结果在夏季的差异则相对最小。从绝对偏差来看, 该等压面上的差异都较 200 hPa 有显著减小。

4.3 700 hPa

图 7 是 700 hPa 冬、夏季月平均高度场的时间序列, 由图可见, 700 hPa 再分析产品与观测资料在大多数地区所反映出来的共性和差异与 500 hPa 的情形非常类似, 但 NCEP-1 夏季高度场在 1968 年以前所具有的低压现象更为突出。

就冬季而言, 再分析值与观测结果在大多数地区仍然具有相似的年际变化特征, 尤其 ERA-40 与观测结果的变化特征非常相似。相比来看, 东北和华东地区仍是差异最小的两个地区, 而西南、西北和新疆等中国中西部地区的差别也仍然较大, 且主要出现在 1970 年代中期以前。与前面分析的结果

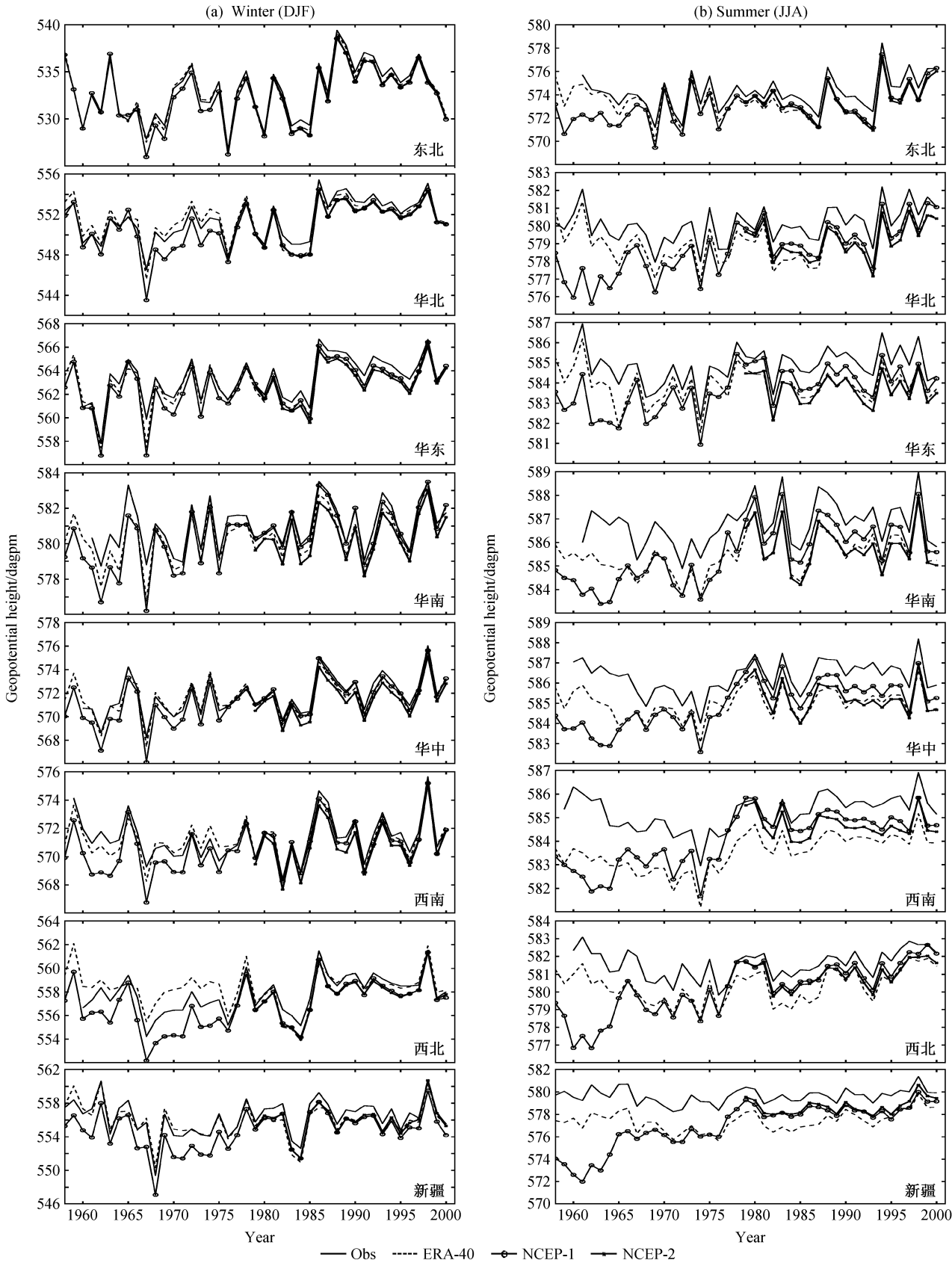


图 6 同图 5, 但为 500 hPa

Fig. 6 Same as Fig. 5, but for 500 hPa

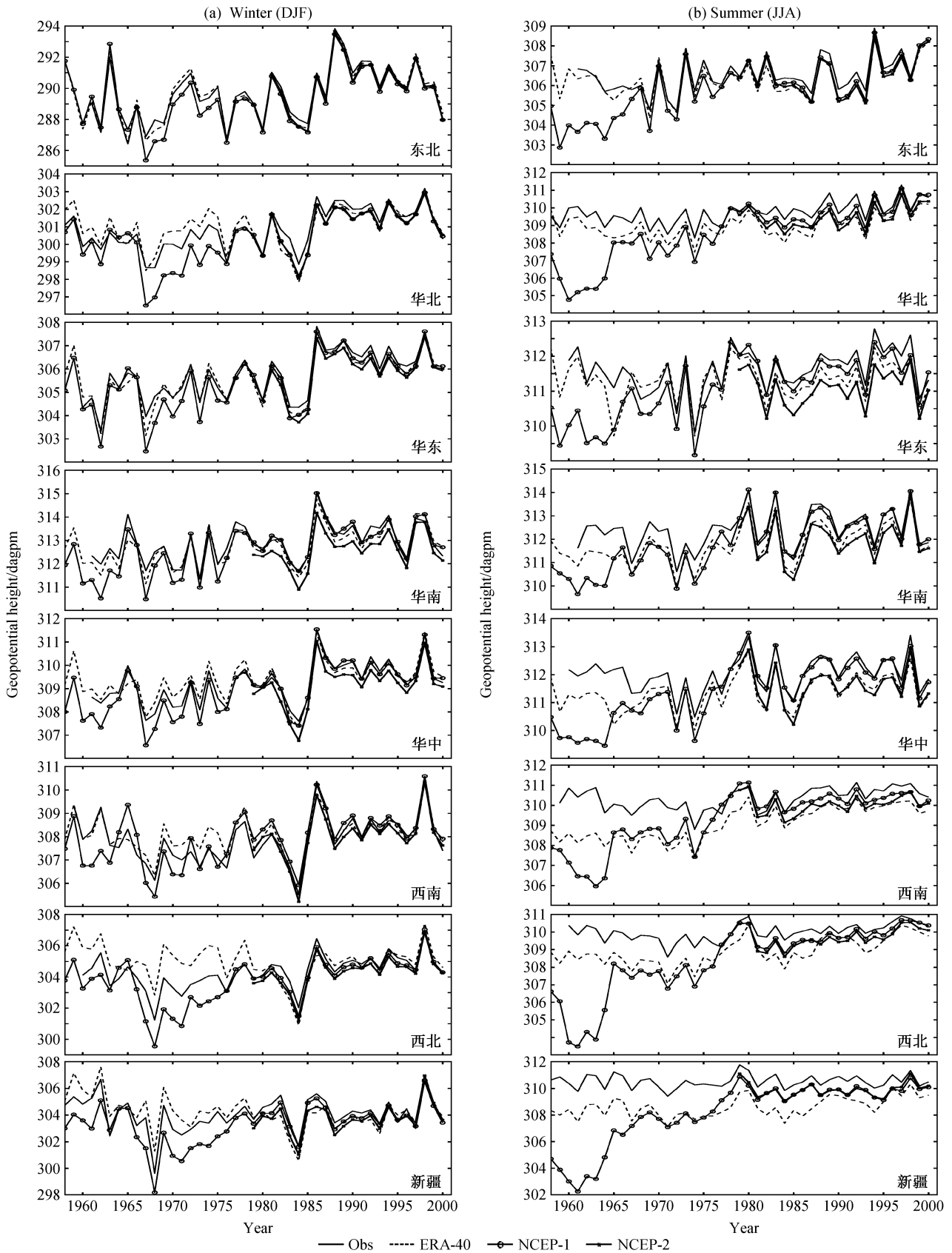


图 7 同图 5, 但为 700 hPa

Fig. 7 Same as Fig. 5, but for 700 hPa

类似,再分析产品与观测资料在夏季的差异要明显比冬季的大,而且再分析值在大多数地区都偏低,尤其是在 1980 年以前较为明显。与此同时,NCEP-1 在 1968 左右所反映的夸大“低压”现象要比 500 hPa 的更为显著。从与观测值的相对差异来看,ERA-40 在 1977 年以前要好于 NCEP-1,但此后则是 NCEP-1 要优于 ERA-40。NCEP-2 在大多数地区仍然要比 NCEP-1 偏低。

从偏差的统计(表 7)中可以看到,虽然 700 hPa 的差异要小于对流层中、上层,但其差异所反映出来的变化特征却是类似的,那就是再分析与观测值的差异夏季大而冬季小,第一时段大而第二时段小;ERA-40 与观测值的显著差异主要出现在第二时段,而 NCEP-1 与观测值的显著差异则反映在第一时段。而从大多数地区来看,NCEP-2 和 NCEP-1 的差别也较 200 hPa 和 500 hPa 的结果有所减小。

综上所述,几种再分析产品与观测资料的高度场之间的差异一般主要出现在夏季,特别是 1970 年中期以前的差别比较大。它们在对流层上层差别主要反映在绝对偏差上,而在对流层中、下层的差异则体现在年代际变化特征上。在 1970 年代中期以前是 ERA-40 与观测值更为接近,以后则是 NCEP-1 与观测值差异相对更小。从不同区域来看,再分析值与观测值差异一般是东部地区较小,西部地区较大。与观测和 ERA-40 相比而言,1970 年代以前 NCEP-1 在对流层中下层存在着过于夸大的“偏压”现象,从而在长期变化趋势上具有更加明显的变化特征。这可能是由于 NCEP/NCAR 再分析系统没有同化更多的表观测气压资料的结果(Yang et al., 2002; Inoue et al., 2004; Wu et al., 2005)。从大多数地区来看,NCEP-2 与 NCEP-1 的差别主要反映在平均值上,而年际变化特征及其趋势则基本一致。

表 6 同表 5, 但为 500 hPa
Table 6 Same as Table 5, but for 500 hPa

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3
东北	0.06	-6.1	-5.7	-14.1	-4	-6.6	-6	-11.5	-9	-10.7
华北	5.3	-8.7	-8.4	-20.9	-5.1	-6.9	-7.6	-13.2	-8.5	-12.4
华东	-3.4	-8.7	-8.2	-15.7	-6.3	-5.6	-8.7	-12.3	-8.2	-14
华南	-7.4	-11.1	-14.5	-18.1	-5.8	-1.6	-8.3	-12.3	-7	-13.3
华中	0.2	-8.3	-12.5	-18.8	-3.7	-2.3	-8	-13.9	-7.7	-13.3
西南	-0.6	-11.6	-19.2	17.7	-2.2	-3.5	-7.3	-15	-6	-9
西北	11.2	-14.4	-13.4	-23.1	-2.7	-6.6	-7.2	-12.1	-5.9	-8.1
新疆	1.7	-20.8	-23.8	-40.9	-10	-11.6	-8.6	-21.2	-13.8	-10.9

表 7 同表 5, 但为 700 hPa
Table 7 Same as Table 5, but for 700 hPa

区域	1958~1978 年				1979~1999 年					
	冬季		夏季		冬季			夏季		
	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3	ΔH_1	ΔH_2	ΔH_3
东北	0.9	-3.6	-1.4	-10.7	-1.1	-3	-2	-4.7	-2.8	-3.7
华北	5.7	-7.4	-6.5	-20.4	-3	-3.4	-3.7	-8.4	-3.6	-6.7
华东	-0.5	-4.4	-1.8	-8.9	-2.1	-1.8	-3.6	-4.3	-1.8	-7.3
华南	-4.1	-7.7	-7.9	-11.1	-1.4	0.1	-5	-5.1	-0.5	-7.1
华中	2.9	-4.3	-7	-11.5	-0.3	-0.4	-4.2	-6.3	-0.6	-6.4
西南	3.6	-2.6	-17	-18.7	0.1	2	-1.8	-8.1	-2.4	-5.5
西北	14.1	-9.2	-13.1	-27.5	-1.1	-2.6	-4.7	-8.9	-4.1	-5.8
新疆	8	-12.7	-21.9	-40.1	-4.8	-2.6	-5.1	-16.8	-8.1	-7.6

由上可见, 在 1970 年代以前, NCEP-1 夏季高度场资料在中国大多数地区普遍存在着过于偏低的特征, 而非个别层次上仅存的现象。

此外, 由压高公式

$$\frac{\partial p}{\partial Z} = -\rho g \quad (1)$$

和理想气体方程

$$p = \rho RT, \quad (2)$$

可得

$$\partial Z = -\frac{RT}{g} \frac{\partial p}{p}. \quad (3)$$

式中, Z 为高度, p 为气压, T 为气层温度, ρ 为空气密度, g 为重力加速度。因此, 在同一等压面上, 如果高度降低而温度升高才能使温压结构达到平衡。可是 1970 年以前 NCEP-1 夏季高度场在对流层中下层过于偏低而温度场却未相应升高, 这就意味着其温压结构不能够完全达到平衡。这个问题有待于进一步研究和商榷。

5 结果与讨论

本文主要就温度场和高度场资料对 NCEP-1、NCEP-2 和 ERA-40 再分析产品与中国区域的探空观测资料进行了比较和分析, 对它们在中国区域的适用性予以评估。所得主要结论如下:

(1) 对于温度场而言, 再分析资料在中国大多数地区所描述的温度场均值及其年际变化特征一般是 1970 年代以后要好于以前、对流层中下层要好于上层, 冬季要好于夏季、东部要好于西部地区、北方要好于南方地区; 再分析资料与观测结果在长期变化趋势上的差别主要出现在对流层中上层。与观测资料相比, ERA-40 除了对 1970 年代以前 200 hPa 夏季温度场的描述相对较差外, 在中国大多数地区的其他各层次不同季节和年代里都要比 NCEP-1 更为接近观测值。从 1979 年以后来看, NCEP-2 和 NCEP-1 所描述的温度场除了均值略有差异外, 两者的年际变化特征及其趋势具有非常好的一致性。

(2) 对于高度场来说, 几种再分析产品与观测资料的均值及其年际变化特征的差异通常也是冬季的小而夏季大, 而且这种特征主要出现在 1970 年代以前, 特别是西部地区更为明显。尽管它们在对流层上层绝对偏差相对较大, 但在中下层年际变化

特征和长期趋势的差别更明显。与观测结果相比而言, ERA-40 在 1970 年代中期以前适用性较好, NCEP-1 在 1970 年代中期以后的可信度则相对较高。在 1970 年代以前, NCEP-1 在对流层中下层存在过于夸大的“偏压”现象, 从而在长期趋势具有比与观测和 ERA-40 更加显著的增强趋势。从大多数地区来看, NCEP-2 与 NCEP-1 除了在均值有所不同外, 年际变化特征及其趋势则基本没有明显差别。

综上所述, 在中国区域气候变化研究中, 无论是 ERA-40 还是 NCEP-1 在 1970 年代中期以前的适用性均明显低于以后; 在大多数地区的年代际气候变化研究中 ERA-40 的适用性要高于 NCEP-1, 特别是要慎用 1970 年代以前 NCEP-1 高度场产品。1979 年以后, NCEP-2 与 NCEP-1 的温度场和高度场等再分析产品在大多数地区则没有显著差别, 而它们的差别可能主要还是反映在一些地表通量场上。就不同区域来而言, 这几种再分析产品都是在中国东部地区适用较高; 而从不同的变量来看, 则是温度场的可信度比较好。需要指出的是, 在过去几十年的观测中由于观测仪器、测量或订正方法的变更会导致探空观测资料也存在一定的误差, 特别是对流层上部的误差可能相对较大, 这在一定程度上也会影响到评估结果可靠性。因此, 在今后的工作中如何提高观测资料的均一性, 减小其误差对于再分析资料适用性的评估研究具有非常重要的意义。

参考文献 (References)

- Bengtsson L, Shukla J. 1988. Integration of space and in situ observations to study climate change [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 69: 1130–1143.
- Bengtsson L, Hodges K I, Hagemann S. 2004a. Sensitivity of the ERA40 reanalysis to the observing system: Determination of the global atmospheric circulation from reduced observations [J]. *Tellus*, 56A: 456–471.
- Bengtsson L, Hagemann S, Hodges K I. 2004b. Can climate trends be calculated from reanalysis data? [J]. *J. Geophys. Res.*, 109: D1111, doi: 10.1029/2004.JD004536.
- Ebisuzaki W, Kistler R. 2000. An examination of a data-constrained assimilation [C]// *Second Int. Conf. of Reanalysis, WCRP-109, WMO/TD-No. 985*, 14–17.
- Fiorino M. 1999. The impact of observing system changes on the climate-scale variability and temperature in the ECMWF and NCEP reanalyses [C]// *Second Int. Conf. of Reanalysis, Reading, England, WMO*, 65–68.

- 黄刚. 2006. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化 [J]. 气候与环境研究, 11 (3): 310–320. Huang Gang. 2006. The assessment and difference of the interdecadal variations of climate change in northern part of China with the NCEP/NCAR and ERA-40 reanalysis data [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 310–320.
- Inoue T, Matsumoto J. 2004. A comparison of summer sea level pressure over east Eurasia between NCEP/NCAR reanalysis and ERA-40 for the period 1960–1999 [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 82: 951–958.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437–471.
- Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. 2002. NCEP–DOE AMIP-II reanalysis (R-2) [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83: 1631–1643.
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. 2001. The NCEP/NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82: 247–268.
- 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. 2006. 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, 64 (6): 709–721. Shi Xiaohui, Xu Xiangde, Xie Li'an. 2006. Reliability analyses of anomalies of NCEP/NCAR reanalysis wind speed and surface temperature in climate change research in China [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 64 (6): 709–721.
- Simmons A J, Gibson J K. 2000. The ERA-40 project plan [R]//ERA-40 Proj. Rep. Ser., 1, 63 pp.
- Trenberth K E. 1995. Atmospheric circulation climate changes [J]. Climate Change, 31: 427–453.
- Trenberth K E, Olson J G. 1988. An evaluation and intercomparison of global analyses from NMC and ECMWF [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 69: 1047–1057.
- Trenberth K E, Stepanlak D P, Hurrell J W, et al. 2001. Quality of reanalysis in the tropics [J]. J. Climate, 14: 1499–1510.
- Uppala S. 1997. Observing system performance in ERA [R]//ECMEF reanalysis Project Reports Series, 3, 261pp.
- Uppala S M, Kallberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131: 2961–3012, doi: 10.1256/qj.04.176.
- Wu R, Kinter J L, Kirtman B P. 2005. Discrepancy of interdecadal changes in the Asian region among the NCEP–NCAR reanalysis, objective analyses, and observations [J]. J. Climate, 15: 3048–3067.
- 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 2001. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 337–347. Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. 2001. Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 12 (3): 337–347.
- Yang S, Lau K M, Kim K M. 2002. Variations of the East Asian jet stream and Asian–Pacific–American winter climate anomalies [J]. J. Climate, 15: 306–325.
- 翟盘茂. 1997. 中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题 [J]. 气象学报, 55 (5): 563–572. Zhai Panmao. 1997. Some gross errors and biases in China's historic radiosonde data [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 55 (5): 563–572.
- 翟盘茂, 郭艳君. 2006. 高空大气温度变化研究 [J]. 气候变化研究进展, 2 (5): 228–232. Zhai Panmao, Guo Yanjun. 2006. A study of upper air temperature change [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 2 (5): 228–232.
- 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. 2004. NCEP 再分析料和中国站点观测资料的分析比较 [J]. 气候与环境研究, 9 (2): 278–294. Zhao Tianbao, Ai Likun, Feng Jinming. 2004. An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 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 [J]. 气候与环境研究, 11 (1): 14–32. Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2006. Preliminary comparison and analysis between ERA-40, NCEP-2 reanalysis and observations over China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (1): 14–32.
- Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2006. Comparison of products from ERA-40, NCEP-2, and CRU with station data for summer precipitation over China [J]. Adv. Atmos. Sci., 23 (4): 593–604.