

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

赵天保^{1,2} 符淙斌¹

1 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

2 中国科学院研究生院，北京 100039

摘要 再分析资料在气候变化研究中有着广泛的应用，但是再分析资料在不同时空尺度上的可信度能够影响到研究结果。作者就中国区域的月平均地表(2 m)气温和降水两种基本气候变量在空间分布及其变化趋势上对ERA-40和NCEP-2与观测资料之间的差异做了一些比较和分析，对两套再分析资料的可信度进行了初步的检验。结果表明：两套再分析资料基本上都能反映出中国区域的温度场和降水场的时空分布，尽管在中国西部，尤其是青藏高原地区的差异比较大；再分析资料在东部地区的可信度高于西部，温度场的可信度要高于降水场，ERA-40可信度要高于NCEP-2。

关键词 再分析资料 观测资料 可信度 比较分析

文章编号 1006-9585 (2006) 01-0014-19 **中图分类号** P459 **文献标识码** A

Preliminary Comparison and Analysis between ERA-40, NCEP-2 Reanalysis and Observations over China

ZHAO Tian-Bao^{1,2} and FU Cong-Bin¹

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for the Temperate East Asia , Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science; START Regional Center for Temperate East Asia, Beijing 100029

2 Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039

Abstract The Reanalysis datasets are widely used in climate change research, but the reliability of the reanalysis datasets at different time-spatial scale can also impact the results of the study. An preliminary intercomparison of monthly mean surface 2 m temperature and precipitation are made between the ERA-40, NCEP-2 reanalysis and the observations to validate the reliability of the reanalysis over China. The results show that the temporal and spatial distribution of temperature and precipitation for the ERA-40 and NCEP-2 are similar with the observed counterparts, although some differences can be aware of in the west region of China, especially in Tibet Plateau. In terms of reliability, the temperature is higher than the precipitation, the East than the West, and the ERA-40 than the NCEP-2.

Key words reanalysis, observations, reliability, comparison and analysis

收稿日期 2004-07-11 收到，2005-12-01 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2006CB400500 及国家自然科学基金资助项目 40405014

作者简介 赵天保，男，1976年9月出生，中国科学院大气物理所在读博士，主要从事气候资料的分析和验证工作。

E-mail: zhaotb@tea.ac.cn

1 引言

过去由于资料的匮乏，气候变化的研究大都局限于有观测资料的区域内。20世纪90年代后，随着再分析资料的问世，全球气候变化研究的得到了迅速而广泛的发展。目前再分析资料在气候变化和变率、气候诊断和分析以及气候模式验证（包括作为区域气候模式的初始条件和边界条件）等各种研究中得到了广泛地应用^[1~3]。2003年在日本札幌召开的第23届国际地学和地球物理学联合会议（IUGG2003）的相关报告中，科学家们指出评估气候模式主要是与观测资料作对比，但由于一般的观测资料无论是从空间分辨率还是从描述气候的多种变量角度来看，都满足不了评估气候模式的需要，因此，通常是与经过气候模式加工的“分析资料”作对比^[4]。但这种经过同化加工的“再分析资料”由于受预报模式系统、同化系统和观测系统等方面的影响而存在着一定的质量问题，并不能完全取代观测资料来描述大气的真实三维状态，客观地反映气候变化的趋势^[5]。再分析资料的可信度问题能够影响到气候变化研究结果和气候模式验证的可靠性。

目前国外主要有欧洲中期数值预报中心（ECMWF）和美国国家环境预报中心（NCEP）以及美国国家航空航天局（NASA）等几个全球大气再分析资料中心，而最为广泛应用的主要也是 ECMWF 和 NCEP 系列再分析资料。按照可信度，再分析资料的变量可分为3类：A类主要包括上层大气的温度、切变风和位势高度，这些变量通常强烈受到观测资料的影响，因此是再分析资料中最可信的产品；B类主要包括水汽变量、辐射风和地表参数，这类变量受到了观测资料和模式的影响，因此这类产品的较为可信；C类变量主要包括地表统量，加热率和降水等，这类变量完全由模式决定的。对于C类变量的使用一定要谨慎^[6]。一些研究表明，在不同时空尺度内再分析资料与观测资料存在的差异也不同，尤其一些与湿度有关的地表通量的差异较为明显^[7~10]。

NCEP-NCAR（NCEP-1）再分析资料^[11]和 ECMWF（ERA-15）再分析资料^[12]被广泛应用于中国区域的副高、夏季降水、高原加热和华北干

旱等方面的研究中。尽管有研究表明 NCEP 再分析资料在中国区域的气候变化研究中具有一定合理性^[13~15]，但是在 2003 年随着 ECMWF 第二代 40 年再分资料（ERA-40）的完成^[16~17]，人们开始关注哪一套再分析资料具有更高的可信度，更适合于中国区域气候变化的研究。本文在中国区域就月平均地表（2 m）气温和降水两种基本气候变量对 ERA-40 和 NCEP-DEO（NCEP-2）^[18]两套再分析资料与观测资料进行比较和分析，对其可信度进行初步的检验和评估，以便为研究中国区域气候变化选用合适的再分析资料提供借鉴和参考。

2 资料介绍及其处理

本文所选用再分析资料主要是中国区域 ERA-40 ($17.5 \sim 55^{\circ}\text{N}$, $70 \sim 135^{\circ}\text{E}$) 和 NCEP-2 ($16.190 \sim 56.189^{\circ}\text{N}$, $69.375 \sim 135.0^{\circ}\text{E}$) 月平均地表 (2 m) 气温和降水量资料，其空间分辨分别为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬网格和 T62 高斯网格。

ERA-40 是欧洲中期数值预报中心于 2003 年完成第二代再分析资料。相对于第一代再分析资料（NCEP-1 和 NCEP-2, ERA-15）来说，ERA-40 无论在空间分辨率还是时间尺度上有很大的改进，对大气进行了更加广泛而精确的描述；同时提供了更多的分析场，特别是臭氧和海洋波动。ERA-40 再分析系统的预报模式更为细致的行星边界层，其利用了经过业务检验的、先进的资料同化系统。预报模式的垂直分辨率从 31 层增加到了 60 层，顶层从 10 hPa 上升到了 0.1 hPa。模式的物理和地表参数化方案也进行了更新。

NCEP-2 是 NCEP-1 再分析资料计划的延续，其目的在于订正 NCEP-1 中已知的人为误差，同时作为验证第二次打气模式比较计划（AMIP）的基本资料。NCEP-2 采用了改进的预报模式（1994 年 NCEP-1 再分析资料计划所用）和最新的同化系统，对诊断输出进行了改进，对处理过程中的存在的已知问题进行了订正。NCEP-2 可被看作是 NCEP-1 更新和订正版本，是 NCEP 系列再分析资料中较好的一种全球大气再分析资料。

表 1 是这两套资料同化系统方面的一些主要差异。可以看到在模式分辨率方面，ERA-40 比

表 1 ERA-40 和 NCEP-2 的一些主要差异

Table 1 The main differences between the ERA-40 and NCEP-2 reanalysis

大气模式	Model	同化方案	Assimilation	资料长度	Period	水平分辨率	Horizontal resolution/km
ERA-40	T159, L60	4D Var		1957~2002		125	
NCEP-2	T62, L28	3D Var		1979-present		210	

NCEP-2 有很大的提高。有关 ERA-40 和 NCEP-2 同化系统方面的详细信息可参考文献 [17] 和 [18]。

本文所选用的观测资料为中国气象局发布的中国区域的 730 个台站月平均气温和月降水总量。比较时段为 1979 年 1 月至 2001 年 12 月, 共 23 年 276 个月。在这 730 观测台站中, 剔除了在比较时间段内数据不够完整的台站, 最后用于比较的观测台站数为: 温度为 606 个, 降水为 605 个。同时为了便于比较和分析, 根据台站的稀疏分布和地形特征, 把中国区域简单分为 4 个区域。图 1 是这些观测台站在中国区域的分布。

本文首先运用普通克里格 (Ordinary Kriging) 空间内插法将观测资料内插到中国区域、空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 经纬网格上, 用双线性内插法把再分析资料也内插法到同样的规则网格上, 在空间分布上对再分析资料与观测资料的差异进行比较和分析; 然后采用双线性内插法将再分析资料反插到观测台站得到台站再分析值, 在各台

站及不同区域对再分析值与观测值比较和分析。

3 温度场的比较

3.1 温度场的空间分布比较

图 2 是再分析资料与观测资料的年平均、1 月和 7 月平均温度及其年平均温度标准差在中国区域的空间分布。可以看到, 除青藏高原及部分地区外, 在中国大部分地区, ERA-40 和 NCEP-2 温度场的空间分布模态基本上与观测值相似; 但 ERA-40 所反映出的中国东南地区 7 月高温带更为接近观测值。从年平均温度标准差的空间分布来看, ERA-40 还是明显要比 NCEP-2 更为接近观测值。

图 3 是上述空间分布的差异。可以看到, 在中国东部大部分地区 ERA-40 年平均温度比 NCEP-2 偏高不到 1 ℃, 在中国西部大部分地区偏高约 2~4 ℃ (图 3a); 1 月平均温度的差异主要出现在中国西部和北部地区, ERA-40 比

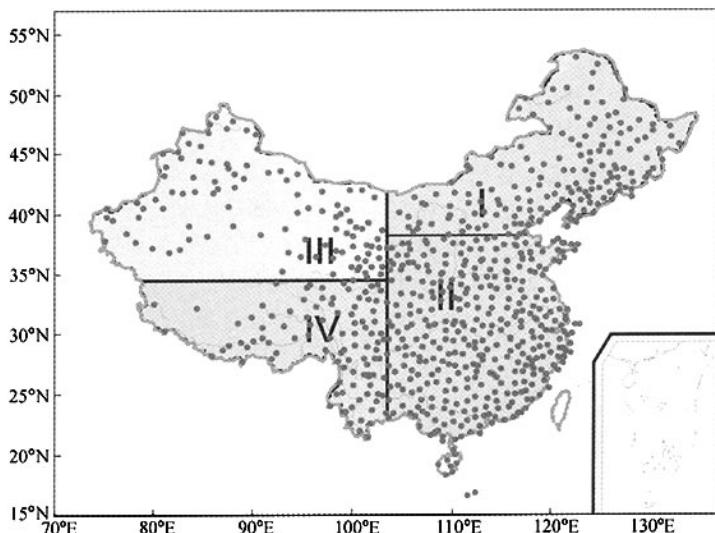


图 1 中国区域 730 观测台站

Fig. 1 Locations of 730 stations over China

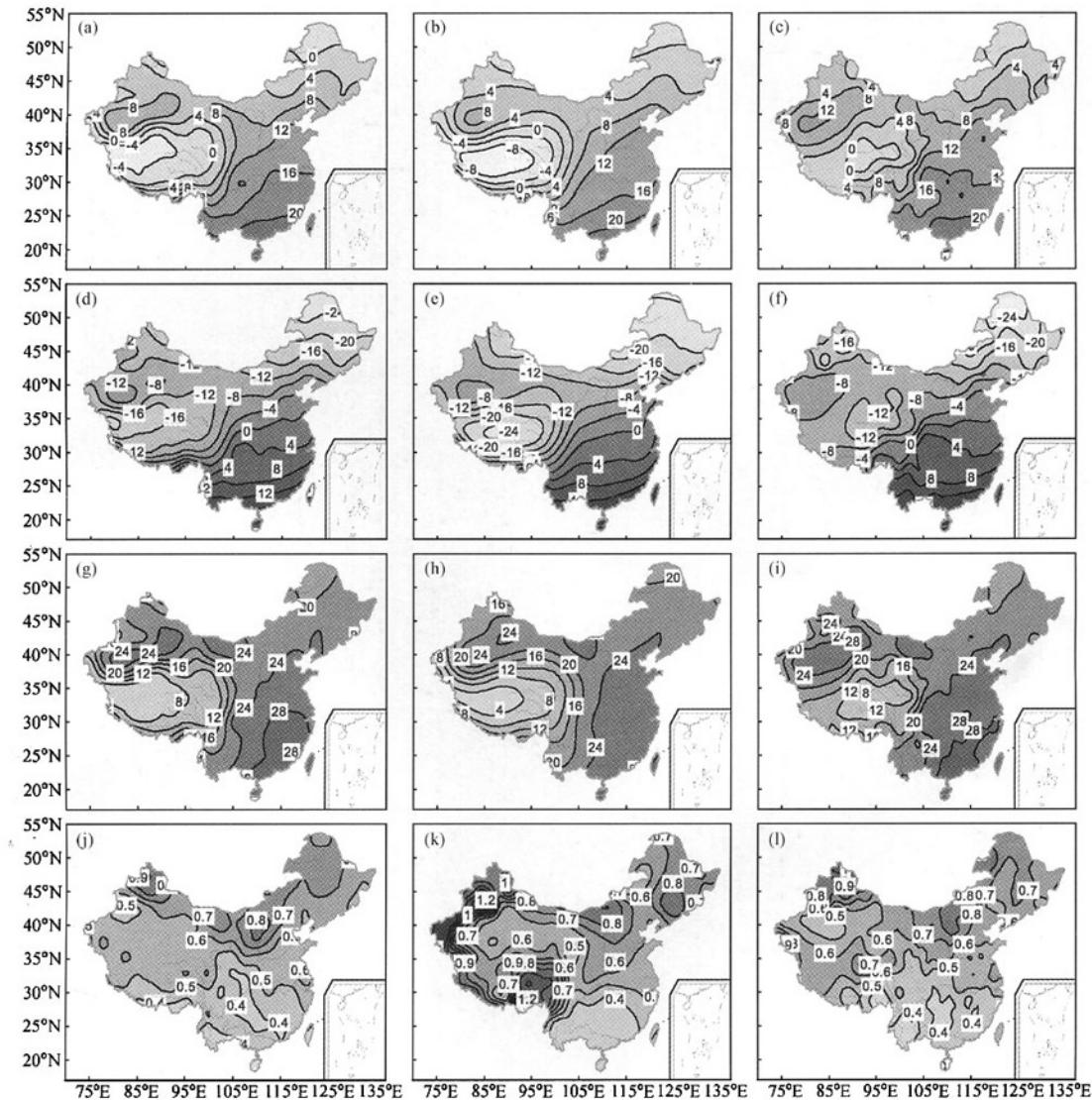


图2 平均温度及其标准差的空间分布(单位:℃)。(a) ERA-40年平均温度; (b) NCEP-2年平均温度; (c) OBS年平均温度; (d) ERA-40 1月平均温度; (e) NCEP-2 1月平均温度; (f) OBS 1月平均温度; (g) ERA-40 7月平均温度; (h) NCEP-2 7月平均温度; (i) OBS 7月平均温度; (j) ERA-40年平均温度标准差; (k) NCEP-2年平均温度标准差; (l) OBS年平均温度标准差

Fig. 2 Spatial distribution of mean temperature and its standard deviation (STD) (units: °C). (a) Annual mean temperature of ERA-40; (b) annual mean temperature of NCEP-2; (c) annual mean temperature of OBS; (d) Jan temperature of ERA-40; (e) Jan temperature of NCEP-2; (f) Jan temperature of OBS; (g) Jul temperature of ERA-40; (h) Jul temperature of NCEP-2; (i) Jul temperature of OBS; (j) the STD of annual mean temperature for ERA-40; (k) the STD of annual mean temperature for NCEP-2; (l) the STD of annual mean temperature for OBS

NCEP-2 偏高 2~4 °C (图 3d); 而 7 月平均温度的差异主要出现在中国西南大部分地区, ERA-40 比 NCEP-2 偏高约 0~2 °C, 个别地区偏高 4 °C,

只有新疆部分地区偏低 2 °C 左右 (图 3g)。在中国东部大部分地区 ERA-40 与观测值差异不是很明显, 无论是年平均温度, 还是 1 月和 7 月平均温

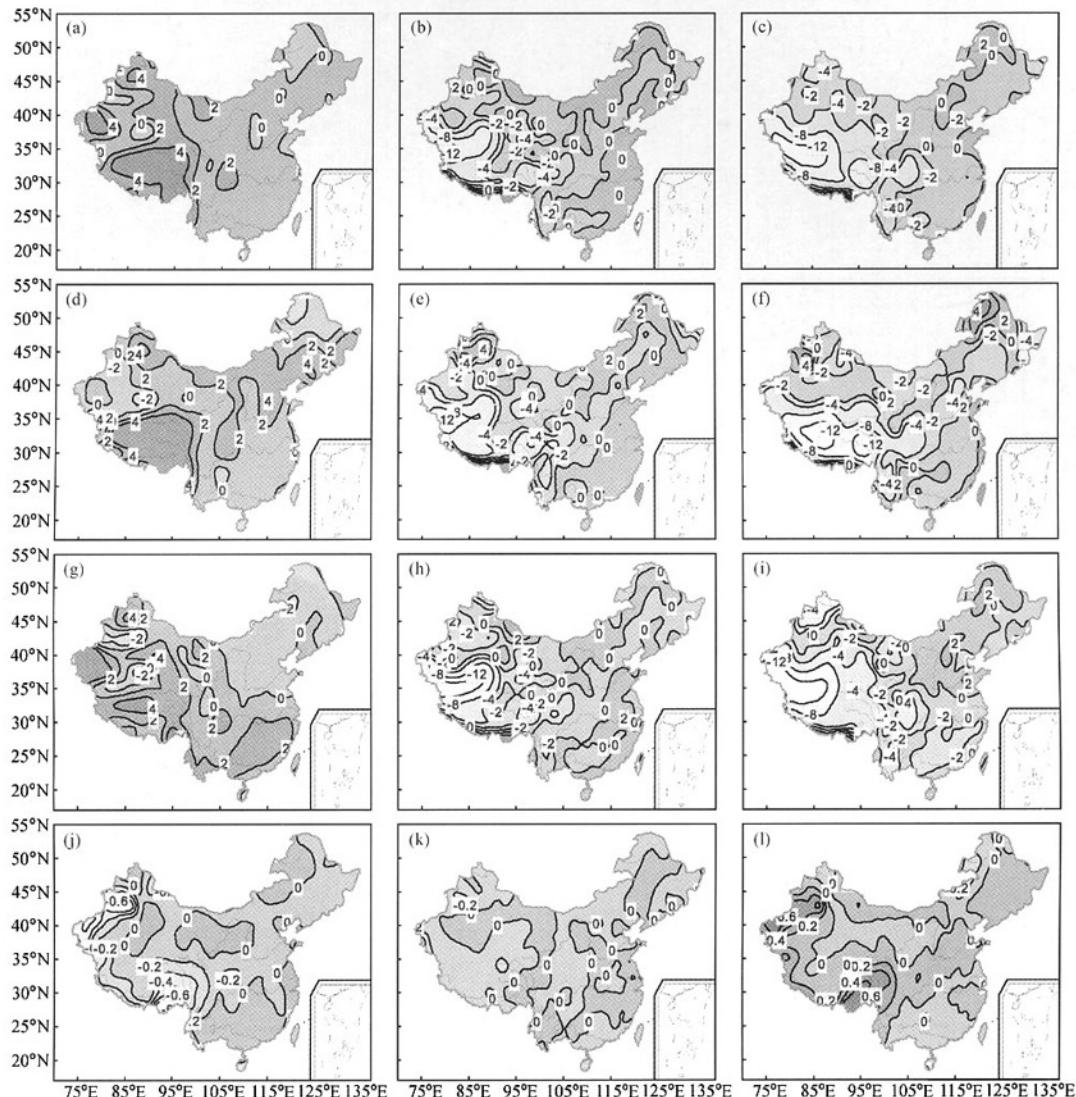


图 3 平均温度及其标准差的空间分布差异 (单位: °C)。(a) 年平均温度差值 (ERA-40-NCEP-2); (b) 年平均温度差值 (ERA-40-OBS); (c) 年平均温度差值 (NCEP-2-OBS); (d) 1月平均温度差值 (ERA-40-NCEP-2); (e) 1月平均温度差值 (ERA-40-OBS); (f) 1月平均温度差值 (NCEP-2-OBS); (g) 7月平均温度差值 (ERA-40-NCEP-2); (h) 7月平均温度差值 (ERA-40-OBS); (i) 7月平均温度差值 (NCEP-2-OBS); (j) 年平均温度标准差差值 (ERA-40-NCEP-2); (k) 年平均温度标准差差值 (ERA-40-OBS); (l) 年平均温度标准差差值 (NCEP-2-OBS)

Fig. 3 Spatial distribution differences of mean temperature and its standard deviation (STD) (units: °C). (a) The difference of annual mean temperature between ERA-40 and NCEP-2; (b) the difference of annual mean temperature between ERA-40 and OBS; (c) the difference of annual mean temperature between NCEP-2 and OBS; (d) the difference of Jan temperature between ERA-40 and NCEP-2; (e) the difference of Jan temperature between ERA-40 and OBS; (f) the difference of Jan temperature between NCEP-2 and OBS; (g) the difference of Jul temperature between ERA-40 and NCEP-2; (h) the difference of Jul temperature between ERA-40 and OBS; (i) the difference of Jul temperature between NCEP-2 and OBS; (j) the STD difference of annual mean temperature between ERA-40 and NCEP-2; (k) the STD difference of annual mean temperature between ERA-40 and OBS; (l) the STD difference of annual mean temperature between NCEP-2 and OBS

度都比观测值偏低不到 1 ℃ (1 月在东北部个别区偏高 2 ℃); 而在中国西部与观测值差异较明显, 在不同季节都比观测值偏低约 2~4 ℃, 在青藏高原西部地区则偏低约 2~12 ℃ (图 3b、e、h)。NCEP-2 温度场与观测值的差异在中国区域的分布与 ERA-40 大体相似, 但要比 ERA-40 要明显, 如在东北北部地区年平均和 7 月平均温度比观测值大约偏高 2 ℃、1 月大约偏高 4 ℃ (图 3c、f、i)。从它们的年平均温度标准差的空间分布差异也可以看到 ERA-40 与观测值的年际变率差异在全国大部分地区比较小, 不超过 0.2 ℃ (图 3k); 而 NCEP-2 与观测值的年际变率差异在新疆西部和青藏高原东部部分地区比较明显, 比观测值的大 0.2~0.4 ℃ (图 3l)。

3.2 温度场在台站的比较

从上面比较可以看到, 再分析资料能够较好的反映出中国区域地表温度场空间分布特征, 但如果在具体的台上来说, 还是与观测资料存在明显的差异。图 4 是月平均温度及其标准差内插到台站后再分析资料与台站观测资料差值在各台站间的变化曲线。可以看到, ERA-40 和 NCEP-2 与观测值之间的差异的在全国大部分台站基本上是一致的。同观测值相比, 在东部地区 (I 区和 II 区) 的差异小, 在西部地区 (III 区和 IV 区) 的差异大; ERA-40 与观测值之间的差异要小于 NCEP-2 与观测值之间的差异; 在东部地区, 1 月比 7 月的差异明显; 对于全国大部分台站, 尤其是西部台站来说, NCEP-2 要明显比观测值偏低。总的来看, ERA-40 与观测值的差异在东部地区大部分台站最大差异为 2 ℃左右, 在西部地区大部分台站最大差异可达 8 ℃; NCEP-2 与观测值的差异在东部地区大部分台站最大可达 6~8 ℃, 在西部地区大部分台站的最大差异可达 12 ℃ (图 4a-c)。从年平均温度标准差的差异来看, ERA-40 与观测值的差异在全国大部分台站的差异都在 0.2 ℃左右; NCEP-2 与观测值的差异在 4 个分区是不同的, 且在大部分台站都比观测值偏高, 在 I 区和 II 区也在 0.2 ℃左右而在 III 区和 IV 区的差异明显偏大, 最大差异达到了 0.8 ℃左右 (图 4d)。西部地区较大的差异可能主要是由于地形梯度过大过大的结果。

图 5 是月平均温度在区域平均状况下再分析

值与观测值差异的季节变化。从全国平均的状况来看, ERA-40 与观测值差异小, NCEP-2 与观测值差异大; 且两种差异的趋势随着季节的变化也是不同的, 在冬季的 1 月和 12 月 ERA-40 与观测值的差异最小, 比观测值偏低 0.5 ℃左右, 在春季的 4 月和 5 月差异最大, 比观测值偏低 0.8 ℃左右; 而 NCEP-2 与观测值的差异则有相反的趋势在秋季 11 月差异最大, 比观测值偏低 2.4 ℃左右, 在夏初 6 月份差异最小, 比观测值偏低 1.6 ℃左右 (图 5a)。对于 4 个分区区域平均来说, 在个分区的情形也是不一样的。在 I 区, ERA-40 与观测值相比, 冬季偏高 0.3 ℃左右, 春季偏低 0.1 ℃, 夏秋季差异不明显; NCEP-2 与观测值相比, 在冬季偏低 1.8 ℃左右, 在夏季则偏高 0.5 ℃左右 (图 5b)。在 II 区, ERA-40 在冬季和春初比观测值偏低 0.1 ℃左右, 在夏秋季偏低 0.3 ℃左右; NCEP-2 与观测值差异最小值出现在春季的 3 月, 比观测值偏低 0.5 ℃左右, 最大值出现在秋季的 10 月份, 约偏低 1.7 ℃ (图 5c)。在 III 区, ERA-40 在冬季比观测值偏低 1 ℃左右, 在夏季和秋季比观测值偏低约 2~3 ℃; NCEP-2 在冬季的 12 月和 1 月比观测值偏低 2 ℃左右, 在春末的 4 月与观测值的差异最大, 比观测值偏低 5.8 ℃左右, 到夏季 7、8 月与观测值的差异有所减小, 比观测值偏低 3.8 ℃左右, 到秋季的 10 月份与观测值的差异又有所增大, 比观测值偏低 5 ℃左右 (图 5d)。在 IV 区, ERA-40 在春季比观测值偏低 2.8 ℃左右, 在夏季 7、8 月和冬季的 12 月比观测值偏低 2 ℃左右; NCEP-2 在冬季比观测值偏低 6 ℃, 在夏季比观测值偏低 3.7 ℃左右 (图 5d)。可见在不同季节、不同的区域内, 不同的再分析资料与观测资料的差异趋势是不同的。尽管这种差异与各个区域观测台站的样本数有一定关系, 但还是具有一定的区域代表性。

图 6 是年平均温度距平在不同的区域平均情形下的时间序列及其线性趋势。可以看到, 在不同的区域平均情形下, ERA-40 和 NCEP-2 都能反映出与观测值相似的增温趋势, 都能反映出 1998 年的高温, 但是增温的幅度有所差异。相对而言, ERA-40 与观测值的温度距平的时间序列及其线性趋势差异很小, 具有很好的一致性; 而 NCEP-2 与观测值的温度距平差异在不同区域不

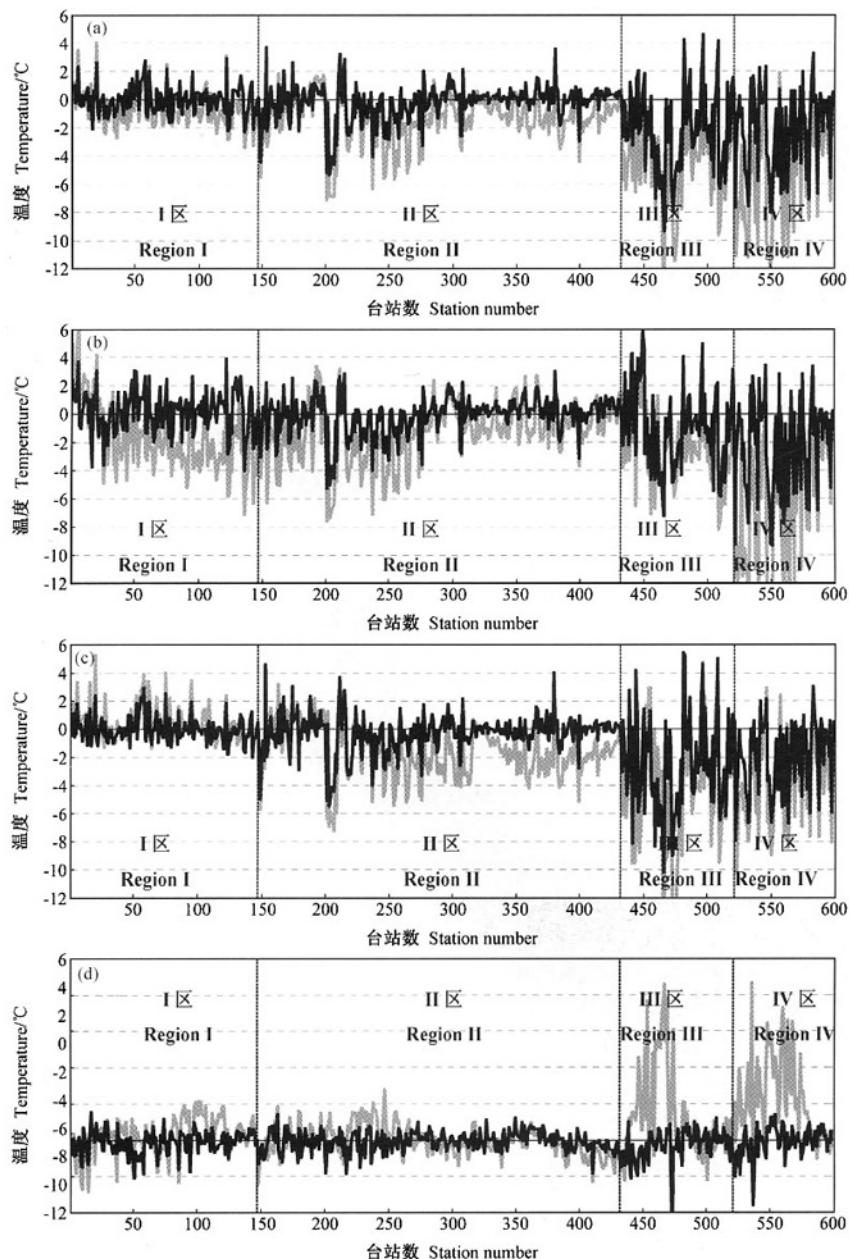


图 4 平均温度及其标准差的台站再分析值与观测的差异（黑实线为 ERA-40 与观测值（OBS）之差；灰实线为 NCEP-2 与观测值（OBS）差值，单位： $^{\circ}\text{C}$ ）。(a) 年平均温度差异；(b) 1月平均温度差异；(c) 7月平均温度差异；(d) 年平均温度标准差差异

Fig. 4 The differences of mean temperature and its standard deviation between the reanalysis and observations in observed stations (units: $^{\circ}\text{C}$)。The black solid line represents the difference between ERA-40 and OBS, and the gray solid line represents the difference between NCEP-2 and OBS. (a) Year; (b) Jan; (c) Jul; (d) annual mean STD

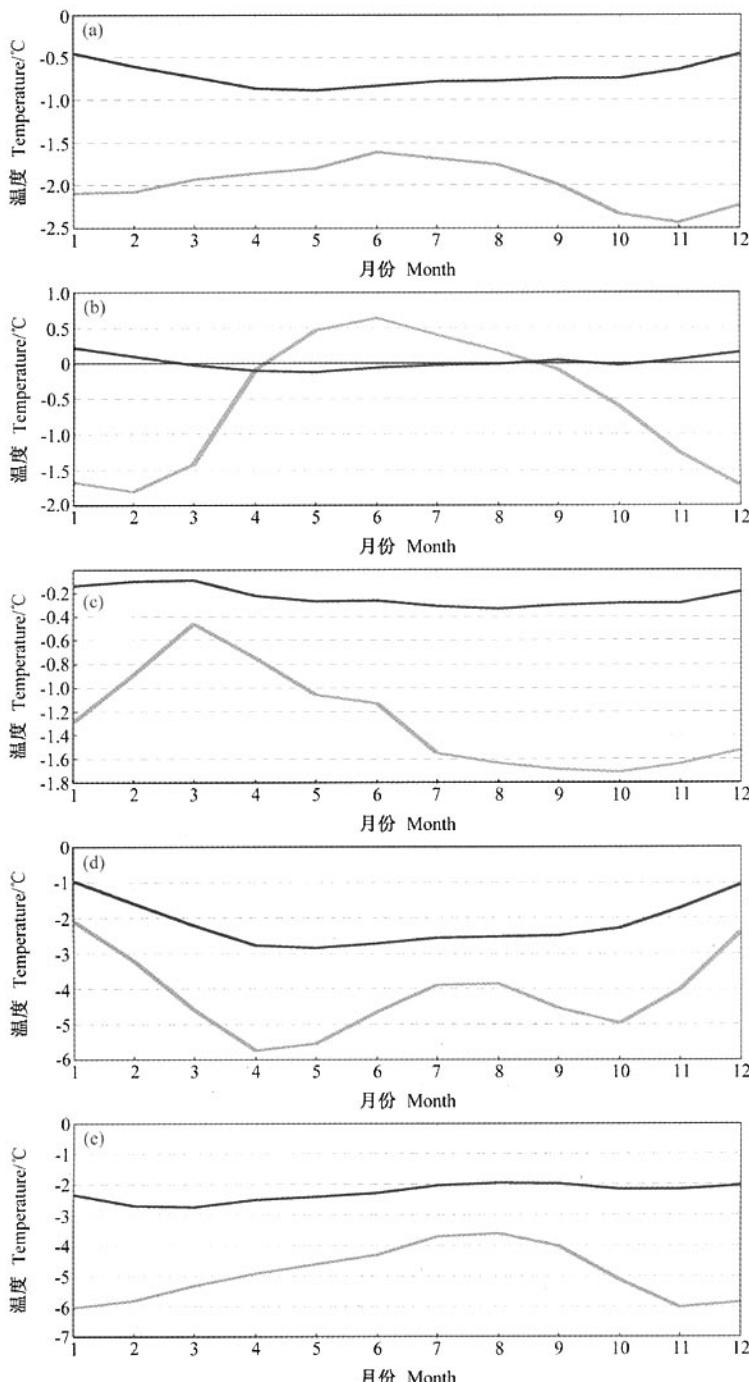


图 5 不同区域月平均温度的季节变化（粗黑实线为 ERA-40 与观测值（OBS）之差，灰实线为 NCEP-2 与观测值（OBS）之差）。
(a) 全国；(b) I 区；(c) II 区；(d) III 区；(e) IV 区

Fig. 5 The seasonal variation of monthly mean temperature in different region, the black solid line is the difference between the ERA-40 and OBS, and the gray solid line is the difference between the NCEP-2 and OBS. (a) all China; (b) region I; (c) region II; (d) region III; (e) region IV

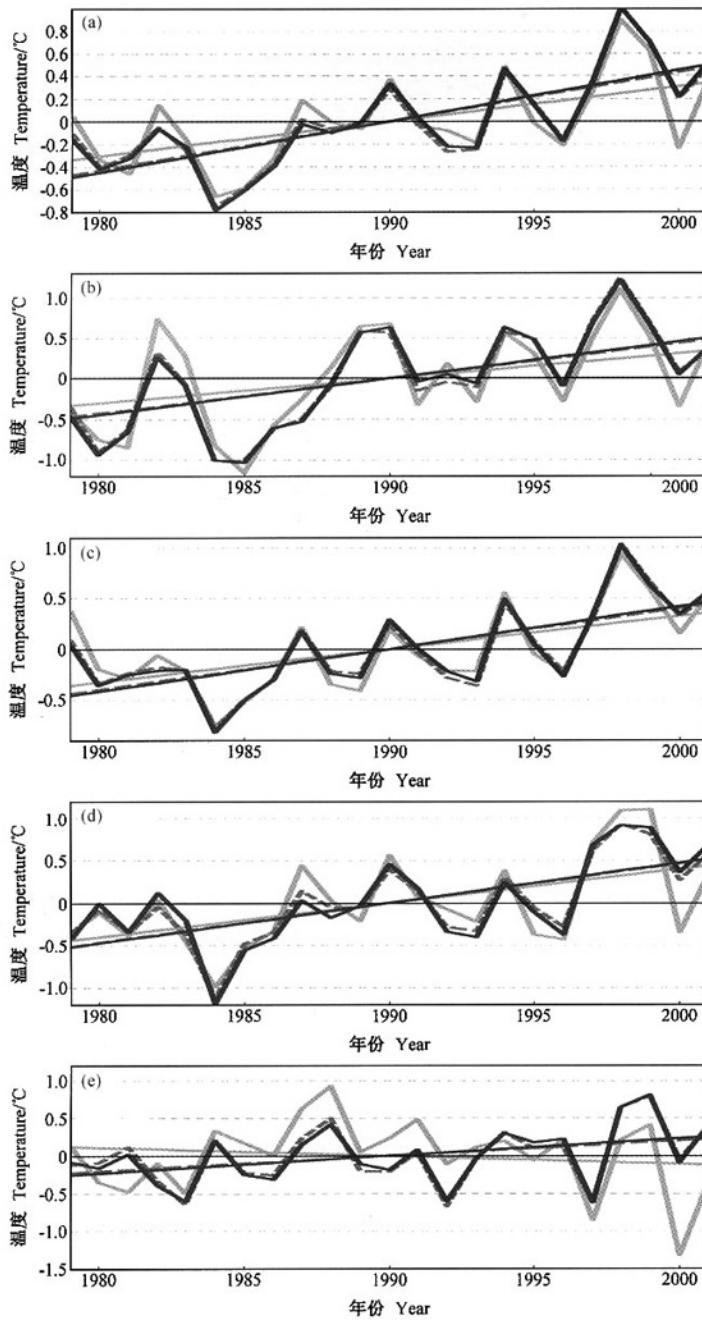


图 6 不同区域年平均温度距平的时间序列及其线形趋势 (黑实线表示观测值 (OBS), 灰虚线表示 ERA-40, 灰实线表示 NCEP-2, 单位:℃)。(a) 全国; (b) I区; (c) II区; (d) III区; (e) IV区

Fig. 6 Annual mean temperature anomaly and its linear trend in different region, the black solid line is OBS, and the gray solid line is NCEP-2, the dashed line is ERA-40 (units: °C). (a) all China; (b) region I; (c) region II; (d) region III; (e) region IV

表 2 平均温度均值和方差在不同区域的基本统计

Table 2 Mean temperature and its standard deviation (STD) for different region

		ERA-40	NCEP-2	OBS
I 区 Region I	年 Year	5.5	4.9	5.5
	1月 Jan	-14.3	-16.9	-14.5
	7月 Jul	22.4	22.8	22.4
	年平均标准差 The annual mean STD	0.686	0.726	0.700
II 区 Region II	年 year	15.7	14.7	16.0
	1月 Jan	4.4	3.2	4.5
	7月 Jul	26.0	24.7	26.3
	年平均标准差 The annual mean STD	0.487	0.488	0.493
III 区 Region III	年 Year	4.4	2.4	6.5
	1月 Jan	-11.5	-12.6	-10.5
	7月 Jul	18.4	17.0	20.9
	年平均标准差 The annual mean STD	0.620	0.778	0.649
IV 区 Region IV	年 Year	6.3	3.7	8.6
	1月 Jan	-2.7	-6.4	-0.4
	7月 Jul	14.0	12.3	16.0
	年平均标准差 The annual mean STD	0.458	0.690	0.463
全国 All China	年 Year	10.5	9.2	11.2
	1月 Jan	-3.6	-4.9	-2.8
	7月 Jul	22.5	21.6	23.2
	年平均标准差 The annual mean STD	0.549	0.613	0.561

同年份略有不同, 其所反映的线性增温趋势要比观测值小; 在 1990 年以前 NCEP-2 的增温比观测值明显, 而在 1990 年以后又比观测值偏弱。

表 2 是平均温度台站再分析值和观测值在不同区域均值和方差的基本统计。从 4 个分区的来看, 在 I 区和 II 区, 无论年平均还是 1 月和 7 月平均, 与观测值相比 ERA-40 都偏低不到 1 ℃, 尤其在 I 区基本与观测值非常接近, 而 NCEP-2 则偏低 1~2 ℃左右, 也是在 I 区的差异较小; 在差异较大的 III 区和 IV 区 ERA-40 比观测值偏低 2 ℃左右, NCEP-2 则偏低 2~6 ℃左右。从全国平均来看, 在不同的季节里, ERA-40 比观测值偏低约 0.7 ℃左右, 而 NCEP-2 则偏低约 2 ℃左右。从年平均温度标准差来看, ERA-40 在 4 个分区分别比观测值偏低 0.014、0.006、0.029 和 0.005 ℃, 在全国比观测值偏低 0.012 ℃; NCEP-2 在 I 区、III 区和 IV 分别比观测值偏高 0.026、0.129 和 0.227 ℃, 在 II 区偏低 0.005 ℃, 在全国偏高 0.052 ℃。从这种区域平均的统计结果来看, 在中国区域, 尤其中国东部区域 ERA-40 对于温度场的反映要明显优于 NCEP-2。当然由于每个区域内样本数的不同会对这种统计结果的准确性产生应响。

通过上述比较和分析可以看到, 两套再分析资料与观测资料的月平均温度场的差异在不同季节不同区域的表现各有不同。差异主要表现在地形复杂、观测台站稀疏中国西北部及其青藏高原地区。这可能主要由不同资料间的地形差异所造成的。ERA-40 与 NCEP-2 地表温度场差异的一个主要原因可能就是 ERA-40 同化了地表观测, 而 NCEP-2 没有同化温度、湿度和风等地表观测^[19], 这也是造成 NCEP-2 比观测值偏低的一个主要原因之一, 而预报模式对地形平滑处理所造成的也会造成同样的结果^[20]。此外, 模式误差和同化方法的分析误差等系统性误差, 以及比较过程中由插值方法和地形所引起的误差等也是造成再分析值与观测值差异的可能原因之一。总体而言, ERA-40 和 NCEP-2 基本上都能反映出中国区域地表温度场的空间分布特征, 但 ERA-40 较 NCEP-2 更为接近观测值。

4 降水的比较

4.1 降水的空间分布比较

图 7 是年平均、冬季和夏季月平均地表降水量的空间分布及其年平均降水量标准差的空间分

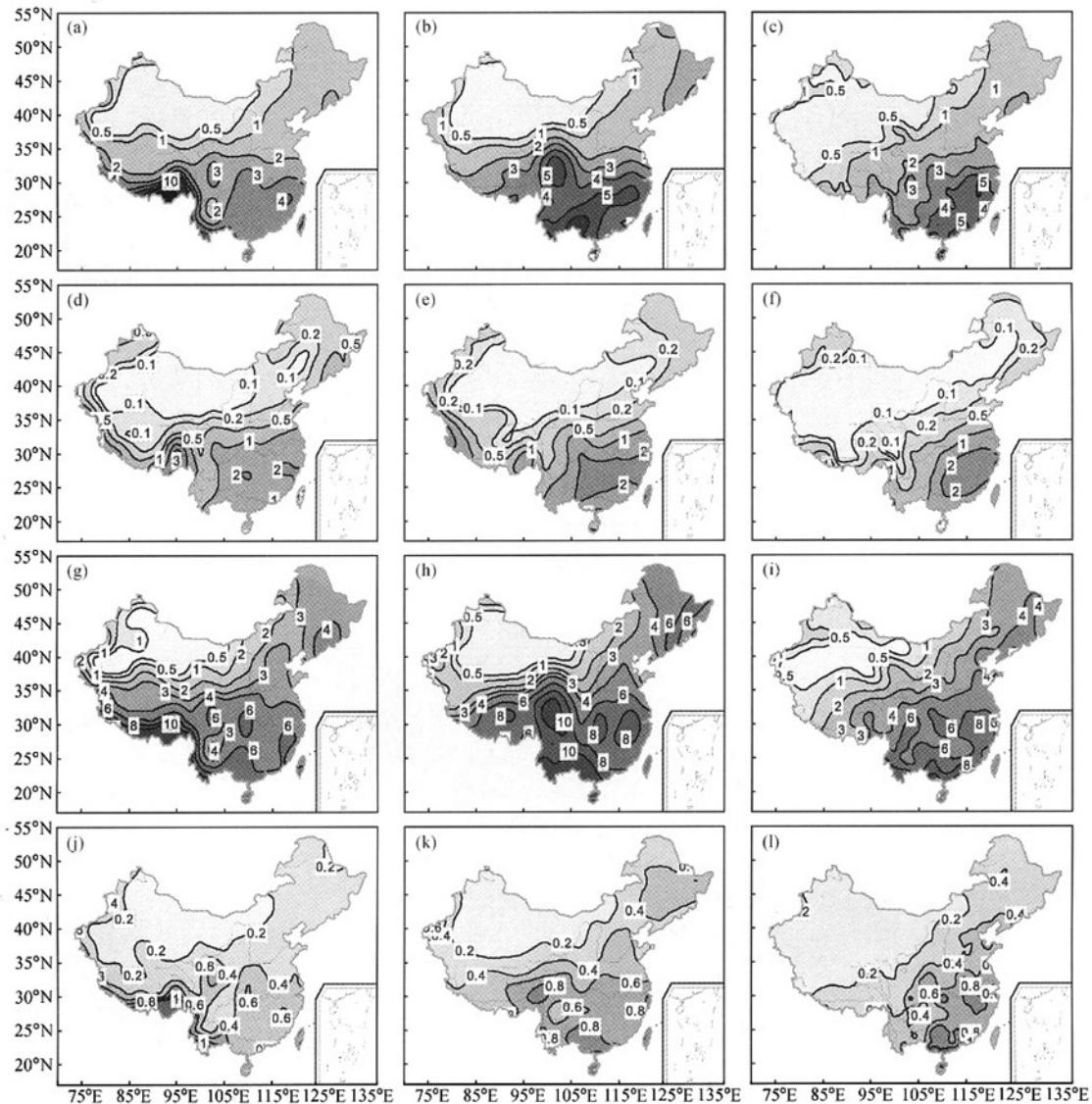


图7 平均降水量及其标准差的空间分布(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。(a) ERA年平均降水量;(b) NCEP-2年平均降水量;(c) OBS年平均降水量;(d) ERA冬季平均降水量;(e) NCEP-2冬季平均降水量;(f) OBS冬季平均降水量;(g) ERA夏季平均降水量;(h) NCEP-2夏季平均降水量;(i) OBS夏季平均降水量;(j) ERA年平均降水量标准差;(k) NCEP-2年平均降水量标准差;(l) OBS年平均降水量标准差

Fig. 7 Spatial distribution of precipitation rate and its standard deviation (units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$). (a) Annual mean precipitation rate of ERA-40; (b) annual mean precipitation rate of NCEP-2; (c) annual mean precipitation rate of OBS; (d) winter precipitation rate of ERA-40; (e) winter precipitation rate of NCEP-2; (f) winter precipitation rate of OBS; (g) summer precipitation rate of ERA-40; (h) summer precipitation rate of NCEP-2; (i) summer precipitation rate of OBS; (j) the STD of annual mean precipitation rate for ERA-40; (k) the STD annual mean precipitation rate for NCEP-2; (c) the STD of annual mean precipitation rate for OBS

布。同观测值相比,可以看到在不同的季节里,ERA-40和NCEP-2基本上都能大致反映出中国

区域各雨带的空间分布特征,而差异也主要出现在中国西部、青藏高原及其附近地区。相对温

度场的空间分布而言, 降水场的空间分布差异要大一些。

图 8 是上述空间分布的差异。对于中国大部分地区降水来说, NCEP-2 比观测值偏多, 而 ERA-40 比观测值偏少。与 NCEP-2 相比, ERA-40 年平均降水除在在高原西南区域比 NCEP-2 偏多 $4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右外, 在高原东部约偏少 $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在全国其他大部分地区都偏少 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8a); 冬季在高原东部以及西部大部分地区偏少 $2 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在其他大部分地区偏低 $0 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8d); 夏季的差异比较明显, 在高原东西部和华东、华南大部分地区都明显偏少 $2 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8g)。同观测值相比: ERA-40 年平均降水在高原西南部明显偏多 $1 \sim 8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在长江中下游一小区域约偏少 $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在其他地区差异不大 (图 8b); 冬季降水主要在高原西南部以及高原东部和华南部分地区偏多 $0.5 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8e); 夏季降水在高原西南部地区偏多 $2 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在华东和华南以及全国其他大部分地区都偏少 $0 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8h)。NCEP-2 年平均降水则是在高原东部和华南西南部明显偏多 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8c); 冬季降水在大部分地区都偏多 $4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, 在华东、华南和东北北部地区偏多 $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在华北和东北大部份地区偏多 $0.5 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在西北大部分地区偏多 $0 \sim 0.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 8f); 夏季降水在华东、华南大部分地区都偏多约 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在高原的东部和西南部地区偏多 $4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在东北东北部偏多约 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在西北大部分地区差异比较小 (图 8i)。对于年平均降水量的标准差的空间差异来说, ERA-40 与 NCEP-2 的差异主要出现在高原西南、华南以及长江中下游和东北部分地区 (图 8j); ERA-40 与观测资料的差异主要出现高原西南部以及高原东部和长江中下游部分地区 (图 8k), 而 NCEP-2 与观测值差异主要出现在高原东部大部分地区以及东北部分地区 (图 8l)。可见与观测资料相比, ERA-40 降水的最大偏差出现在高原西南部, 而 NCEP-2 降水的最大偏差出现在高原东部和西南地区。

4.2 降水场在台站的比较

图 3 是月平均降水量及其标准差的台站再分析值与观测值差值在各台站之间的变化曲线。从

不同区域来看, 在 I 区和 III 区再分析值与观测值的差异小, 而在 II 区和 IV 区的差异较大。从年平均降水量差异来看, ERA-40 在 I 区和 II 区大部分台站比观测值偏少 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 III 区约偏多 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 IV 区台站约偏多 $1 \sim 6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; NCEP-2 在 I 区比观测值偏多 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 II 区大部分台站约偏多 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 III 区约偏多 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 IV 区约偏多 $1 \sim 6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 9a)。从冬季月平均降水量来看, 两套再分析值与观测值的差异在全国大部分台站间的趋势基本一致, 约在 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间变化, 只是在 II 区部分台站 NCEP-2 与观测值的差异更为明显, 在 IV 区部分台站 ERA-40 比观测值偏多 $3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右 (图 9b); 从夏季月平均降水量来看, ERA-40 在 I 区比观测值偏少 $0 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 II 区大部分台站偏少 $2 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 III 区与观测值的最大差异在 $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, 在 IV 区与观测值的差异在 $6 \sim 10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; NCEP-2 在全国大部分台站都比观测值偏多, 在 I 区偏多 $0 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 II 区大部分台站偏多 $2 \sim 6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (最大可比观测值偏多 $8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右), 在 III 区的差异为 $0 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 IV 区偏多 $4 \sim 7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 9c)。总的来看, ERA-40 的降水在中国大部分地区略比观测值偏小, 而 NCEP-2 则比观测值偏多。从年平均降水量标准差的差异来看, 在 I 区 NCEP-2 比观测值偏大 $0.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, ERA-40 比观测值偏小 $0.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右; 在 II 区的大部分台站, NCEP-2 与观测值的差异约在 $0 \sim 0.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 而 ERA-40 则比观测值偏小 $0 \sim 0.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (个别台站偏低 $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右); 在 III 区 NCEP-2 和 ERA-40 都比观测值偏高 $0 \sim 0.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 IV 区差异比较大, NCEP-2 比观测值偏大 $0 \sim 0.6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 而 ERA-40 在个别台站比观测值偏大 $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右 (图 9d)。

图 10 是月平均降水量台站再分析值与观测值差值在全国以及 4 个分区在区域平均情形下的季节变化。可以看到, ERA-40 和 NCEP-2 与观测值的差异在全国平均、I 区、II 区和 III 区随季节呈现相反的变化趋势, 在 IV 区的趋势基本相同, 而且最大差异位相也不同。对于全国平均而言, ERA-40 与观测值最大差异出现在夏初的 6 月, 比

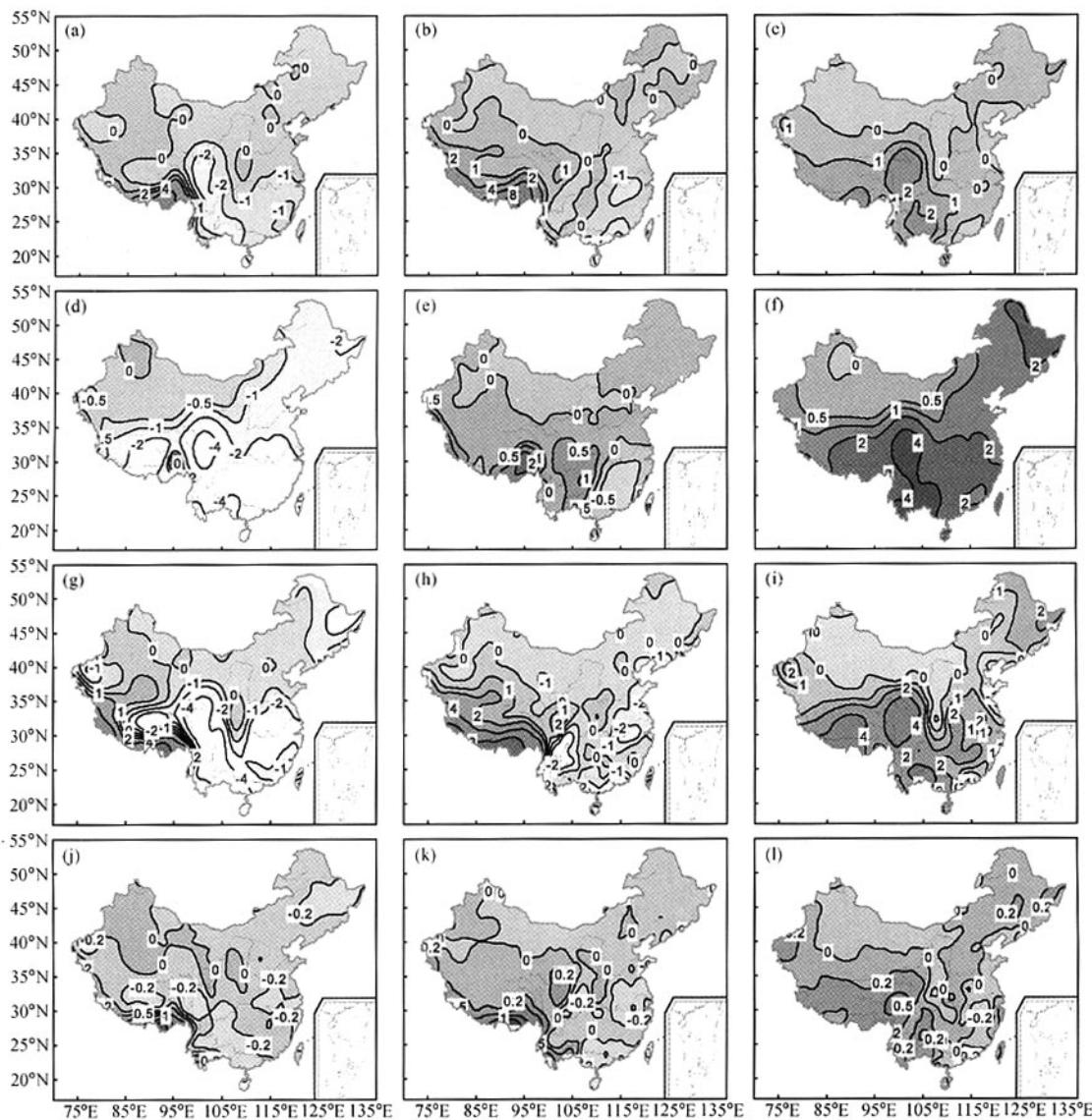


图8 平均降水量及其标准差的空间分布差异(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。(a) 年平均降水量差值 (ERA-40-NCEP-2); (b) 年平均降水量差值 (ERA-40-OBS); (c) 年平均降水量差值 (NCEP-2-OBS); (d) 冬季月平均降水量差值 (ERA-40-NCEP-2); (e) 冬季月平均降水量差值 (ERA-40-OBS); (f) 冬季月平均降水量差值 (NCEP-2-OBS); (g) 夏季月平均降水量差值 (ERA-40-NCEP-2); (h) 夏季月平均降水量差值 (ERA-40-OBS); (i) 夏季月平均降水量差值 (NCEP-2-OBS); (j) 年平均降水量标准差差值 (ERA-40-NCEP-2); (k) 年平均降水量标准差差值 (ERA-40-OBS); (l) 年平均降水量标准差差值 (NCEP-2-OBS)

Fig. 8 Spatial distribution differences of precipitation rate and its standard deviation (units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$). (a) Annual mean precipitation rate of ERA-40; (b) annual mean precipitation rate of NCEP-2; (c) annual mean precipitation rate of OBS; (d) winter precipitation rate of ERA-40; (e) winter precipitation rate of NCEP-2; (f) winter precipitation rate of OBS; (g) summer precipitation rate of ERA-40; (h) summer precipitation rate of NCEP-2; (i) summer precipitation rate of OBS; (j) the STD difference of annual mean precipitation rate between ERA-40 and NCEP-2; (k) the STD difference of annual mean precipitation rate between ERA-40 and OBS; (l) the STD difference of annual mean precipitation rate between NCEP-2 and OBS

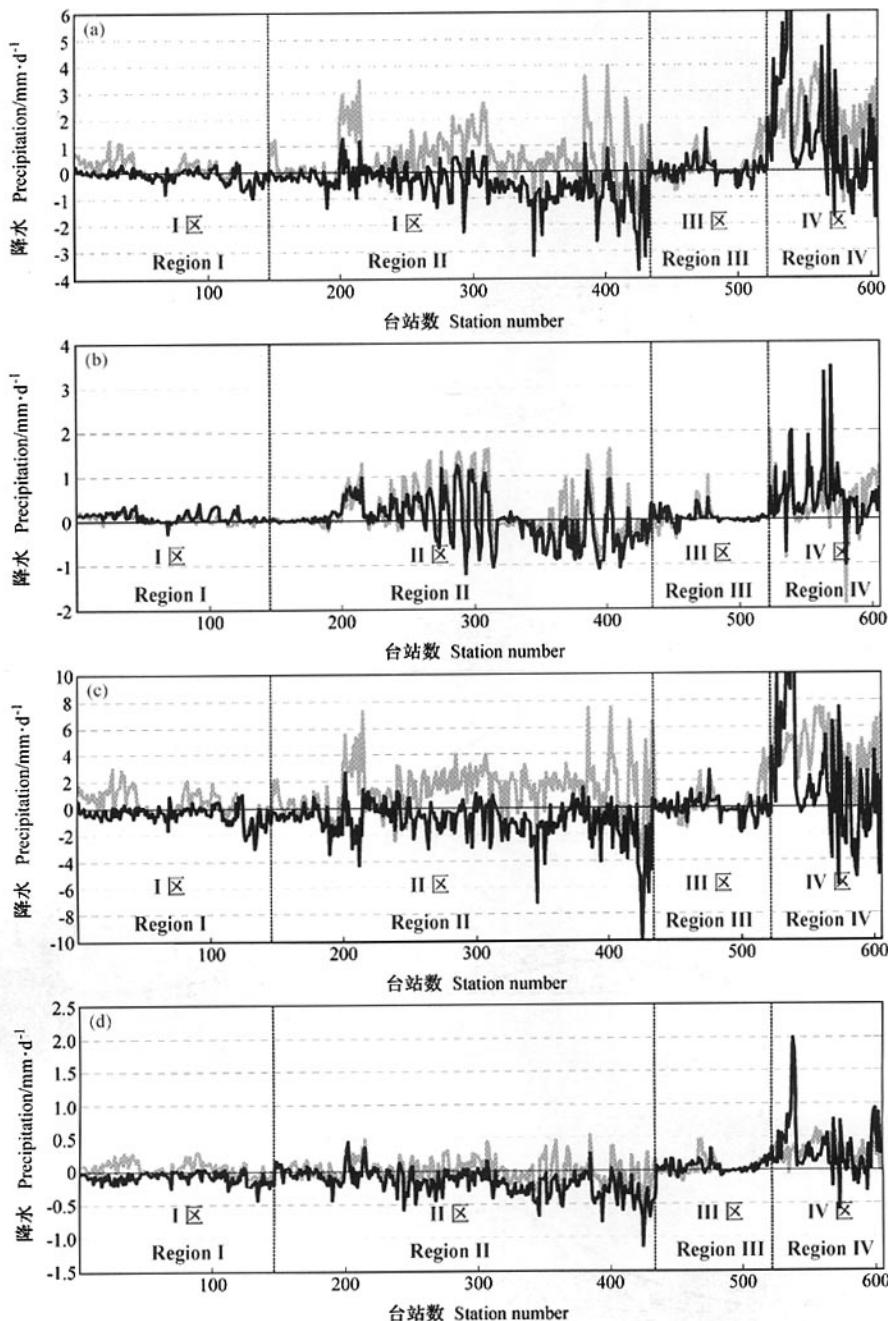


图 9 平均降水量及其标准差的台站差异变化（黑实线为 ERA 与观测值（OBS）之差；灰实线为 NCEP-2 与观测值（OBS）之差，单位： $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ）。(a) 年平均降水量差异；(b) 冬季月平均降水量差异；(c) 夏季月平均降水量差异；(d) 年平均降水量标准差差异

Fig. 9 The differences of mean precipitation rate and its standard deviation between the reanalysis and observations in observed stations (units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。The black solid line represents the difference between ERA-40 and OBS, and the gray solid line represents the difference between NCEP-2 and OBS. (a) Year; (b) Jan; (c) Jul; (d) annual mean STD

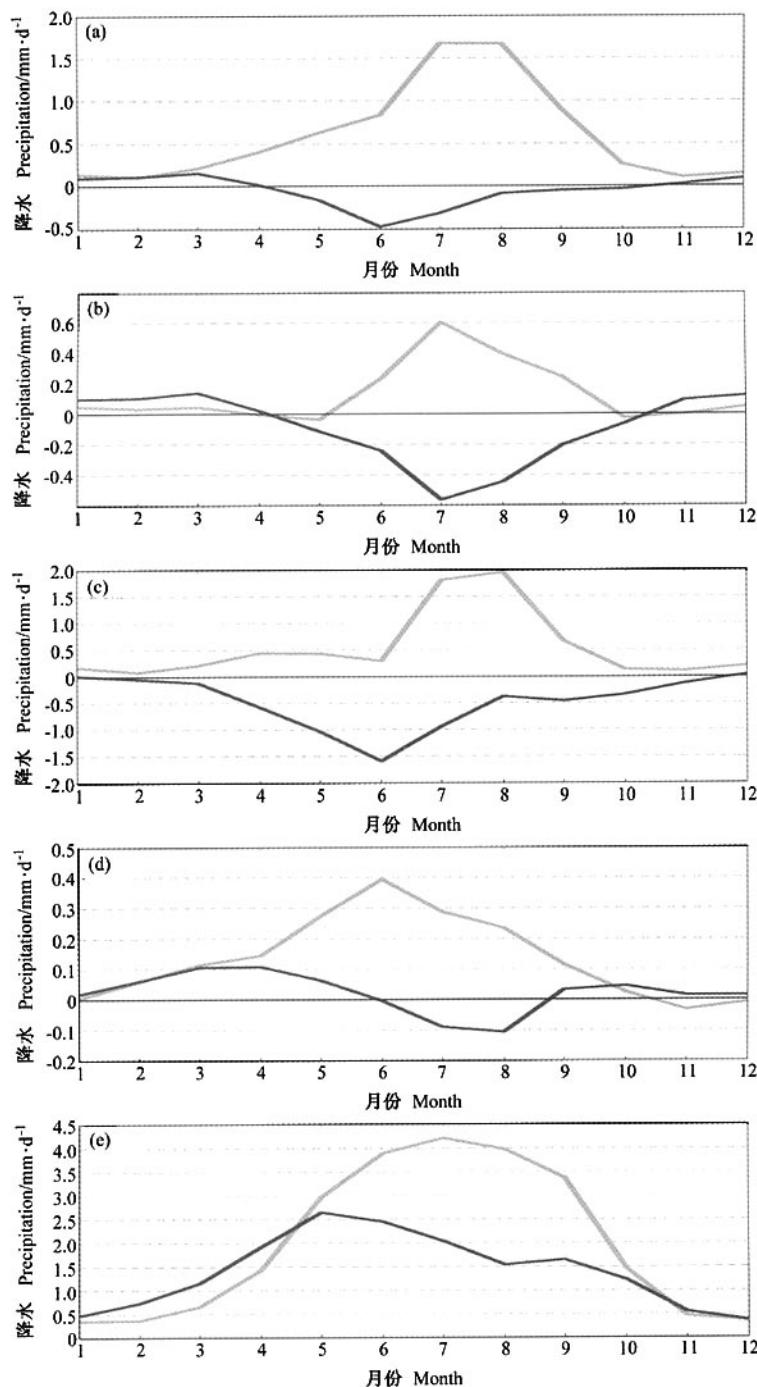


图 10 不同区域月平均降水量的季节变化 (粗黑实线为 ERA-40 与观测值 (OBS) 之差; 灰实线为 NCEP-2 与观测值 (OBS) 之差)。
 (a) 全国; (b) I区; (c) II区; (d) III区; (e) IV区

Fig. 10 The seasonal variation of monthly mean precipitation rate in different region, the black solid line is the difference between the ERA-40 and OBS, and the gray solid line is the difference between the NCEP-2 and OBS. (a) All China; (b) region I; (c) represents region II; (d) region III; (e) region IV

观测值偏低 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, 而 NCEP-2 与观测值地最大差异出现在夏季的 7、8 月, 比观测值偏高约 $1.7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右 (图 10a); 在 I 区 ERA-40 和 NCEP-2 与观测值最大差异基本上都出现在夏季的 7 月, ERA-40 比观测值偏低约 $0.6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, NCEP-2 比观测值偏高约 $0.6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 10b); 在 II 区 ERA-40 和 NCEP-2 与观测值差异随季节变化的趋势与全国平均基本一致, 只是较为明显, 其中 ERA-40 比观测值偏低 $1.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, NCEP-2 比观测值偏高约 $1.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右 (图 10c); 在 III 区 ERA-40 与观测值最大差异出现在夏季的 7、8 月, 比观测值偏低约 $0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, NCEP-2 与观测值的最大差异则出现在夏初的 6 月, 比观测值偏高约 $0.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 10d); 在 IV 区 ERA-40 与观测值的最大差异出现在 5 月初, 比观测值偏高约 $2.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右, NCEP-2 与观测值的最大差异出现在夏季 7 月, 比观测值偏高约 $4.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右 (图 10e)。

图 11 是年总降水距平在不同的区域平均情形下的时间序列及其线性趋势在。可以看到, 在不同的区域平均情形下, ERA-40 和 NCEP-2 所反映的降水年际变及其线性趋势与观测值都有明显的

差异。同时也可以看到, 观测资料和再分析资料基本上都能反映出中国区域降水准两年振荡信号, 尤其在中国东部区域。从全国平均来看, 再分析资料和观测资料的降水年际变化都有增加的趋势, 但增加的幅度有所不同, ERA-40 比观测值偏弱; NCEP-2 则明显比观测值偏强。ERA-40、NCEP-2 和观测的降水除在 I 区是减少的趋势, 在其他三区都是增加的趋势。从年际变化来看, 在 I 区和 II 区 ERA-40 比 NCEP-2 更为接近观测值; 从线性趋势来看, 除 III 区外, ERA-40 在其他三区都要明显比 NCEP-2 更为接近观测值。而在 III 区, ERA-40 降水趋势明显增加的主要原因主要是 1998 年以后降水明显偏多所造成的。

表 3 是平均降水量台站再分析值和观测值均值及其方差在不同区域的基本统计。从表中可以看到, ERA-40 与观测值相比在 I 区冬季月平均降水偏多 $0.11 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 夏季月平均和年平均降水分别偏少 0.42 和 $0.09 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 年平均降水量标准差偏小 $0.083 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 II 区年平均、冬季和夏季月平均降水分别偏少 0.47 、 0.01 和 $1.24 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 标准差也偏小 $0.17 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 III 区年平均、冬季和夏季月平均降水量分别偏多 0.02 、 0.03 和 $0.07 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 其标准差偏大

表 3 平均降水量均值及其方差在不同区域的基本统计

Table 3 Mean precipitation rate and its standard deviation (STD) for different region

 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$

		ERA-40	NCEP-2	OBS
I 区 Region I	年 Year	1.23	1.45	1.32
	冬季 Winter	0.25	0.18	0.14
	夏季 Summer	3.08	3.91	3.50
	年平均标准差 The annual mean STD	0.237	0.368	0.320
II 区 Region II	年 Year	2.70	3.71	3.17
	冬季 Winter	1.17	1.32	1.18
	夏季 Summer	4.74	7.05	5.71
	年平均标准差 The annual mean STD	0.442	0.623	0.612
III 区 Region III	年 Year	0.47	0.59	0.45
	冬季 Winter	0.14	0.13	0.11
	夏季 Summer	0.90	1.28	0.97
	年平均标准差 The annual mean STD	0.164	0.159	0.155
IV 区 Region IV	年 Year	3.50	4.07	2.12
	冬季 Winter	0.84	0.67	0.32
	夏季 Summer	6.74	8.76	4.74
	年平均标准差 The annual mean STD	0.639	0.631	0.337
全国 All China	年 Year	2.16	2.80	2.21
	冬季 Winter	0.75	0.79	0.66
	夏季 Summer	4.09	5.77	4.38
	年平均标准差 The annual mean STD	0.381	0.502	0.437

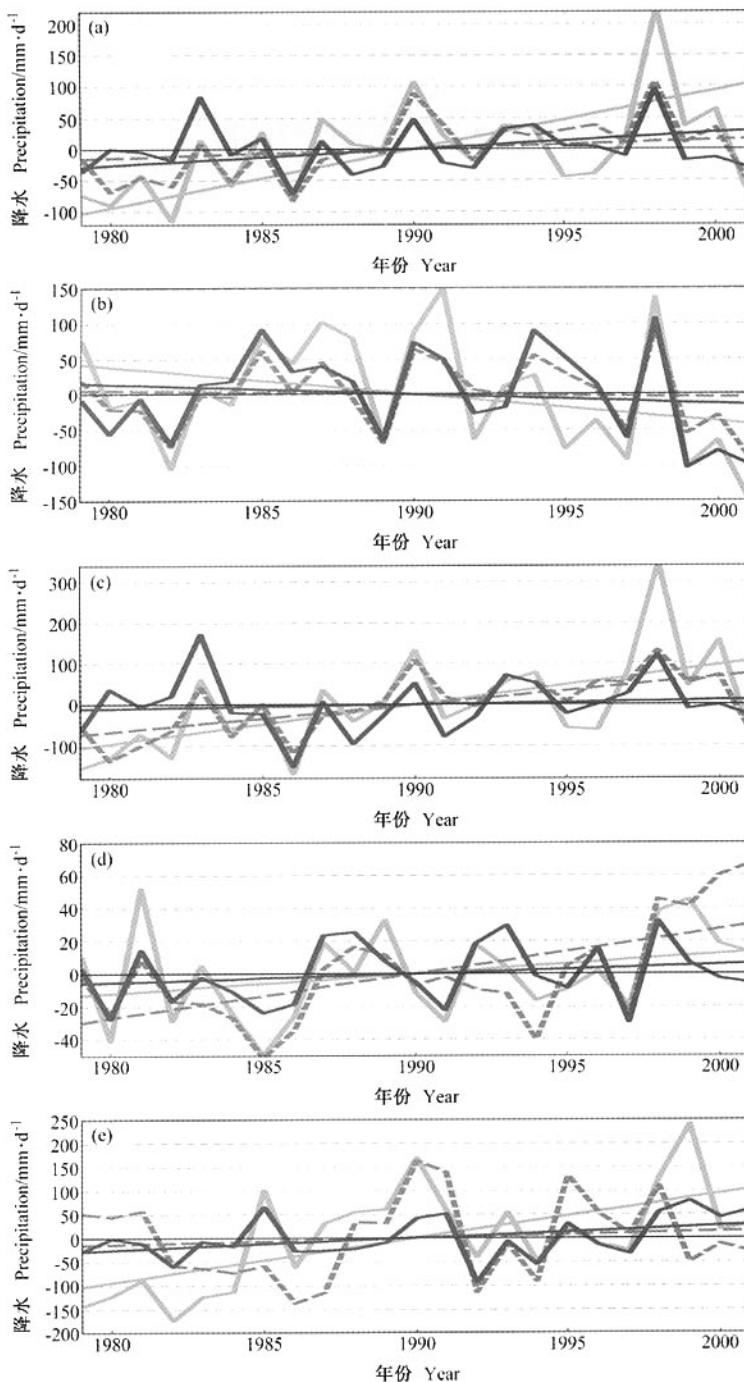


图 11 年总降水距平时间序列及其线形趋势 (黑实线表示观测值 (OBS), 灰虚线表示 ERA-40, 灰实线表示 NCEP-2, 单位: mm)。
(a) 全国; (b) I区; (c) II区; (d) III区; (e) IV区

Fig. 11 Annual total precipitation anomaly and its linear trend in different region, the black solid line is OBS, the gray solid line is NCEP-2, and the dashed line is ERA-40 (units: mm). (a) All China; (b) region I; (c) region II; (d) region III; (e) region IV

0.009 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 IV 区年平均、冬季和夏季月平均降水量分别偏多 1.38、0.52 和 2.0 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 其标准差偏大 0.302 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。而 NCEP-2 在 4 个区域内的区域平均降水量的年平均, 冬、夏季月平均值均比观测值偏多, 年平均降水量标准差也较观测值偏大; 在 I 区年平均、冬季和夏季月平均降水量分别偏多 0.13、0.04 和 0.41 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 标准差偏大 0.048 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 II 区年平均、冬季和夏季月平均降水量分别偏多 0.54、0.14 和 1.34 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 标准差偏大 0.011 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 III 区年平均、冬季和夏季月平均降水量分别偏多 0.14、0.02 和 0.31 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 标准差偏大 0.004 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在 IV 区年平均、冬季和夏季月平均降水量及分别偏多 1.95、0.35 和 4.02 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 其标准差偏大 0.294 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。从全国平均来看, ERA-40 年平均和夏季月平均降水量比观测值分别偏低 0.05 和 0.29 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 冬季偏高 0.11 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 其年平均降水量标准差也偏小 0.092; 而 NCEP-2 年平均以及冬季和夏季月平均降水量都比观测值分别偏多 0.59、0.13 和 1.39 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 年平均降水量标准差也偏大 0.065 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

由此可见, 同观测值相比, NCEP-2 的降水偏多, 而 ERA-40 的降水略偏少; 但 ERA-40 在量级更为接近观测值。从年平均降水量标准差来看, NCEP-2 要略好于 ERA-40; 这可能是由于 NCEP-2 同化了 CMAP 降水资料的结果^[18]。相对于温度而言, 再分析资料的降水作为 C 类产品, 其可信度要低一些。降水场的差异也主要出现在地形复杂、观测台站稀疏中国西北部和青藏高原地区以及西南地区。产生这种差异的原因可能主要是由预报模式系统、同化方法等系统性误差引起得, 但是地形、观测台站的疏密以及插值方法等也能够引起一定误差。

5 结论与讨论

通过上述初步的比较和分析, 可以得到如下一些结论:

(1) 对于温度场而言, ERA-40 和 NCEP-2 与观测值的空间分布基本一致, 都能较好的反映出地表 (2 m) 温度场在中国区域的空间分布。就全国平均而言, 再分值普遍较观测值偏低, ERA-40

较 NCEP-2 更为接近观测值。从不同区域来看, 再分析资料与观测资料的差异在东部地区小而西部地区大。与观测值相比: 在东大部分地区, ERA-40 比观测值平均偏低不到 0.5 ℃, NCEP-2 平均比观测值平均偏低 1 ℃左右; 在西部地区, ERA-40 比观测值平均偏低 2 ℃左右, NCEP-2 平均比观测值平均偏低 4 ℃左右。再分析资料与观测资料的最大差异都出现在青藏高原地区, 最大差异可达 12 ℃左右。从年平均温度的变率来看, 在中国东部大部分地区再分析值与观测值的差异基本都在 0.2 ℃左右, 但 NCEP-2 比 ERA-40 更明显; 在中国西部地区 ERA-40 与观测值的差异基本也在 0.2 ℃左右, 但 NCEP-2 与观测值差异非常大, 在 0.2~0.8 ℃之间变化。从温度场的年际变化来看, 再分析资料基本上都能反映出增温的趋势, 但是 ERA-40 与观测值的线性增温趋势非常接近。

(2) 对于降水场来说, 两套再分析资料也基本上都能抓住中国各区域雨带位置, 反映出中国区域降水场的空间分布特征。与温度场不同的是, ERA-40 在中国东部大部分地区的降水比观测值偏少, 在西部地区偏多; 而 NCEP-2 则在中国大部分地区的降水都偏多。与观测值相比: ERA-40 在东部大部分地区夏季降水偏少 0.5~1.0 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 冬季约偏多 0~0.1 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 在西北部地区, 夏季降水偏少 0.1 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 冬季降水偏多 0.1 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。NCEP-2 在全年的降水基本上比观测值都偏多, 且有明显的季节变化; 在冬季的降水基本与 ERA-40 相差无几, 但在夏季降水明显偏多; 在东部大部分地区夏季降水约 0.5~2 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。ERA-40 最大降水出现在青藏高原西南部, 而 NCEP-2 的最大降水出现在青藏高原东部和西南部分地区。就降水的年际变化而言, ERA-40 在中国大部分地区要好于 NCEP-2; 但是从年变率来看, NCEP-2 要优于 ERA-40。

(3) 在中国西部地区, 尤其是青藏高原地区, 再分析资料与观测资料差异过大可能主要是地形影响的结果。本文对再分析资料和观测资料进行比较时, 忽略了空间内插时地形的影响。事实上地形对于地表温度和降水等有很大的影响。这也是造成西部和青藏高原地区再分析资料可信度较低的其中原因之一。除此之外, 不同区域内观测

台站的稀疏程度和不同的插值方法同样也会影响对再分析资料可信度的检验和评估。

(4) 再分析资料与观测资料之间的差异在一定程度上是一种系统性偏差。再分析资料的系统性误差主要是由观测资料的不确定性(观测系统的变更、观测位置的变迁和观测仪器的更换等)、数值预报模式误差和同化方法误差等系统性误差共同作用的结果。

本文较为系统地对 ERA-40 和 NCEP-2 的地表温度场及其降水场的可信度进行了一些初步的检验和分析。从不同变量来看, 再分析资料温度场比降水场的可信度高; 从不同区域来看, 东部地区比西部地区可信度高; 从与观测值相对差异上来看, ERA-40 比 NCEP-2 更为接近观测值, 可信度更高。

参考文献

- [1] Boyle J S. Comparison of Variability of the Monthly Mean Temperature of the ECMWF and NCEP Reanalyses and CCM3 and CSM Simulation. Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, March 2000
- [2] Hnilo J J, Santer B D, Boyle J, Taylor K E, Doutriaux C. Research Activities at the Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison. Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison. The Second International Conference on Reanalysis Reading, August 1999
- [3] Lambert S J, Mitchell H L. The Canadian Meteorological Centre (CMC) global analyses (1991—1996): an evaluation by comparison with the ECMWF and NCEP analysis. *Atmos.-Ocean*, 1999, **36** (4): 385~404
- [4] 赵宗慈. 当前气候变化研究的热点. 气候变化通讯, 2003, **4**: 14~15
- Zhao Zongci. Resent research focus on climate change. *Climate Change Newsletter*, 2003, **4**: 14~15
- [5] Bengtsson E, Stefan H, Kevin I H. Can climate trends be calculated from reanalysis data. *J. Geophys. Res.*, 2004, **109** (D11): doi:10.1029/2004JD004536
- [6] Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2001, **82**: 247~268
- [7] Josey S A. Comparison of ECMWF, NCEP/NCAR and SOC Surface Heat Fluxes with Moored Buoy Measurements In The Subduction Region of North-East Atlantic. *J. Climate*, 2001, **14** (8): 1780~1789
- [8] Simmons A J, Jones P D, Beljaars A C M, et al. Comparison of trends and variability in CRU, ERA-40 and NCEP/ NCAR analysis of monthly-mean surface air temperature. *J. Geophys. Res.*, 2004, **109** (D24): doi: 10.1029/2004JD005306
- [9] Newman M, Sardeshmukh P D, Bergman J W. An assessment of the NCEP, NASA, and ECMWF reanalysis over the tropical west Pacific warm pool. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, **81** (1): 41~48
- [10] Annamalai H, Slingo J M, Sperber K R, Hodges K. The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: comparison of ECMWF and NCEP-NCAR reanalyses. *Mon. Wea. Rev.*, 1999, **127** (6): 1157~1186
- [11] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [12] Gibson J K, Kallberg P, Uppala S, Noumura A, Hernandez H, and Serrano E, 1997: ERA Description. ECMWF Re-Analysis Project Report Series, NO.1, ECMWF, Reading, UK, 77pp
- [13] 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. NCEP 再分析料和中国站点观测资料的分析比较. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 278~294
- Zhao Tianbao, Ailikun, Feng Jinming, An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 278~294
- [14] 苏志侠, 吕世华, 罗思维. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析. 高原气象, 1999, **18** (2): 209~218
- Su zhixia, Lü Shihua, Luo Siwei. The examinations and analysis of NCEP/NCAR 40 years global reanalysis data in China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (2): 209~218
- [15] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 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. 应用气象学报, 2001, **12** (3): 337~347
- Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci, Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2001, **12** (3): 337~347
- [16] Uppala S, Källberg P, Angeles H, et al. ERA-40: ECMWF 45-year reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957–2002. *ECMWF Newsletter Meteorology*, 2004, No. **101**, 2~21
- [17] Simmons A J, Gibson J K. ERA-40 Project plan. 2000, ERA-20 Project Rep. 1, ECMWF, 62 pp
- [18] Kanamitsu M, Wesley E, Woolen J, et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2002, **83**: 1631~1643
- Kalnay E, Cai M. Impact of urbanisation and land-use change on climate. *Nature*, 2003, **423**: 528~531
- [19] Bromwich D H, Fogt R L. Strong trends in skill of the ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses in the high and middle latitudes of the southern hemisphere, 1958—2001. *J. Climate*, 2004, **17**: 4603~4619.
- [20]