

周顺武, 张人禾. 2009. 青藏高原地区上空 NCEP/NCAR 再分析温度和位势高度资料与观测资料的比较分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (2): 284-292. Zhou Shunwu, Zhang Renhe. 2009. Comparison of NCEP/NCAR reanalysis data and radiosonde data about temperature and geopotential height of upper air over the Tibetan Plateau [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (2): 284-292.

青藏高原地区上空 NCEP/NCAR 再分析温度和位势高度资料与观测资料的比较分析

周顺武¹ 张人禾²

1 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

摘要 利用青藏高原 12 个探空站资料及 NCEP/NCAR 再分析资料, 对各标准等压面上的月平均温度和位势高度资料进行了比较, 结果表明: NCEP/NCAR 再分析资料能够客观地反映青藏高原上空温度和位势高度多年平均的气候特征; 与实际探空资料相比, 在年际变化中再分析资料的温度和位势高度也具有较高的可信度; 但在长期趋势变化上, 再分析资料在青藏高原对流层低层存在着明显虚弱的变化趋势。总之, 再分析温度和位势高度资料在青藏高原气候研究中有较高的参考价值, 尤其是 1979 年后再分析资料的质量在平流层低层得到明显的改善。

关键词 青藏高原 NCEP/NCAR 再分析资料 探空资料 可靠性

文章编号 1006-9585 (2009) 03-0284-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Comparison of NCEP/NCAR Reanalysis Data and Radiosonde Data about Temperature and Geopotential Height of Upper Air over the Tibetan Plateau

ZHOU Shunwu¹ and ZHANG Renhe²

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 State Key Laboratory for Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract The 32-year mean (1971-2002) NCEP/NCAR reanalysis monthly data are investigated by comparing with temperature and geopotential height data obtained from radiosonde reports of 12 stations over the Tibetan Plateau. The main conclusions are as follows: 1) Monthly temperature and geopotential height of the reanalysis data are almost consistent with the observation data in climatology, the reanalysis data can objectively represent the climatic characteristics of the Tibetan Plateau. 2) There are strong positive correlations between reanalysis data and observation data over the Plateau, the interannual variations of temperature and geopotential height from the NCEP/NCAR data are closer to the observation data. 3) There exists a declining trend of temperature and geopotential height at upper troposphere and stratosphere analyzed by NCEP/NCAR reanalysis data. The reanalysis data have been

收稿日期 2008-01-12 收到, 2009-04-01 收到修定稿

资助项目 中国气象局成都高原气象研究所开放实验室基金 LPM2008007 和国家自然科学基金项目 40675058

作者简介 周顺武, 男, 1968 年出生, 博士, 主要从事气候变化研究。E-mail: zhou@nuist.edu.cn

showed somehow comparable with the observation data since 1979, but the geopotential height and temperatures at lower troposphere from NCEP/NCAR reanalysis do not agree well with the observations by reason that there exist some uncertainties in studying the interdecadal trend in the reanalyzed data. From the above results, it is suggested that the monthly mean temperature and geopotential height estimated from NCEP/NCAR can be applied into climatic research of the Tibet. The reanalyzed data is better after 1979 than that before, especially in stratosphere.

Key words Tibetan Plateau, NCEP/NCAR reanalysis data, radiosonde data, reliability

1 引言

NCEP/NCAR 再分析资料是由美国国家环境预报中心 (NCEP) 和美国国家大气研究中心 (NCAR) 自 1991 年起联合进行的大气资料再分析研究的项目成果 (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001)。由于再分析资料内容丰富, 时间序列长, 并汇总了广泛的观测资料, 自 1996 年公开发行人以来, 该资料已在全球大气科学研究中作为一种重要的诊断资料得到广泛应用。对于 NCEP/NCAR 再分析资料的可信度和质量问题, 许多研究用不同方法、对不同地区、从不同角度对各种要素进行了分析和比较 (Basist, 1997; Zhang et al., 1997; Annamalai et al., 1999; 苏志侠等, 1999a, 1999b; Pocard et al., 2000; Josey, 2001; Kistler et al., 2001; Reid et al., 2001; Wu et al., 2003; Inoue et al., 2004; 黄刚, 2006; 赵天保等, 2004, 2006)。

青藏高原的热力和动力作用对东亚乃至全球的大气环流都有很大的影响 (叶笃正等, 1957; 黄荣辉, 1985; 吴国雄, 2004), 叶笃正等 (1958) 指出了青藏高原对东亚地区冬、夏大气环流季节突变的影响, 汤懋苍等 (1988) 和冯松等 (1998) 进一步指出青藏高原是我国东部地区不同时间尺度气候变化的启动区。由于青藏高原地区地势复杂、气候特殊, 加之青藏高原上常规气象观测台站稀少且分布不均, 其观测记录时间短, 研究青藏高原气候变化面临资料不足的困难。再分析资料作为连续性好、时间序列长的格点资料, 为弥补青藏高原实际观测资料的不足提供了可能。

我国气象工作者对再分析资料在青藏高原地区的验证做了大量工作 (苏志侠等, 1999a, 1999b; 张琼等, 1999; 宋敏红等, 2000; 徐影等, 2001; 段安民, 2003; 魏丽等, 2003a, 2003b; 李

川等, 2004), 苏志侠等 (1999b) 对青藏及其附近地区再分析资料进行检验后发现, 温、压、风、湿和降水等再分析资料与气候分析基本相似。张琼等 (1999) 利用 17 年平均的再分析辐射资料估算了全球月平均地表反照率, 并与 1979 年青藏高原气象科学试验观测资料验证后发现, 再分析资料得到的月平均地表反照率值比 1979 年青藏高原试验观测资料偏大 5%, 但较其他资料更接近观测值。徐影等 (2001) 对近 50 年再分析资料在中国气候变化研究中可信度进行分析后指出, 由于再分析资料覆盖时段观测系统的改变和一些不能排除的不确定偏差对再分析资料造成一定的影响, 所以在气候变化长期趋势变化研究中, 再分析资料存在着较大的不确定性, 但 1979 年以后由于同化方案的改进和卫星资料的加入, 再分析资料的可信度得到提高。魏丽等 (2003a) 通过对铁路沿线 8 个常规站的温度和降水观测资料与再分析资料进行了统计分析, 发现再分析资料的气温值系统性低于实际观测值, 降水量则系统性偏大。段安民 (2003) 对 1998 年 6~10 月的 NCEP/NCAR 与 GAME-IOP 资料在青藏高原区域面积平均后, 比较了两份资料在不同高度上的温度、位势高度和湿度等, 发现它们的变化趋势和数值大小非常接近, 两套资料都能够反映青藏高原及临近地区大气环流和其他要素的基本特征。

以上研究表明, 尽管再分析资料在青藏高原地区存在系统性偏差, 其在青藏高原气候变化中仍然具有一定的可信度。目前再分析资料的检验主要侧重于对地面观测资料的分析与验证, 而对青藏高原上空气象要素的检验和比较很少。因此, 本文根据 1971~2002 年青藏高原 12 个探空站的月平均温度和位势高度资料与同期的月平均再分析资料, 分别从气候特征、年际变化和长期变化趋势方面分析再分析资料的可信程度, 并对再分析资料与观测资料间的偏差大小进行了初步讨论。

2 资料及处理方法

本文所用的资料包括：1) 探空资料：国家气象中心提供的青藏高原地区 12 个探空站（站点位置见图 1）1971~2002 年各标准等压面上的月平均探空资料。由于 10 hPa 的数据缺测严重，同时考虑到青藏高原地区的海拔高度，本文主要分析 500~20 hPa 共 11 个标准等压面（500、400、300、250、200、150、100、50、70、50 和 20 hPa）的温度和位势高度。将 12 个站的要素作算术平均，得到反映青藏高原总体区域的温度和位势高度时间序列。2) 再分析资料：按照青藏高原区域（27.5°N~37.5°N，85°E~105°E）对同期的月平均再分析资料中 500~20 hPa 的温度和位势高度进行面积平均后，给出表征青藏高原上空不同高度的温度和位势高度的时间序列。

为了验证由上述面积平均得到的再分析温度和位势高度资料与青藏高原实测值的合理性，分别计算了由 12 个探空资料算术平均得到的青藏高原各标准等压面上的温度和位势高度时间序列与

再分析资料格点场在不同季节 24 年（1979~2002 年）和 32 年（1971~2002 年）的相关分布，了解它们在空间分布上的相符程度。即将探空资料得到的时间序列与再分析资料的格点场求相关，得到 24（32）年通过 0.05 和 0.01 显著性水平的临界相关系数分别为 0.51（0.45）和 0.62（0.54）。图 1 给出了青藏高原春季温度在 4 个高度上（500 hPa 代表对流层低层，250 hPa 代表对流层中层，100 hPa 代表对流层顶附近，50 hPa 代表平流层下部）的相关系数分布。由图可见，4 个高度上的显著正相关（ $r > 0.70$ ，均通过 0.01 显著性检验）且集中在青藏高原地区，其中 24 年的相关显著性水平要优于 32 年，尤其是在平流层下部相关程度明显提高（图 1d）。

对于其他季节青藏高原探空资料各个高度上的温度和位势高度与再分析资料之间的相关分析（图略），同样发现在各个高度层上显著的正相关区都集中在青藏高原及其周边地区，且 24 年再分析资料与实测资料的密切程度高于 32 年，尤其是在平流层下部，再分析资料与观测值之间的相关程度有所提高。这表明 1979 年以后由于采用了更

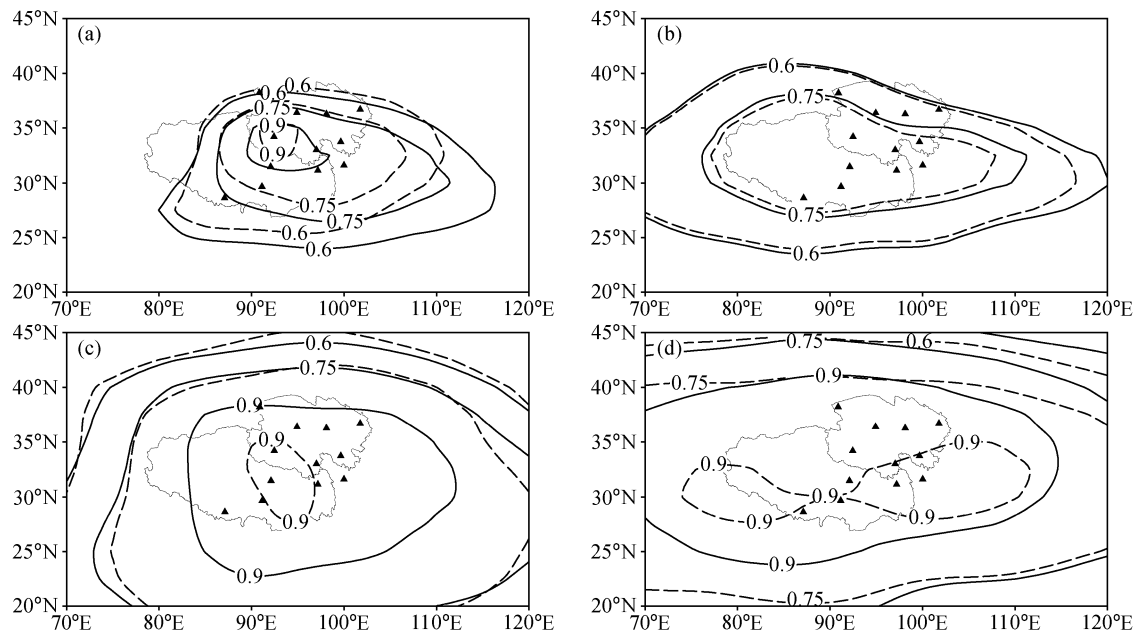


图 1 青藏高原春季温度与再分析温度场的相关系数：(a) 500 hPa；(b) 250 hPa；(c) 100 hPa；(d) 50 hPa（实线和虚线分别为 24 年和 32 年相关系数，▲为探空站点位置）

Fig. 1 Correlation coefficients of temperature between NCEP reanalysis data and observation in spring over the Tibetan Plateau: (a) 500 hPa; (b) 250 hPa; (c) 100 hPa; (d) 50 hPa (solid lines and dashed lines for the correlation of 1979 - 2002 and 1971 - 2002, respectively. ▲ denoting the locations of 12 radiosonde stations)

新的预报和同化系统, 再分析资料的质量在平流层得到进一步改善 (徐影等, 2001)。

因此可以认为, 对再分析资料的温度和位势高度通过面积平均后得到的时间序列能够较客观地反映青藏高原实际的变化, 以下通过对再分析资料与实测资料进行相关分析和偏差分析, 比较两种资料中的温度和位势高度在青藏高原上空不同高度和月份上的差异。

3 再分析资料的检验结果

3.1 气候平均比较

比较青藏高原上空各层再分析资料与探空资料在不同季节多年平均的结果, 发现再分析资料的温度和位势高度在气候平均上与实际观测是一致的, 其中 24 年与 32 年多年平均的结果没有明显差异 (图略)。图 2a 和 2b 分别为 32 年平均后的两种资料各层的温度和位势高度逐月的偏差分布, 其中再分析资料的月平均温度约在 200~70 hPa 之间出现系统性偏低, 而在对流层下部和平流层 (50 hPa 以上) 则普遍偏大, 最大偏差出现在春季 250 hPa 和 30 hPa 附近, 但都不超过 1.5 °C (图 2a)。再分析资料位势高度的偏差绝对值一般随高度增加而增大, 在 70 hPa 高度附近为系统性偏小, 而在 100 hPa 以下和 50 hPa 以上则表现为系统性偏大, 其中在春季和 8~9 月 30 hPa 以上偏差较大, 最大偏差出现在春季平流层接近 4.0 dagpm 处 (图 2b)。比较 24 年再分析温度和位势高度与实际值之间的偏差 (图略), 其偏差分布型也没有发生明

显的改变, 但平均偏差有一定程度的减小, 特别是在平流层下部偏差减小明显, 温度和位势高度的最大偏差分别不超过 1.0 °C 和 3.0 dagpm。

由表 1 可见, 温度和位势高度的均方根误差在春季最大, 夏季次之, 秋冬季最小; 各层温度在对流层中部和对流层顶附近较小, 在 250~150 hPa 误差有所增大, 而在 50 hPa 以上的误差最大, 最大均方根误差达到 1.47 °C, 出现在春季 30 hPa 高度上; 位势高度的均方根误差在 0.2~5.2 dagpm, 误差基本上随高度增加而增大, 其中在春季 20 hPa 误差达到最大。总体上来讲, 均方根误差的分布与平均误差绝对值的分布 (图 2) 大体相似。

就偏差的季节变化而言, 为什么再分析资料的偏差在春季较大呢? 分析青藏高原实际温度和位势高度的标准差分布 (图略) 发现, 其最大标准差均出现在冬春季的 250~30 hPa 之间, 尤其在春季最大, 而在夏秋季较小, 这表明青藏高原地区春季天气变化幅度大, 不稳定性增强, 而再分析值普遍存在系统性偏高, 导致偏差偏大。

以上分析可见, 在描述青藏高原多年气候平均变化上再分析的位势高度值与探空值有非常好的一致性, 因此, 可认为再分析资料在反映青藏高原上空气候平均上是合理的。

3.2 年际变化比较

图 3a 中 50 hPa 再分析资料的温度和观测值自 20 世纪 70 年代末以来存在几乎相同的年际变化 (24 年相关系数为 0.95, 远大于 32 年的相关系数 0.78), 但再分析资料温度普遍大于实际值, 出现系统性偏大。此外两种资料都在 1979 年以后表

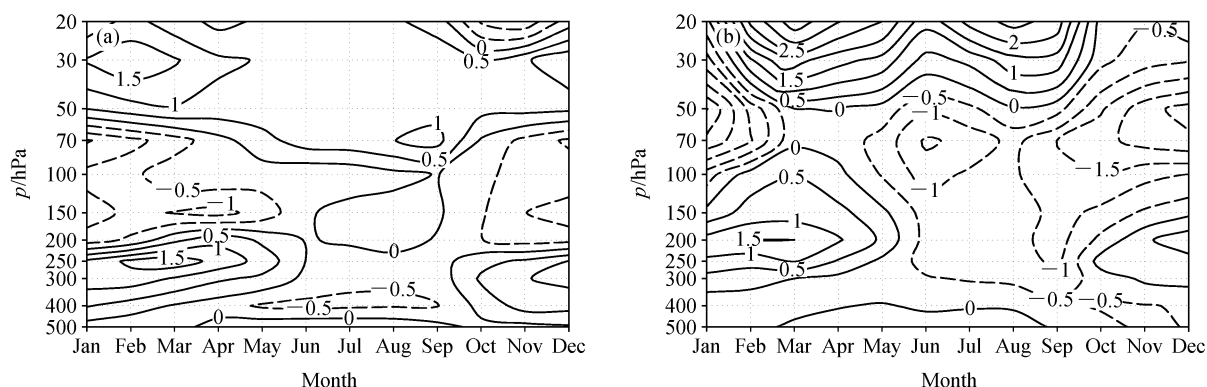


图 2 32 年逐月平均的各层 (a) 温度 (单位: °C) 和 (b) 位势高度 (单位: dagpm) 再分析资料与观测资料的偏差分布

Fig. 2 Differences of 32-year monthly mean (a) temperature (units: °C) and (b) geopotential height (units: dagpm) between NCEP/NCAR reanalysis data and observation data

表 1 1979~2002 年青藏高原各层再分析资料与探空资料在不同季节的均方根误差分布

Table 1 Root-mean-square error between reanalysis data and radiosonde data in different seasons over the Tibetan Plateau from 1979 to 2002

高度/hPa	温度/℃				位势高度/dagpm			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
20	0.60	0.61	0.94	0.60	5.20	3.95	2.72	2.44
30	1.47	1.03	0.79	1.46	4.03	2.57	2.33	1.68
50	1.21	1.04	0.96	0.77	2.29	1.68	1.87	1.71
70	0.61	0.87	0.52	0.97	2.24	1.91	1.93	1.49
100	0.77	0.67	0.51	0.41	2.18	1.78	1.82	1.36
150	0.90	0.44	0.56	0.91	1.61	1.59	1.33	1.12
200	0.85	0.51	0.52	0.77	1.80	1.24	0.99	1.22
250	1.28	0.54	0.51	1.03	1.06	0.92	0.80	1.02
300	0.81	0.47	0.66	0.99	0.62	0.69	0.53	0.55
400	0.36	0.52	0.34	0.50	0.42	0.65	0.21	0.18
500	0.31	0.83	0.28	0.23	0.43	0.67	0.20	0.21
平均	0.83	0.68	0.60	0.79	1.99	1.60	1.34	1.18

现为明显的下降趋势。比较夏季 50 hPa 两种资料位势高度的年际变化 (图 3b), 两者间的最大差异出现在前期, 自 70 年代中后期以来再分析资料的位势高度和观测值之间的年际变化几乎趋于完全一致, 并且也在 1979 年以后出现一致的下降趋势, 再分析资料的位势高度下降趋势略大于实测下降趋势。

同样, 比较其他季节和层次两种资料的温度和位势高度的年际变化 (图略), 两者在年际变化上非常一致, 但再分析资料的偏差基本上是随高度增加而增大, 70 年代后期这种偏差开始减小; 在对流层顶层附近 (200~70 hPa) 再分析资料偏差出现了系统性减小; 在对流层中下部再分析资

料更接近于实际观测。

3.3 长期变化趋势比较

气候变化研究中, 气候长期趋势研究是相当重要的。一些研究利用再分析资料分析了亚洲季风环流的年代际变化特征 (Annamalai et al., 1999; Wang, 2001; Inoue et al., 2004), 结果都表明从 20 世纪 70 年代后期开始, 亚洲季风环流和东亚气候都发生了一次很明显的年代际变化, 然而与欧洲中期天气预报中心提供的 ERA-40 再分析资料的分析结果比较 (Annamalai et al., 1999; Inoue et al., 2004; 黄刚, 2006), 发现两份再分析资料所揭示的亚洲季风环流的年代际变化特征存在明显的差异。

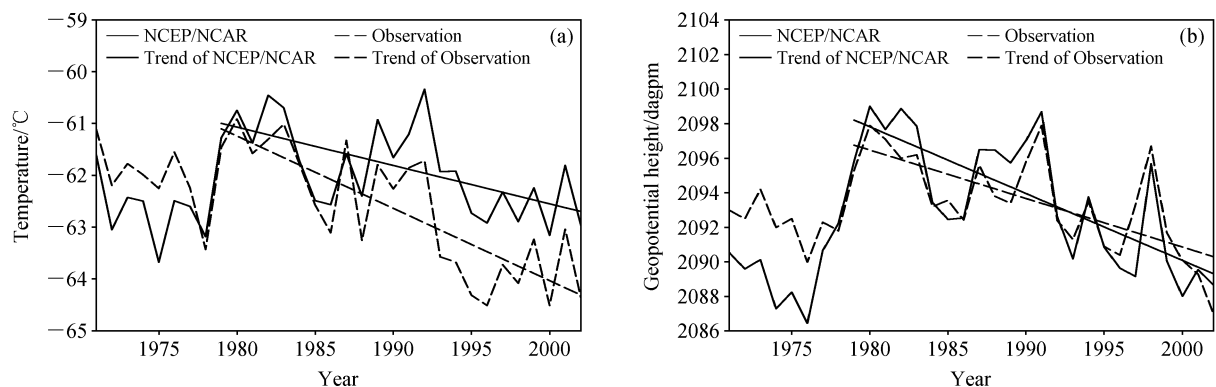


图 3 1971~2002 年再分析资料与实际探空得到的夏季 50 hPa (a) 温度及 (b) 位势高度的年际变化

Fig. 3 Annual variations of summer (a) temperature and (b) geopotential height at 50 hPa from 1971 to 2002

黄刚(2006)利用我国北方地区探空站资料与 ERA-40 和 NCEP/NCAR 两套再分析资料, 比较了探空资料与两套再分析资料在高低层的位势高度和温度的差异。发现 70 年代以前, NCEP/NCAR 再分析资料对我国北方地区对流层低层无论是位势高度或温度都描述不好, 存在着明显的虚假年代际变化趋势。因此, 利用 NCEP/NCAR 再分析资料来研究东亚气候的年代际变化可能存在很大问题。

为此对 1979 年以后的再分析资料和探空资料分别通过建立各月的温度和位势高度 (x_i) 与时间序列 (t_i) 之间的一元线性回归方程 (黄嘉佑, 2004), 对两者逐月的线性变化趋势进行比较。图 4 分别为 24 年 (1979~2002 年) 各层观测温度和再分析温度的逐月变化趋势, 其中青藏高原上空各月的温度变化趋势 (图 4a) 大约以 150 hPa 为界, 在平流层下部出现明显的下降趋势, 尤其是 5~9 月的温度在 100~20 hPa 下降趋势最为明显 (通过了 0.01 的显著性水平检验), 最大的降温中心为 7 月的 50 hPa, 超过了 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。与此对应, 再分析资料的温度 5~9 月在平流层下部存在明显的下降趋势 (图 4b), 最大下降趋势出现在 7 月 50 hPa, 接近 $-0.10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 与实际下降趋势基本吻合; 此外再分析资料的温度在 6~10 月的 250~100 hPa 还存在另一个“虚假”的下降中心, 这是由于这个高度上的再分析值前期普遍偏高, 而后期却存在偏差性偏低所致, 此虚假的下降趋势是由于系统性偏差造成的; 然

而, 对于各月实际温度在 200 hPa 以下对流层中下部出现的增温趋势, 再分析资料除冬季外却表现为相反的降温趋势。

综上所述, 再分析温度资料无法反映青藏高原对流层低层出现的增暖趋势, Douglass et al. (2004) 也指出再分析资料得到对流层下部增温幅度明显小于地面增温。

图 5a 为 24 年探空资料得到的各层位势高度逐月变化趋势, 图中青藏高原地区各月位势高度在平流层下部均存在明显的下降趋势, 其中夏季在 50 hPa 以上各层的位势高度在 5~10 月下降趋势十分明显, 最大下降趋势超过了 $-4.0\text{ dagpm} \cdot (10\text{ a})^{-1}$; 再分析资料的位势高度 4~11 月 70 hPa 以上平流层下部也出现明显的下降趋势 (图 5b), 其最大下降中心的位置也与实际基本一致, 但其下降的强度和范围明显扩大。此外, 探空资料的位势高度在对流层中下部出现了上升趋势, 而再分析资料的位势高度仅表现为微弱地增加。

以上分析表明, 再分析资料得到的青藏高原平流层下部温度和位势高度存在明显的下降趋势, 与观测资料比较一致; 但对于青藏高原对流层低层的温度和位势高度出现的上升趋势, 由于再分析资料系统性偏差, 在再分析资料中却表现为下降趋势或微弱的上升趋势, 因此再分析资料无法真实反映出青藏高原上空对流层中下部实际存在的温度和位势高度的上升趋势, 这个问题值得重视。Trenberth et al. (2002) 指出再分析资料中在高层自由大气存在一些虚假的“人为”数据。因

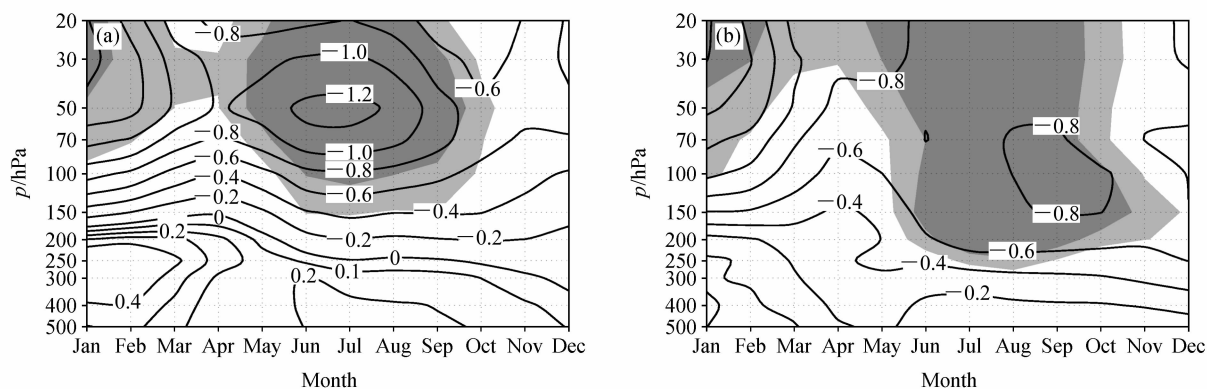


图 4 1979~2002 年各层逐月的温度线性变化趋势: (a) 观测值; (b) 再分析值。单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。浅色和深色阴影区分别表示达到 0.05 和 0.01 显著性水平

Fig. 4 Trends of monthly temperature from 1979 to 2002: (a) observations; (b) NCEP/NCAR reanalysis data. Units: $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$. Light and heavy shadings indicate correlation coefficients above 0.05 and 0.01 significance level

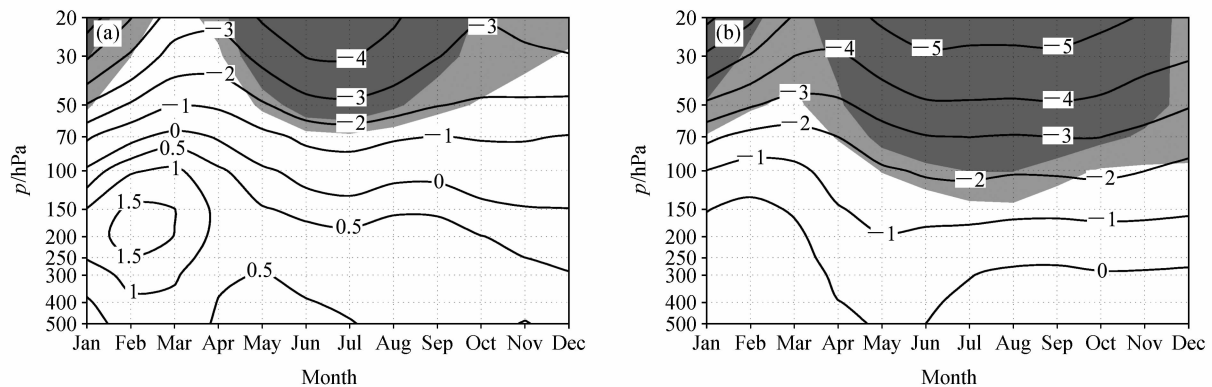


图5 同图4, 但为位势高度。单位: $\text{dagpm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for geopotential height. Units: $\text{dagpm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

此, 用再分析资料分析长期变化趋势时需要特别注意。

4 讨论与小结

通过对 NCEP/NCAR 再分析资料按照青藏高原区域面积平均后的温度和位势高度, 与青藏高原 12 个探空站的数据通过算术平均后的温度和位势高度进行比较表明:

(1) 再分析资料能够反映青藏高原上空温度和位势高度的多年平均年变化特征, 就季节而言, 再分析资料在春季偏差较大; 就高度来说, 再分析资料值随高度增加普遍大于实际观测值, 但 1979 年以后再分析资料的质量在平流层下部有明显改善。

(2) 在年际变化上, 两种资料的温度和位势高度之间分别存在着非常显著的正相关, 尤其是在 20 世纪 70 年代后期再分析值与观测值之间存在几乎完全一致的变化, 因此在描述青藏高原上空温度和位势高度的年际变化上, 再分析资料具有较高的可信度。

(3) 再分析资料的温度和位势高度能够反映青藏高原夏季平流层下部自 70 年代末存在的明显下降趋势的同时, 由于模式系统性偏差, 在对流层中下部存在由本身变化造成的“虚假”趋势, 出现了与实际变化趋势不完全一致的信息。

总之, NCEP/NCAR 再分析资料的温度和位势高度在青藏高原气候研究中都有一定的应用价值。特别是 1979 年以后, 由于观测手段提高和同

化技术的改进, 再分析资料的可靠性得到了明显提高。由于青藏高原上空观测资料的缺乏, 我们只对再分析资料中 2 个最基本的物理量通过区域平均与实际观测值进行了比较和初步讨论。随着资料的丰富, 有必要做进一步深入的研究。

近年来一些学者 (Inoue et al., 2004; 黄刚, 2006) 也开始利用 ERA-40 再分析资料来分析东亚气候的年代际变化, 并与 NCEP/NCAR 再分析资料的分析结果作了比较, 发现与实际探空资料相比, ERA-40 再分析资料对东亚地区对流层下部的反映似乎更合理。今后还需要对 ERA-40 再分析资料在青藏高原上空气候研究中的可信度进行分析。

参考文献 (References)

- Annamalai H, Slingo J M, Sperber K R, et al. 1999. The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: Comparison of ECMWF and NCEP-NCAR reanalysis [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 127: 1157–1186.
- Basist A N. 1997. Comparison of tropospheric temperatures derived from the NCEP/NCAR reanalysis, NCEP operational analysis, and the microwave sounding unit [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78 (7): 1431–1447.
- Douglass D H, Pearson B D, Singer S F, et al. 2004. Disparity of tropospheric and surface temperature trends: New evidence [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13207, doi:10.1029/2004GL020212.
- 段安民. 2003. 青藏高原热力和机械强迫对东亚气候格局的影响 [D]. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 29–33.
- Duan Anmin. 2003. The influence of thermal and mechanical forcing of Tibetan Plateau upon the climate patterns in East Asia [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics,

- Chinese Academy of Sciences, 29 - 33.
- 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 1998. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. 科学通报, 43 (6): 633 - 636. Feng Song, Tang Maocang, Wang Dongmei. 1998. New evidence for the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 43 (6): 633 - 636.
- 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.
- 黄嘉佑. 2004. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 28 - 36. Huang Jiayou. 2004. Statistical Analysis and Forecasting Method in Meteorology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 28 - 36.
- 黄荣辉. 1985. 夏季青藏高原上空热源异常对北半球大气环流异常的作用 [J]. 气象学报, 43 (2): 208 - 220. Huang Ronghui. 1985. The influence of the heat source anomaly over Tibetan Plateau on the northern hemispheric circulation anomalies [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 43 (2): 208 - 220.
- 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 - 99 [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 82 (3): 951 - 958.
- Josey S A. 2001. A comparison of ECMWF, NCEP/NCAR, and SOC surface heat fluxes with moored buoy measurements in the subduction region of the Northeast Atlantic [J]. J. Climate, 14 (8): 1780 - 1789.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77 (3): 437 - 471.
- Kistler R, Kalny E, Collins W, et al. 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82 (2): 247 - 267.
- 李川, 张廷军, 陈静. 2004. 近 40 年青藏高原地区的气候变化—NCEP 和 ECMWF 地面气温及降水再分析和实测资料对比分析 [J]. 高原气象, 23 (增刊): 97 - 103. Li Chuan, Zhang Tingjun, Chen Jing. 2004. Climatic change of Qinghai-Xizang plateau region in recent 40-year reanalysis and surface observation data-contrast of observational data and NCEP, ECMWF surface air temperature and precipitation [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (Suppl.): 97 - 103.
- Poccarr I, Janicot S, Camberlin P. 2000. Comparison of rainfall structure between NCEP/NCAR reanalysis and observed data over tropical Africa [J]. Climate Dyn., 16 (12): 897 - 915.
- Reid P A, Jones P D, Brown O, et al. 2001. Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationship with surface by direct comparison with station based data [J]. Climate Research, 17 (3): 247 - 261.
- 宋敏红, 吴统文, 钱正安. 2000. 高原地区 NCEP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用 [J]. 高原气象, 19 (4): 467 - 474. Song Minhong, Wu Tongwen, Qian Zheng'an. 2000. Verification of NCEP surface heat fluxes over QXP and its application to summer precipitation forecast [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 19 (4): 467 - 474.
- 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 1999a. 美国 NCEP/NCAR 40 年全球再分析资料及其解码和图形显示软件简介 [J]. 高原气象, 18 (2): 199 - 208. Su Zhixia, Lü Shihua, Luo Siwei. 1999a. The examinations and analysis of NCEP/NCAR 40 years global reanalysis data in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (2): 199 - 208.
- 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 1999b. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析 [J]. 高原气象, 18 (2): 209 - 218. Su Zhixia, Lü Shihua, Luo Siwei. 1999b. The examinations and analysis of NCEP/NCAR 40 years global reanalysis data in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (2): 209 - 218.
- 汤懋苍, 李存强, 张建. 1988. 青藏高原及其四周的近代气候变化 [J]. 高原气象, 7 (1): 39 - 48. Tang Maocang, Li Cunqiang, Zhang Jian. 1988. The climate change of Qinghai-Xizang Plateau and its neighbourhood [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 29 (4): 249 - 263.
- Trenberth K E, Stepaniak D P. 2002. A pathological problem with NCEP reanalyses in the stratosphere [J]. J. Climate, 16 (6): 690 - 695.
- Wang Huijun. 2001. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970s [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 17: 376 - 385.
- 魏丽, 李栋梁. 2003a. NCEP/NCAR 再分析资料在青藏铁路沿线气候变化研究中的适用性 [J]. 高原气象, 22 (5): 488 - 494. Wei Li, Li Dongliang. 2003a. Reliability of NCEP/NCAR reanalysis data in climatic change along Tibet railway [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 22 (5): 488 - 494.
- 魏丽, 李栋梁. 2003b. 青藏高原地区 NCEP 再分析地面通量资料的检验 [J]. 高原气象, 22 (5): 478 - 487. Wei Li, Li Dongliang. 2003b. Evaluation of NCEP/DOE surface flux data over Qinghai-Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 22 (5): 478 - 487.
- 吴国雄. 2004. 我国青藏高原气候动力学的近期进展 [J]. 第四纪研究, 24 (1): 1 - 9. Wu Guoxiong. 2004. Recent progress in the study of the Qinghai-Xizang Plateau climate dynamics in China [J]. Quaternary Sciences (in Chinese), 24 (1): 1 - 9.
- Wu R, Xie S P. 2003. On equatorial pacific surface wind changes around 1997: NCEP/NCAR reanalysis versus COADS observation [J]. J. Climate, 16 (1): 167 - 173.
- 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 502year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 12 (3): 337 - 347.
- 叶笃正, 罗四维, 朱抱真. 1957. 青藏高原及其附近的流场结构和对流层大气的热量平衡 [J]. 气象学报, 28 (2): 108 - 121.
- Yeh Tucheng, Lo Szuwei, Chu Paochen. 1957. The wind structure and heat balance in the lower troposphere over Tibetan Plateau and its surrounding [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 28 (2): 108 - 121.
- 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 1958. 在 6 月和 10 月大气环流的突变现象 [J]. 气象学报, 29 (4): 249 - 263.
- Ye Duzheng, Tao Shiy-an, Li Maicun. 1958. The abrupt change of atmospheric circulation over the northern hemisphere during June and October [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 29 (4): 249 - 263.
- 张琼, 钱永甫. 1999. 用 NCEP/NCAR 再分析辐射资料估算月平均地表反照率 [J]. 地理学报, 54 (4): 309 - 317.
- Zhang Qiong, Qian Yongfu. 1999. Monthly mean surface albedo estimated from NCEP/NCAR reanalysis radiation data [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 54 (4): 309 - 317.
- Zhang Yi, Sperber K R, Boyle J S. 1997. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979 - 95 NCEP/NCAR reanalysis [J]. Mon. Wea. Rev., 125 (10): 2605 - 2619.
- 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 [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.