

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 [J]. 大气科学, 34 (4): 471–482. Gao Qingjiu, Guan Zhaoyong, Cai Jiayi, et al. 2010. Differences in 1958–2001 summertime surface air temperatures between two reanalysis data and observations in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (4): 471–482.

两种再分析资料中夏季地表气温与中国测站资料的差异

高庆九 管兆勇 蔡佳熙 闵锦忠

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

摘 要 采用中国 194 站气温观测资料 (OT)、NCEP/NCAR (NT) 和 ERA-40 (ET) 再分析月平均 2 m 温度资料, 使用线性分析、方差分析、小波分析、EOF 等方法, 对三种温度资料周期、方差以及年际和年代际变化进行对比分析。结果发现: (1) ET 与 OT 数值、距平及变化趋势非常接近; NT 低于 OT, 1965 年以前其数值及距平与 OT、ET 差异较大; ET 与 OT 的相似性优于 NT, 对地面温度变化进行周期分析时, 使用 ET 资料较好。在使用 NT 的原始资料时需慎重, 距平值在 1965 年之后有一定的可信度。(2) ET 与 OT 线性趋势以及空间模态类似, NT 变化趋势远大于 OT 与 ET, ET 对我国温度长期变化趋势的再现能力优于 NT, 在研究我国温度长期变化时 NT 具有不确定性。(3) ET 与 NT 均能反映我国温度的时空分布和变化特征, 但 ET 更加准确; 研究我国北方 (30°N 以北) 温度年代际变化时, ET 较好; 研究我国温度年际变化时两种资料能力相当。(4) 三种温度资料均显示 1976 年前后我国地表气温有明显差异。ET 与 OT 在 1976 年前后的变化及空间分布十分一致, NT 与 OT 不完全一致。此外, 1965 年之前的 NCEP/NCAR 温度资料存在类似于“PSFC”的问题, 使用时应慎重。

关键词 观测资料 NCEP/NCAR ERA-40 地表气温 气候变率

文章编号 1006–9895 (2010) 03–0471–12

中图分类号 P423

文献标识码 A

Differences in 1958 – 2001 Summertime Surface Air Temperatures between Two Reanalysis Data and Observations in China

GAO Qingjiu, GUAN Zhaoyong, CAI Jiayi, and MIN Jinzhong

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

Abstract Based on in-situ observed summertime air temperatures (OT) from 194 stations in China, NCEP/NCAR reanalysis 2-m temperatures (NT) and ERA-40 reanalysis 2-m temperatures (ET) on a monthly basis, a study is performed of the periods, variance, interannual and interdecadal variability of these temperature series by means of linear analysis, variance and wavelet treatments as well as EOF decomposition. Results suggest that (1) the values, anomalies, and trends are very close between the ET and the OT; the NT are lower compared with the OT and prior to 1965 the NT magnitudes and anomalies differ significantly from those of the OT and the ET, with higher similari-

收稿日期 2009–03–26, 2010–02–02 收修定稿

资助项目 国家科技支撑计划资助项目 2007BAC29B02, 国家自然科学基金资助项目 40675025, 江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目 CX07B_047z, 江苏省高校自然科学研究计划资助项目 08KJD170001

作者简介 高庆九, 女, 1969 出生, 博士研究生, 副教授, 主要从事短期气候预测工作。E-mail: gaoqj51@126.com

通讯作者 管兆勇, E-mail: guanzhy@nuist.edu.cn

ty of the ET to the OT than that of the NT. Thus, in making periodic analysis of surface temperature, the ET are superior. Caution should be taken when the NT are applied, but their departures are somewhat credible after 1965. (2) The ET have similar linear trend and spatial mode to the OT, the trend of the NT is much greater compared with those of the OT and the ET, and the ET have higher ability to reproduce temperature trends in China on a long-term basis than the NT, which show uncertainties in long-range temperature variations in China. (3) The ET and the NT are capable of revealing the spatio-temporal patterns and variations of temperatures in China, but the ET are more correct, especially when the interdecadal variability is investigated of the temperatures in northern China north of 30°N. It is found that the ET and the NT have comparable ability to show the interannual variations. (4) The differences before and after 1976 in China are obvious in the three temperature datasets, with almost identical (not entirely coincident) trends and spatial distributions between the ET (the NT) and the OT. In addition, the NT before 1965 have a drawback similar to that of “PSFC”, a problem that should not be ignored.

Key words observations, NCEP/NCAR, ERA-40 project, surface temperature, climatic variability

1 引言

长期以来,全球大气环流、气候变化以及气候诊断等研究基本是基于各种观测资料进行的。随着 NCEP/NCAR 和 ERA-40 (欧洲中期天气预报中心 40 年再分析, ECMWF 40 Year Re-analysis) 两套再分析资料集的问世,这些研究取得巨大进展。NCEP/NCAR 资料 (Kalnay et al., 1996) 是采用 T62L28 模式、3DVar 同化方案,对来源于地表、船舶、无线电探空仪、测风气球、飞机等多种观测资料进行同化得到的,始于 1948 年且一直更新至今;其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,垂直方向分 17 层,包括地面层资料,得到气象学家的广泛使用。然而,在资料的使用过程中也发现了一些问题 (Kistler, 1998; Kistler et al., 2001; Yang et al., 2002; 方之芳和张丽, 2006)。ERA-40 (Uppala et al., 2005) 是另一套再分析资料集,由欧洲中心公布,其采用了 T159L60 模式、4DVar 同化方案。资料时间长度为 1957 年 9 月至 2002 年 8 月,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,垂直方向分 23 层,包括地面层资料。同样,该资料亦得到广泛使用。由于两份资料集在模式、同化系统以及资料来源上存在一定差异,同时在再分析过程中引入了模式资料,而观测系统、同化系统以及模式在不同时段也有所不同或改进,因此,两份资料的分析结果不尽相同 (Inoue and Matsumoto, 2004; Simmons et al., 2004; 岳阳等, 2005; 蓝光东等, 2005; 秦育婧等, 2006)。这两个资料集是否可以正确描述我国的气候变化? 苏志侠等 (1999)、徐影等 (2001)、赵天保等 (2004)、赵天保和符淙斌 (2006, 2009)、施晓晖等 (2006)

和谢爱红等 (2007) 认为,在对气候长期趋势变化进行研究时, NCEP/NCAR 资料的不确定性较大;夏季和年平均模拟得较好,冬季较差;在我国东部和低纬的可信度比在我国西部和高纬的高;1979 年以后的可信度高于前期。温度的可靠性比气压好;再分析的气压和气温系统性低于相应观测值,月降水总量较观测值偏高; NCEP/NCAR 资料能够较好地反映珠穆朗玛峰—念青唐古拉山脉气压和气温的天气尺度变化;再分析的风速距平在春、夏、秋季具有一定的可信度,冬季的可信度较差;表面气温距平则是冬季的可信度最好,夏季的可信度较差。赵天保和符淙斌 (2006) 通过将观测资料和再分析资料插值成同样分辨率的方法,对再分析资料的温度和降水场进行了比较,认为再分析资料的温度场比降水场可信度高,东部地区比西部地区可信度高, ERA-40 比 NCEP/NCAR 更接近观测值,可信度更高。黄刚 (2006) 详细比较了我国北方地区高低层位势高度及温度特征,认为两份再分析资料各有优缺点。在上述分析中,研究工作主要集中在气压、降水等方面,表面气温虽然有人涉及,但并不系统,而表面气温在气候变化研究以及全球变暖研究 (任国玉等, 2005; 任国玉, 2008; 唐国利等, 2009) 中起着非常重要的作用,因此,如何鉴别两种再分析气温资料的质量并在实际研究中合理应用是一个值得研究的重要问题。

本文试图评估再分析气温资料的质量,明确在研究我国气温长期变化趋势、年际以及年代际变化时使用哪种再分析资料更好,以便更好地将再分析资料应用于我国气候变化的诊断研究和模式评价中。夏季是我国降水和温度变化剧烈,影响巨大的

季节，高温热浪与低温冷害严重影响工农业生产、能源供给和人民生活质量，因此，本文将我国参加国际交换的 194 站温度观测资料作为标准，从数值变化、年际以及年代际周期变化、线性趋势及其空间分布的相似性等方面对两种再分析资料集的夏季温度资料进行对比分析。

2 资料

本文采用三种资料作为分析对象：(1) NCEP/NCAR 再分析月平均 2 m 气温（简称 NT）。(2) ERA-40 2 m 气温（简称 ET）。(3) 中国气象局气象科学数据共享资料网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 提供的中国 194 站气温（简称 OT），时间长度为 1951~2006 年，该资料来源于中国地面月报信息化文件，该文件利用极值检验和时间一致性检验以及人工抽查等方法已将数据与 1971~2000 年出版项目的统计结果进行了严格的质量控制和检查，因

此质量良好。

由于 1958 年之前中国地区观测站较稀少，缺测站点较多，之后测站数量迅速增多且相对稳定，而 NCEP/NCAR 再分析资料在 1958 年之前的部分高层资料比现在标准观测时间晚 3 小时得到 (Kistler et al., 2001)，这一时段的资料比后 40 年的资料在可靠性上要差；ERA-40 资料集时段为 1957 年 9 月到 2002 年 8 月。考虑到这些因素，如果不作特殊说明，本文的研究时段均指 1958~2001 年的夏季 (6~8 月)。

3 中国中东部地区平均气温变化

选取站点较多且分布较均匀的中国中东部地区 (20°N~40°N, 105°E~120°E) 作为重点分析区域。OT 长度取 1958~2006 年，NT 取 1948~2006 年，ET 取 1958~2001 年。平均值均为 1958~2001 年的 44 年平均。

三种资料集的温度变化 (图 2a) 显示区域平均值差异较大，其中 OT 的平均值最高，NT 最低。NT 比同为地面 2 m 温度的 ET 还低 1.78℃，相差达 7.47%。在 1960 年代中期到 1990 年代中期，OT 温度偏低，大多低于平均值，在 1960 年代中期之前和 1990 年代中期之后温度偏高，大多高于平均值；ET 的变化和 OT 较一致，而 NT 在 1965 年之前与其他两种资料差异较大，这可能与温度被归为 B 类资料 (Kistler et al., 2001) 有关，即同化时背景温度场受到“PSFC”问题 (surface pressure, 1948~1967 年期间部分地表气压转换时出现错误而导致该地区气压显著偏高或者偏低的现象) (Kistler, 1998) 影响而导致温度出现偏差；1965

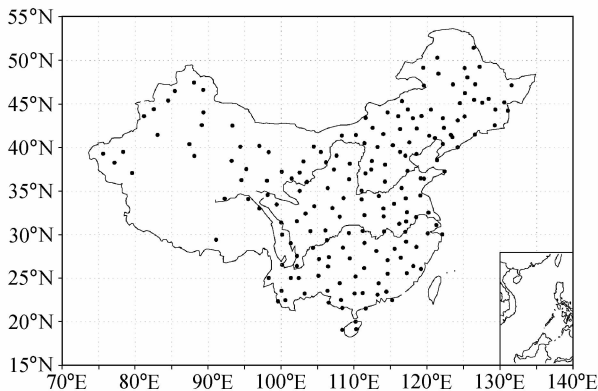


图 1 中国 194 站分布

Fig. 1 Distribution of the 194 stations in China

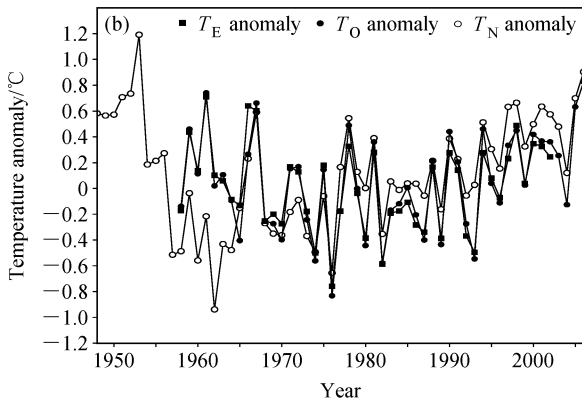
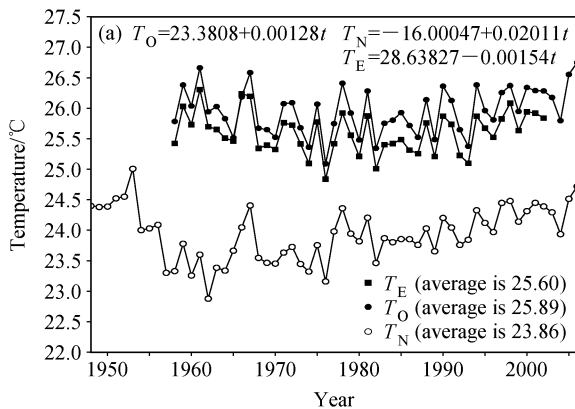


图 2 (20°N~40°N, 105°E~120°E) 区域平均 OT (T_O)、ET (T_E)、NT (T_N) (a) 及其距平 (b) 的变化曲线和 T_O 、 T_E 、 T_N 的线性回归方程
Fig. 2 Curves of (a) the area averaged (20°N - 40°N, 105°E - 120°E) OT (T_O), ET (T_E), NT (T_N) and (b) their anomalies, and the linear regression equations of T_O , T_E , T_N

年之后,三种资料的变化趋势比较相似,其中 NT 表现出明显的年代际变化特征,在 1976 年之前基本低于平均值,之后基本高于平均值,且有持续增高的趋势,在 1990 年代以后尤甚,其他两种资料在 1976 年前后的这种年代际变化趋势则不十分明显。相关分析表明,OT 与 ET 的相关高达 0.962,随时间变化的特征基本一致,而 NT 与观测资料的相关虽也达到 0.593,远远超过 0.001 的显著性水平,但与 ET 相比,相关程度偏低。此外,由三种资料区域平均温度距平曲线(图 2b)可以看出,OT、ET 的距平非常接近,变化趋势也基本一致,而 NT 距平在 1965 年之前与其他两种温度资料的距平差异非常大,在 1976 年之后距平大于其他两种资料的距平,即 NT 与其他两种资料的差异在减小。而我们注意到,在 1970 年代中后期,卫星资料开始引入到 NCEP/NCAR 再分析资料的同化系统中(Kistler et al., 2001; Greatbatch and Rong., 2006),因此,1965 年之后 NT 资料的距平值有一定的可信度。

对三种资料区域平均的线性分析显示(图 2a) OT 和 NT 均为线性增温,而 ET 为降温,其中 OT 线性增温趋势与李庆祥和李伟(2007)计算的我国夏季平均温度的线性趋势相当,而 NT 增温的幅度远远大于 OT,达到了 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, OT 与 ET 线性变化程度相当但符号相反,结合图 4a、b 可以发现,在进行平均的区域内 ET 比 OT 的降温趋势要强烈一些,这或许可以解释上面这两种资料区域平均趋势系数符号相反的原因。同时,为了检验 1965 年之前的结果是否会对整体结果产生影响,做了 1965~2001 年该区域平均的线性趋势分析,结果如下:

$$T_{\text{O}} = 8.87457 + 0.00858t,$$

$$T_{\text{N}} = -11.26153 + 0.01773t,$$

$$T_{\text{E}} = 17.86489 + 0.00388t,$$

其中, T_{O} 、 T_{E} 、 T_{N} 分别表示观测温度及两种再分析资料 2 m 温度的区域平均, t 表示时间(年份)。

可以看出,三种资料的线性趋势均为增温,与 1958~2001 年的趋势相比,ET 和 OT 均增加,NT 的趋势减小,但 NT 仍远远大于 ET 和 OT,ET 的升温趋势是最小的。

1958~2001 年三种区域平均温度序列标准 Morlet 小波分析(Torrence and Compo, 1998)结果显示: OT 与 ET [图 3a、b (见文后彩图)] 的周

期特征十分相似,其中 4~8 年周期一直存在,在 60 年代初期到 70 年代中期较显著;70 年代中后期到 80 年代初以及 90 年代,3~4 年周期十分显著,其中 ET 在 60 年代 4~8 年周期比观测资料更显著。NT 的小波分析结果[图 3c (见文后彩图)]与观测资料及 ET 分析结果较为一致的特征是,70 年代中后期及 90 年代的 3~4 年周期显著,而 70 年代之前虽然也有 4~8 年周期,但不显著,与其他两种资料的周期特征相比,差别较大。总体来说,OT 和 ET 的周期特征较相似,变化较一致,而 NT

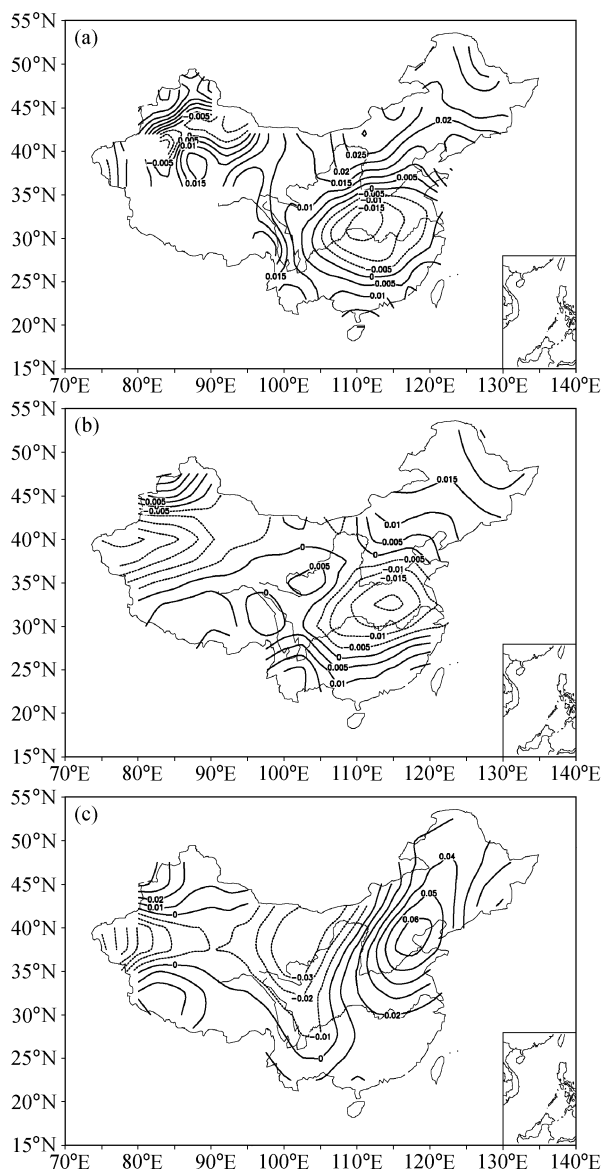


图 4 1958~2001 年 (a) OT、(b) ET 和 (c) NT 的线性趋势 (单位: $^{\circ}\text{C}/\text{a}$)

Fig. 4 Distributions of the linear trends of (a) OT, (b) ET, and (c) NT during 1958–2001 (units: $^{\circ}\text{C}/\text{a}$)

所显示的周期特征与观测资料及 ERA-40 均有一定差别, 尤以 70 年代之前为甚。

4 温度线性趋势及方差比较

4.1 线性趋势分析

气温线性趋势系数(图 4)表明, OT 与 ET 线性变化的空间模态及变化趋势十分相似: 我国北方(华北、东北和内蒙古东部)以及华南沿海有增温趋势, 其中 ET 在东北、华北和内蒙古东部的升温略小于 OT, 而在华南沿海的升温趋势两者相当; 在新疆西北部和青藏高原地区也为增温趋势; 在长江中下游、江南以北到黄河下游以南地区($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$)为降温趋势(但 ET 降温范围略偏北, 降温程度略大于 OT), 这些与 Kaiser and Qian (2002)、Li and Dong (2009)的分析结果较为一致; 升温和降温趋势相当; NT 显示我国 110°E 以东增暖, 中心位于渤海湾附近, 在新疆西北部和青藏高原也有增暖趋势, 其他地区为降温。NT 和 ET 在我国西北地区(90°E 以西)线性变化的空间分布十分相似。NT 的线性变化趋势远大于 OT 和 ET 的趋势。考虑到 OT 资料中没有去除城市化作用对温度资料的影响, 任国玉等(2005)和任国玉(2008)的研究认为, 城市化进程对温度影响较大, 对华北地区的研究表明(周雅清和任国玉, 2005), 经过适当订正后, 气温线性趋势会有一定程度的下降。但由于再分析资料中城市化影响的估计并未给出, 因此上述分析中 ET 在东北、华北和内蒙古东部的升温趋势与 OT 的差异在考虑了城市化影响后可能会有所变化。而 NT 与 OT 和 ET 的差别较大, 这不仅体现在线性趋势的空间分布, 也反映在数值的大小上, 这在上节的分析中已有反映。这种线性变化趋势有较大差异的原因可能与 NCPE/NCAR 再分析资料的模式参数化方案和同化方案有关, 而这种差异在其他要素中亦可能存在, 未来将对这种差异做进一步的验证。上述分析表明, ET 对我国气温变化长期趋势的反映能力较好, 而 NT 较差, 具有不确定性。

4.2 方差比较

去掉各资料集中气温长期变化趋势后, 进行方差计算, 以考察资料中年代际和年际变化差异较大区域的分布特征(以下未做特别说明则所用资料均为去除线性趋势后的资料, 且以 OT'、ET' 和 NT' 表示)。

方差计算结果(图 5a、b、c)均显示我国夏季气温变化大的区域在中国北方, 方差空间分布表现为由北向南逐渐降低, 体现了纬度效应的影响。OT' (图 5a) 方差大值中心在内蒙古东北部、长江中下游和新疆北部, 而 ET' (图 5b) 在内蒙古, 华北和长江中下游地区也有方差较大区域; NT' (图 5c) 的中心在内蒙古一带, 华北有相对大值中心, 其等方差线基本平行于纬线, 而 ET' 不同之处在我国东部, 等方差线向南弯曲, 变化大值区包含了长江中下游地区。此外, 两种再分析资料 NT' 与 ET' 反映的内蒙古、东北以及新疆地区温度变化大于观测资料。与观测资料 OT' 相比, 对于长江中下游地区, NT' (图 5e) 偏弱, 但 ET' (图 5d) 则略强。

以上分析表明, 两套再分析资料对我国北方(30°N 以北)的温度变化估计均偏高; 对我国南方(30°N 以南), ET' 的反映略偏高, NT' 偏低。在新疆西部地区, NT' 的估计远远高于观测温度, 也高于 ET'; 而在东北、华北、内蒙古, 两种再分析资料的再现能力相当。

5 空间相似性分析

将站点的夏季温度资料插值到同样分辨率的网格点上, 与两种再分析温度资料分别作相关分析。由空间相似性分析可见, 两套再分析资料与 OT' 的相关系数均通过 99% 的信度检验, 空间分布上较为接近, 能反映实际温度的分布特征, 但 ET' 与实际温度分布的相似程度(图 6a)要高于 NT' (图 6b), 尤其是在我国长江中下游、东北和华北地区。

6 温度的时空变化特征

为了比较温度年际和年代际分量的时空变化特征, 并比较再分析资料对观测资料年际和年代际变化特征的再现能力, 本文对观测资料进行自然正交分解(EOF), 温度场前 14 个正交函数反映了原始场 90% 的信息, 收敛速度较慢, 其中前 3 个特征向量通过 North 显著性检验(表 1)。

6.1 温度场的空间分布

EOF1 (图 7a) 表现为全国一致变化的特征, 中心位于内蒙古东部、辽宁和吉林一带, 从中心向四周递减, 反映全国为一一致的增温或降温。结合时间系数[图 8a (见文后彩图)]可知, 1970 年代之前、1990 年代中期之后全国偏暖, 而中间时期全国

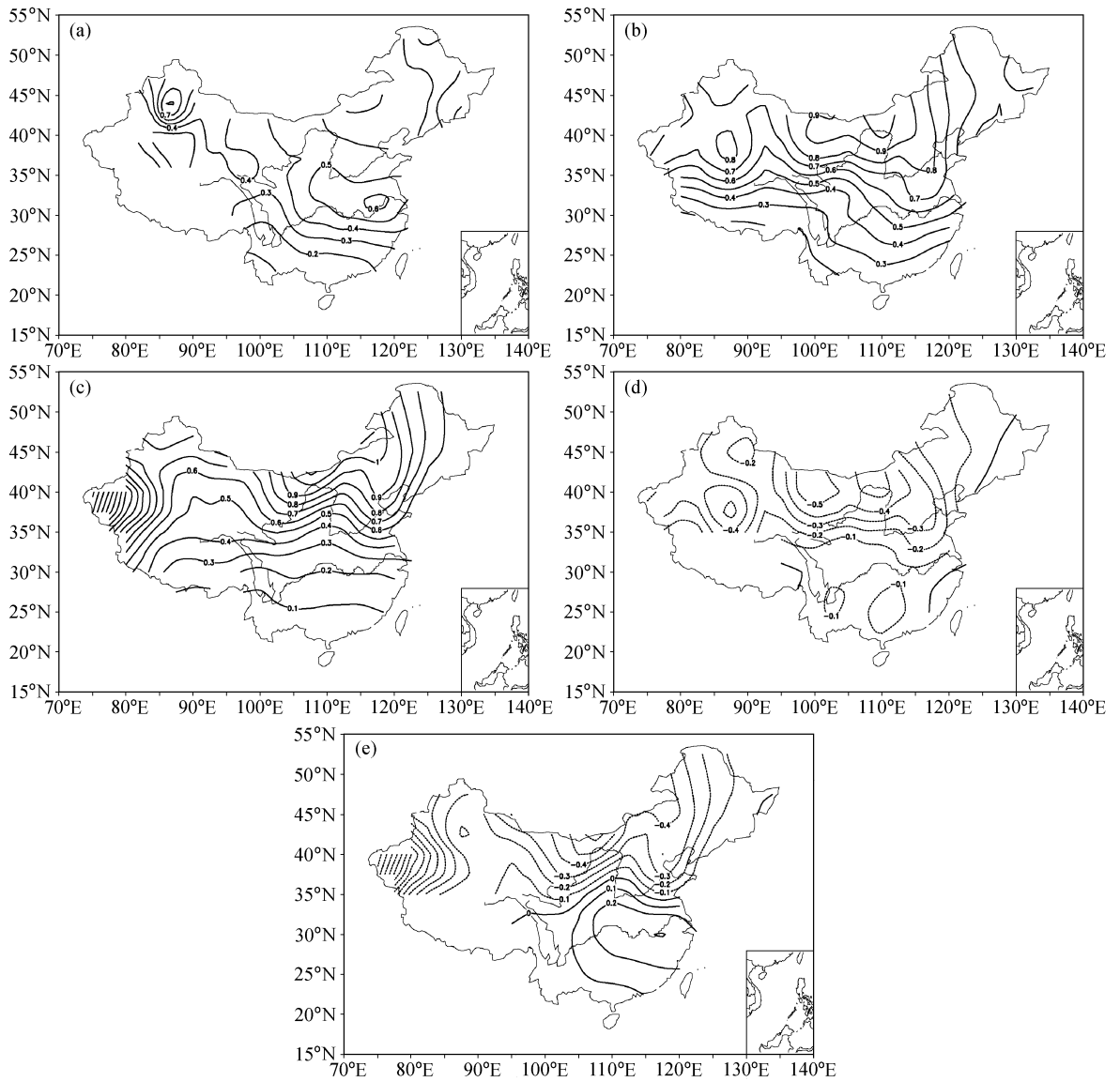


图5 (a) OT' 、(b) ET' 和 (c) NT' 的方差分析及 (d) OT' 与 ET' 、(e) OT' 与 NT' 的方差差异

Fig. 5 Distributions of the variances of (a) OT' , (b) ET' , (c) NT' , and the variance differences (d) between OT' and ET' and (e) between OT' and NT'

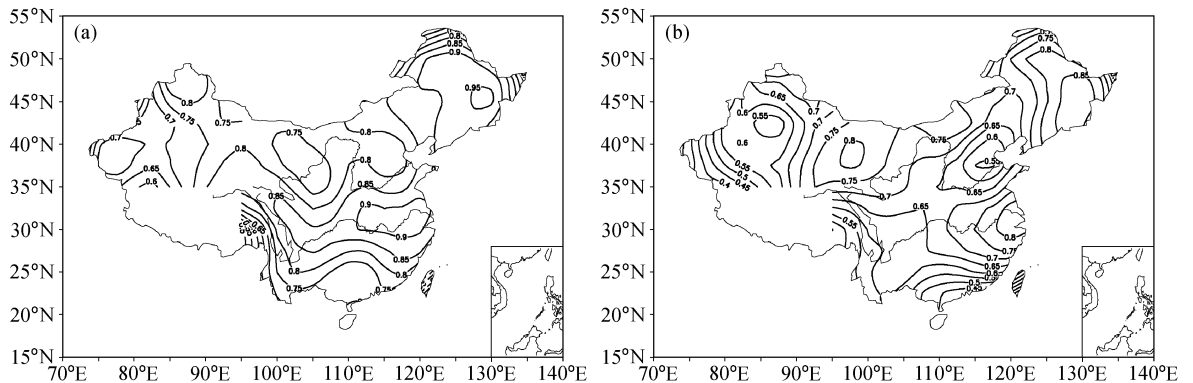


图6 观测资料与再分析资料场的相关分布: (a) OT' 与 ET' ; (b) OT' 与 NT'

Fig. 6 Distributions of the correlation coefficients between the observations and reanalysis data: (a) OT' and ET' ; (b) OT' and NT'

表 1 温度观测资料经 EOF 分析的前 3 个模态的方差贡献
Table 1 The variance contributions of leading three EOF modes of observed temperature

序号	特征值	方差贡献率	累计方差贡献率
1	1280	37.4%	37.4%
2	487	14.3%	51.7%
3	295	8.7%	60.4%

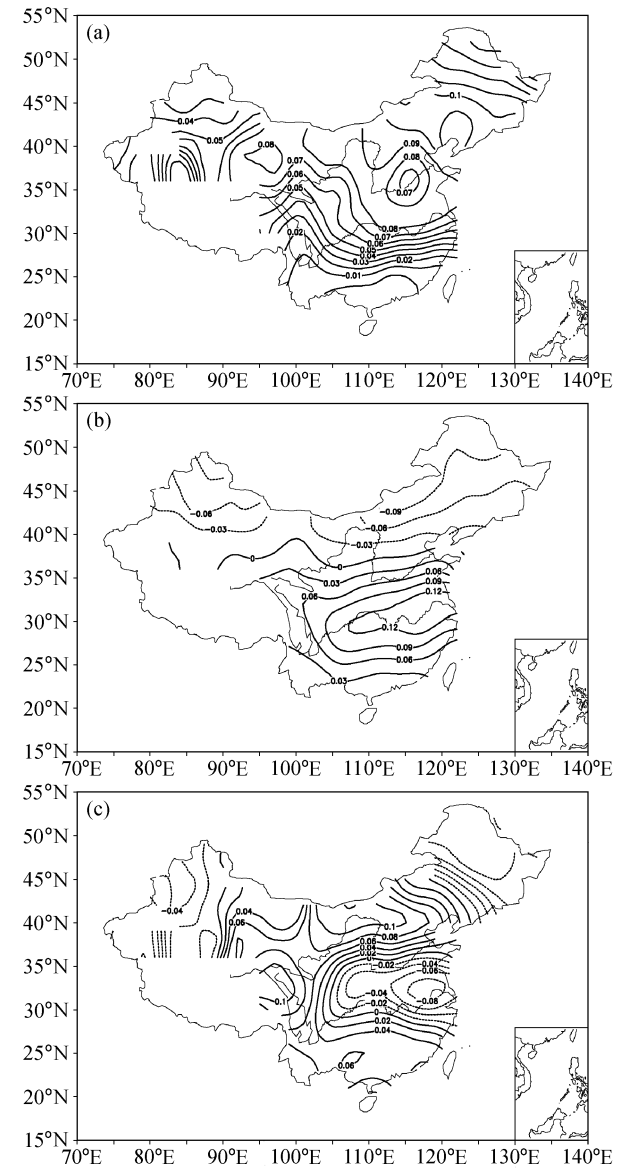


图 7 温度观测资料经 EOF 分析的 (a) 第 1、(b) 第 2 和 (c) 第 3 特征向量
Fig. 7 (a) The first, (b) second, and (c) EOF eigenvectors of observed temperature

偏冷。EOF2 (图 7b) 显示出我国南北方温度反位相变化的特征，中心分别位于长江中下游及东北到

内蒙古东部；当东北、华北增暖时，长江中下游地区降温，该特征在 1990 年代尤为显著。EOF3 (图 7c) 显示出东北和长江中下游地区与内蒙古和华南、西南地区温度变化反相的特征，即从北向南呈现出一十十的分布特征，中心分别位于东北北部、内蒙古中部、长江中下游和云贵高原南部和东部一带。

6.2 温度场的时间变化特征

第 1 时间系数 (EOF-T1) 表现出年代际变化的特征 (图 8a)，小波分析结果 [图 8d (见文后彩图)] 显示 8~12 年周期在 1970 年代末开始较显著，1990 年代中期之后 3 年周期较显著。EOF-T2 表现出年际变化的特征 [图 8b (见文后彩图)]，小波分析结果 [图 8e (见文后彩图)] 显示 1980 年代中期后 2~3 年周期显著，且周期有逐渐增加的趋势，而 1970 年代之后 6~10 年周期显著。EOF-T3 [图 8c、f (见文后彩图)] 同样表现出年际变化的特征，1970 年代到 1990 年代 6~8 年周期显著，且在 1960 年代中期 4 年周期和 1990 年代初期 3 年周期较显著。

结合空间分布可见，我国温度的年代际变化特征是全国一致的升温或者降温，而年际变化特征则表现出南北方反位相变化特征。

6.3 EOF 时间系数与再分析资料的相关分析

第 5 节分析了再分析资料与观测资料在空间分布上的相似程度，结果表明在去除了长期变化趋势后，两套再分析资料与实际观测资料在空间分布上较为接近，能反映出实际温度的分布特征，但是在年际和年代际时间尺度上，两种再分析资料与观测资料的相似程度如何？因此，我们将 EOF 时间系数分别与去除线性趋势的两种再分析资料作相关分析 (陈海山等，2004)，以了解在时间系数所反映的时间变化尺度上再分析资料与观测资料的相似程度及其空间分布，以及这种空间分布与 EOF 特征向量是否在空间上一致。

结果表明，相关系数分布 (图 9) 与 EOF 空间向量分布 (图 7) 十分相似，EOF-T1 与再分析温度资料 (图 9a、d) 均为正相关，与特征向量的符号一致，而达到显著相关的地区为我国北方 (30°N 以北)，不包括新疆西北部和黑龙江北部的小部分地区。与 ET' 的相关系数大于与 NT' 的相关系数，且相关系数的中心与特征向量中心较一致，位于辽宁、吉林地区及青海甘肃一带。NT' 与 ET' 相比，

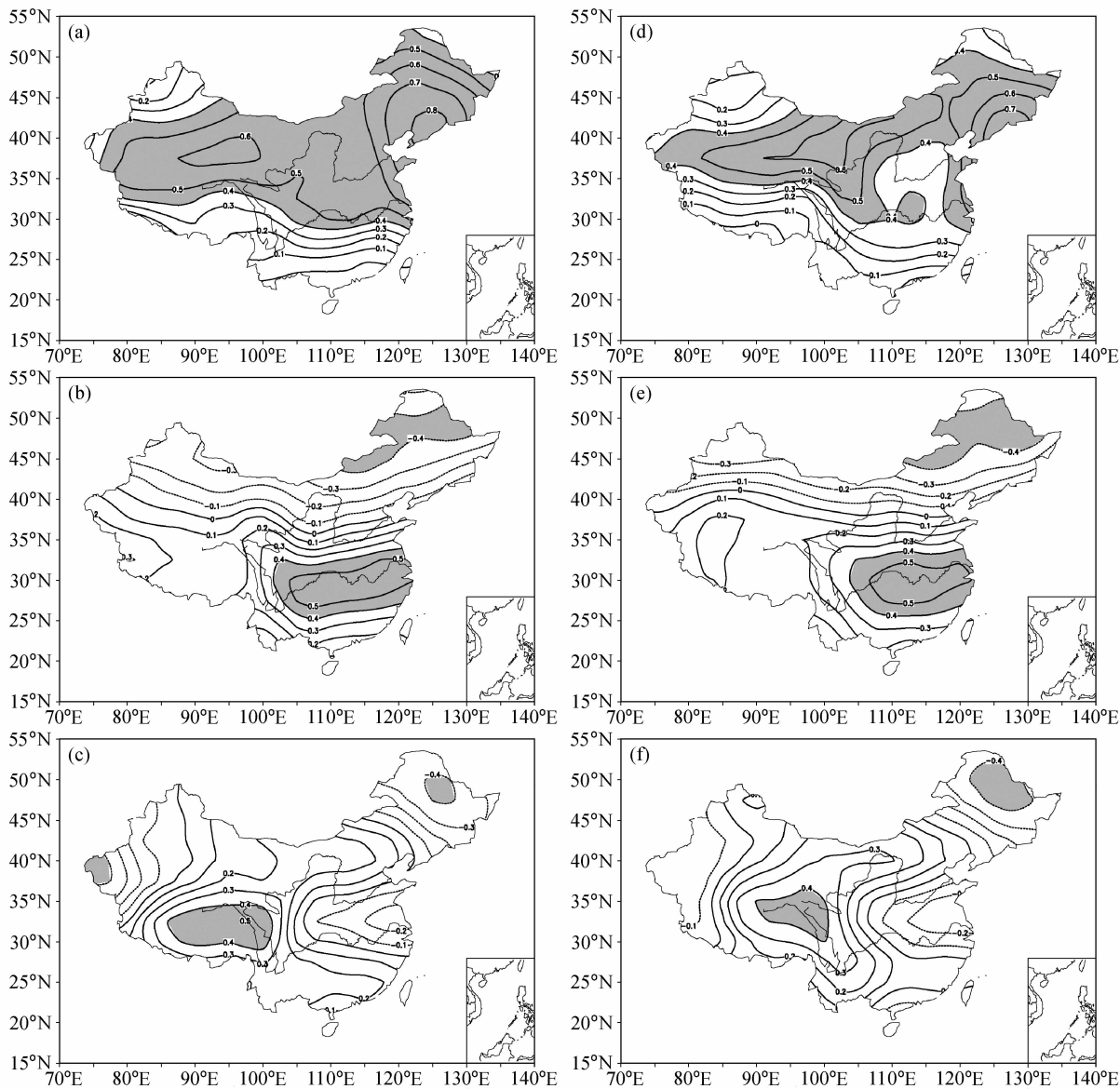


图9 温度观测资料经 EOF 分析的前 3 个时间系数与 ET' (a~c) 和 NT' (d~f) 的相关系数: (a、d) 第 1 特征向量; (b、e) 第 2 特征向量; (c、f) 第 3 特征向量。阴影部分通过 99% 信度检验

Fig. 9 Correlation distributions of the leading three EOF time coefficient series of observed temperature with (a~c) ET' and (d~f) NT' for (a, d) the first, (b, e) second, and (c, f) third eigenvectors. Areas passing 99% confidence level test are shaded

通过信度检验的范围略小, 不包括黄河中游的河南及山西部分地区。这说明我国北方温度的年代际变化特征较显著。对照图 5a 可以发现, 通过显著性检验的地区同时也是我国夏季温度变化较大的地区 (不包括新疆西北部), 体现了纬度效应, 同时表明夏季温度变化大是由年代际变化造成的。 ET' 与 NT' 相比, 在研究我国北方 ($30^{\circ}N$ 以北) 温度的年代际变化时, 前者较好, 这与黄刚 (2006)、徐影等 (2001) 的结果一致。

EOF-T2 与再分析温度资料的相关分析 (图

9b、e) 表明, 我国长江中下游及以南地区 ($25^{\circ}N \sim 33^{\circ}N$, $105^{\circ}E$ 以东) 为正相关, 东北北部和内蒙古东部为负相关, 与特征向量符号一致, 反映了这两个地区温度的反位相变化特征, 且以年际变化为主; EOF-T2 与两种再分析资料相关系数的空间分布和数值大小十分接近, 表明这两种资料在研究我国长江中下游及以南地区 ($25^{\circ}N \sim 33^{\circ}N$, $105^{\circ}E$ 以东) 和东北北部的温度年际变化时能力相当。

EOF-T3 与再分析温度资料的相关分析 (图 9c、f) 表明, 我国吉林和黑龙江以及长江中下游地

区为负相关, 其他地区为正相关, 且与特征向量符号一致; 通过显著性检验的地区仅为东北和青藏高原的东北部, 两地区的温度变化呈现出反位相变化特征, 且年际变化较显著。

对照图 5a 可发现, 长江、黄河中下游之间地区的方差变化是年际变化和年代际变化共同造成的。ET' 和 NT' 均能反映出我国温度的变化, 但前者更准确; 在研究我国北方 (30°N 以北) 温度年代际变化时, ET' 较好; 在研究我国温度年际变化时两种再分析资料能力相当, 适合于分析长江中下游以及东北地区温度的年际变化; 而新疆西北部方差较大区域仅在 NT' 中略有反映。

7 1976 年前后的温度场差异

IPCC 评估报告 (Houghton et al., 1996) 指出: 在 1976 年前后全球地表温度有明显差异。众多研究结果认为 1976 年前后发生过一次年代际突变。因此, 本文比较了三种资料集在 1976 年前后的差异 (图 10)。观测温度资料 (图 10a) 显示在 26°N~35°N、105°E 以东及新疆中南部为降温, 其他地区升温; ET (图 10b) 与 OT (图 10a) 的空间分布较相似, 26°N 以北到华北、内蒙古西北部、甘肃、新疆中南部降温, 其他地区升温; NT (图 10c) 的特征为 105°E 以东、青藏高原、新疆西北部升温, 内蒙古西北部、甘肃、宁夏一带降温, 升温中心位于渤海湾一带。从升、降温幅度来说, ET 与观测资料相当, 而 NT 的变化幅度远远高于其他两种资料。因此, 分析气温年代际变化时, 使用 ET 更能反映突变的实际情况。

8 结论与讨论

针对中国 194 站气温资料 (OT)、NCEP/NCAR (NT) 和 ERA-40 (ET) 再分析月平均温度资料, 采用线性分析、方差分析、小波分析以及 EOF 等方法, 对比研究了三种资料的变化特征及其差异, 结论如下:

(1) 在数值上, ERA-40 温度资料与观测资料较接近, 而 NCEP/NCAR 温度资料比观测资料低, 且 1965 年之前与观测值的差异较大; ERA-40 温度资料与观测资料的相似性优于 NCEP/NCAR 温度资料, 具有 1960 年代中期到 1990 年代中期多低于平均值, 此前和之后多高于平均值的特点, 4 年和

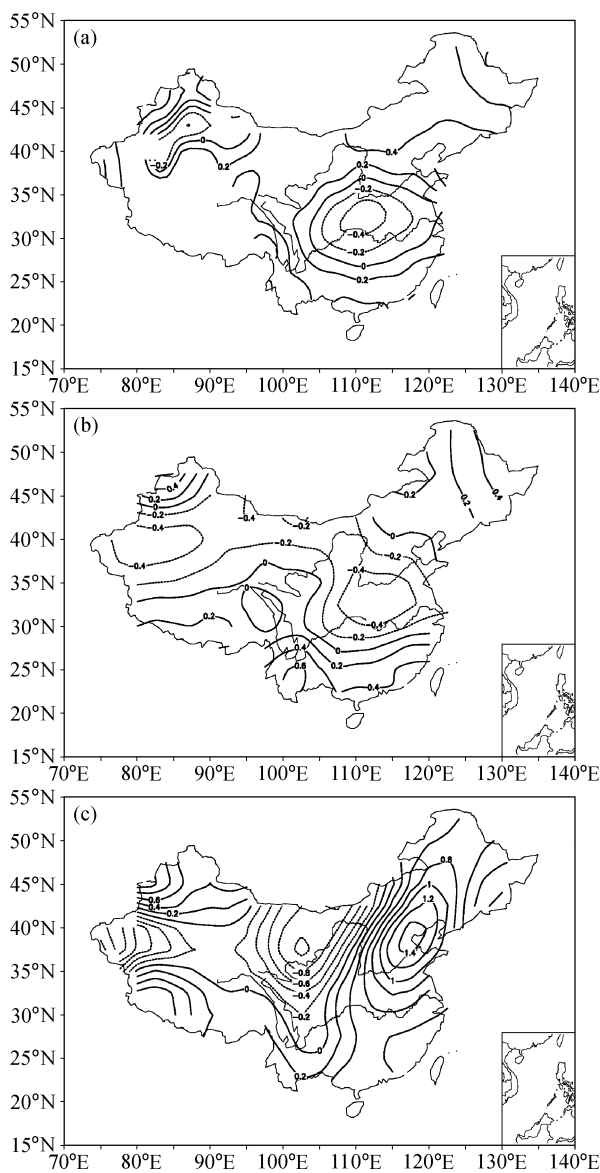


图 10 (a) OT、(b) ET、(c) NT 在 1976 年前后的差异 (单位: °C)

Fig. 10 Differences of (a) OT, (b) ET, and (c) NT before and after 1976 (units: °C)

6 年的周期特征显著; 而 NCEP/NCAR 温度资料以 1976 年为界的年代际变化特征十分显著。因此, 在对地面温度进行周期分析时, 建议使用 ET 资料。OT、ET 的距平及其变化趋势非常接近, 而 NT 距平在 1965 年之前与其他两种温度资料距平的差异非常大。在使用 NT 的原始资料时应慎重, 而 1965 年之后的 NT 距平值有一定的可信度。

(2) ERA-40 温度资料对我国温度长期变化趋势的再现能力要优于 NCEP/NCAR 温度资料, 与实际观测资料的线性趋势及空间模态十分类似, 尤

其是在我国长江中下游、东北、华北地区以及青藏高原地区的变化量相当；而 NCEP/NCAR 温度资料在研究我国温度长期变化中具有不确定性，且其变化趋势远远大于观测值和 ERA-40 温度资料。因此，使用时应注意 NT 在区域和长期趋势中所反映的不确定性及其差异。ET 对我国南方（30°N 以南）温度变化的估计略偏高，而 NT 偏低。在新疆西部地区，NT 的估计远远高于观测温度，也高于 ET，应慎用；在东北、华北、内蒙古以及青藏高原地区，两种再分析资料对温度变化的再现能力是相当的。

(3) ERA-40 和 NCEP/NCAR 的温度资料均能反映出我国温度的时空变化特征，但前者更加准确；在研究我国北方（30°N 以北）温度年代际变化时，ERA-40 较好；在研究我国温度年际变化时，两种资料的表现能力相当，适合于分析长江中下游及东北地区温度的年际变化。

(4) 三种温度资料均显示 1976 年前后我国的温度有明显差异。其中 ERA-40 温度与观测资料十分一致，在（25°N~35°N，105°E~120°E）区域有降温趋势，而在其他地区有升温趋势，NCEP/NCAR 温度与观测资料的趋势不完全一致；从升温、降温幅度来说，ET 与观测资料相当，而 NT 的变化幅度则远远高于其他两种资料。因此，分析气温年代际变化时，使用 ET 较可靠，更能反映出突变的实际情况。

此外需要注意的是，在 1965 年之前 NCEP/NCAR 温度资料也存在类似于“PSFC”的问题，使用时应慎重。

致谢 观测资料取自中国气象局气象科学数据共享资料网；NCEP/NCAR 和 ECMWF 再分析资料服务由南京信息工程大学大气资料中心提供；文中诸图均采用 GrADS 软件绘制。

参考文献 (References)

陈海山, 朱伟军, 邓自旺, 等. 2004. 江苏冬季气温的年代际变化及其背景场分析 [J]. 南京气象学院学报, 27 (4): 433–442.
Chen Haishan, Zhu Weijun, Deng Ziwan, et al. 2004. Interdecadal variations of winter air temperature in Jiangsu Province and their physical background [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (4): 433–442.
方之芳, 张丽. 2006. 夏季 NCEP 资料质量和 20 世纪 70 年代东亚热低压的突变 [J]. 高原气象, 25 (2): 179–189. Fang Zhifang, Zhang Li. 2006. NCAR–NCEP data quality and abrupt changes of East Asia low in summer of 1970's [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (2): 179–189.

Greatbatch R J, Rong P P. 2006. Discrepancies between different Northern Hemisphere summer atmospheric data products [J]. J. Climate, 19 (1): 1261–1273.
Houghton J T, Filho L G M, Callander B A, et al. 1996. Climate Change 1995: The IPCC Second Assessment [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 572 pp.
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 1960–99 [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 82 (3): 951–958.
Kaiser D P, Qian Y. 2002. Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954–1998: Indication of increased haze pollution? [J]. Geophys. Res. Lett., 29 (21), 2042, doi: 10.1029/2002GL016057.
Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77 (3): 437–472.
Kistler R. 1998. Reanalysis PSFC problem 1948–1967 [EB/OL]. <http://wwwt.emc.ncep.noaa.gov/gmb/bkistler/psfc/psfc.html>.
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 (2): 247–268.
蓝光东, 温之平, 贺海晏. 2005. ERA 与 NCEP2 大气热源的对比分析以及全球大气热源性质变化规律的研究 [J]. 大气科学, 29 (1): 154–163. Lan Guangdong, Wen Zhiping, He Haiyan. 2005. Comparison of the atmospheric heat sources obtained from era and those from NCEP2 and study of the variations in the nature of heating over the global atmosphere [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 29 (1): 154–163.
李庆祥, 李伟. 2007. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立 [J]. 气象学报, 65 (2): 293–300. Li Qingxiang, Li Wei. 2007. Construction of the gridded historic temperature dataset over China during the recent half century [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 65 (2): 293–300.
Li Qingxiang, Dong Wenjie. 2009. Detection and adjustment of undocumented discontinuities in Chinese temperature series using a composite approach [J]. Adv. Atmos. Sci., 26 (1): 143–153.
秦育婧, 王盘兴, 管兆勇, 等. 2006. 两种再分析资料的 Hadley 环流比较 [J]. 科学通报, 51 (12): 1469–1473. Qin Yujing, Wang Panxing, Guan Zhaoyong. 2006. Comparison of the Hadley cells calculated from two reanalysis data sets [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 51 (12): 1469–1473.

- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 701–716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005. Some progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 701–716.
- 任国玉. 2008. 气候变暖成因研究的历史、现状和不确定性 [J]. 地球科学进展, 23 (10): 1084–1091. Ren Guoyu. 2008. History, current state and uncertainty of studies of climate change attribution [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 23 (10): 1084–1091.
- 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): 709–722. 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 Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (6): 709–722.
- Simmons A J, Jones P D, da Costa Bechtold V, et al. 2004. Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40, and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature [J]. J. Geophys. Res., 109, D24115, doi: 10.1029/2004JD005306.
- 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 1999. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析 [J]. 高原气象, 18 (2): 337–347. Su Zhixia, Lü Shihua, Luo Siwei. 1999. The examinations and analysis of NCEP/NCAR 40 years global reanalysis data in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (2): 337–347.
- 唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 2009. 中国近百年温度曲线的对比分析 [J]. 气候变化研究进展, 5 (2): 71–78. Tang Guoli, Ding Yihui, Wang Shaowu, et al. 2009. Comparative analysis of the time series of surface air temperature over China for the last 100 years [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 5 (2): 71–78.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79 (1): 61–78.
- Uppala S M, KÅllberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 612: 2961–3012.
- 谢爱红, 秦大河, 任贾文, 等. 2007. NCEP/NCAR 再分析资料在珠穆朗玛峰—念青唐古拉山脉气象研究中的可信性 [J]. 地理学报, 62 (3): 268–278. Xie Aihong, Qin Dahe, Ren Jiawen, et al. 2007. Reliability of NCEP/NCAR reanalysis data on Mount Qomolangma and western Nyainqentanglha range [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 62 (3): 268–278.
- 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.
- 岳阳, 管兆勇, 王盘兴. 2005. 两种再分析资料间 Hadley 环流双层结构的差异 [J]. 南京气象学院学报, 28 (5): 695–703. Yue Yang, Guan Zhaoyong, Wang Panxing. 2005. Differences of the bi-level structure of Hadley cells between two different reanalysis data [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 28 (5): 695–703.
- 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, Ailikun, 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.
- 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.
- 周雅清, 任国玉. 2005. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 743–753. Zhou Yaqing, Ren Guoyu. 2005. Identifying and correcting urban bias for regional surface air temperature series of North China over period of 1961–2000 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 743–753.

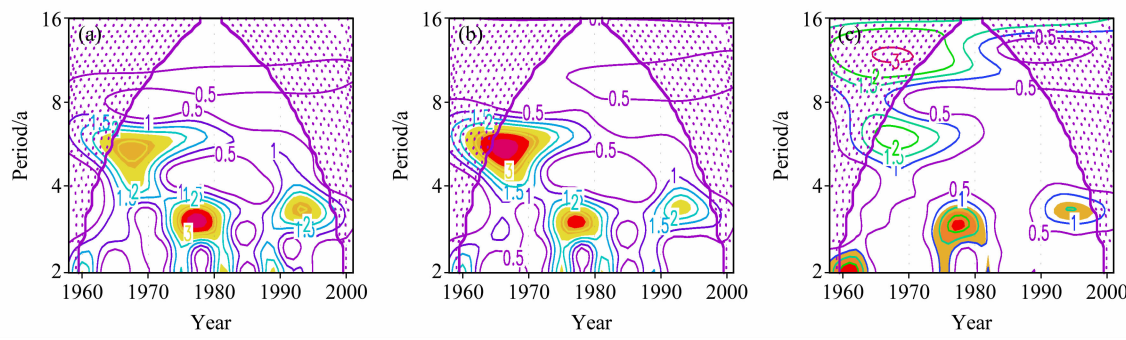


图 3 区域平均 (a) OT、(b) ET、(c) NT 序列的标准 Morlet 小波分析。阴影：通过 90% 信度检验的去噪能谱

Fig. 3 Morlet wavelet spectra of area averaged (a) OT, (b) ET, (c) NT series. Shaded areas denote de-noise spectrums exceeding 90% confidence level

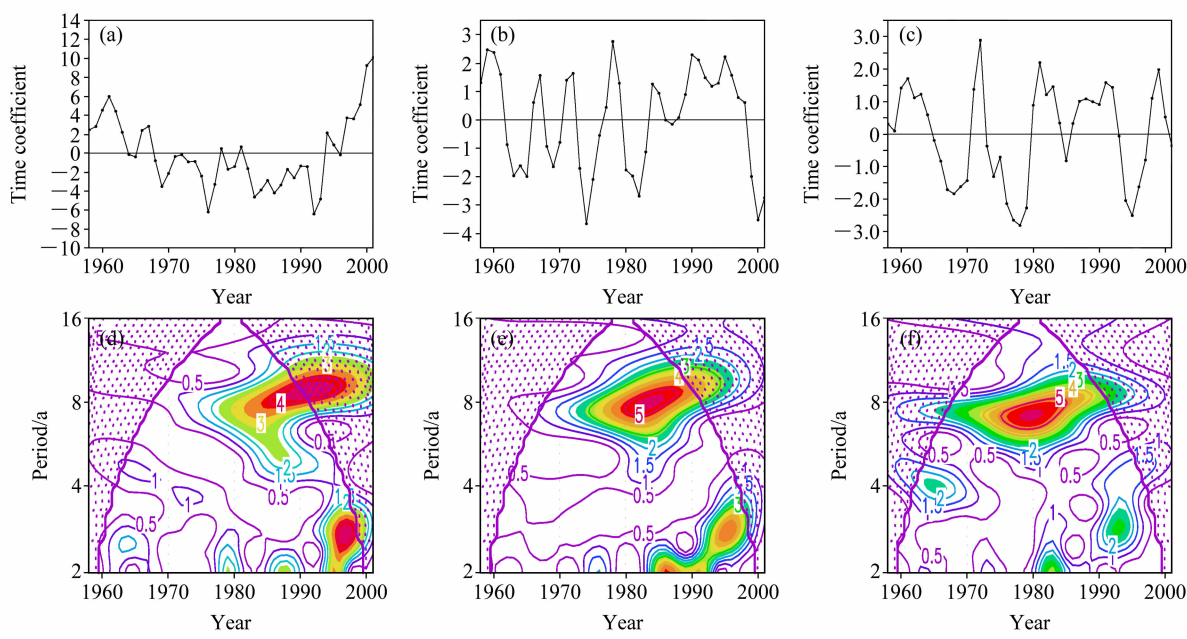


图 8 温度观测资料经 EOF 分析的 (a~c) 时间系数及其 (d~f) 标准 Morlet 小波分析结果：(a、d) 第 1 特征向量；(b、e) 第 2 特征向量；(c、f) 第 3 特征向量。阴影：通过 90% 信度检验的去噪能谱

Fig. 8 (a-c) Time coefficient series of EOF analysis of observed temperature and (d-f) their Morlet wavelet analysis results for (a, d) the first, (b, e) second, and (c, f) third eigenvectors. Shaded areas denote the de-noise spectrums exceeding 90% confidence level