

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*

施晓晖¹ 徐祥德¹ 谢立安²

1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京,100081

2 美国北卡罗莱纳州立大学,涪利,NC27695-8208

摘 要

采用计算标准化均方根误差、相关分析和 EOF 分解等多种客观分析统计方法,对 NCEP/ NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域的可信度进行了研究,结果表明中国东部不同要素距平的标准化均方根误差均比西部地区的小,说明 NCEP/ NCAR 再分析资料的可信度东部比西部要高,可能是受到模式地形和中国地面气象站点“东密西疏”分布格局的较大影响。随着高度升高,NCEP 再分析风速距平的误差减小,进一步表明地形对 NCEP 再分析资料的可信度具有较大影响。另外,冬季再分析风速误差较大的特点在 850, 500 和 200 hPa 等压面上均存在,表明冬季再分析风速距平的可信度受到再分析模式系统误差的较大影响。相关分析结果和标准化均方根误差计算结果之间具有很好的反向对应关系,即均方根误差大,NCEP 再分析资料与实测资料的相关性就差,均方根误差小,则对应两者之间的相关性就较好。标准化均方根误差较小的要素,其 NCEP 再分析和站点实测资料距平 EOF 分解得到的特征向量空间分布较为相似,各特征向量对应时间系数的相关性也比较好;反之,标准化均方根误差大的要素,其 NCEP 再分析和站点实测资料距平 EOF 分解得到的特征向量空间分布则相差较大,对应时间系数的相关性也比较差,因此采用 EOF 分解方法,分析对应特征向量空间分布相似性及其时间系数变化的一致性,可以对 NCEP 再分析资料的可信度有一个更加客观的认识。综合上述各季节、各要素多种方法的分析结果,可以发现 NCEP 再分析风速距平在春、夏、秋季具有一定的可信度,但冬季的可信度较差;表面气温距平则是冬季的可信度最好,夏季的可信度较差。

关键词:再分析资料,标准化均方根误差,相关分析,EOF 分解,可信度。

1 引 言

美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)在 20 世纪 90 年代发起了“NCEP / NCAR Reanalysis Project”^[1],目前完成了从 1948 年开始的再分析,因此已有将近 60 年的资料可供使用,成为现在用于气候分析时间序列最长的再分析资料,广泛用于气候诊断分析、东亚季风、水分循环等各个方面的研究,并在气候模拟和预测研究中作为区域气候模式的初始场、边界条件资料,用来检验

模拟结果^[2-12]。

Kalnay 等^[1]综合介绍了 NCEP/ NCAR 再分析计划的流程、所用资料和模拟同化系统,并分析了再分析资料的可信度,指出 1985—1989 年全球大气顶部向上及向下的短波辐射和长波逸出辐射都与其他气候学估计值非常接近,同时指出再分析资料的短波向太空辐射比气候估算值多了 11 W/m^2 。在地面的辐射平衡及热平衡中,各量也与气候估算值很接近,但大气在地面多损失了 5.5 W/m^2 ,大气在其顶部及地面有能量损失,与 NCEP 模式给出温度值

* 初稿时间:2005 年 9 月 16 日;修改稿时间:2005 年 12 月 12 日。

资助课题:国家自然科学基金项目(40305005、90502003)和国家重点基础研究发展计划项目(2003CB716806)。

作者简介:施晓晖,男,1972 年生,理学博士,主要从事天气气候学的研究。

略为偏低是一致的,纬向平均和区域的地表通量与气候估计基本一致。因为再分析资料的质量和可信度能直接影响到诊断分析的结果、影响气候数值模式的稳定性,对模拟和预测的研究结果产生影响,所以在随后的一系列研究中,不同的气象学者用不同方法从不同角度对不同的参变量进行了分析和比较,对 NCEP 再分析资料的可信度予以检验和评价^[13-18]。针对 NCEP/NCAR 再分析资料在中国区域的可信度问题,苏志侠等^[19]对中国青藏高原及其附近地区进行了分析和检验,指出湿、压、风、湿和降水等再分析资料与气候分析基本相似,认为再分析资料基本合理。赵天保等^[20]分析和比较了 NCEP 再分析值与中国区域内观测值之间的差异,发现 NCEP 再分析资料的月平均温度较观测值普遍偏低,而月降水总量较观测值则偏高;就季节变化而言,NCEP 再分析值在夏季和年平均模拟较好,冬季较差。还有一些研究^[21-24]针对 NCEP/NCAR 再分析资料在青藏高原地区气候研究中的可信度进行了分析,指出 NCEP 再分析地面气温资料在青藏高原上系统性偏低,降水量则系统性偏大,但可较好地反映青藏高原地区地面气温及降水的年变化特征,基本反映了其年际变率和年际间的差异,高原地区的地面热通量再分析资料也能较好地反映该区热源强度的年及年际变化特征;分析同时发现,模式地形高度与地面气象站海拔高度的差异是造成气温再分析值与实测值偏差的主要原因,冬季积雪区地表反照率再分析值偏大是造成冬季地面净辐射偏小的因素,并加剧了冬季气温再分析值的偏差。这些研究都表明,再分析资料总体而言能够较好地反映气候的年及年际变化,具有一定的可信度。

目前人们更为关心的是 NCEP/NCAR 再分析资料用于长期气候变化研究中的不确定性问题,国外很多学者均对此进行了研究^[25-27],研究结果表明,NCEP 再分析气温资料在对流层中低层存在一定的不确定性。徐影等^[28]初步分析了近 50 年再分析地面气压、气温资料在中国气候变化研究中的可信度,指出 NCEP 资料在对气候变化长期趋势变化研究中,存在着较大的不确定性,温度的可靠性比气压要好,但没有对其他资料的可信度进行检验。本文将中国区域内 147 个探空站点和 160 个地面站点的观测资料(风速和地面气温)插值到 NCEP 再分析资料格点,并采用多种常规客观分析方法对再分

析资料和台站观测资料进行分析和比较,揭示它们之间存在的差异,检验和评价 NCEP 再分析风速、表面气温资料在中国区域内的可信度,重点讨论各要素距平值的可信度问题。

2 资料与方法

2.1 资料处理

使用的资料主要有:(1)中国区域 147 个探空观测站的标准等压面(850,500,200 hPa)每日两次的风向、风速资料。首先处理为月平均纬向、经向风速,再得到其季节平均值,并利用 Cressman 内插函数将其插值到 NCEP 再分析资料 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格,时间长度为 1980—2003 年;(2)中国区域 160 个地面观测站的月平均地面气温资料。处理为季节平均值,利用 Cressman 内插函数将其插值到 NCEP 再分析资料 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格,时间长度为 1961—2000 年;(3)NCEP/NCAR 再分析月平均资料,包括 850,500,200 hPa 的纬向、经向风速以及表面气温,并求取其季节平均值,时间与实测资料对应。

2.2 方法说明

为定量了解 NCEP 再分析资料与实测资料之间的差异,计算了对应格点上各要素再分析资料与实测资料之间的标准化均方根误差,定义为

$$E = \frac{1}{r} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

以及对应格点上两者距平之间的标准化均方根误差,定义为

$$E = \frac{1}{r} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(f_n - \bar{f}) - (r_n - \bar{r})]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

式(1),(2)中 f 和 r 分别为 NCEP 再分析资料和实测资料, N 为相应的时间长度, r 为实测资料的标准差。

另外,使用相关分析、EOF 分解等方法以分析 NCEP 再分析资料与实测资料变化趋势的一致性。

3 均方根误差及相关分析结果

3.1 地面气温

分析 1961—2000 年 4 个季节 NCEP 再分析资料表面气温和实测地面气温的标准化均方根误差空间分布(图 1),可以发现 NCEP 再分析表面气温在 4 个季节的误差都比较大,其中冬季的误差相对小一些。从空间上看,青藏高原地区的误差最大,部分地区的

误差为实测地面气温标准差的 10 多倍到 30 倍,相关研究^[17]曾指出高原上 NCEP 再分析表面气温误差较大的原因是由于模式地形与实测地形存在很大差异,

另外还与高原区域地面站点稀少有关。东部地区误差一般为实测值标准差的 2—3 倍,但夏季华南地区的误差较大,超过实测值标准差的 5 倍。

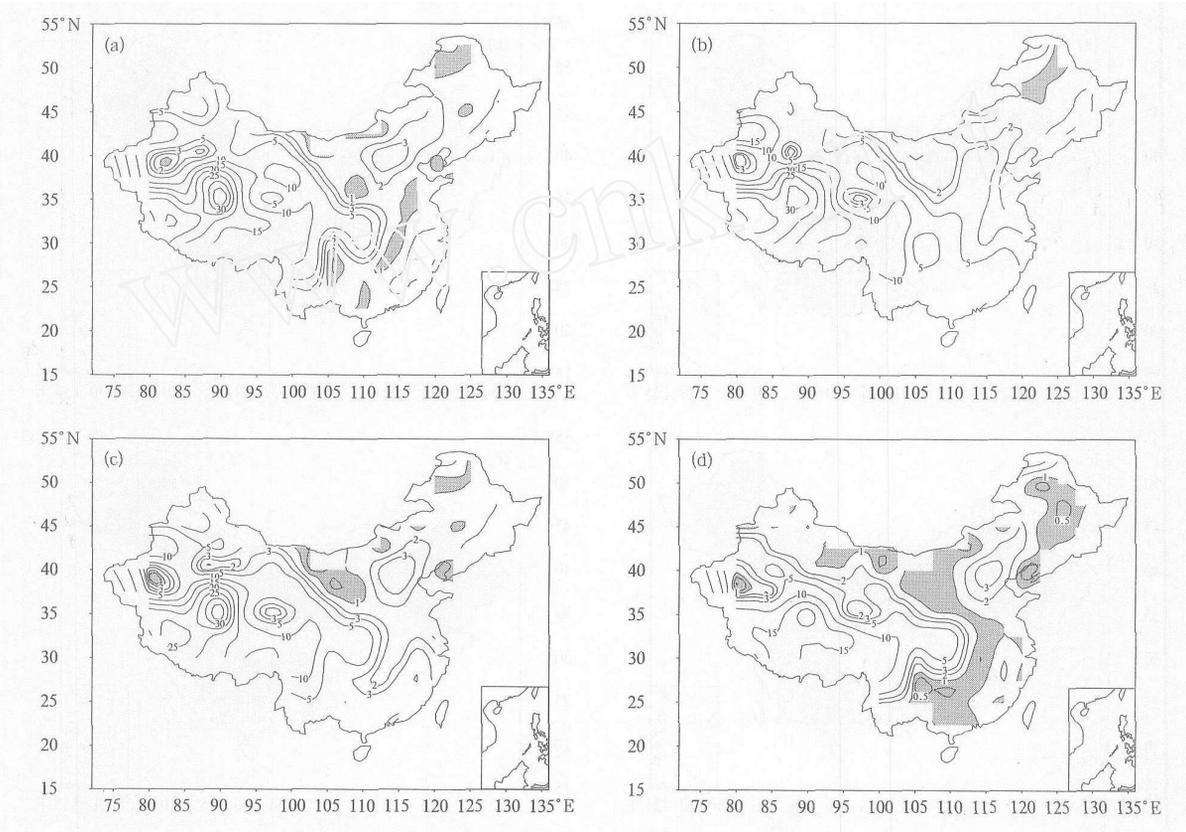


图 1 NCEP 再分析表面气温与实测地面气温的标准化均方根误差
(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 阴影区 > 1.0)

Fig. 1 Normalized root mean square errors (RMSE) of the NCEP/ NCAR reanalysis and observed surface air temperatures (SAT)
(a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter; Values > 1.0 are shaded)

根据标准化均方根误差的定义,如果其值大于 1.0,表示该格点上 NCEP 再分析资料与实测资料的均方根误差超过了实测值的标准差,即误差较大,反之,如果其值小于 1.0,则表示该点上两者的均方根误差小于实测值的标准差,即误差较小,因此上述分析结果表明,NCEP 再分析表面气温在数值上与站点实测值存在较大差异。

比较图 1、图 2 可以发现,NCEP 再分析表面气温距平的标准化均方根误差比其原始值的要小得多,尤其青藏高原区域的误差大大减小,均方根误差最大也只是实测地面气温标准差的 1.5 倍左右,其他区域的均方根误差基本上都小于实测地面气温的

标准差。4 个季节中,夏季的误差最大,秋、冬季的误差相对较小(图 2)。以上对比分析结果表明,NCEP 再分析表面气温在其数值上与实测资料相差较大,而其距平值的误差则要小得多。

进一步采用相关分析揭示 NCEP 再分析表面气温和站点实测地面气温年际变化趋势的一致性。从 1961—2000 年各季节平均 NCEP 再分析表面气温与站点实测地面气温的相关系数分布(图 3)可以看出,中国东部区域两者的相关在 4 个季节都十分显著,均可通过 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验,而西部尤其是高原区域的相关性稍差。总体而言,夏季两者的相关性在 4 个季节中是最差的,冬季则是最好的。结

合上述气温及其距平标准化均方根误差分析结果可以发现,NCEP再分析表面气温资料在数值上与站点实测地面气温存在较大的差异,但两者距平值的差异

则小得多,且年际变化趋势较为一致,尤其是在中国东部区域。因此,利用NCEP再分析表面气温分析中国区域气候变化趋势仍然具有一定的可行性。

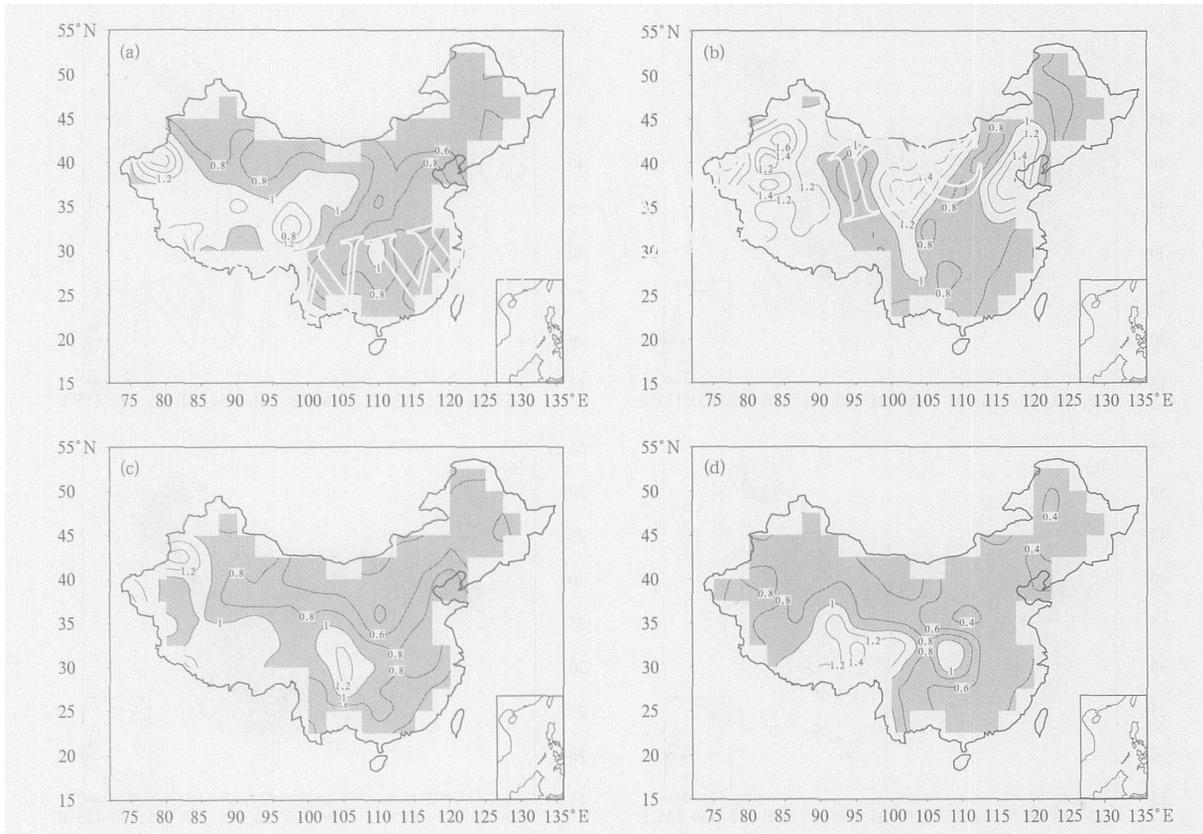


图2 NCEP再分析表面气温距平值与实测地面气温距平值的标准化均方根误差
(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 阴影区 > 1.0)

Fig. 2 Normalized RMSEs of the anomalies of the NCEP/NCAR reanalysis and observed SATs
(a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter; Values > 1.0 are shaded)

3.2 风速

为了较全面地了解NCEP再分析等压面风速资料的可信度问题,选取850,500和200 hPa分别代表低、中、高层进行分析。

从1978—2003年850 hPa纬向、经向风速距平的标准化均方根误差分布(图4)可以发现,纬向、经向风速距平的标准化均方根误差分布基本一致,春、夏、秋3个季节中国东部地区的均方根误差基本上都小于实测值标准差,冬季再分析资料的误差较大,几乎所有格点上的纬向、经向风速距平值的均方根误差均大于实测值标准差。各个季节中,四川盆地的误差高值中心均十分明显,西北地区亦为850 hPa纬向、经向风速距平均方根误差的高值区,表明

这些地区存在较大的误差,这可能与这些地区站点分布较为稀疏,且地形复杂、模式地形不能很好地描述出实际地形等因素有一定的关系。与风速原始值标准化均方根误差的分布(图略)比较可以发现,不论是纬向风速还是经向风速,其距平值的误差均比原始值的要小得多,这与地面气温的情况是一致的。

上述各季节平均850 hPa再分析纬向、经向风速距平的标准化均方根误差空间分布的共同特征表明,NCEP再分析低层风场资料很可能受到模式地形以及中国区域观测站点“东密西疏”分布格局的共同影响,因此出现东部地区误差较小,而西部地区误差较大的现象;但冬季误差远远大于其他3个季节的原因还需要进一步研究。

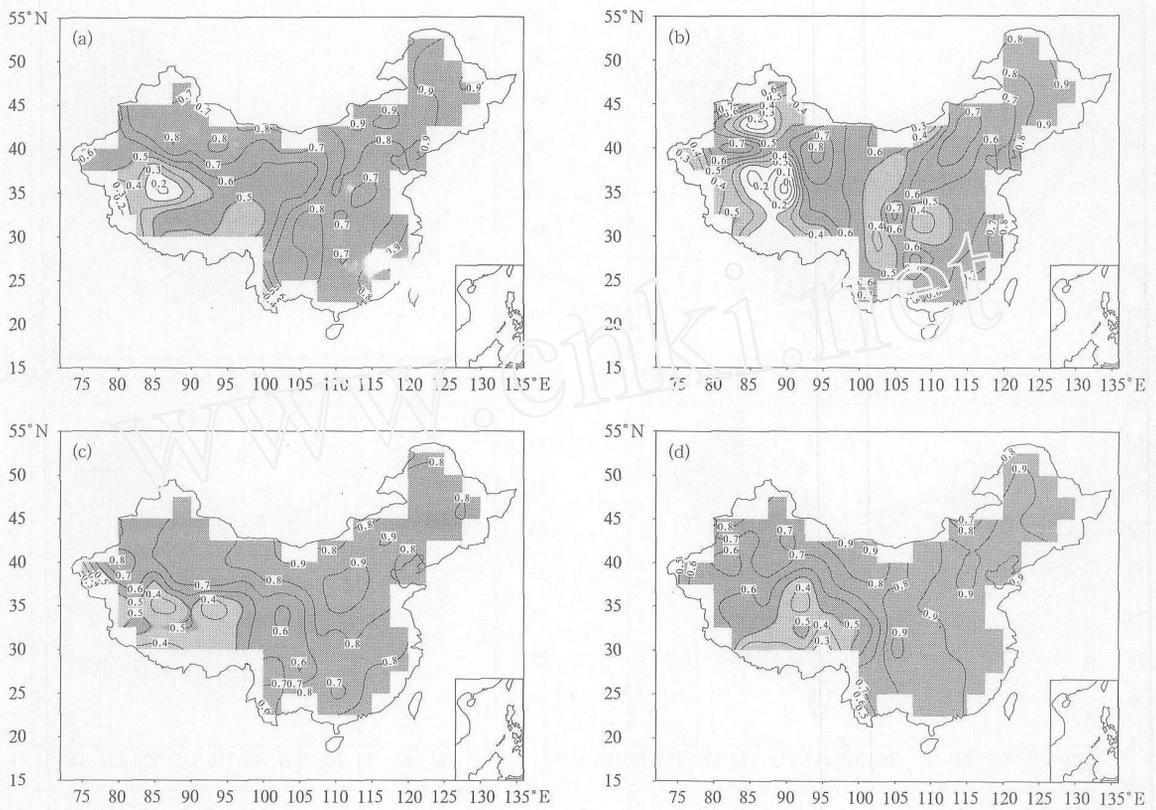


图3 NCEP再分析表面气温与站点地面气温实测值的相关系数

(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 阴影区 ≥ 1.0 ; 浅、深阴影分别是通过 $\alpha = 0.05, 0.001$ 显著性检验的区域)

Fig. 3 Correlation coefficients of the NCEP/NCAR reanalysis and observed SATs

(a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter; Correlations significant at $\alpha = 0.05, 0.001$ confidence level are lightly and heavily shaded, respectively)

图5、图6分别为500与200 hPa再分析纬向、经向风速距平标准化均方根误差的空间分布,可以看出,中国东部地区误差比西部地区小的特征同样存在,另外,各季节、各层次纬向、经向风速距平值标准化均方根误差仍然均比原始值的要小(图略)。与图4比较还可以发现,500与200 hPa风速距平的误差都比850 hPa的要小,说明随着高度升高,地形影响逐渐减小,误差也逐渐减小,进一步表明地形对NCEP再分析资料的可信度具有很大影响。另外,冬季再分析风速资料的误差相对于其他季节比较大的特点在500与200 hPa等压面上依然存在,表明冬季再分析风速资料的可信度可能受到再分析模式系统误差的较大影响,但其成因还需要深入研究予以揭示。春、秋季200 hPa纬向风速距平位于中国中部地区的误差高值带的产生原因也需进一步研究。

本文还计算了1978—2003年各季节对应格点上850, 500, 200 hPa纬向、经向风速NCEP再分析资料与站点实测资料的相关系数,发现除冬季以外,其他3个季节各层经向风速的相关性均较好,东部地区两者的相关尤为显著,基本上均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验;同样地,各层次纬向风速在春、夏、秋季的相关也都较好,但春季和秋季的200 hPa纬向风速在中国中部存在一个相关系数低值区,这与标准化均方根误差的分析结果是一致的。上述分析结果表明,除冬季以外,其他3个季节的NCEP再分析风速与站点实测风速的年际变化趋势较为一致,在中国东部地区两者变化趋势尤为相近,因此可以认为中国东部区域的NCEP再分析风速资料具有较好的可信度,但冬季存在较大误差。由于篇幅所限,本文只给出了夏季850, 500, 200 hPa经向风速NCEP再分析资料与站点实测资料的相关系数

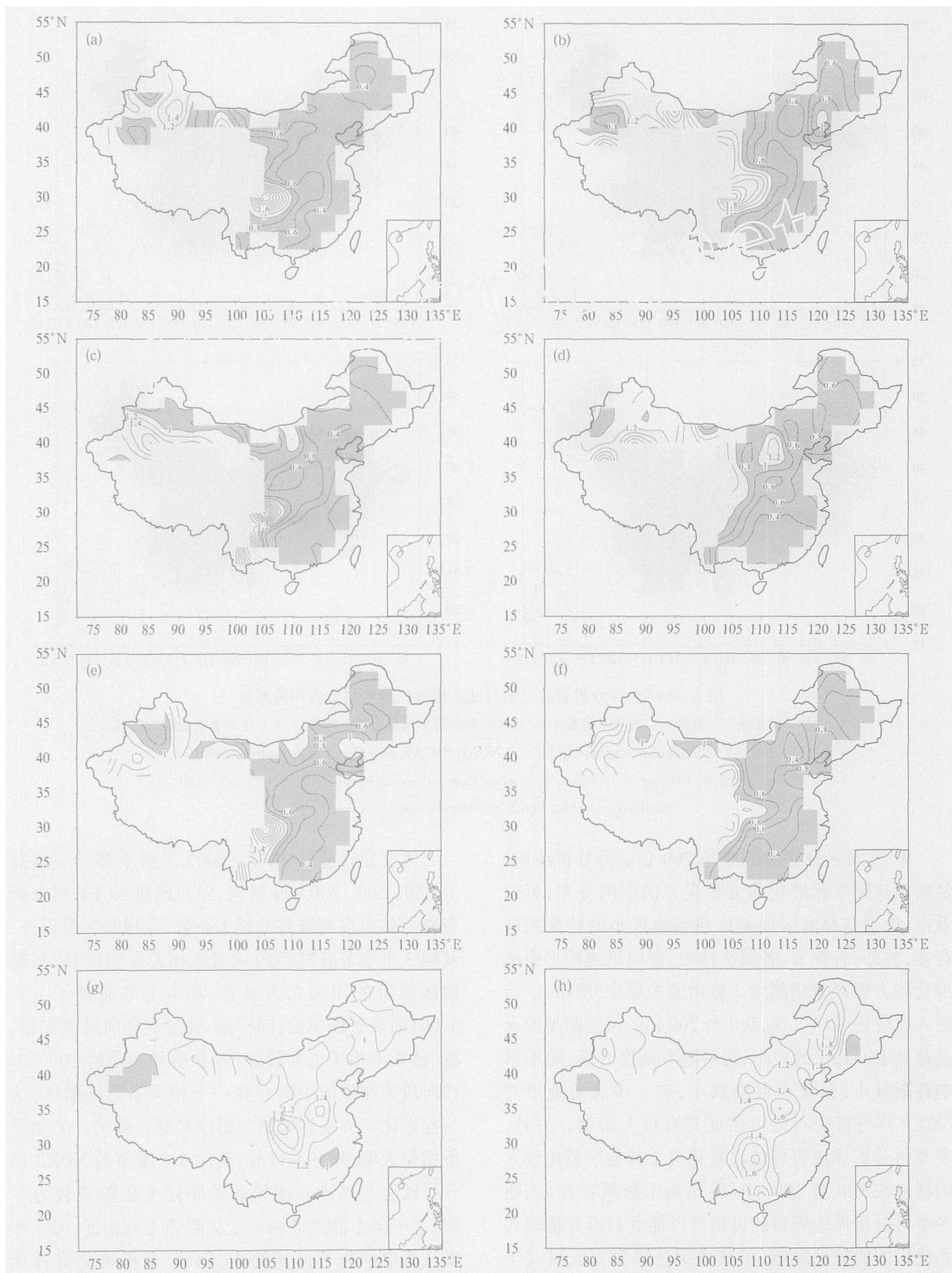


图4 NCEP再分析与实测850 hPa纬向、经向风速距平的标准化均方根误差(阴影区 > 1.0)
(a, c, e, g 分别为春、夏、秋、冬四季的纬向风速; b, d, f, h 分别为春、夏、秋、冬四季的经向风速)

Fig. 4 Normalized RMSEs of the anomalies of the 850 hPa zonal (u ; a, c, e, g) and meridional (v ; b, d, f, h) wind speeds in the NCEP/NCAR reanalysis and observed data (Values > 1.0 are shaded)
(a, b, spring; c, d, summer; e, f, autumn; g, h, winter)

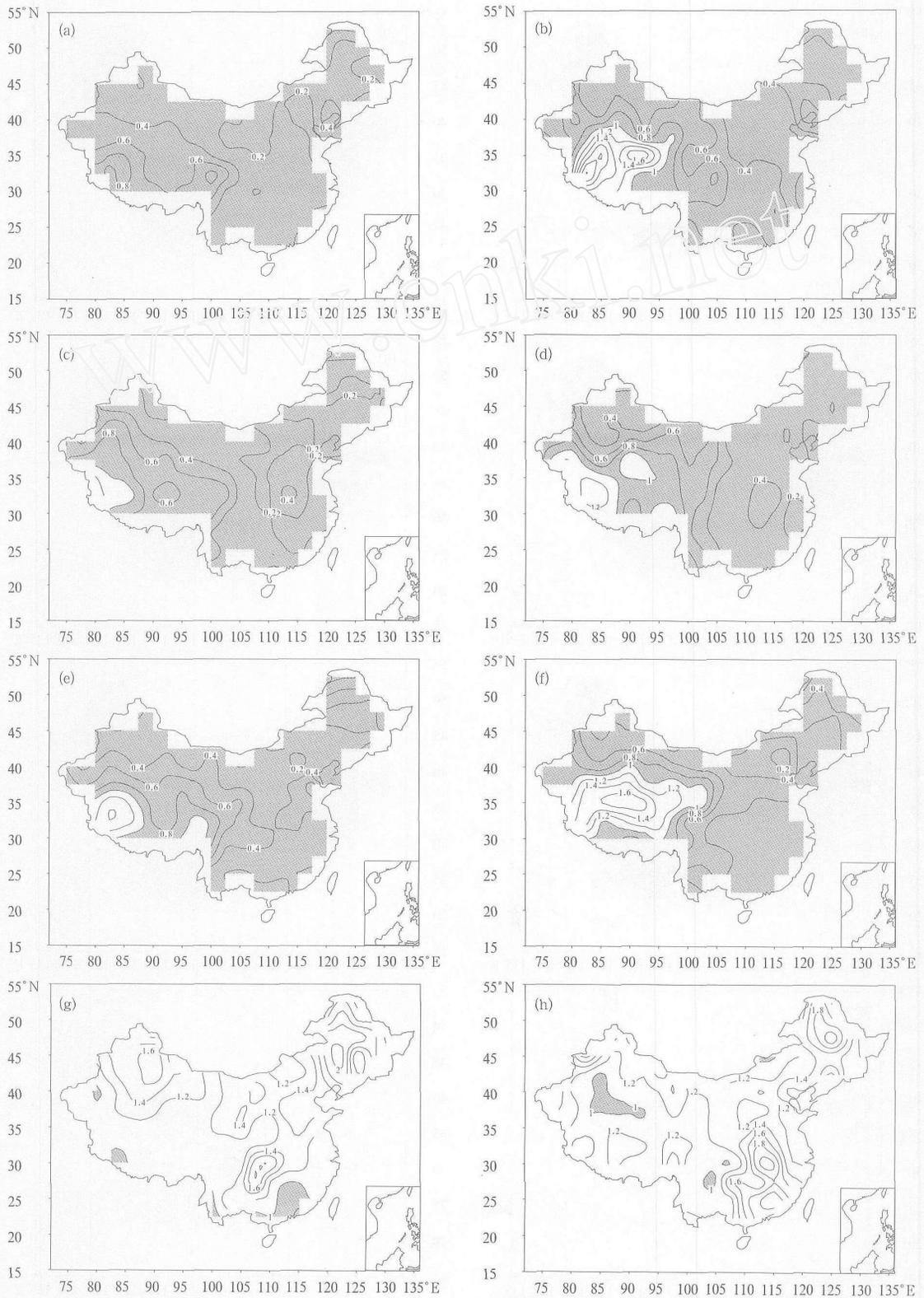


图 5 NCEP 再分析与实测 500 hPa 纬向、经向风速距平的标准化均方根误差 (阴影区 > 1.0)
 (a, c, e, g 分别为春、夏、秋、冬四季的纬向风速; b, d, f, h 分别为春、夏、秋、冬四季的经向风速)

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for 500 hPa

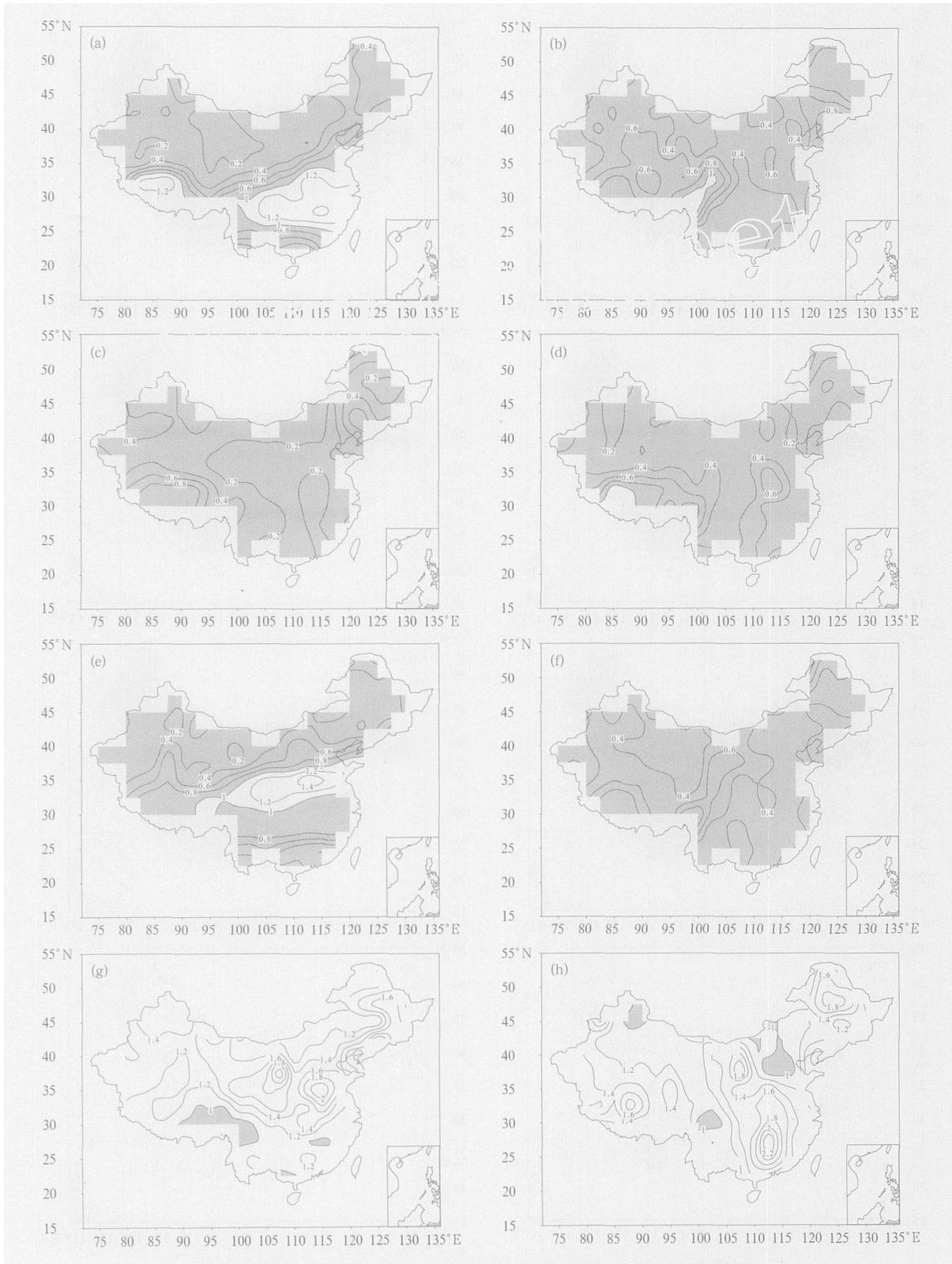


图 6 NCEP 再分析与实测 200 hPa 纬向、经向风速距平的标准化均方根误差 (阴影区 > 1.0)
 (a, c, e, g 分别为春、夏、秋、冬四季的纬向风速; b, d, f, h 分别为春、夏、秋、冬四季的经向风速)

Fig. 6 Same as Fig. 4, but for 200 hPa

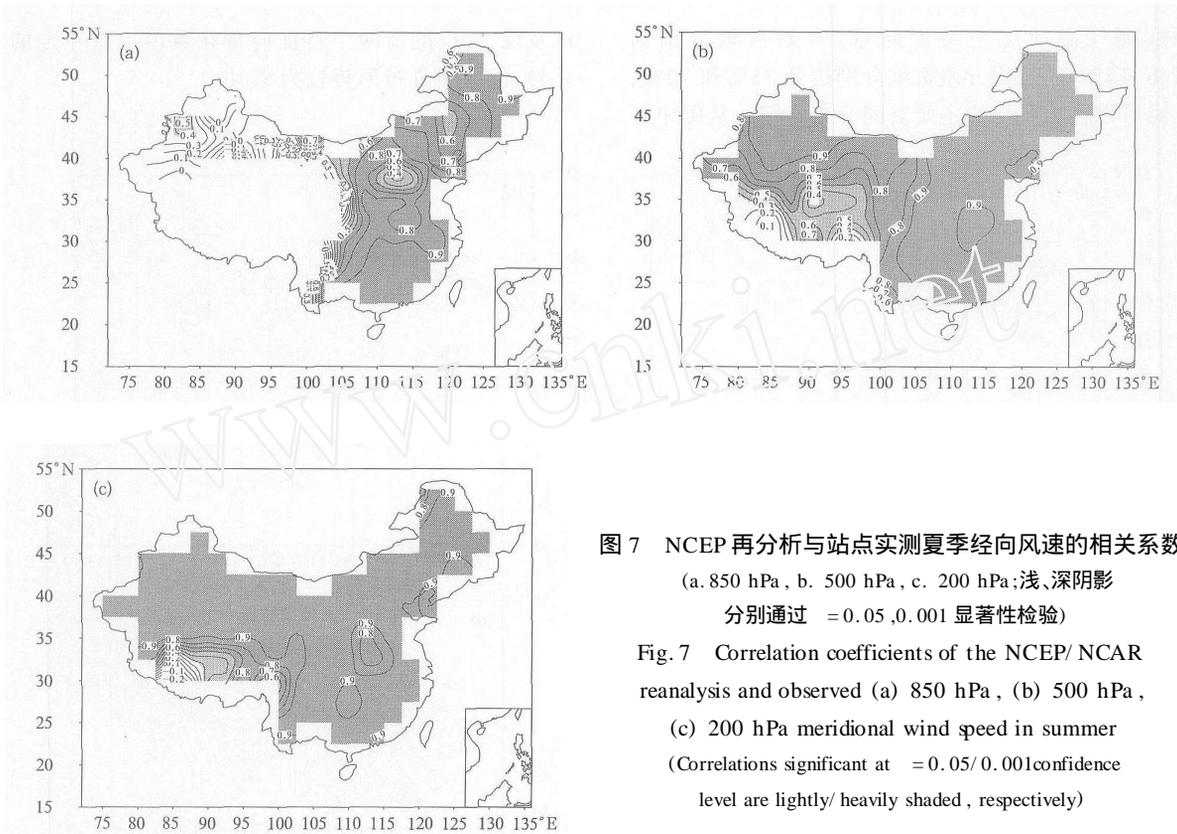


图7 NCEP再分析与站点实测夏季经向风速的相关系数
(a. 850 hPa, b. 500 hPa, c. 200 hPa; 浅、深阴影
分别通过 $\alpha = 0.05, 0.001$ 显著性检验)
Fig. 7 Correlation coefficients of the NCEP/NCAR
reanalysis and observed (a) 850 hPa, (b) 500 hPa,
(c) 200 hPa meridional wind speed in summer
(Correlations significant at $\alpha = 0.05/0.001$ confidence
level are lightly/heavily shaded, respectively)

空间分布(图7)。从图7可以发现高层相关性好于低层,与标准均方根误差随高度升高而减小的分析结果一致。

仔细比较地面气温和等压面风速的相关分析和距平标准化均方根误差分析结果,可以发现它们之间具有很好的反向对应关系,即均方根误差大,NCEP再分析资料与实测资料的相关性就差,反之,均方根误差小,则对应两者之间的相关性就较好。这表明两种分析方法之间具有联系,但也存在差别,相关分析更多地反映了两者变化趋势的一致性,标准化均方根误差分析则能够体现出误差的相对大小,具有一定的优越性。

对比地面气温和等压面风速标准化均方根误差的分析结果,可以看出NCEP再分析等压面风速的误差总体上比表面气温要小,表明等压面风速的可信度好于表面气温,这与地面气温观测资料受到城市化发展的较大影响可能存在一定的联系;中国东部区域各要素的可信度均比西部区域的好,其可能是受到模式地形误差以及中国地面测站“东密西疏”分布格局的一定影响;综合以上分析,各要素距平值的标准化均方根误差都比原始值的小得多,因此利

用NCEP再分析资料来研究气候的长期变化应该是可信的。

4 EOF分析结果

EOF分解是气候分析中常用的统计方法之一,根据EOF分解的原理,EOF得到的特征向量可以反映出变量场主要的空间变化特征,通过分析其对应时间系数的变化则可以进一步了解变量场这一空间分布随时间的变化特征。因此首先分析NCEP再分析资料和实测资料EOF分解得到的特征向量空间分布是否相似,可以了解NCEP再分析资料是否能够反映出实测变量的主要空间变化分布特征;再考察对应的时间系数变化是否一致,则可以判断NCEP再分析资料和实测变量场主要空间分布随时间变化的特征是否一致,这样将特征向量和时间系数两者结合起来分析,可以使我们对NCEP再分析资料的可信度有进一步的了解。

图8为1961—2000年冬季地面气温NCEP再分析资料和站点资料距平EOF分解得到的前2个特征向量的空间分布,其中NCEP再分析表面气温前2个特征向量(方差贡献分别为57%,18%)与地

面实测气温前 2 个特征向量(方差贡献分别为 57%, 15%)的累积方差贡献分别达到 75% 和 72%, 已经可以代表各自的主要空间分布特征。从图中可

以发现,对应的前两个特征向量在数值上有一定的差异,但空间分布形势较为相似。

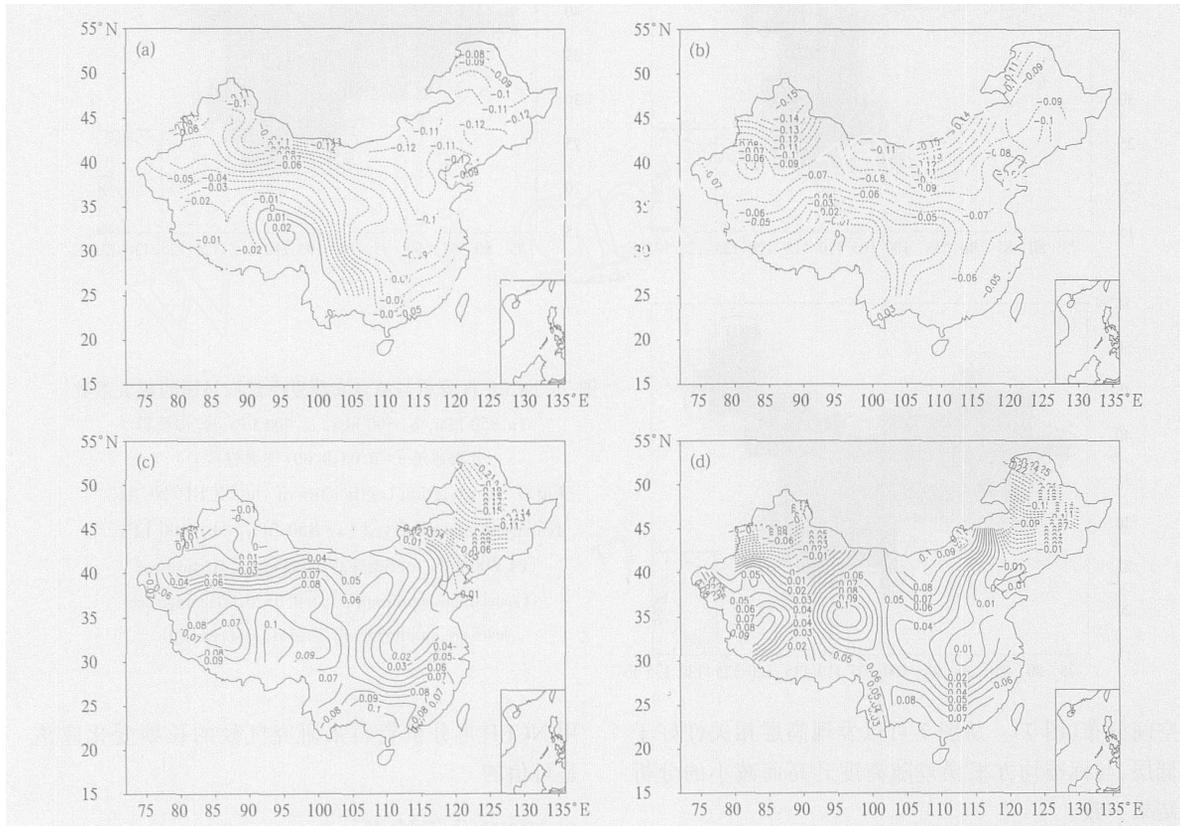


图 8 1961—2000 年冬季 NCEP 再分析和站点实测地面气温距平 EOF 分解得到的前 2 个特征向量空间分布 (a. 再分析第 1 特征向量; b. 实测第 1 特征向量; c. 再分析第 2 特征向量; d. 实测第 2 特征向量)

Fig. 8 Spatial patterns of (a, b) the first and (c, d) second EOF modes of (a, c) the NCEP/NCAR reanalysis and (b, d) observed SATs in winter during 1961 - 2000

分析冬季地面气温 EOF 分解前两个特征向量对应时间系数的变化情况,可以发现 NCEP 再分析资料和实测资料 EOF 分解第 1 特征向量对应时间系数的变化十分一致(图 9)。根据计算,第 1、第 2 特征向量对应时间系数的相关系数分别为 0.9683 和 0.8730,均远远超过 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验水平。

上述结果表明, NCEP 再分析冬季表面气温距平可以较好地反映出中国区域地面气温的时空变化特征,具有一定的可信度。

分析各要素 NCEP 再分析、站点实测资料距平 EOF 分解前 3 个特征向量的空间分布特征和相应时间系数之间的相关性可以发现,标准化均方根误

差较小的要素,其 NCEP 再分析和站点实测资料距平 EOF 分解得到的特征向量空间分布较为相似(图略),各特征向量对应时间系数的相关性也比较好(表 1),如春季和秋季的地面气温,春季、夏季、秋季的 850 hPa 和 500 hPa 的纬向、经向风速,以及夏季 200 hPa 纬向、经向风速等;标准化误差大的要素,其 NCEP 再分析和站点实测资料距平 EOF 分解得到的特征向量空间分布则相差较大,各特征向量对应时间系数的相关性也比较差,如冬季 850, 500 和 200 hPa 的纬向、经向风速,夏季地面气温等。因此采用 EOF 分解,比较对应特征向量空间分布相似性及其时间系数变化的一致性,得到的结果与计算标准化均方根误差、相关分析等方法得到的结论基本

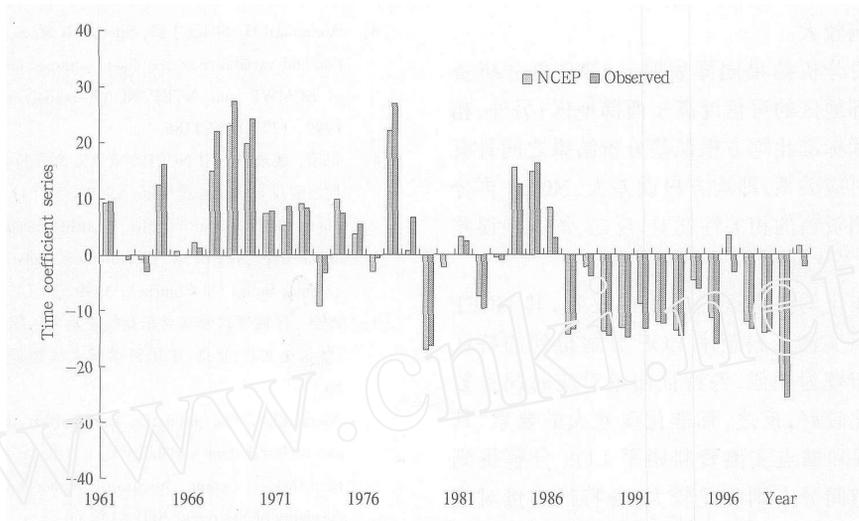


图9 1961—2000年冬季NCEP再分析和站点实测地面气温距平 EOF 第1特征向量对应的时间系数

Fig. 9 Time coefficient series for the first EOF modes of the NCEP/NCAR reanalysis and observed SAT anomalies in winter during 1961 - 2000

表1 NCEP再分析和站点实测资料距平 EOF分解前3个特征向量对应时间系数的相关性

Table 1 Correlation coefficients between the time coefficient series of the first three EOF modes of the NCEP/NCAR reanalysis and observed temperature and wind anomalies

	季节	地面气温	850 hPa		500 hPa		200 hPa	
			纬向风速	经向风速	纬向风速	经向风速	纬向风速	经向风速
第1特征向量	春季	0.7183	0.9260	0.7905	0.9925	0.7216	0.8971	0.5980
	夏季	0.4202	0.9740	0.9641	0.8925	0.9820	0.9741	0.9840
	秋季	0.8862	0.7634	0.9116	0.9954	0.9844	0.8134	0.5848
	冬季	0.9683	0.4048	0.3286	0.2325	0.1265	0.3271	0.0250
第2特征向量	春季	0.6721	0.9209	0.8315	0.9850	0.7339	0.2911	0.7574
	夏季	0.2863	0.9498	0.9141	0.8980	0.9752	0.9566	0.9429
	秋季	0.6766	0.5737	0.9458	0.9524	0.9576	0.2708	0.3353
	冬季	0.8730	0.0950	0.3336	0.4704	0.3280	0.2043	0.0512
第3特征向量	春季	0.5705	0.8149	0.5874	0.9739	0.8718	0.0017	0.4895
	夏季	0.5134	0.7072	0.8940	0.8779	0.9120	0.8514	0.5697
	秋季	0.0688	0.2993	0.0974	0.9282	0.8988	0.4049	0.0941
	冬季	0.0178	0.2908	0.1330	0.0446	0.1474	0.2523	0.2907

注:带—表示通过 $\alpha=0.001$ 显著性检验。

一致,可以对NCEP再分析资料的可信度有一个更为客观的认识。

5 结论与讨论

(1) 中国东部不同要素距平的标准化均方根误差均比西部地区的小,这样的空间分布特征表明NCEP/NCAR再分析资料的可信度受到模式地形和中国地面气象站点“东密西疏”分布格局的影响较大。

(2) 相对于资料原始值而言,各要素距平的标准均方根误差大大减小,因此利用NCEP再分析资料研究中国区域气候的长期变化是基本可信的。

(3) 随着高度升高,地形的影响逐渐减小,NCEP再分析风速资料的误差也逐渐减小,进一步表明地形对NCEP再分析资料的准确度具有很大的影响。另外,冬季再分析风速资料误差相对较大的特点在850,500和200 hPa等压面上均存在,表明冬季再分析风速资料的可信度受到再分析模式系

统误差的影响较大。

(4) 相关分析结果同样表明,NCEP再分析资料在中国东部地区的可信度高于西部地区;另外,相关分析结果和标准化均方根误差分析结果之间具有很好的反向对应关系,即均方根误差大,NCEP再分析资料与实测资料的相关性就差,反之,均方根误差小,则对应两者之间的相关性就较好。

(5) 标准化均方根误差较小的要素,其NCEP再分析和站点实测资料距平 EOF分解得到的特征向量空间分布较为相似,各特征向量对应时间系数的相关性也比较好;反之,标准化误差大的要素,其NCEP再分析和站点实测资料距平 EOF分解得到的特征向量空间分布则相差较大,各特征向量对应时间系数的相关性也比较差。因此采用 EOF分解方法,对比分析对应特征向量空间分布相似性及其时间系数变化的一致性,可以对NCEP再分析资料的可信度有一个更加客观的认识。

(6) 综合各季节、各要素标准化均方根误差分析、相关分析和 EOF分解多种客观统计方法的分析结果,可以发现NCEP再分析风速资料在春、夏、秋季具有一定的可信度,但冬季的可信度较差;表面气温则是冬季的可信度最好,夏季的可信度较差。就区域而言则是东部地区的可信度高于西部。

通过本文的分析研究,可以发现NCEP再分析资料在中国区域具有一定的可信度,但在具体数值上也存在较大的差异,其原因可能是两方面的:一方面再分析系统模式的分辨率($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)较低,不能很好地描述下垫面特征(地形及植被状况),同时对中、小尺度系统的模拟能力也较差,进而可能造成气象要素的较大误差;另一方面观测资料也存在自身的问题,如资料的非均一性较大,地面气温受到城市化发展的较大影响等。这些问题的解决还有待今后进一步的研究工作。

参考文献

- [1] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437-471
- [2] Zhang Yi, Sperber K R, Boyle J S. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: results from the 1979 - 95 NCEP/NCAR reanalysis. *Mon Wea Rev*, 1997, 125 (10): 2605-2619
- [3] Annamalai H, Slingo J M, Sperber K R, et al. The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: Comparison of ECMWF and NCEP/NCAR reanalysis. *Mon Wea Rev*, 1999, 127: 1157-1186
- [4] 张琼, 钱永甫. 用NCEP/NCAR再分析辐射资料估算月平均地表反射率. *地理学报*, 1999, 59 (4): 309-317
Zhang Qiong, Qian Yongfu. Monthly mean surface albedo estimated from NCEP/NCAR reanalysis radiation data. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 1999, 59 (4): 309-317
- [5] 熊洁. 区域气候模式对东亚气候及其年际变率的模拟和分析[学位论文]. 北京:中国科学院大气物理研究所, 2001. 152 pp
Xiong Zhe. The simulation and analysis of East Asian climate and its interannual variability by a regional climate model [Doctoral thesis]. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2001. 152 pp
- [6] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. *气象学报*, 2001, 59 (6): 747-758
Tao Shiyuan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. An observational study on the behavior of the subtropical high over the north Pacific in summer. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2001, 59 (6): 747-758
- [7] 徐祥德, 陶诗言, 王继志等. 青藏高原-季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系. *气象学报*, 2002, 60 (3): 258-264
Xu Xiangde, Tao Shiyuan, Wang Jizhi, et al. The relationship between water vapor transport features of Tibetan Plateau-monsoon “large triangle” affecting region and drought-flood abnormality of China. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2002, 60 (3): 258-264
- [8] Wu Renguang, Xie Shangping. On equatorial pacific surface wind changes around 1997: NCEP/NCAR reanalysis versus COADS observation. *J Climate*, 2003, 16 (1): 167-173
- [9] 丁一汇, 胡国权. 1998年中国大洪水时期的水汽收支研究. *气象学报*, 2003, 61 (2): 129-145
Ding Yihui, Hu Guoquan. A study on water vapor budget over China during the 1998 severe flood periods. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2003, 61 (2): 129-145
- [10] 王淑瑜. 东亚区域气候模拟和土壤湿度初始化问题研究[学位论文]. 中国科学院大气物理研究所, 2003. 161 pp
Wang Shuyu. The simulation of East Asia regional climate and the study on initialization of soil humidity [Doctoral thesis]. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2001. 161 pp
- [11] 钱永甫, 江静, 张艳等. 亚洲热带夏季风的首发地区和机理研究. *气象学报*, 2004, 62 (2): 129-139
Qian Yongfu, Jiang Jing, Zhang Yan, et al. The earliest onset area of the tropical Asian summer monsoon and its mechanisms. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2004, 62 (2): 129-139
- [12] 苗秋菊, 徐祥德, 张胜军. 长江流域水汽收支与高原水汽输送

- 分量“转换”特征. 气象学报, 2005, 63(1): 93-99
- Miao Qiuju, Xu Xiangde, Zhang Shengjun. Whole layer water vapor budget of Yangtze River valley and moisture flux components transform in the key areas of the Plateau. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2005, 63(1): 93-99
- [13] Basist A N. Comparison of tropospheric temperatures derived from the NCEP/NCAR reanalysis, NCEP operational analysis, and the microwave sounding unit. Bull Amer Meteor Soc, 1997, 78(7): 1431-1447
- [14] Pocard I, Janicot S, Camberlin P. Comparison of rainfall structure between NCEP/NCAR reanalysis and observed data over tropical Africa. Climate Dynamics, 2000, 16(12): 897-915
- [15] Shen S S P, Dzikowski P, Li Guilong, et al. Interpolation of 1961 - 97 daily temperature and precipitation data onto alberta polygons of ecodistrict and soil landscapes of data. J Appl Meteor, 2001, 40(12): 2162-2177
- [16] Reid P A, Jones P D, Brown O, et al. Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationship with surface by direct comparison with station based data. Climate Research, 2001, 17(3): 247-261
- [17] Josey S A. A comparison of ECMWF, NCEP/NCAR, and SOC surface heat fluxes with moored buoy measurements in the subduction region of the Northeast Atlantic. J Climate, 2001, 14(8): 1780-1789
- [18] Renfrew I A, Moore G W K, Guest P S, et al. A comparison of surface layer and surface turbulent flux observations over the Labrador Sea with ECMWF analyses and NCEP reanalysis. J Phys Oceanogra, 2002, 32(2): 384-400
- [19] 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 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, L üShihua, Luo Siwei. The examinations and analysis of NCEP/NCAR 40 years global reanalysis data in China. J Plateau Meteor (in Chinese), 1999, 18(2): 209-218
- [20] 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较. 气候与环境研究, 2004, 19(2): 278-294
- Zhao Tianbao, Ai Likun, Feng Jinming. An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China. Clim Environ Res (in Chinese), 2004, 19(2): 278-294
- [21] 宋敏红, 吴统文, 钱正安. 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. 高原气象, 2000, 19(4): 467-475
- Song Minhong, Wu Tongwen, Qian Zhengan. Verification of NCEP surface heat fluxes over the Qinghai-Xizang Plateau and its application to summer precipitation forecast. J Plateau Meteor (in Chinese), 2000, 19(4): 67-75
- [22] 魏丽, 李栋梁. 青藏高原地区 NCEP 新再分析地面通量资料的检验. 高原气象, 2003, 22(5): 478-487
- Wei Li, Li Dongliang. Evaluation of NCEP DOE surface flux data over Qinghai - Xizang Plateau. J Plateau Meteor (in Chinese), 2003, 22(5): 478-487
- [23] 魏丽, 李栋梁. 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. 高原气象, 2003, 22(5): 488-494
- Wei Li, Li Dongliang. Reliability of NCEP/NCAR reanalysis data in climatic change along Qinghai-Xizang railway. J Plateau Meteor (in Chinese), 2003, 22(5): 488-494
- [24] 李川, 张廷军, 陈静. 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. 高原气象, 2004, 23(增刊): 97-103
- Li Chuan, Zhang Tinjun, Chen Jing. 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 Meteor (in Chinese), 2004, 23(suppl): 97-103
- [25] Santer B D, Hnilo J J, Wigley T M L, et al. Uncertainties in observationally based estimates of temperature change in the free atmosphere. J Geophys Res, 1999, 104(D6): 6305-6333
- [26] Santer B D, Wigley T M L, Gaffen J, et al. Interpreting differential temperature trends at the surface and in the lower troposphere. Science, 2000, 287: 1227-1232
- [27] Curt C, Krishna M A, Michael F, et al. Intercomparison of climate data sets as a measure of observational uncertainty. UCRL-ID-147371, 2002. 35 pp
- [28] 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. J Appl Meteor Sci (in Chinese), 2001, 12(3): 337-347

RELIABILITY ANALYSES OF ANOMALIES OF NCEP/ NCAR REANALYSIS WIND SPEED AND SURFACE TEMPERATURE IN CLIMATE CHANGE RESEARCH IN CHINA

Shi Xiaohui¹ Xu Xiangde¹ Xie Li'an²

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

2 North Carolina State University, Raleigh, NC27695-8208, U. S. A

Abstract

By means of various statistical analysis methods, such as normalized root mean square error (RMSE), correlation analysis and empirical orthogonal function (EOF) decomposition etc, the reliability of the various seasonal anomalies of NCEP/NCAR reanalysis wind speed and surface air temperature (SAT) data frequently used in the regional climate change research in China is studied. Results show that RMSE of the meteorological variables are smaller in eastern China than in western China, i. e. the reliability of the NCEP/NCAR reanalyzed data in eastern China is better than that in western China. This could be due to effects of the topography in the reanalysis model and the disposition of "dense-in-eastern-and-sparse-in-western" of meteorological stations in China. The RMSE of anomalies of reanalysis wind speeds decreases with increasing height, further conforming the possible impact of topography on the reliability of the reanalysis data, and its RMSEs at 850, 500, and 200 hPa in winter are larger than those in other three seasons, suggesting that the reliability of reanalysis wind speed anomalies in winter was obviously affected by the system error of reanalysis model. Results of correlation analysis inversely correspond to those of RMSE analysis, i. e. if the RMSE is larger, then the correlation between the reanalyzed and observed data is worse (smaller), and vice versa. It is found from comparing the EOF eigenvectors of anomalies of the reanalyzed and observed data that if a meteorological variable has a smaller RMSE, the spatial patterns of corresponding EOF eigenvectors of anomalies of the reanalysis and observed data are similar and their time coefficients are significantly correlated; and vice versa. Therefore, the similarity of EOF modes and the consistency of their time coefficients can be used to objectively assess the reliability of the NCEP/NCAR reanalysis data. On the whole, the reliability for wind speeds is better in spring, summer and autumn, but worse in winter; and for SATs it is the best in winter and the worst in summer.

Besides, it is also found that there are larger differences in the magnitudes between the NCEP/NCAR reanalyzed and observed data. The possible causes are: (1) the lower resolution of the reanalysis mode, which resulted in the inaccurate descriptions to the topography and the microscale and mesoscale systems; (2) the limitation of the observational data, such as its obvious heterogeneity and the impacts of "urban heat island" on SATs, etc.

Key words: NCEP/NCAR reanalysis data, Normalized RMSE, Correlation analysis, EOF decomposition, Data reliability.