

冬季亚欧 500 hPa 高度与下表面温度异常的大尺度相关型

吴洪宝, 庞 昕

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要: 使用 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了冬季欧亚地区 500 hPa 高度距平场与下表面温度距平场间的大尺度相关空间型。结果表明, 两个场整体相关程度远高于随机水平, 得到 4 对显著的耦合空间型, 解释两场间协方差平方和的 86% 和各自方差的 58% 和 38%, 反映 500 hPa 环流两种不同纬带的纬向环流异常和两种不同形态的经向环流异常, 两个场距平之间的配合是受静力平衡关系支配的。秋季的表面温度异常能给出冬季中低纬 500 hPa 高度距平符号的信息。

关键词: 500 hPa 位势高度, 表面温度, 相关型

中图分类号: P456.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0214-07

大气上、下边界上的热状况是驱动大气运动的外在因子, 当它们处于某种状态时, 大气的低频运动将向其适应^[1]。表征下边界热状况的有海表温度、冰雪覆盖、陆面温度等。海表温度距平对大气环流和气候异常的影响已有很多研究, 有关海冰、雪盖的影响的研究近年来也逐渐增多, 但关于大范围陆面温度的影响的研究还较少见。尽管就全球而言, 陆面只占约 29%, 但在北半球中高纬地区, 陆面所占比例却远高于这个数字。由于冬季影响我国的天气系统基本上来自欧亚大陆, 因此研究大尺度陆面温度距平与气候异常的关系很必要。

较早的时候, 汤懋苍就将地温作为降水量的长期预报因子。随后, 有章基嘉^[2]、章善强^[3]等工作, 孙照渤等^[4,5]也详细研究了冬季中国地温与北半球 500 hPa 高度异常的关系。

Wallace 等^[6-8]对冬季中高纬地区海气大尺度相互作用的研究指出, SST 异常的尺度比海洋 Rossby 变形半径大得多, 相当于低频大气环流异常的尺度; 另外, 大气环流异常强的地区就在 SST 强异常及附近地区, 北太平洋和北大西洋的 SST 异常分别与大气 PNA 和 NAO 型遥相关相配合。由此可见, 地气之间也有尺度对应关系。而受资料限制, 一般研究只局限于讨论局部地区地温与大范围大气异常的关系。另一方面, 外部因子驱动大气运动的效率取决于冷、热源的温度对比, 而不是单独取决于热源或冷源异常。但以往的工作大多是单独研究海气或地气的联系, 而没有同时考虑海温与陆地温度异常的对比。本文利用 NCEP/NCAR 地球表面温度再分析资料研究欧亚陆地及邻近海洋表面温度距平与 500 hPa 高度场大尺度异常间的关系。

1 资料和方法

分别称 NCEP/NCAR 再分析 500 hPa 高度场和表面温度月平均场为 Z 场和 T_s 场, T_s 在海上为海表温度 (T_{ss}), 在陆上为地表温度 (T_{cs})。研究区域为 $10 \sim 80 \text{ N}$, $0 \sim 160 \text{ E}$, 时间取 1958/1959 ~ 1996/1997 年冬季 (12 月、1 月、2 月) 共 120 个月。资料都处理成标准化距平资料。

SVD (singular value decomposition, 奇异值分解) 常用来识别两个场之间相互联系的空间型。实际上, 对任意两个场的资料做 SVD 处理都能得到成对的空间型和时间系数, 但结果是否可信, 须经检验。按文献 [9] 的结论, 衡量两个场整体上联系的紧密程度可采用协方差平方和,

$$C^2 = \sum_{i=1}^{N_Z} \sum_{j=1}^{N_T} C_{ij}^2. \quad (1)$$

这里 C_{ij} 是 Z 场 (左场) 第 i 格点和 T_s 场 (右场) 第 j 格点资料序列间的协方差。因为资料是标准化的, 所以 C_{ij} 也是相关系数。 N_Z 和 N_T 是 Z 场和 T_s 场的格点数。 C^2 是两个场间协方差矩阵的模方, 显然, C^2 越大, 两个场关联愈密切。 C^2 与 C 矩阵奇异值的关系为

$$C^2 = \sum_{k=1}^R \sigma_k^2. \quad (2)$$

σ_k 是奇异值; R 是不等于零的 σ_k 的个数。所以, 第 k 对 SVD 空间型解释协方差平方和的百分率为

$$SCF_k = \frac{\sigma_k^2}{C^2} \times 100\%. \quad (3)$$

确定 C^2 和 SCF_k 是否达到可信水平的方法是将 Z 场与计算机产生的 N_T 个正态分布随机序列构成的右场做 SVD, 并且更换不同的随机右场 100 次, 当 Z 场与 T_s 场的 C^2 和 SCF_k 大于随机试验的 100 个 C^2 中第 5 位大的时, 可认为 Z 场和 T_s 场总的联系可信。类似地, 确定 SCF_k 是否显著。

时间系数间的相关系数以及 SVD 模态反映左、右场各自方差的百分比只作为分析中的辅助量, 因为 SVD 原理不保障它们达最大。

2 冬季 500 hPa 高度场与同期表面温度的关系

2.1 局地相关性

求每个格点上 Z 场和 T_s 场的同期相关系数, 样本数为 120。在得到的相关系数分布图 (图略) 上, 亚洲大陆大部分地区达 0.5 以上, 沿海地区较小, 平均为 0.38。可见两场之间同时的局地的相关是密切的。

2.2 相关的空间结构

表 1 给出 Z 场与 T_s 场及 Z 场与 100 次随机场进行 SVD 处理所得的 C^2 和 SCF_k 。可见, Z 与 T_s 场的 C^2 远大于 Z 与 100 次随机场间 C^2 的最大值。这说明冬季 500 hPa 高度场与表面温度场整体间的联系是毋庸置疑的。由 SCF_k 可见, 前 4 对 SVD 模态解释协方差平方和的百分率都大于随机试验相应量的最大值, 是可信的, 它们总共解释协方差平方和的 85.6%。从第 5 对开始已不显著。

表 2 给出前 4 个 SVD 模态解释 Z 场及 T_s 场方差百分率以及左、右场展开系数间的相关系数 (SVD 对左、右场各 255 个格点对应的 120 个冬季月资料进行计算, 得到 $R = 117$, 即总共有 117 对模态)。由表 2 可见, 前 4 对空间型已分别解释 Z 场和 T_s 场方差的 57.7% 和

38.3%, 表明这两个场有较多方差是相互联系的, 尤其是 Z 场的。

表 1 Z 场与 T_s 场及 Z 场与 100 次随机场进行 SVD 处理所得的 C^2 和 SCF_k

Table 1 C^2 and SCF_k derived with SVD analysis from the geopotential height Z and the skin temperature T_s of the earth as well as from Z and the randomized fields for 100 times experiments

	C^2	$SCF_1/\%$	$SCF_2/\%$	$SCF_3/\%$	$SCF_4/\%$	$SCF_5/\%$	$SCF_6/\%$
Z 与 T_s 场	3 347.8	36.7	23.1	14.9	10.9	3.6	2.8
Z 与 100 次随机场	最大	571.2	25.1	16.9	13.2	8.9	6.2
	第 5 位大	570.1	24.9	16.3	13.0	8.8	6.1
	平均	561.7	24.1	15.7	12.0	8.5	5.8

图 1 是 500 hPa 高度场与表面温度场的前 4 个 SVD 展开系数的相关系数分布图, 也称左异类相关图。由图可见, 与表面温度场异常相配合的 500 hPa 高度异常的空间型大致可分为两类。图 1a 和图 1b 是同一类型, 大范围异号区基本上呈纬向分布, 高度场异常的梯度是经向分布的, 反映纬向环流异常。其中图 1a 主要反映 45~75°N 纬带纬向环流强度异常, 特别是亚洲地区; 图 1b 主要反映亚洲 30~50°N 纬带与 55~75°N 纬带纬向气流距平反号的特征。图 1c、图 1d 是另一类型, 3 个符号交替的中心基本为东西向排列, 反映经向环流异常。它们都相似于冬季 500 hPa 位势场的 EU 型遥相关, 但形态和中心位置有差别, 图 1d 中的 3 个中心更接近 Wallace 和 Gutzler 定义的 EU 型, 而图 1c 中间一个中心位置偏南。

图 2 是前 4 个右异类相关图。与图 1 相比, 同一对 SVD 模态的左、右异类相关图的大尺度分布是相似的, 尽管在细节上表面温度的相关结构复杂些, 这与表面温度代表性差有关。这种大尺度分布相似的物理意义是, 表面温度偏高(低), 对流层下部气柱偏暖(冷), 500 hPa 高度偏高(低)。这是静力平衡适应。文献[7]对冬季北太平洋 SST 与北半球 500 hPa 高度场做 SVD 处理得到的第 1、2 模态左、右异类相关图上, 大尺度异常在北太平洋区域也是符号相同的。

2.3 SVD 空间型与 500 hPa 遥相关的关系

用 Wallace 和 Gutzler 定义的冬季 500 hPa 遥相关型指数计算公式对 NCEP/NCAR 再分析资料进行计算得到 UE 和 WP 指数, 再与上述 SVD 处理的前 4 对时间系数求相关(样本数是 120), 结果见表 3。可见, EU 型遥相关与第 4 模态相关最好, WP 型遥相关与第 2 模态相关最好。EU 型遥相关与第 3 模态、WP 型遥相关与第 1 模态相关也较显著。因为 SVD 第 1 与第 2 模态、第 3 与第 4 模态属同一类型, 仅中心位置有差异, 计算遥相关型指数的空间点是固定的, 实际大气遥相关型异常在不同年份形态有差异。这一结果表明, 500 hPa 遥相关型距平也是与表面温度异常配合的。

表 2 前 4 对 SVD 模态解释 Z 和 T_s 场方差百分率及时间系数间的相关系数

Table 2 The percentages of the total variance of both Z and T_s explained by the leading 4 SVD components as well as the correlation between the time series of coefficients of these 4 components of Z and those of T_s

k	解释 Z 场方差百分率(%)	解释 T_s 场方差百分率(%)	相关系数
1	21.8	10.6	0.91
2	13.8	11.0	0.89
3	9.4	10.6	0.88
4	12.7	6.1	0.85

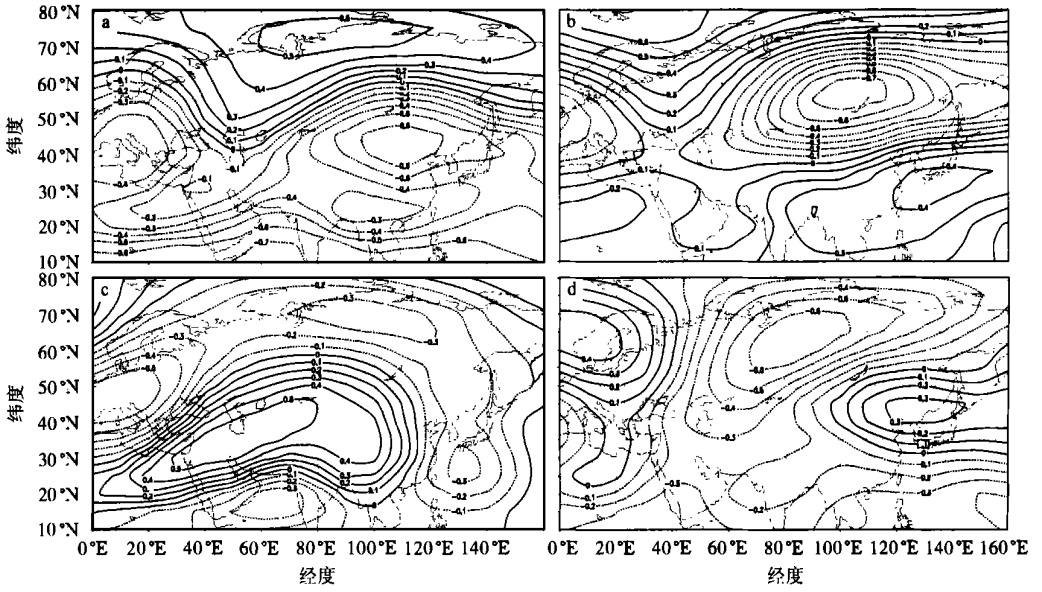


图1 500 hPa 高度场与表面温度场的前4个SVD展开系数间的相关系数分布

a. 第1模式; b. 第2模式; c. 第3模式; d. 第4模式

Fig. 1 The correlation between the geopotential height at 500 hPa and the time series of coefficients of 4 leading SVD mode of T_s

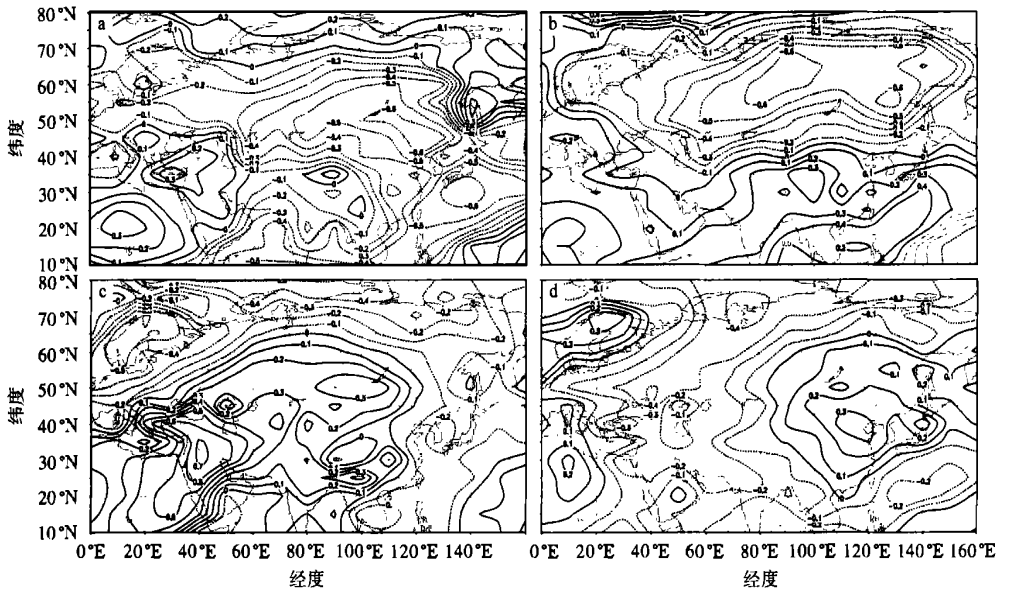


图2 表面温度场与500 hPa 高度场的前4个SVD展开系数间的相关系数分布

a. 第1模式; b. 第2模式; c. 第3模式; d. 第4模式

Fig. 2 The correlation between the skin temperature of the earth and the time series of coefficients of 4 leading SVD mode of geopotential height at 500 hPa

表 3 EU 型和 WP 型遥相关指数与 SVD 展开时间系数间的相关系数

Table 3 The correlation between the indices of both the EU and WP teleconnection patterns and the time series of coefficients of the 4 leading SVD modes

k	EU 与 Z 场系数	EU 与 T_s 场系数	WP 与 Z 场系数	WP 与 T_s 场系数
1	0.31	0.31	0.50	0.37
2	-0.36	-0.41	-0.51	-0.37
3	0.48	0.31	0.01	-0.01
4	-0.65	-0.55	0.05	-0.01

3 冬季 500 hPa 高度场与秋季表面温度的关系

把冬季 3 个月(12 月、1 月、2 月)的 500 hPa 高度与前 3 个月(9 月、10 月、11 月)的表面温度作为对应样本做 SVD 处理, 得 $C^2 = 2104.4$, 前 4 个 SCF_k 分别为 55.7%、13.1%、8.1% 和 4.8%。因为左场依旧是冬季月的 500 hPa 高度场, 所以仍可用表 1 的随机试验结果判断其显著性。经比较发现, 整体联系仍是可信的, 但只有第一模态是显著的。第一左、右异类相关图(图 3)上, 绝对值大的同号区在宽广的中低纬地区呈纬向带状分布, 意味着低纬和中纬秋季表面温度偏低(高)时, 冬季 500 hPa 高度偏低(高), 纬向环流偏弱(强)。而秋季表面温度对于判断冬季经向环流异常型, 不能提供可信的信息。

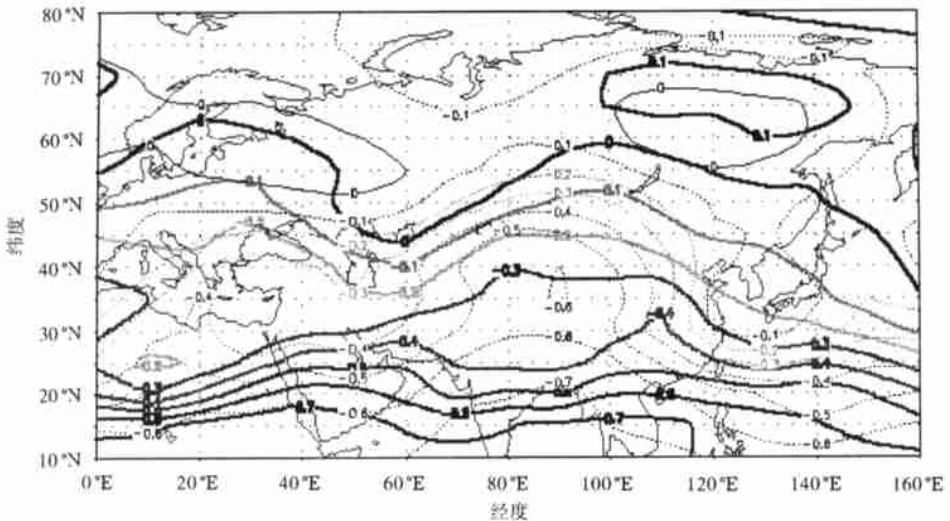


图 3 冬季 500 hPa 高度场与秋季表面温度的第一左(粗线)、右(细线)异类相关分布

Fig. 3 Heterogeneous correlation for the first SVD mode

of the geopotential height at 500 hPa in winter and the T_s in fall.

The thick lines are for 500 hPa geopotential height and thin lines for T_s

4 结论与讨论

(1) 冬季欧亚地区 500 hPa 高度距平场与下表面温度距平场之间同期的整体上的联系是可信的。存在 4 对相关的距平空间型, 其中两对反映不同纬带的纬向环流异常, 另两对反映形态不同的经向环流异常。两个场之间的空间型主要体现了静力平衡关系, 从大尺度特征看, 下

表面温度距平偏高(低)的地区 500 hPa 高度距平也偏高(低)。

(2) 冬季 500 hPa 大气环流的欧亚和太平洋西部型遥相关与上述相关空间型配合密切, 亦即存在着与这两种遥相关型相配合的表面温度距平型。

(3) 低纬和中纬秋季表面温度偏低(高)时, 冬季 500 hPa 高度也偏低(高), 但秋季表面温度距平对判断冬季 500 hPa 经向环流异常不能提供可信的信息。

地表温度距平的大尺度分布型与同期的 500 hPa 遥相关型配合密切。在欧亚中高纬地区, 它与滞后一季的 500 hPa 高度距平相关不明显, 表明在地气相互作用中, 地表温度处在相对被动的位置, 主要原因在于地表没有流动性, 这是与海气相互作用不同之处。

参考文献:

- [1] 丑纪范. 长期数值天气预报[M]. 北京: 气象出版社, 1986. 51 ~ 95
- [2] 章基嘉, 徐祥德. 青藏高原地面热力异常对江淮流域持续暴雨形成的作用[J]. 大气科学, 1995, 19(3): 270 ~ 276
- [3] 张善强. 我国地温梯度场特征及在汛期降水预报中的应用[J]. 高原气象, 1998, 17(2): 182 ~ 189
- [4] 孙照渤, 曾煜. 1月中国地温异常与北半球 500 hPa 高度异常关系的合成分析[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(4): 471 ~ 477
- [5] 曾煜, 孙照渤. 1月中国地温异常与北半球 500 hPa 高度异常关系的奇异值分解[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(1): 24 ~ 30
- [6] WALLACE J M, SMITH C. Spatial patterns of atmosphere-ocean interaction in the Northern winter[J]. J Climate, 1990, 3(9): 990 ~ 998
- [7] WALLACE J M, SMITH C, BRETHERTON S. Singular value decomposition of wintertime SST and 500-mb height anomalies[J]. J Climate, 1992, 5(6): 561 ~ 676
- [8] ZHANG Y, NORRIS J R, WALLACE J M. Seasonality of large-scale atmosphere-ocean interaction over the North Pacific[J]. J Climate, 1998, 11(10): 2473 ~ 2481
- [9] BRETHERTON C S, SMITH C, WALLACE J M. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data[J]. J Climate, 1992, 5(6): 541 ~ 560

Large scale patterns of correlation between the 500 hPa geopotential height and the skin temperature anomaly in Eurasia area during boreal winter

WU Hong-bao, PANG Xin

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Using NCEP/NCAR 40-year reanalysis, we analyzed the large scale patterns of correlation between the deviations of geopotential height field at 500 hPa and the anomalous skin temperature in Eurasia domain during boreal winter. It is found that the geopotential height field correlates much more significantly with skin temperature field than with a field that was artificially built up in a random way. The 4 pairs of coupled spatial pattern obtained with SVD (Singular Value Decomposition) method explain 86 % of the total squared covariance between the two variables. These patterns also account for 58 % of the total variance of geopotential height field and 38 % of the total variance of the temperature field respectively. Two pairs out of 4 show us two zonal circulation anomaly patterns characterized respectively by different latitudinal location of the main disturbances. The other 2 pairs show us two different meridional circulation patterns. The 2 variable fields of the 4 coupled modes seem to be consistent with each other considering the hydrostatic equation. Additionally, the anomalous skin temperature field in fall can be used, to some extent, to predict the sign of the deviation of geopotential height over middle and low latitudes in the coming winter.

Key words: the geopotential height at 500 hPa, skin temperature of the earth, correlation pattern