

冬季对流层下半部温度场的遥相关 及与下垫面加热异常的关系

吴洪宝

(南京气象学院)

摘要 本文利用1000—500hPa厚度资料分析研究了北半球中高纬地区对流层下半部冬季气温异常的水平结构及与下垫面加热异常的关系。研究表明,欧亚大陆腹地气温异常的强度和水平范围最大,该区域异常暖时,欧洲西北部和亚洲东部沿海异常冷,低纬太平洋中部、北美西岸和大西洋中部异常暖,反之亦然。20—110°W 北极区海冰范围是影响这种分布形势的可能因素之一。

关键词 冬季,对流层下半部,温度场,下垫面加热

大气环流和天气演变存在遥相关已是众所周知的事实。本世纪30年代 Walker 等总结了上世纪末以来发现的海平面气压变化的一些相关现象,提出了3大涛动的概念,是遥相关研究的早期成果。70年代以来,遥相关问题研究取得了极有意义的进展,其中 Wallace^[1]研究发现的北半球冬季500hPa 位势高度的5个遥相关型可作为近期成果的代表,已经引起人们普遍关注。然而,尽管发现的遥相关型已很多,出于不同目的研究不同对象的遥相关结构仍是必要的。本文主要目的在于为地面月平均气温长期预报提供物理依据,为此,选取既能够很好地反映地面月平均气温异常状况的对流层下半部月平均气温为研究对象,探讨其遥相关结构及与下垫面加热异常之间的关系。另一方面,尽管遥相关的存在性已被大家接受,但是随着研究工作的广泛开展,被发现的遥相关型越来越多,又使人们对某些遥相关型的可信程度产生疑虑。因此,本文对不同统计方法确定的遥相关型的可信程度也作一些讨论。

1 资料和方法

本文用1000—500hPa 月平均厚度 OT₁₀₀₀₋₅₀₀代表对流层下半部月平均气温,以1月代表

冬季,使用了1951—1980年30年、20—80°N间经、纬向格距均为10度的252个格点的资料。对某些测站(如上海站)1月平均地面气温(百叶箱温度)与其邻近格点月平均OT‰值年际变化作了比较,发现二者的同时性相关很好(上海站与30°N,120°E间相关系数达0.75),年际变化趋势一致(以上海站为例,主要峰谷完全对应)。因此,本文讨论的对流层下半部月平均气温的水平结构基本上能代表地面月平均气温的情况。

在遥相关问题的观测研究中,目前用得较多的方法是“定点相关图”、自然正交函数和旋转主分量^[1,2,3]。这三个方法本质上是一样的,差别仅在于表示出样本相关系数的方法不同,后两个方法是近似地给出与场上所取格点数目相等的“定点相关图”。在表示出样本相关系数以后,3种方法都是在众多的样本相关系数中找出一些绝对值大的,当它们超过检验的临界标准 γ_α 时就认为对应的相关型存在。然而,这些方法的统计推断原理并不完善,因为,统计推断的前提是一次试验,而遥相关问题实质上是多次试验。对此,70年代以来,国内外已有许多讨论,并针对这类问题提出了一些补救办法,Robert等^[4]提出的蒙特卡罗方法,即是其中之一。下面针对本文的研究对象,采用[4]的方法求出要素场显著性相关的判据。

先考察某个外部变量与一个气象要素场的相关问题,例如本文下面要讨论的极冰M指数与OT‰场的相关问题,Robert的检验方法分为两步:第一步不考虑场存在不同空间点之间的相关关系,这个外部变量与OT‰资料共可求出252个样本相关系数。假定这个外部变量与厚度场总体不存在相关,取 $\alpha=0.05$,则对于每个相关系数 γ ,能够通过显著性检验(即 $|\gamma|>\gamma_\alpha$)的概率为0.05,不能通过的概率为0.95,又因为不考虑场存在不同空间点之间的相关关系,某格点上 $|\gamma|$ 是否大于 γ_α 与其它格点无关,因而由概率论可知,252个样本相关系数中,有K个 $|\gamma|>\gamma_\alpha$ 的概率服从二项式分布,计算结果如表1。

表1 $n=252, p=0.05, q=0.95$ 的二项式分布概率

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8
K个格点 $ \gamma >\gamma_\alpha$ 的概率	0.00002	0.00003	0.00021	0.00094	0.00306	0.00800	0.01733	0.03206	0.05167
$\geq K$ 个格点 $ \gamma >\gamma_\alpha$ 的概率	1.00000	0.99997	0.99994	0.99973	0.99879	0.99573	0.98773	0.97039	0.93834

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0.07373	0.09430	0.10919	0.11541	0.11214	0.10076	0.08414	0.06560	0.04793	0.03293	0.02135	0.01309	0.00761
0.88667	0.81294	0.71864	0.60945	0.49404	0.38190	0.28114	0.19700	0.13140	0.08347	0.05054	0.02919	0.01610

由表1可见,在某个变量与252个格点要素值总体无关的假设下,有12个格点 $|\gamma|>\gamma_\alpha$ 。

的可能性最大,概率为0.11541;出现1个格点以上 $|\gamma|>\gamma_c$ 的概率为0.99997,如前所述,几乎是必然事件;大于等于20个格点 $|\gamma|>\gamma_c$ 的概率是0.02919,仍取 $\alpha=0.05$,这已是小概率事件.由此得出判据,若某个变量与252个格点的要素间的相关系数有20个或以上通过显著性检验,则可认为它们之间存在显著相关.

检验的第2步要考虑要素场存在不同空间点之间的相关关系.步骤是先求出高斯噪声与厚度场间样本相关系数的概率分布,然后将实际变量与厚度场间样本相关系数与之比较,就可确定它们间的相关是否超过随机相关水平.我们用计算机产生200个均值为零、方差为1的高斯噪声序列,每个序列的样本容量与OT₁₀₀₀资料一样为30,将每个噪声序列与OT₁₀₀₀的252个格点求相关系数,取 $\alpha=0.05$,近似地取 $\gamma_c=0.4$,统计出252个格点中 $|\gamma|>\gamma_c$ 的格点数及占总格点数的百分比.由200个序列的这种试验得到了95%置信水平显著相关点数占总点数百分比的经验概率分布,结果列于表2.表中第一行的1、2、……分别表示百分比区间(0.5,1.5]、(1.5,2.5]…….

表2 高斯噪声与OT₁₀₀₀场间显著相关格点百分比的分布

百分比 区间(%)	≤0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
出现的 试验次数	18	28	26	19	36	17	21	8	13	4	2	2	1	1	0	4	0	0

由表2可见,OT₁₀₀₀与噪声间的相关系数,场上有3.5—4.5%的格点通过显著性检验的可能性最大,频率是36/200.大于这个百分比,出现的机会逐渐减少.百分比大于9.5的试验共出现10次,占总试验次数的5%,若仍取 $\alpha=0.05$,这表明随机噪声序列与OT₁₀₀₀间的相关系数通过显著性检验的格点数占总点数的百分比达9.5以上已是小概率事件.这样可得判据,当一个变量与OT₁₀₀₀场间的相关系数通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的格点数占总点数百分比大于9.5时(≥ 24 个格点),可认为已超出随机相关水平,它与OT₁₀₀₀场存在显著相关.这种判据还可采用比较空间有效自由度的方法确定^[6].在将这一判据用于遥相关问题时,可以把基点的厚度值单独地看作一个变量,统计显著相关格点所占百分比时,将基点本身及四周 $\gamma>\gamma_c$ 的格点排除在外,若这个百分比大于9.5,则可认为相应的“定点相关图”反映出的遥相关已超出随机相关水平,是可信的.

应当指出,蒙特卡洛方法确定的检验标准也不能绝对避免作出错误的结论,这可以从上述蒙特卡洛试验中得到的、存在类似于行星波结构的相关系数分布图(略)得到证明.尽管如此,从统计理论看,使用由蒙特卡洛方法得出的判据来确定遥相关型或时滞相关联

系,要较通常的检验结果可信。

2 对流层下半部平均温度场的水平结构

为了减少确定遥相关型的盲目性,除采用尽量完善的检验方法以外,充分了解研究对象本身的基本统计特征也非常重要。1951—1980年平均的1月OT₁₀₀₀图(图略)与多年平均的1月500hPa形势图相似。在中纬度,亚洲大陆东岸和北美大陆东部是同纬度上的两个低温区,位置比500hPa平均槽稍偏西。这种分布形势充分体现了海陆分布在大尺度温度场形成中的作用。

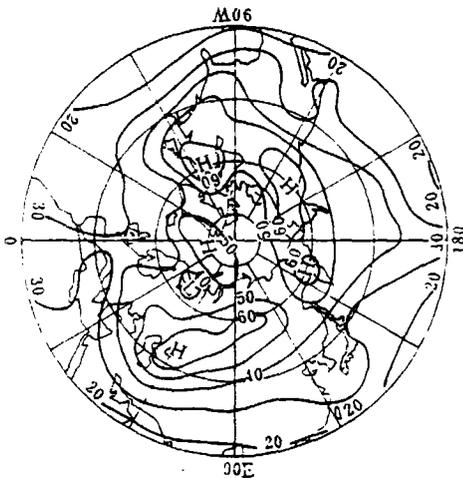


图1 1月OT₁₀₀₀年际均方差图

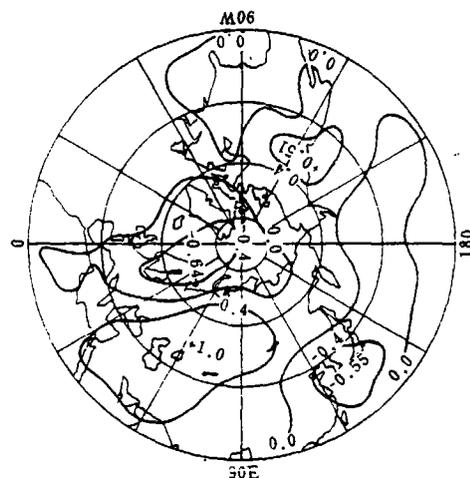


图2 1月OT₁₀₀₀(50°N,70°E)格点与其它格点同时相关系数分布图

图1是1月OT₁₀₀₀年际均方差图,图上表现出明显地与海陆分布密切相关的特征。欧亚大陆腹地是范围最大的均方差高值区,中心位于(50°N,70°E),中心值6.8dagpm,是20—80°N纬带区域的最大值。两大洋上是均方差低值区。这表明海陆分布不仅对冬季气温均值分布的形成起重要作用,对大尺度温度场的年际变率也起决定性作用。在受海洋影响最弱的欧亚大陆深处,气温年际变率最大。大洋上空由于受海洋巨大热惯性的调节,气温年际变率最小。由于欧亚大陆中部的大范围地区气温年际变化表现最为突出,其中心又与Wallace^[1]指出的冬季500hPa位势高度的欧亚型遥相关的中心点(55°N,75°E)非常接近,所以我们研究温度场的遥相关时先从这里入手。

图2是以(50°N,70°E)为基点OT₁₀₀₀的“定点相关图”。先用前述标准检验遥相关存在的显著性。由文献[4]可知,还应对每个格点计算出资料的有效样本容量,据此确定每格点

的 γ 。由于本文所用的资料时间迟后相关很弱, 计算得有效样本容量接近于资料的实际样本容量, 所以仍近似取 $\gamma_c = 0.4$ 。在图2上得到显著相关的格点数是50个, 在显著相关的点数和总点数中都去掉 $(50^\circ\text{N}, 70^\circ\text{E})$ 及四周 $\gamma > \gamma_c$ 的格点数21个, 得百分比是12.5, 与前述标准比较可见, 图2反映的 $(50^\circ\text{N}, 70^\circ\text{E})$ 与遥远地区间的相关整体上是显著的。

再由图2分析相关型的分布, 基点四周大范围 $\gamma > \gamma_c$ 表明, 欧亚大陆腹地气温异常是大范围同符号的, 欧亚大陆两侧各有一块负相关区, 一块在斯堪的纳维亚半岛及附近的北极海区, 中心在 $(70^\circ\text{N}, 30^\circ\text{E})$, 中心值 -0.64 ; 另一块在日本、朝鲜到我国东部沿海, 中心在 $(30^\circ\text{N}, 130^\circ\text{E})$, 中心值 -0.55 。基点与这两个区域组成的遥相关型与 Wallace^[3] 指出的欧亚型遥相关的位置基本一致, 这表明500hPa 位势高度的遥相关型主要是热力因素造成的, 海陆热力对比的年际变化首先导致大陆中部与大陆两侧沿海区域气温反位相的年际异常, 500hPa 位势高度场也表现出相应的年际变化, 因而, 欧亚型遥相关的物理意义比较清楚。另外, 图2上北美西岸还有一块与基点正相关区, 中心在 $(50^\circ\text{N}, 120^\circ\text{W})$, 中心值0.51, 从现象上看似乎跟欧亚型也有关系, 注意到该处正是 Wallace 提出的冬季500hPa 位势高度场太平洋北美型遥相关的一个中心点, 因而, 再以 $(50^\circ\text{N}, 120^\circ\text{W})$ 为基点求得“定点相关图”(图3), 按上述同样步骤求得显著相关格点数总共为40个, 除去定点四周18个以外, 百分比是9.4, 接近前述判别标准, 因而基本上也可认为这个基点与遥远地区的同时相关整体上是显著的。图3上, $(20^\circ\text{N}, 170^\circ\text{W})$ 处 $\gamma = 0.63$, $(50^\circ\text{N}, 180^\circ)$ 处 $\gamma = -0.35$, $(30^\circ\text{N}, 90^\circ\text{W})$ 处 $\gamma = 0.53$, 若将这3个格点与基点 $(50^\circ\text{N}, 120^\circ\text{W})$ 组合在一起, 就与 Wallace^[3] 指出的太平洋北美型遥相关非常吻合。

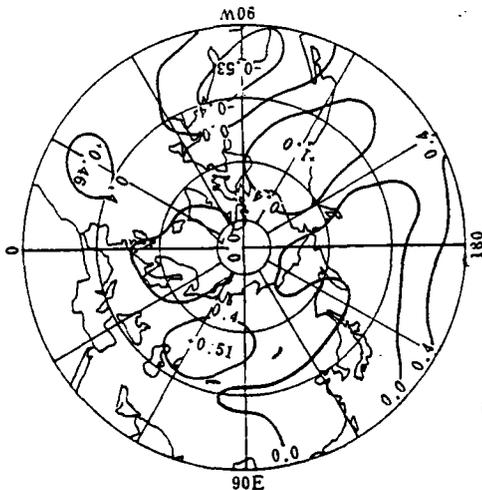


图3 1月 OT₁₀₀₀(50°N, 120°W)格点与其它格点同时相关系数分布图

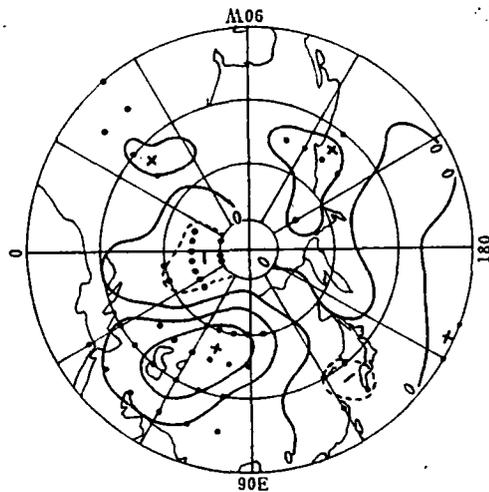


图4 $(50^\circ\text{N}, 70^\circ\text{E})$ 格点最暖和最冷的10年分别平均的 OT₁₀₀₀的差值图 图上“x”点所在处通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验

综合图2、3可见,欧亚型和太平洋北美型是对流层下部温度场的基本遥相关型,而且两型之间位相上有联系,欧亚大陆中心偏暖时,北美西岸也偏暖。另外,图2、3上都可看出,大西洋中部是基点正相关区,中心都是位于(30°N, 30°W),相关系数分别是0.33和0.46,可见大西洋中部的气温年际异常也是与两个基本遥相关型相联系的。这里我们通过欧亚大陆中部气温异常的情况把它们统一起来,为此,将格点(50°N, 70°E)上 OT_{1000}° 最大和最小的10年的平均厚度相减,求得其差值(图4),并对其作显著性($\alpha=0.05$)检验,图上“.”号表示差值存在显著差异的格点。

综合图2、3、4得出,冬季对流层下部气温异常具有大尺度特征,欧亚大陆中部气温年际异常水平范围最大、异常幅度最大,当该区域异常暖时,欧亚大陆两端的沿海地区异常冷,低纬太平洋中部、北美西岸和大西洋中部异常暖,反之亦然。我国东部沿海地区冬季气温异常与这种分布形势有关。

3 与气温场遥相关型有关的下垫面因子

众所周知,大范围气温持久异常与下垫面异常加热有关。在下垫面加热作用中,人们注意得较多的是海温异常。然而,从本文上述结果看,似乎欧亚大陆上大范围区域热状况也值得重视,遗憾的是缺乏这方面的观测资料。这里仍分析一下海洋加热的作用。采用英国气象局的太平洋区域10经纬度间隔网格点上月平均海表温度资料,计算得出,(30°N, 130°E)格点的海温与 OT_{1000}° 场同时相关最好,但是,通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的格点只有17个,占总格点数的6.7%,没有达到前述检验标准,因而可以认为,太平洋海温对北半球中高纬气温异常分布从整体上讲作用并不显著。

海洋对大气异常加热的作用,除考虑海温异常外,海冰范围变化的作用也已引起广泛重视。这里,我们计算了海冰面积 M 指数^[5]与 OT_{1000}° 的相关系数,发现 I 区(20—110°W 的北极区)海冰面积 M 指数与 OT_{1000}° 的同时相关(都是1月)及海冰 M 指数提前一个月的相关都是显著的。图5是1月 I 区极冰 M 指数与 OT_{1000}° 同时相关系数分布图,图上显著相关($|r|>0.44$)的格点数有34个,占总点数13.5%,大于前述检验标准,因而, I 区海冰 M 指数与北半球中高纬地区对流层下部平均气温异常整体上是相关的。将图5与图2、4比较可见,它们间的相关与 OT_{1000}° 本身的遥相关型有联系,特别是与欧亚型遥相关相联系。I 区海冰偏多时,斯堪的纳维亚半岛附近偏暖,欧亚大陆中部偏冷,亚洲东部沿海偏暖。海冰提前一个月,即12月 I 区海冰 M 指数与1月 OT_{1000}° 场间的相关系数分布(图略)相似于图5,有29个格点显著相关,占11.5%,仍大于检验标准。由此可见,20—110°W 北极区海冰范围对冬季中高纬气温大范围异常预报具有指导意义。

4 结 论

北半球中高纬地区,冬季对流层下部气温异常存在明显的欧亚型和太平洋北美型遥相关,两个型又存在相互联系。其中欧亚型的主体欧亚大陆中部气温异常幅度最大,水平范围最广,在北半球气温异常中占重要地位。欧亚大陆中部大范围异常暖的年份,斯堪的纳维亚半岛附近及我国东部沿海到日本异常冷,低纬太平洋中部、北美西岸和大西洋中部异常暖,反之亦然。20—110°W 北极区海冰范围异常是影响这种气温异常分布形势的可能因素之一。

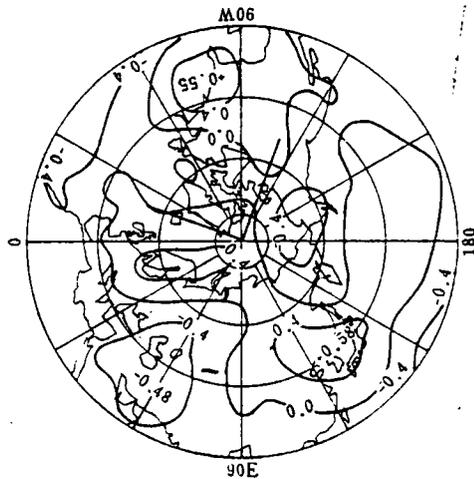


图5 1月I区极冰M指数与同月OI18场间相关系数分布图

参 考 文 献

- 1 Wallace J M, Gutzler D S. *Mon Wea Rev*, 1981, 109, 785—812
- 2 王盘兴. *气象科学*, 1987, 1, 1—9
- 3 Horel J D. *Mon Wea Rev*, 1981, 109, 2080—2092
- 4 Robert E L, Chen W Y. *Mon Wea Rev*, 1983, 111, 46—59
- 5 北极逐月海面冰复盖资料, 北京: 气象出版社

RELATIONSHIP BETWEEN THE TELECORRELATION
OF THE TEMPERATURE FIELDS IN THE WINTER
LOWER TROPOSPHERE AND THE HEATING
ANOMALY OVER THE UNDERLYING SURFACE

Wu Hongbao

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract Using the 1000–500 hPa thickness data, investigation is made of the relationship between the horizontal structure of the winter temperature anomaly in the lower troposphere over the NH extratropics and the heating anomaly of the underlying surface. It is shown that the most intensive and widespread temperature anomaly occurs in the Eurasian inland. When it is abnormally warm in this area, the northwestern part of Europe and the east coast of Asia will experience extreme cold, and the lower latitudes in the central Pacific, the west coast of North America and the mid–Atlantic will be extremely warm, and vice versa. It may be inferred that the coverage of the polar sea ice in the area of 20–110°W has much to do with the above temperature distribution.

Key Words winter, the lower troposphere, the temperature field, the heating of the underlying surface