

北半球冬季环流异常的垂直结构特征*

周 琴 芳

(北京气象中心)

黄建平

(兰州大学)

杨成彬

(科学院兰州高原大气所)

提 要

本文对北半球 100, 500, 700 和 1000hPa 四层高度距平资料, 应用相关分析, EOF 分解和谐波分析方法, 分析了北半球冬季环流异常过程中的垂直结构特征。结果表明: 第一特征向量在对流层中具有明显的相当正压性结构, 并且在环流异常中占有最大权重, 它和半球性的天气异常有明显关系。谐波分析表明大气环流异常的正压性主要和超长波的活动有关。

一、引 言

在用动力学方法作长期天气数值预报时, 可根据预报对象的特点, 对模式进行合理简化。但目前采用的一些 GCM 模式中, 对对流层大气考虑得过于复杂, 但其预报准确率并没有实质性的提高。本文的目的旨在利用实际资料分析北半球冬季异常环流演变过程中垂直结构的正压性特点, 希望能对简化的长期预报模式设计有一定的启示。

过去由于缺少资料, 研究大气环流异常时, 往往只限于一个高度。近年来, 已有不少工作对不同高度的大气环流异常进行比较, 结果发现各层之间时常变化很一致^[1-2]。人们把这种环流异常在垂直方向的一致性称之为相当正压性, 简称正压性^[3]。但是上述研究多是一些个例分析, 有多大的代表性尚值得怀疑。Blackmon^[4]等人虽然利用 11 年的资料分析了位势高度距平的垂直结构在地理上的变化, 但是他们的工作中没有考虑 500 hPa 以上的层次以及 500 hPa 和 1000 hPa 之间的层次, 这对讨论位势高度距平的垂直结构无疑是有局限性的。

本文利用北半球四层 28 年的资料, 对位势高度距平场的垂直结构进行了讨论, 发现 700hPa 以上层次的距平场具有很好的相关, EOF 分解表明第一特征向量具有明显的正压性, 且其时间系数的低谷区都与强寒潮的年份相对应, 谐波分析表明正压性和超长波有关。基于上述结论, 本文建议在设计长期数值预报模式时可将正压性的特点引入到模式中去, 从而使模式在对流层中进一步简化。

二、资料及其方法

本文所用资料是国家气象中心分析整理的 1956—1983 年的 100hPa, 500hPa, 700hPa 和 1000hPa 四层北半球 20°N—80°N 地区 5°×10° 的网格点资料。由于仅对月以上的变化

* 本文于 1987 年 2 月 28 日收到, 于 1987 年 8 月 3 日收到修改稿。

感兴趣,因此以历年各月距平值作为分析基础,其中累年各月平均值取上述 28 年的平均值。

我们采用了带时空转换的自然经验正交分解方法,计算了各特征向量的方差贡献以及各层之间的相关分布。同时应用谐波分析方法,分别计算了各层超长波场及长波场之间的相关分布。

三、北半球冬季环流异常垂直结构的相当正压性

为了讨论北半球冬季环流异常垂直结构的特征,我们计算了各层距平场之间的相关。从计算结果图 1a 中不难看出 500hPa 和 700hPa 的位势高度相关呈带状分布,整个中、高纬度都是高值区,其中相关系数为 90% 的等值线几乎覆盖了 30°N 以北的全部区域,象苏联北部地区、两大洋地区相关甚至达到了 98% 以上。相关的低值区出现在低纬。其它季节的结果也是如此(图略),只是夏季高值区向北收缩。100hPa 和 500hPa 的相关系数分布与图 1a 类似,只是相关系数值略偏小,这可能是由于缺少 300hPa 层资料的原因。这一结论和 Blackmon^[4] 等人的结论略有差异,在内陆上空 700hPa 以上各层仍有较好的相关。

图 1b 给出了 700hPa 和 1000 hPa 位势高度距平场的相关系数分布,与图 1a 相比它们之间的差异比较大,相关的高值区集中在两大洋和苏联东北部,这与文献^[3]给出的 500 hPa 和 1000 hPa 相关系数的分布极为相似。从冬到夏形势也是稳定少变,只是有向北收缩的趋势(图略)。

由此可见,在两大洋和极区无论是对流层中层还是低层,都具有较好的相当正压性。但在大陆上低层由于受地形影响,正压性较差,正压区分布呈驻波形式。由于在两大洋和

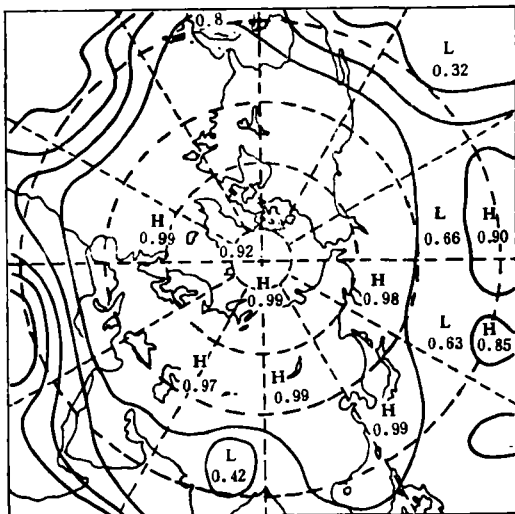


图 1a 1 月 500hPa 和 700hPa 距平场
相关系数分布(等值线间隔 0.2)

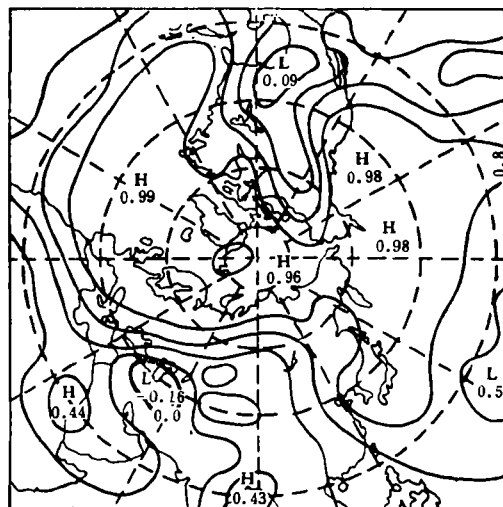


图 1b 1 月 700hPa 和 1000hPa 距平场
相关系数分布(等值线间隔 0.2)

极区是距平方差的高值区(图略),也是 Dole^[5]指出的环流异常的持续中心。这一事实启示我们要进一步分析产生大气环流异常正压性的机制。为此,我们抽取距平场的主要成份,完成其信息化处理,以便更细致地研究各层之间的关系。下面先给出用 EOF 方法分析的结果。

四、EOF 分析的结果

我们用带时空转换的自然正交分解对前述各层进行分解,主要结果如下:

1) 主要特征向量的特征值以及它们对距平场的拟合精度

根据表 1 各层所有(28 个)特征值总和及前 8 个特征值(λ_h),求得了拟合精度参数^[6] d_h, d_h' 。

第 h 个特征向量的均方根拟合精度 d_h :

$$d_h = \sqrt{\lambda_h / \sum_{h=1}^{28} \lambda_h}$$

前 h' 个特征向量的均方根拟合精度 $d_{h'}$:

$$d_{h'} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h'} \lambda_h / \sum_{h=1}^{28} \lambda_h}$$

由 $d_{h'}$ 知, 100, 500, 700, 1000hPa 的前三个特征向量已经拟合了各层距平模的 88.1%、74.9%、77.1%、80.1%。计算表明,对大多数年而言,由前三个特征向量拟合的距平场,已经比较精细地给出了实际距平场的主要特征。因此在下面的讨论中我们主要讨论前三个特征向量场的垂直结构特征。

表 1 各层前 8 个特征向量的特征值 λ_h , 拟合精度 $d_h, d_{h'}$

LEVEL	$\sum_{h=1}^{28} \lambda_h$	项目	1	2	3	4	5	6	7	8
100 hPa	3745	λ_h	2194	477	236	208	161	95	88	57
		d_h	0.765	0.357	0.251	0.236	0.207	0.159	0.153	0.123
		$d_{h'}$	0.765	0.845	0.881	0.912	0.935	0.949	0.961	0.969
500 hPa	1094	λ_h	305	180	128	109	75	61	49	34
		d_h	0.528	0.406	0.342	0.316	0.262	0.236	0.211	0.176
		$d_{h'}$	0.528	0.666	0.749	0.813	0.854	0.886	0.911	0.928
700 hPa	684	λ_h	224	100	83	58	47	37	29	22
		d_h	0.572	0.383	0.348	0.292	0.262	0.232	0.206	0.178
		$d_{h'}$	0.572	0.688	0.771	0.825	0.865	0.896	0.919	0.936
1000 hPa	531	λ_h	215	69	56	41	32	25	16	13
		d_h	0.636	0.361	0.326	0.279	0.244	0.219	0.172	0.156
		$d_{h'}$	0.636	0.732	0.801	0.848	0.882	0.909	0.925	0.938

2) 各层第一特征向量的空间函数及时间系数

100, 500, 700, 1000hPa 四层的第一特征向量拟合了各层距平模的 76.5%、52.8%、57.2%和 63.6%,它反映了环流异常的大致特征。图 2a-d 给出了 100, 500, 700 和 1000 hPa 第一特征向量的空间函数分布(其值为归一化值的 10^2 倍)。图 2e 给出了它们的时

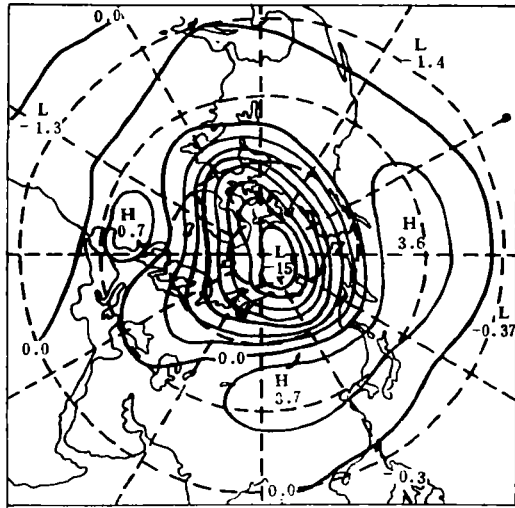


图 2a 1月100hPa距平场第一特征向量空间函数分布(等值线间隔2)

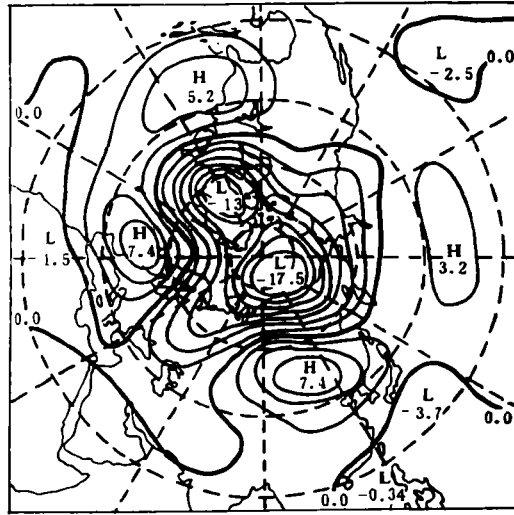


图 2b 1月500hPa距平场第一特征向量空间函数分布(等值线间隔2)

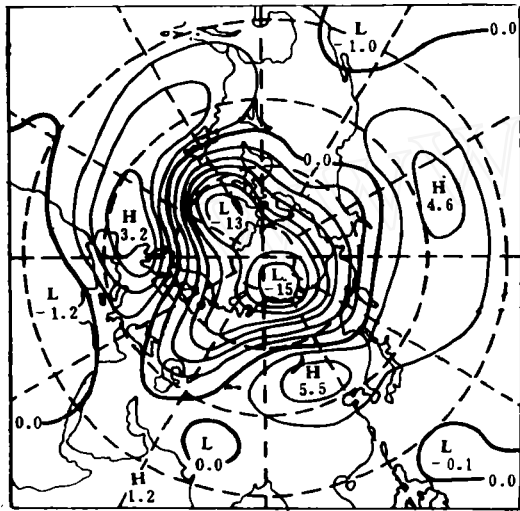


图 2c 1月700hPa距平场第一特征向量空间函数分布(等值线间隔2)

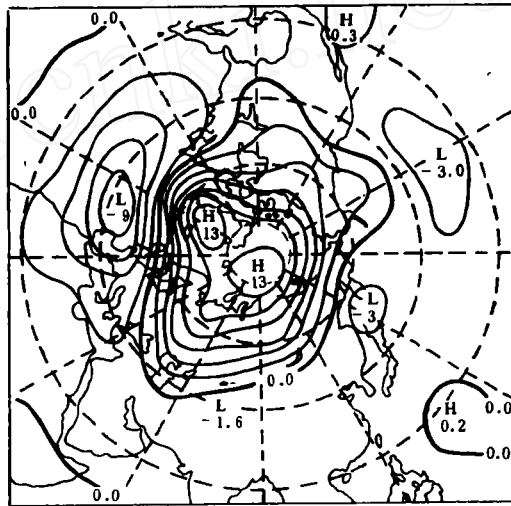


图 2d 1月1000hPa距平场第一特征向量空间函数分布(等值线间隔2)

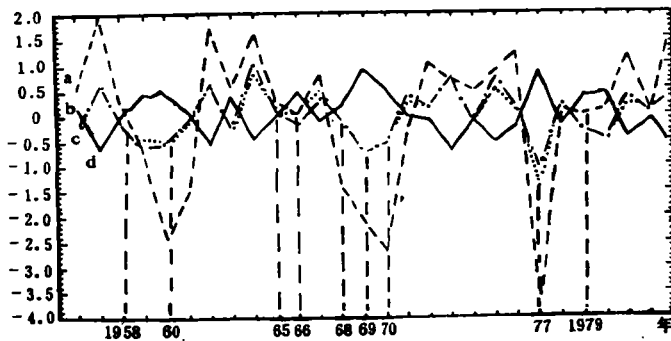


图 2e 各层第一特征向量的时间系数演变 (a, 100hPa(虚线), b, 500hPa(点划线), c, 700hPa(点线), d, 1000hPa(实线))

时间系数演变(其值是归一化特征向量的时间系数值的 10^{-2} 倍)。

由图 2a—c 可以看出 100, 500, 700hPa 三层的空间函数是极为相似的, 环绕极地为低值区, 而在两大洋和新疆上空为一高值区, 1000hPa(图 2d) 的分布形式正好相反。它们反映了对流层中高层极涡对北半球冬季环流形势的控制性作用。

图 2e 给出各层第一特征向量的时间系数演变。图中曲线有三个显著特点: ① 100, 500, 700hPa 各层时间系数的演变是同位相的, 100 和 500, 500 和 700hPa 时间系数的相关分别达 81.1 和 98.5%。② 1000hPa 的时间系数的变化与其它层次均反位相, 因此, 实际的距平分布形式和高层相同。③ 当 700hPa 以上层次的时间系数曲线位于低谷区时, 恰好对应于北美、亚洲大陆大范围出现强寒潮的严寒年份(见图中虚线对应的年份, 强寒潮年取自文献^[7]的统计结果)。

上述①、②两个特点表明: 从高层到低层实际距平场中包含的形式如图 2a—d 的距平场, 随时间的变化是同时的, 它反映了长期天气演变过程中正压性的特点。第③个特点表明: 当第一特征向量的时间系数(700hPa 以上层次) 位于低谷时, 能反映半球范围内的严寒天气, 它可反映出大范围的天气异常。

因此, 按下面三个方面的基本含义: 第一特征向量场在环流演变总方差中占有最大权重, 在环流型和转变过程中富有代表性, 各层的转换是同时发生的, 可以认为它是具有正压性的分量。

3) 各层第二、第三特征向量的空间函数分布及其时间系数特征

第二、第三特征向量的分布(图略)与第一特征向量的情形有明显的差异, 它们不再是绕极的带状分布, 而是正负相间的波状分布, 在极地和两大洋上对流层下层尚能保持一致, 但是陆地上已有较明显的区别。时间系数表现出对流层低层十分相似的演变过程, 其中第二、第三特征向量 700hPa 和 1000hPa 时间系数的相关分别达 97.3% 和 77.9%。从距平的上下层不同号来看, 可认为第二、第三特征向量已不具备正压性特点。

由上面的讨论可看出, 距平的演变在很大程度上具有正压性的特点, 这为第一特征向量场所表现, 在海洋和极地表现出更强的正压性。从图 2a—d 中系统的水平结构来看, 有可能是受对流层高层和平流层超长波系统的控制。为了验证我们的设想, 下面给出利用谐波分析得出的结果。

五、北半球冬季环流异常的正压性与超长波的关系

为了验证北半球冬季环流异常的正压性主要是和超长波的活动有关, 我们进一步对前面多层资料沿各纬圈进行傅里叶展开, 然后分别计算了各层 0—3 波与 4—6 波的合成场的相关系数。图 3a—b 给出了 1000hPa 和 50hPa 的计算结果。比较图 3a 与图 1b, 可以看出 500hPa 与 1000hPa 超长波部分的场的相关与原来场的相关十分接近(因为图 1b 和 Blackmon^[4]的 500hPa 与 1000hPa 距平的相关场相似)。长波部分的相关正负相间, 呈波状分布, 大致为七波(见图 3b), 它和图 1b 已有十分明显的差别。因此, 当我们着重研究大气环流异常的正压性时, 可以说正压性主要来自于超长波部分的贡献, 长波的影响是次要的。但这并不意味着超长波部分就是正压的。如果以相关系数的高值作为正压性的标志, 从图 3a 来看, 500 hPa 和 1000 hPa 相关在陆地上呈现弱的斜压性也是直接和超长波部

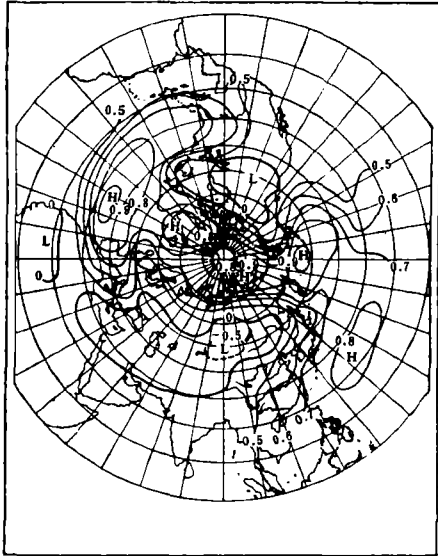


图 3a 1月1000hPa和500hPa月平均超长波高度距平相关系数分布

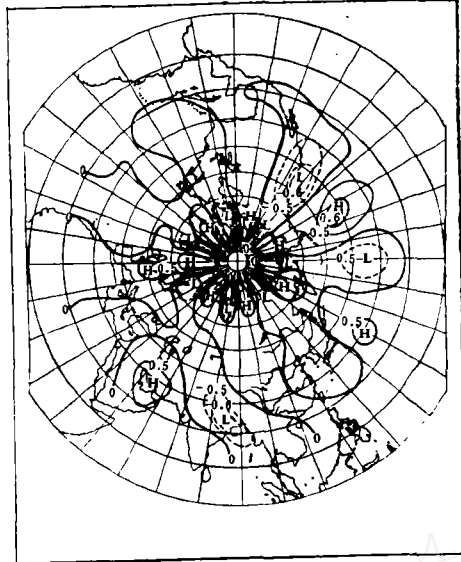


图 3b 1月1000hPa和500hPa 4-6波高度距平相关系数分布

分有关。因而,对相当正压性的全面的理解应当为:① 由于长期过程本身是和超长波活动有关的,因此作为长期异常天气的两方面——正压和斜压性也是主要和超长波活动有关,长波部分是次要的。② 应当说,正压性和斜压性是和固定的地理区域相联系,并不是和超长波与长波相联系。从长期过程的非绝热性考虑,相当正压性可能本质上反映了异常热源所造成的异常超长波活动。关于这点有待进一步研究。

六、结 论

综上所述,可以得到以下几点结论:

1. 大气环流异常具有相当正压性。
2. 大气环流异常正压性和斜压性主要和超长波活动有关,长波在其中的影响是次要的。这与短期天气过程中的正压和斜压性是不同的,其本质的区别值得进一步研究。
3. 大气环流异常的正压性和斜压性与地理区域有明显联系,这可能与下垫面非绝热加热异常造成的超长波活动异常有关。

总之,环流异常和低频振荡垂直结构的相当正压性是一个饶有兴趣的现象,有关它的成因和维持机制仍值得进一步研究。

致谢:本文得到丑纪范教授的指导和黄敏、衣育红同志的帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Edmon, H. J., Jr., A study of the general circulation over the north hemisphere during the winter of 1976—1977 and 1977—1978, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1538—1543, 1980.
- [2] Quiroz, R. S., Long-wave contributions to tropospheric and stratospheric temperature anomalies in winter, Proceedings of the Fourth Annual Climate Diagnostics Workshop, Wisconsin, October 16—18, 156—172, 1979.

- [3] 丑纪范, 长期数值天气预报, 201—204, 气象出版社, 1986 年。
- [4] Blackmon, M. I., and J. M. Wallace, Geographical variations in the vertical structure of geopotential height fluctuation, *J. Atmos. Sci.* **36**, 2450—2466, 1979.
- [5] Dole, R. M., and N. D. Gordon, Persistent anomalies of the extratropical northern hemisphere wintertime circulation geographical distribution and regional persistence characteristics, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1567—1587, 1983.
- [6] 章基嘉等, 低纬大气环流季节转换及青藏高原非绝热加热作用的天气统计学分析, 南京气象学院学报, 1983 年第 1 期。
- [7] 王玉佩, 30(50) hPa 流型及其季节变化与我国旱涝关系, 气象学报, **44**, 277—233, 1986。

THE VERTICAL STRUCTURE FEATURE OF THE NORTHERN HEMISPHERE WINTERTIME GENERAL CIRCULATION ANOMALIES

Zhou Qinfang

(National Meteorological Center, State Meteorological Administration)

Huang Jianping

(Lanzhou University)

Yang Chengbin

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The vertical structure of the Northern Hemisphere wintertime general atmospheric circulation anomalies process is studied by using methods of correlation analysis, EOF analysis and harmonic analysis with geopotential height anomaly data at 100, 500, 700 and 1000 hPa. The result shows that the first eigenvector, which has apparent relations with abnormal weather of Northern Hemisphere, has a significant barotropic structure feature in the troposphere and has the maximum weight in the general circulation anomalies. The harmonic analysis shows that the equivalent barotropic feature of general circulation anomalies closely relates with the main activities of the ultra-long waves.