

北半球超长波的振动与冷空气活动

王继志 季良达
(中央气象台)

提 要

本文对1972—1976年冬半年北半球500 mb 5天平均高度资料进行了波谱分析,讨论了超长波振动与强冷空气活动的关系。发现超长波的振动明显地随纬度而改变,高纬和极区超长波活动显著,当高低不同纬度地区超长波出现“共振”使行星尺度的斜槽发展时,则对应出现强冷空气的爆发。还讨论了超长波波型、振幅、位相的转换与冷空气爆发的关系。

一、引 言

众所周知,冬季强冷空气的爆发往往伴随北半球大型环流的调整而出现,作好冬季寒潮的预报迫切要求解决大型环流的调整,了解调整的时间和方式,人们往往通过调整前后的若干倾向来估计调整发生的可能性^[1]。天气实践表明,影响范围较大的较强冷空气的形势调整,在空间范围和时间尺度上都是相当巨大的^[2,3],它与常规天气图上看到的长波和中短波槽脊并不一一对应。常规天气图上长波、短波未经分离,对于强冷空气的预报是有一定困难的,空报、错报难以避免。从生产服务效果上看,抓住尺度较大的强冷空气则是当务之急,这就迫切要求分析与强冷空气有关的大尺度形势调整的特征。因此,希望能找到一种工具,使之在时间和空间上尽量突出强冷空气的发展,滤掉一些次要的天气内容。为此,本文对1972—1976年冬季(11月—2月)北半球500mb 候平均高度场进行波谱分析,分离长波和超长波,讨论强冷空气活动与超长波活动的关系。

二、极地和高纬地区超长波活动的显著性

本文采用1972年至1976年11月至2月的冬半年500 mb 候平均高度,在各纬圈上进行波谱分析。作法是:在北半球任意纬圈(本文取80°、50°、40°、20°N四个纬圈的值),求对纬圈的平均高度的偏差,我们在每10经度上读取一个值,令该值(即5日平均高度)为 H ,则同一纬圈上每一网格点上5日平均高度对其在纬圈的平均值的偏差为:

$$H_n = H_n - \bar{H} \quad (n = 0, 1, \dots, 35)$$

根据波谱分析原理,对于北半球平均西风的大型扰动:

1979年10月26日收到修改稿。

$$H'(\lambda, \varphi) = \sum_{K=1}^{\infty} \{a_K(\varphi) \cos K\lambda + b_K(\varphi) \sin K\lambda\}$$

在本文中,我们计算直到 $K = 12$, 扰动量已经相当微小,几乎近于零。即

$$H'(\lambda, \varphi) = \sum_{K=1}^{12} \{a_K(\varphi) \cos K\lambda + b_K(\varphi) \sin K\lambda\}$$

$$(K = 1 \cdots 12; n = 0 \cdots 35)$$

其中

$$a_K = \frac{1}{18} \sum_{n=0}^{35} H'_n \cos K \cdot n(10^\circ) \quad (K = 1 \cdots 12; n = 0 \cdots 35)$$

$$b_K = \frac{1}{18} \sum_{n=0}^{35} H'_n \sin K \cdot n(10^\circ) \quad (K = 1 \cdots 12; n = 0 \cdots 35)$$

于是,根据不同时间,不同纬圈上各波数的不同 a_K 、 b_K 求出不同波的振幅以及(以经度 λ 表示的)位相,即槽(脊)位置^[4]。这样我们在电子计算机上计算了这四个冬半年共 16 个月 96 个候平均高度的资料。每候运算了 80° 、 50° 、 40° 、 20°N 纬圈上的共 384 组波谱,每组波谱计算了 $K = 1, 2 \cdots 12$ 的所有波数上的振幅、初位相、槽脊位置。得到了逐候不同纬度上不同波数的振幅、位相等在不同波数情况下的移动,即得到了北半球从高纬到低纬地区各种波长的波的活动状况。结果表明,超长波与长波活动具有明显的纬度差异。极区、高纬地区超长波和长波活动显著。这种现象的揭露,对我们进一步认识它与强冷空气爆发的关系十分重要。

考虑 $K = 1-3$, 波长 $L \sim 1800\text{km}$ 到 6000km , 与地球半径尺度相当,故将 $K = 1-3$ 划为超长波, $K = 4-6$ 划为长波,但应当说明,本文出现的波是相对于 5 日平均高度值纬圈平均场上的大型扰动,它更具有大型波动缓慢移动的特征,波谱分析结果所揭示的这种大型扰动具有如下几个重要特点:

1. $K = 4$ 的波在中高纬度移动性显著,在低纬度地区稳定少动

众所周知, $K = 4$ 的波是十分重要的波。北半球中高纬度地区(如 50°N) $K = 4$ 的波对天气的控制十分显著,波谱分析表明, $K = 4$ 的波东移和西退十分明显,幅度甚大。如图 1 所示。1973 年 11 月第一候至 12 月第一候,长波槽东移了 70 个经度; 12 月第一候至第四候,西退了 70 个经度。与此同时,从 11 月第一候至 1 月第一候的两个月中,低纬地区(20°N)的 $K = 4$ 波槽在 100°E 附近作东西向小幅度摆动,幅度一般 15 至 20 个经度,最大不超过 40 个经度。波谱分析中所看到的这种现象真实地反映了实际天气图上所看到的情形。对于 $K = 4$, 每一大槽相距 90° , 而中高纬度上的每一大槽可以东移、西退达 70—80 余经度。因此,似乎可以看到,这种长波大槽是绕整个北半球做相继的替换运动。在低纬地区是另一种情况,长波大槽只在平均位置附近作小幅度摆动。其中一个槽的位置在 $90^\circ-100^\circ\text{E}$ 附近,即在孟加拉湾到印缅一带,这正是我国冬季南支槽稳定的地理位置所在。由于南支槽摆动幅度小,但频率比中高纬度高,因而南北两支大槽和脊的位置经常出现正反不同位相的重叠,并引起发展和减弱,造成不同类型的天气。

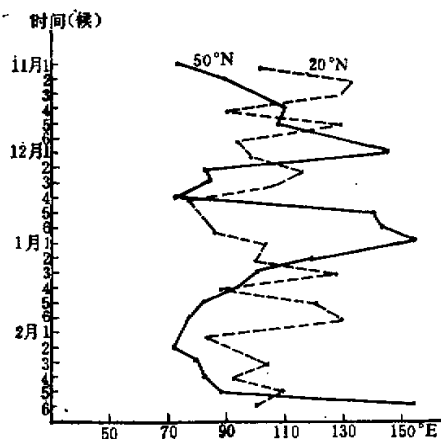


图1 1973年11月至1974年2月50°N与20°N长波
($K=4$)槽位置(λ)随时间演变图

2. 各种波(短波、长波、超长波)的振幅随纬度的增高而加大

各纬圈上各种波的计算表明(图略),中高纬度各种波的振幅均比低纬度地区显著,特别是超长波更比长波和短波明显。在低纬地区,波动振幅小,并且各种波的振幅差异也不大。这一事实表明,中高纬度地区经常看到的长波大槽大脊、阻塞、切断以及极区的极涡等,它们是超长波的主要成员。这说明,与低纬地区相比,极区和中高纬度地区纬向超长波活动尤为显著。

3. 各种波数的单波也都具有斜槽的形式

极区和高纬地区显著活动的长波、超长波通过这种斜槽结构与低纬地区发生联系。

尽管中高纬度与低纬度地区槽的移动与振幅有如上所述的不同情况,但对于同一波数的波而言,高纬度槽通常比同期中低纬度槽偏东,其结果,对于北半球而言,大槽总是由北向南逐渐西斜,各年各月情况基本如此,这里仅给出1973年冬半年的情形(图2)。这种现象在章施等对夏季流型的波谱分析中也有同样的结论^[2]。我们认为,波谱分析中揭示出的斜槽现象,正是自转地球上大气运动维持角动量平衡关系的结果。显然,极区和高纬地区,相对低纬地区,超长波和长波虽有显著差异,但这种斜槽结构使高纬地区的振动和低纬地区的振动发生联系,波谱分析中看到,当两者同位相叠加时,出现自北向南的振幅放大现象,使极地冷空气顺势南下到低纬地区。这与仇永炎最近的工作^[4]在方法上虽不尽相同,但结果基本一致。

从以上的结果看出,长波或超长波的活动具有明显的纬度差异。极区和高纬超长波活动显著,它是冷空气爆发可能与超长波联系密切的重要理由。半球性斜槽的出现,使高纬和低纬的长波和超长波相互联系,这种从高纬伸向低纬的强斜槽是冷空气从高纬向低纬爆发的不可缺少的机制。预报员都知道,没有这种强的“同位相叠加”,强冷空气南下的

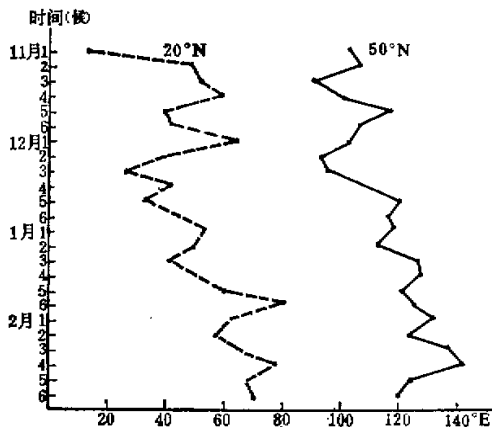


图2 1973年11月至1974年2月50°N、20°N
超长波 ($K=3$) 槽位置(λ)随时间演变图

可能性是很小的。

除此以外,我们在波谱分析中还看到其它一些现象,如长波和超长波都有东移和西退,并不受某一“静止”波长的影响;又如超长波槽东西摆动的平衡位置有相对“静止”和缓慢向东漂移两种类型。由于与本文命题关系不大,暂不在这里讨论。

三、超长波活动与冷空气爆发的关系

根据上述分析可知,长波与超长波在极区和高纬活动显著,斜槽的结构又使这种大型扰动与低纬发生联系,这两个重要因素就构成了超长波与极地强冷空气向低纬爆发有重要联系的理由。因而,极地冷空气的爆发在空间和时间尺度上与超长波具有相同量级也就不难理解了。正如牟维丰^[7]等根据10年资料分析发现,极涡活动(切断)与冬季南方的低温阴雨密切相关,李麦村等的工作^[8]指出,冬季强冷空气活动造成的江南低温阴雨天气是超长波的产物,因而,进一步探讨这种关系十分必要。

1. 超长波振幅的发展与强冷空气爆发

我们对72—76年四个冬半年冷空气过程(冷空气过程划分标准与中央气象台长期预报组的标准同,共划分43次过程)与波谱分析结果进行对比分析。我们先把各时段(以候为单位)波数为 $K=1, 2, 3, \dots, 12$ 的各波分解出来进行比较,定义同一时段上12个波中振幅最大者为该时段的发展波,发展波所占有的时段称为该波数的发展时期或活动时期。表1给出了72—76年四个冬半年全部冷空气活动过程与超长波及长波发展时期的关系。

由表2可见,尽管我们分离了12个波,但在每个冬半年中,我们以5日平均高度为初始资料进行波谱分析,主要把长波和超长波突出反映出来了。四个冬半年共43次达到标

表 1 1972—1976 年各冬半年冷空气活动与北半球 50°N 上不同波型的关系

年 代	1972—1973 (11月—2月)	1973—1974 (11月—2月)	1974—1975 (11月—2月)	1975—1976 (11月—12月)	总 计
波 数	$K \leq 3$ $K \geq 4$	$K \leq 3$ $K \geq 4$	$K \leq 3$ $K \geq 4$	$K \leq 3$ $K \geq 4$	$K \leq 3$ $K \geq 4$
伴随冷空气出现时发展波的分布(次数)	12 0	9 1	7 0	14 0	42 1
该时段长波、超长波的分布(次数)	22 2	19 5	21 1	24 0	88 8
冷空气出现占超长波次数的百分比	55%	48%	30%	58%	48%

准的冷空气,有 42 次位于超长波的发展时期。如果粗略地将每次冷空气活动仅以 5 日计,则冷空气活动时期至少占超长波发展时期的 48%。这个统计说明,冷空气爆发确实存在于经过过滤分离出来的超长波发展时期之中,在超长波发展时期只有一半(或稍短)的时间内是冷空气活动的时期。这同上节中给出的原则结论是一致的,即当超长波在极区和高纬地区是活动的时期,但低纬地区超长波与高纬地区的波型并不“匹配”,只有当半球形斜槽发展时期(同位相叠加)冷空气才能从极地向低纬地区爆发。

例如,1972 年 12 月 8—13 日,我国出现一次强冷空气过程。12 月 11 日,在高空 100 mb 深槽下方,对流层低层 850mb 是 1645 位势米的反气旋(图略),地面图上出现 1085mb 的高压(图略),造成 1972 年 12 月上旬一次强寒潮,我国从西北、华北至长江以南,陆地上大范围 6 至 7 级大风,东部海面 and 南海海面出现 7 至 9 级大风。全国普遍降温,霜冻线从华北推到南岭,这次冷空气势力强、爆发猛,普感奇寒,是我国近年来一次少见的强寒潮过程。从图 3 可以看到,这次冷空气爆发时超长波波型转换,振幅加大,又从图 4 可见,斜槽明显形成。例如,由图 3,11 月末(第 6 候)高纬地区大型扰动在波数为 3 的超长波和波数为 5 的长波上振幅分别为最大和第二位。到 12 月初,第一候和第二候已转为以波数为 2

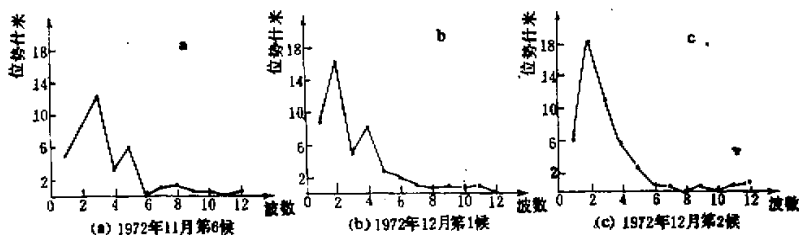


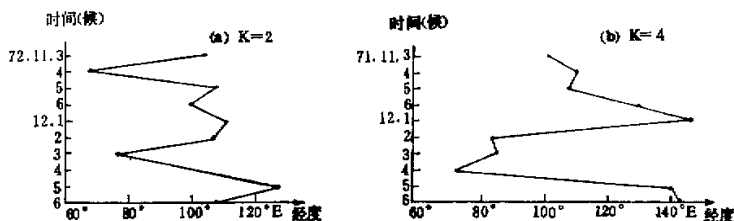
图 3 1972 年 11 月底至 12 月上旬 50°N 500mb 候平均高度的波谱分析

(a) 1972 年 11 月第 6 候; (b) 1972 年 12 月第 1 候; (c) 1972 年 12 月第 2 候

的超长波为主要发展波,波数为 4 的长波居第二位。11 月末,3 波为发展波,最大振幅为 10.6 位势什米,到 12 月第 2 候和第一候,2 波代替 3 波为发展波,振幅分别增大到 14.7 和 18.3 位势什米;相反,3 波已降至 2.8 位势什米。与此同时,波动在高纬与低纬同位相“共振”,形成从高纬伸向低纬的斜槽。整个北半球范围内,从极涡的分裂开始,以两个极涡中

表 2 1972—1976 年 50°N 超长波 ($K=3$) 大槽东西摆动与冷空气活动的关系

	1972—1973		1973—1974		1974—1975		1975—1976		总 计	
	转折点	外转折点	转折点	外转折点	转折点	外转折点	转折点	外转折点	转折点	外转折点
冷空气个数	11	1	9	1	6	1	9	5	35	8
超长波槽东西摆动转折点总数	13		15		16		11		55	
百 分 比	92%		60%		38%		82%		64%	14%

图 5 1972 年 11 月中至 12 月底 50°N 超长波 ($K=2$) 和长波 ($K=4$) 槽 (λ) 随时间演变图

而变化的主要发展是发生在 11 月底到 12 月初的 5 号前后, 这种关系给我们对强冷空气的预报提供了有意义的线索。

3. 对流层上部的超长波活动

对流层中, 尤其在对流层下部天气复杂多变显然与低层大气各部位加热的不均匀、海陆分布、地形起伏等因素有关。长波、短波活动频繁、交错。超长波现象受到掩盖。低层的这种影响应随高度逐渐减小, 到达对流层上部乃至平流层下部这种影响显然就不是主要的了。因而, 超长波本身的特征会充分地显露出来。因此, 在对流层上部至平流层下部, 会得到可以直接观测的超长波。从对流层中大气运动分离出来的超长波实际是一种隐超长波, 直接可以观测得到的超长波我们称为观测超长波。我们当然希望把理论的隐超长波对比反演成为可观测的超长波, 这对我们使用它制作预报就更为方便。我们根据这四个冬半年的资料对比分析发现, 500mb 日常天气图上的观测波(混合波)与波谱分析中波数为 4 的波相当接近。特别是它们的槽脊位置很接近。例如由 1972 年 11 月 30 日 20 时 500mb 图(图略), 北半球有 4 个主要大槽, 其中亚洲东部的长波槽位置在 130°E 附近, 它的位置及移动与波谱分析(图 5b)上得到的长波 ($K=4$) 的位置及其变化都相当符合。

对于超长波情况则不同, 其位置与对流层中的观测波不能一一对应。但在 100mb(或 200mb) 图上的大槽位相及其移动与我们在 500mb 上波谱分析中分离出来的超长波却有令人信服的相似之处。例如, 1972 年 11 月 30 日至 12 月 9 日 100mb 长波大槽与极涡的活动如表 3。把表 3 和图 3 及图 5 谱分析资料进行比较看出, 东亚大槽在 100mb 上的位置 and 后退的速度, 以及由 11 月底的 3 波型转为 2 波型的波型演变都与波谱分析中分离出来的超长波波型转换及移动十分相近。对流层上部超长波的这种明显变化, 给我们提供了

可直接应用的参考资料。

表 3 1972 年 11 月底至 12 月上旬 100mb 极涡和大槽(在 50° — 60° N 附近)的位置(20 时资料)

日 期	东亚大槽位置	美洲大槽位置	极涡的位置	备 注
11月30日	130° E	80° W	一个极涡,偏向亚洲在 75° N附近	北半球共有三个大槽第三个大槽在 50° 区附近
12月3日	120° E	90° W	一个极涡,偏向亚洲在 75° N附近	转变为只有两个大槽
12月5日	115° E	100° W	分裂两个极涡 东亚在 68° N 北美在 85° N	只有两个大槽
12月7日	115° E	105° W	东亚在 63° N 北美在 63° N	同 上
12月9日	90° E	120° N	东亚在 65° N 北美在 65° N	同 上

如前所述,在 100mb 图上,12 月 3 日,一个完整的极涡位于极区偏向东半球,东亚槽和北美槽分别在 120° E 和 90° W (图 6、表 3)。当极涡分裂成为亚洲和北美两部分,且各带有一个大槽分别伸向东亚和北美,巨大振幅的斜槽分别在东亚和北美强烈发展,造成两个大陆上冷空气爆发(图 4)。有人把这次整个北半球范围的强寒潮作为 1972 年反常天气的一个组成部分。可见,从对比分析中我们知道,100mb (或 200mb) 极涡分裂和所带的大槽实际上就是超长波活动在高层大气中的表现(显式)。由于在高层大气中短波活动的影响几近消除,这种超长波活动与冷空气的对应关系就更为明显。因此,牟维丰、李麦村等揭示的高空极涡切断与强冷空气活动、低温、连阴雨等天气的关系均为超长波过程^[7-8]。

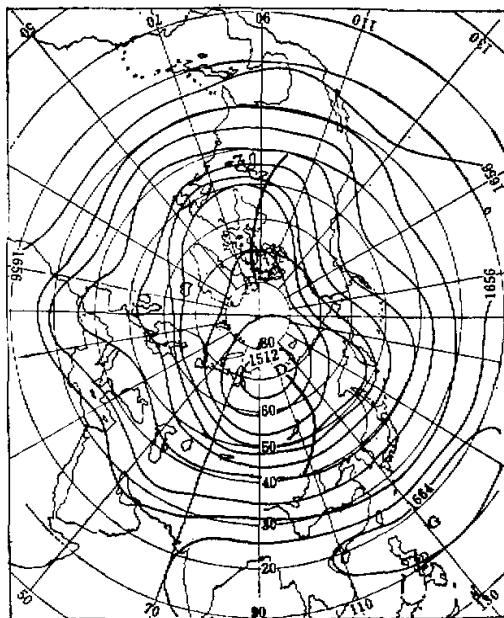


图 6 1972 年 12 月 3 日 20 时 100mb 形势图

四、几点结论

根据本文初步分析,可得出以下几点结论:

1. 超长波对强冷空气活动具有支配性。理由是:第一,极区和高纬地区超长波活动显著,它们与强冷空气活动的周期具有相当的一致性。第二,高纬与低纬地区的扰动由行星尺度的斜槽联系在一起,高纬与低纬超长波槽的“共振”是强冷空气向低纬地区爆发时所不可缺少的。

2. 在天气学研究中发现的导致冷空气爆发的重要天气过程(如极涡分裂、阻高的崩溃、冷涡的切断、不稳定槽的发展、横槽的转竖等),正是超长波、长波若干物理量转化的具体体现。因此,我们可事先诊断和分析这些物理量的变化和趋势,使千差万别的形势演变的描写简化和定量化,并有可能用来分析和预告冷空气活动。

3. 超长波控制下冷空气活动对波型本身具有选择性。并非所有超长波发展时期都对应有冷空气爆发。强冷空气爆发有时出现在波型发生转化的时段;有时发生在同一波型维持时段,但此时需有一个长波槽在亚洲东部的太平洋沿岸附近摆动。冷空气的爆发出现在波的振幅以及位相大幅度变化的转折时期。这种转换对于超长波而言,由于时间和空间尺度较大,往往强冷空气爆发前期就已开始。因而,具有预报意义。

4. 对流层中超长波受长波和短波的干扰,须经分离才能获得。对流层中各类较短波的干扰随高度将逐渐减弱。在对流层上部、平流层下部超长波活动十分清楚,100mb(或200mb)观测的流型与在对流层中层(500mb)经过谱分析得到的超长波相当符合。100mb(或200mb)极涡活动与冷空气活动的关系也是超长波活动的组成部分。

受资料的限制,本文还仅限于对长波、超长波以及与冷空气活动的关系作了观测分析和统计分析,对两者的物理联系将另文进一步研究。

中国科学院大气物理研究所李麦村同志对本工作给予热情指导和帮助,仅致谢意。

参 考 文 献

- [1] 中央气象台, 1971 年冬季冷空气总结。
- [2] Maurice L. Blackmon, An Observation of the Northern Hemisphere wintertime circulation, *Journal of the Atmos. Sciences*, Vol. 34, No. 7, 1977.
- [3] Maurice L. Blackmon, A Climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere, *Journal of the Atmos. Sciences*, Vol. 33, No. 8, 1976.
- [4] 北京大学地球物理系, 中期天气预报动力学基础(讲义), 1976.
- [5] 章海等, 超长波与长波演变形势在中期预报上的试验, 中央气象局气象科学研究所报告, 1978.
- [6] 仇永炎, 500 毫巴角动量输送波谱的周期变化, *气象学报*, Vol. 37, No. 1, 1979.
- [7] 牟维丰等, 极涡活动对华中持续低温的影响, *气象科技资料*, No. 4, 1975.
- [8] 中国科学院大气物理研究所二室, 春季连续低温阴雨天气的预报方法, 科学出版社, 1977.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE OSCILLATION OF ULTRA-LONG WAVES OF THE NORTHERN HEMISPHERE AND THE OUTBREAK OF COLD AIR

Wang Ji-zhi Ji Liang-da

(*Central Meteorological Observatory*)

Abstract

In this paper, spectral analysis on 5-day mean 500 mb chart in the winter, 1972—1976 have been carried out. The relationship between the oscillation of ultra-long waves and the outbreak of cold air is discussed. The results show that the oscillation of ultra-long waves vary greatly with latitude. The ultra-long waves are very active in the high-latitude and the polar region. An outbreak of strong cold air can be observed when a slant-trough of planetary-scale develops as a result of a resonance of several ultra-long waves, which are in different regions (the higher latitude and lower latitude regions). The relationship between the transformation in wave-types, amplitudes and phases of the ultra-long waves and the outbreak of cold air have been studied.