

应用波谱分析和因子场典型相关分析研究早春冷空气降温过程

席林华

(江苏苏州市气象台)

提 要

本文在对早春冷空气降温过程波谱分析的基础上,设计了一种波谱分析和因子场典型相关分析相结合的试验方案,并用这一方案对长江下游地区早春冷空气降温过程进行了分析研究及试验。为扩大因子场信息,分离、中、低三层因子场作典型相关分析,“浓缩”成典型变量,并以此揭示出影响早春冷空气降温的重要因子,供业务预报应用,最后给出了预报试验实例。

一、引 言

分析研究早春冷空气降温过程是当前天气分析及预报中的一个重要课题,具有较大的经济效益。作好冷空气降温预报,是农业增产丰收的重要保证。近年来对北方寒潮冷空气活动研究较多^[1],但对南方地区早春降温过程研究尚少。李麦村等(1977)^[2]对春季连续低温阴雨天气进行过研究,指出这种持续性天气是超长波活动的结果。本文在早春冷空气降温过程波谱分析^[1]的基础上,对早春高、低温过程波谱特征进行了对比分析,并设计了一种波谱分析与因子场典型相关分析相结合的方案对其进行试验。为扩大因子场信息,除对 30°N 和 50°N 纬圈波谱分析外,分高层(500hPa 高度场)、中层(850hPa 温度场)和地面气压场分别进行典型相关分析,“浓缩”成典型变量,并对典型变量的权重系数分布进行分析,提炼影响早春冷空气降温的重要因子,试图为业务部门提供具有清晰天气学意义的信息和中期预报模型及方法。

二、资料处理方案

本文利用 1971—1977 年 3、4 月资料进行计算分析。

因子场采用高层 500hPa、中层 850hPa、地面三层次及高度场、温度场、地面气压场三种场相结合的试验方案。

高度场和地面气压场均采用 19 个站点资料进行典型相关分析;中层 850hPa 温度场采用 16 个站点资料进行典型相关分析,具体站点分布见表 1 和表 2。

1986 年 4 月 21 日收到,1987 年 2 月 9 日收到再改稿。

1) 席林华, 1985, 应用波参数作早春冷空气降温过程的预告, 地方 MOS 试验研究报告(七), 江苏省气象局编。

同时对 500hPa 高度场 30°N 和 50°N 二个纬圈应用波谱分析分解出波参数资料及进行典型相关分析。

表 1 500hPa 高度场、地面气压场站点分布

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
站 名	银川	太原	北京	大连	兰州	西安	郑州	徐州	青岛	成都
序 号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
站 名	汉口	南京	上海	济州岛	芷江	长沙	南昌	福州	冲绳	

预报场采用苏州(代表长江下游区的中部)、扬州(代表其北部)和湖州(代表其南部)三个代表站的 $\Delta \bar{T} = \bar{T} - \bar{T}_p$ ($\bar{T}_p$ 表示候平均温度)表示长江下游地区的气温变化值。并将 $\Delta \bar{T}$ 分为四级处理: (1) $\Delta \bar{T} < -5^\circ\text{C}$ 为强降温过程(低温过程); (2) $-5^\circ\text{C} \leq \Delta \bar{T} < 0$ 为降温过程; (3) $0 \leq \Delta \bar{T} \leq 5^\circ\text{C}$ 为升温过程; (4) $\Delta \bar{T} > 5^\circ\text{C}$ 为强升温过程(高温过程), 本文重点放在对 1—2 级早春低温和降温过程分析上。

表 2 850hPa 温度场站点分布

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
站 名	银川	呼和浩特	北京	沈阳	老东庙	西安	郑州	徐州
序 号	9	10	11	12	13	14	15	16
站 名	青岛	成都	恩施	汉口	上海	长沙	南昌	福州

业务试验时, 因子场数据由数值模式输出量得到; 高度场资料由中央台 B 模式或欧洲中心数值模式分别获取; 温度场和地面气压场资料均由日本十二层模式得到。多种数值模式结合起来获取和选择^[3]因子, 可以增加因子信息来源, 特别可以弥补中期 MOS 预报因子来源缺乏的矛盾。

预报量为三个代表站 72 小时到 120 小时逐日气温预报值, 气温距平 $\Delta \bar{T} = \bar{T} - \bar{T}_p$, 为气温预报值与候平均气温的差。

本工作中预报因子由谐波分析展开得到, 波参数分别为: 波(参数)振幅

$$C_k(\phi) = [a_k^2(\phi) + b_k^2(\phi)]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\text{其中 } a_k(\phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H_{(k,\phi)} \cos k\lambda d\lambda, \quad b_k(\phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H_{(k,\phi)} \sin k\lambda d\lambda.$$

位相

$$\theta_k(\phi) = \frac{1}{k} \text{Arctg} \frac{b_k(\phi)}{a_k(\phi)}. \quad (2)$$

方差比

$$I_k(\phi) = \frac{C_k^2(\phi)}{2\sigma^2(\phi)} \cdot 100\%. \quad (3)$$

以后第四部分中 C_{4-6} 指长波 4—6 波的合成波振幅, I_{1-3} 指超长波 1—3 波 I_k 指数总值, 即 $I_{1-3} = I_1 + I_2 + I_3$.

三、早春冷空气降温过程的波谱分析

对 1971—1981 年 3—4 月明显冷空气降温过程 (重点放在 $\Delta T < -3^\circ\text{C}$ 降温过程的分析上) 其超长波 (0+1—3 波) 和长波 (0+4—6 波) 纬度-时间剖面图和分波 I_k 及合成波 1—3 波、4—6 波随时间演变曲线图进行分析, 得到以下结果:

低温过程初期 2 (3) 波有一增长, 低温过程对应 2 波高值阶段, 随低温结束 2 波有一显著衰减过程; 同时超长波 1—3 波也有一个明显增长过程, I_{1-3} 基本维持在 50% 以上波动, 1 波和 2 波基本成反相变化; 相反, 6 波在低温过程中维持在 $I_6 \leq 10\%$ 以下低值变化, 随低温过程结束, 6 波 I_6 有一上升过程 (图 1).

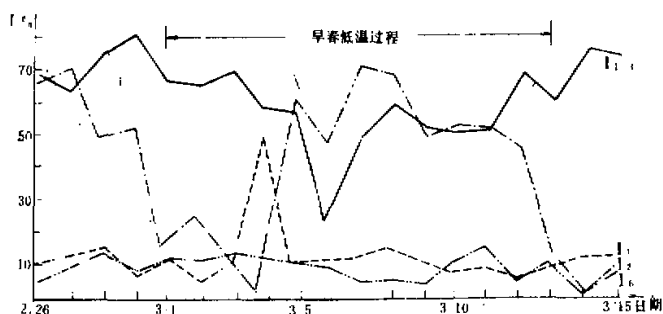


图 1 I_{1-3} 和分波 I_k ($k=1, 2, 6$) 随时间演变图

以 1972 年 3 月 1—18 日低温过程为例图说明

超长波 (0+1—3 波) 纬度-时间剖面图上, 低温过程初期有一次低槽南侵过程, 之后随低槽东移, 降温过程继续维持. 随着低槽北缩至 60°N 以北, 高脊增强发展, 低温过程很快结束 (图略).

为了比较高、低温过程的波谱特征, 选取典型的高温过程与低温过程波谱进行对比分析, 发现典型高、低温过程的超长波纬度-时间剖面图和分波 I_k 及合成波 1—3 波随时间演变图有显著差异.

超长波纬度-时间剖面图上, 高温过程前有一个高脊增强过程, 在高温过程中高脊有个再次增强发展阶段; 随着低槽加深南侵, 高温结束, 气温有个显著下降过程 (图略).

高温过程前期 I_{1-3} 随时间演变图上, I_{1-3} 有个下降过程, 处于低谷状态, 之后维持在 50—60% 以上, 随高温结束 I_{1-3} 有一显著衰减, 2 波与 I_{1-3} 波同步发展, 且讯号的出现比 I_{1-3} 还早 1—2 天, 2 波增衰极其明显 (见图 2).

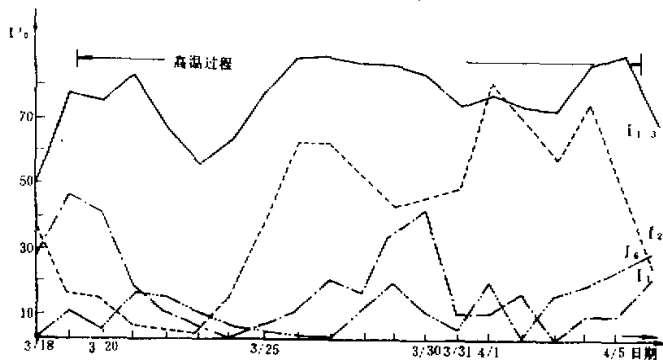


图2 1973年3月18日—4月6日高温过程 I_k 随时间演变图
其他说明同图1

四、早春 500hPa 波参数的典型相关分析

依据表征冷空气活动的天气学概念及预报实践,初选了30—50°N纬圈上的10个波参数因子:

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
因子意义	50°N					30°N			30—50°N 间位相差	
	C_1	C_2	I_{1-3}	I_2	I_3	C_{4-6}	I_4	I_5	θ_2	θ_3

经典型相关分析^[4]选择了5个波参数组成为第一典型变量:

$$u_1 = -0.01812x_1 + 0.4686x_2 + 0.3286x_3 - 0.4765x_4 + 0.6671x_5, (R=0.7658) \quad (4)$$

其中 $x_1—x_5$ 分别为2波、3波、4波、5波及超长波1—3波 $I_k(\Phi)$ 指数值。四月典型变量略。

从(4)式 u_1 典型变量的权重系数值中可以看出:高纬50°N纬圈上超长波1—3波 I_k 指数的权重系数为最大,说明中高纬地区超长波活动对早春冷空气降温过程的预报有较好的指示意义。因为,在中期过程中,西风带的长波发展和消亡是最基本的过程,超长波活动构成了中期环流形势演变的背景^[5]。

其次,50°N上的3波 I_k 指数作用也较大。经对早春3—4月候平均场谱分析,3波的突变和调整与低温过程有密切的关系。低温过程前2波或3波有一增长过程,随低温过程的结束2波有一显著衰减过程,对应低温过程超长波1—3波有一明显增强阶段, $I_{1-3} \geq 60\%$ 之上维持,随着低温过程结束 I_{1-3} 指数有个下降过程。

五、各因子场的典型相关分析

1. 对500hPa 高度场与早春降温作典型相关分析

本节采用 500hPa 高度场的 19 个站点与早春四月 $\Delta \bar{T}_6$ 进行典型相关分析,“浓缩”成第二典型变量:

$$U_2 = 0.02595x_1 - 0.02746x_2 - 0.02566x_3 + 0.1874x_4 + 0.1780x_5 - 0.1405x_6 - 0.02934x_7 + 0.04335x_8 - 0.0075x_9 + 0.3641x_{10} + 0.4696x_{11} - 0.05933x_{12} - 0.04568x_{13} + 0.02302x_{14} - 0.05647x_{15} - 0.2950x_{16} - 0.2307x_{17} - 0.2380x_{18} + 0.5910x_{19}, (R=0.49165) \quad (5)$$

U_2 典型变量权重系数分布如图 3,从中看到从我国华北、朝鲜半岛到我国东南沿海为一较深的低槽区,槽后为高压控制,在汉口到南京之间有一高值中心,本地槽后西北气流控制下,这种高度场(500hPa)分布是本地产产生明显降温的典型天气形势,与图 5 温度场分布配合起来分析,则物理学意义更加明确。

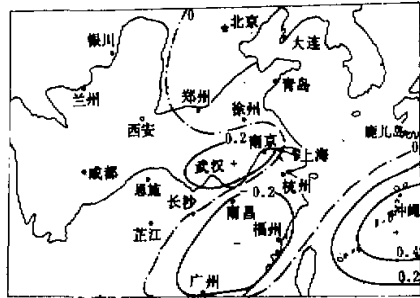


图 3 U_2 典型变量权重系数分布

2. 对地面气压场的典型相关分析

采用地面气压场 19 个站点值和早春四月 $\Delta \bar{T}_4$ 进行典型相关分析,组合成 U_3 典型变量, U_3 权重系数分布如图 4。

$$U_3 = 0.04371x_1 - 0.1559x_2 + 0.3251x_3 - 0.05379x_4 - 0.1440x_5 + 0.0576x_6 - 0.1374x_7 - 0.0094x_8 - 0.1462x_9 - 0.02269x_{10} + 0.2913x_{11} - 0.2541x_{12} - 0.0142x_{13} - 0.26695x_{14} + 0.02888x_{15} - 0.6104x_{16} + 0.1735x_{17} - 0.05074x_{18} + 0.4410x_{19}, (R=0.70948) \quad (6)$$

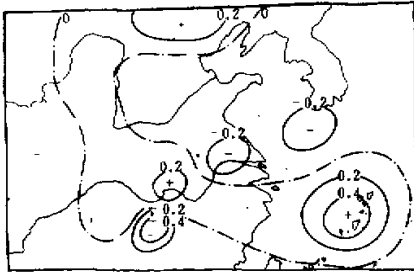


图 4 U_3 典型变量权重系数分布

从图 4 中看出,从河套地区伸向我国长江中下游以南地区为“L”型高压,本地高压前部的西北气流控制下,在预报实践中,北方冷空气中路南下,冷高压成“L”型控制我国东部大陆,天气迅速转晴,并造成本地区的强烈降温,其天气学意义是十分清楚的。

3. 对 850hPa 温度场的典型相关分析

日常预报经验知道, 850hPa 温度场对气温预报关系十分密切,为此对中层 850hPa 选用温度场作为因子场与 $\Delta \bar{T}_4$ 进行典型相关分析。经过对 1983—1984 年日本气象厅数值模式 850hPa 温度预报场的误差

分析¹⁾发现,我国沿海地区误差较小,有较好的参考价值;长江上游及高原地区误差很大,参考意义不大.减少我国西部及高原地带站点,采用16个站点850hPa温度值 $\Delta \bar{T}_4$ (四月气温距平)作典型相关分析,“浓缩”成 U_4 典型变量:

$$U_4 = 0.2129x_1 + 0.034x_2 + 0.0890x_3 - 0.4823x_4 - 0.2332x_5 - 0.1054x_6 + 0.3046x_7 - 0.1081x_8 + 0.2950x_9 + 0.1990x_{10} + 0.1637x_{11} - 0.0426x_{12} + 0.6177x_{13} - 0.0313x_{14} + 0.0711x_{15} + 0.01382x_{16}, (R=0.75052) \quad (7)$$

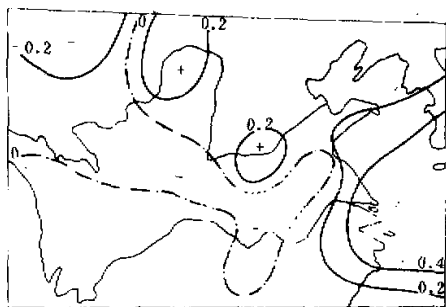


图5 850hPa温度场 u_4 典型变量权重系数分布

义十分明确,对早春冷空气降温有极好的指示意义.为此,我们试用 $u_1 - u_4$ 典型变量组建全回归预报模型试验:

$$y = 5.758 + 0.243u_1 + 0.078u_2 + 0.255u_3 - 0.124u_4, (R = 0.766328) \quad (8)$$

其中 u_1 以 30°N 和 50°N 二个纬圈的波参数组成典型变量; $u_2 - u_4$ 分别为高度场、气压场、850hPa温度场“浓缩”成的典型变量. y 为三站逐日气温距平值 $\Delta \bar{T}$.时效由数值模式来定,B模式为72小时,欧洲中心模式为72—120小时,此方程为苏州站预报方程,扬州、湖州站方程略.

此预报模型(结合试验方案)历史准确率较高,达到91.9%,从1985年3月4日起进行预报试验,取得了良好的效果,早春的三次明显降温过程:3月8—9日、18—20日及26—29日均由数值模式提前3—5天报出.

七、结语和讨论

应用波谱分析与因子场典型相关分析结合方案对早春冷空气降温过程进行分析研究,有以下主要结果:

(1)典型相关分析是一种变量场的客观分析方法,它反映两组变量场间的整体关系^[6].通过本文对500hPa高度场、850hPa温度场及地面气压场与早春冷空气降温的典型相关分析,得到的三个场典型变量,其权重系数分布有明确的天气学意义,为业务预报提供了很好的因子信息及依据,具有较好的参考价值.

(2)用典型相关分析波参数与早春降温所得结果和波谱分析方法得到的结论相吻合,

1)陈克、席林华,1985,日本12L-HSM模式850hPa温度场误差分析,地方MOS试验研究报告(七),江苏省气象局编.

它说明了 1—3 波 I_k 指数和 3 波 I_k 指数与早春冷空气降温关系十分密切, 超长波活动对早春冷空气活动和降温预报有很好的指示性。

(3) 虽然, 波谱分析揭示了纬圈环流的波动特征, 反映了中高纬地区超长波和长波活动的规律, 对分析与预测天气过程的演变有较好的能力, 但若加上有限区域高、中、低三个层次高度、地面及温度场因子, 则试验效果会更好, 说明这种结合方案有较强的分析和预报能力, 值得在业务预报中推广应用。

本文承蒙朱盛明高工提出宝贵意见, 祝浩敏等给予部分分析计算上的协助, 一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 全国寒潮中期预报文集, 1985, 北京大学出版社。
- [2] 李麦村等, 1977, 长江中下游连续低温阴雨天气的预报方法, 科学出版社。
- [3] 席林华, 1983, B 模式和日本八层模式结合作 72 小时降雨量预报, 气象, 12 期。
- [4] 朱盛明等, 1985, 因子场的典型相关分析在解释数值预报产品中的应用, 气象, 9 期。
- [5] 章基嘉等, 1980, 季节转换期间北半球大气超长波和长波的演变, 气象, 1 期。
- [6] Hotelling, H., 1935, The Most predictable criterion, J. Educ. Psych., Vol. 26, No. 2.