

我国南方低温连阴雨天气的研究

王继志 郭进修

(中央气象台)

前言

每年2至4月我国华南、江南和西南等地先后回暖,进入早稻播种育秧季节。一年之计在于春,春耕播种这一关键性时期抓得好坏将影响一年的收成。此阶段正值我国南方冬夏季风交替出现,天气复杂多变,做好春播天气的预报对国民经济尤其是农业生产意义重大。

低温连阴雨天气严重地威胁着早稻播种育秧,掌握不好,就会造成大范围烂种烂秧,所以连续低温阴雨成为我国重大灾害性天气之一,已引起广泛重视,六十年代初李兆祥曾给出几类低温阴雨天气型,并指出这类天气的形成与北半球大形势的调整有关[1]。后来这方面还做过一些工作,但往往限于资料时段较短,研究方法和标准不一,使用上有一定困难。对低温连阴雨发展的阶段性以及形成的物理原因讨论较少,这也会给今后进一步定量的数值分析和建立预报模式带来不便。本文用1960—1980年共21年资料,经过统计,划分出我国南方113次低温连阴雨过程,分析了我国低温连阴雨的天气气候特点。用综合平均方法,概括出低温连阴雨的几种平均形势,讨论了各种形势下低温连阴雨的发生、维持与结束的特点,并概述了它的物理机制和垂直结构。

一、天气气候概况

春季,温度和日照是影响作物生长的两个基本要素。我们规定连续4天平均气温低于 12°C ,日平均云量大于8成的阴雨天气为一次低温连阴雨过程。按此标准,普查了我国南方各省36个站的1960年至1980年原始资料,得到低温连阴雨天气过程出现次数的地理分布如图1所示,从中可以看出如下几点事实:

1.我国南方低温连阴雨出现的次数有南少北多,东少西多的特点。这可能与青藏高原东侧经常维持一低值系统使我国西南地区雨日偏多以及华南南部由于受南岭山脉的影响,春季冷空气南下势力减弱等原因有关。

2.每年低温连阴雨出现的机率华南南部为0.5—1次;华南北部、江南和长江中下游为1—2次;西南地

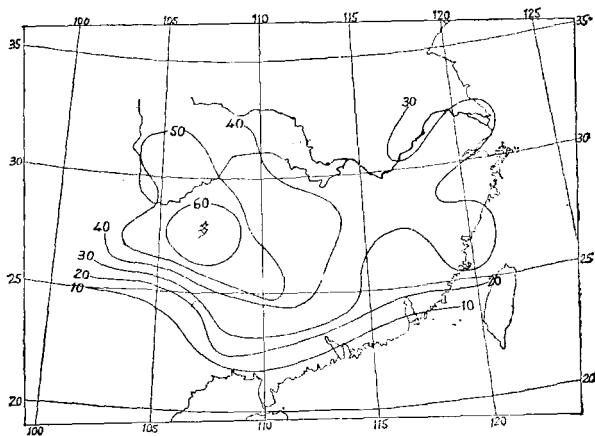


图1 我国南方低温连阴雨出现次数分布图。

资料年代为1960—1980年,华南、西南为2—3月,江南为3—4月。

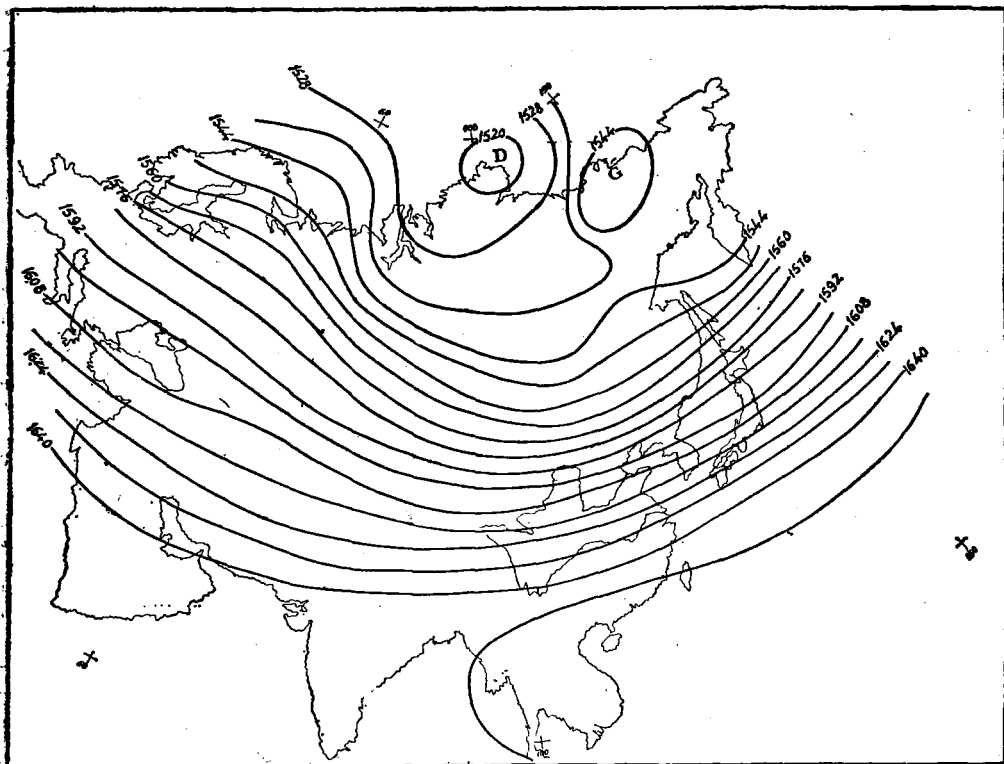
区为2—3次。

不同时间季节,低温连阴雨对不同地区起作用,构成有害于春播的灾害性天气,因此必须根据不同季节时段对不同地区进行统计,否则将无实际意义。我们划分了三个主要自然季节区域,即华南区(包括两广和福建省)、长江中下游及江南区、西南地区。以本区内不少于半数站同时产生低温连阴雨天气为本区的一次过程。从1960年至1980年共有113次低温连阴雨过程,其中2月至3月华南区出现了27次过程,西南地区出现了49次过程;3至4月间长江中下游和江南地区共出现了37次过程(见附表),从表中可看到我国南方低温连阴雨的时间尺度以4至9天为主,占78%,10天以上的低温连阴雨仅占22%,最长的低温连阴雨过程长达20天。

二、低温连阴雨的大尺度环流分析

1. 中高纬度环流

对113次低温连阴雨过程进行分析发现,低温连阴雨期间,北半球一般为2至3个波。2波型与过去工作中提到的极涡分裂或偶极(涡)[2,3]型一致,这种形势下亚欧范围内仅有一个超长波,其初始位相(长波脊)对地理位置有明显的选择性,在亚欧范围的中高纬度上,主要有三个地区是超长波脊稳定停留的位



· 图 2 (a)

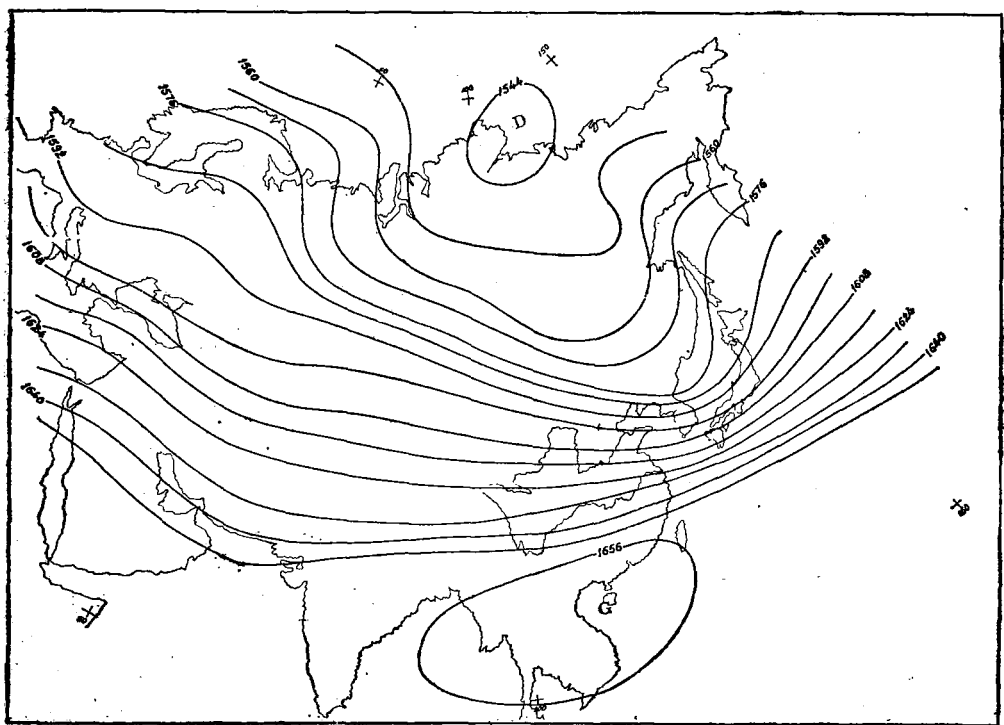
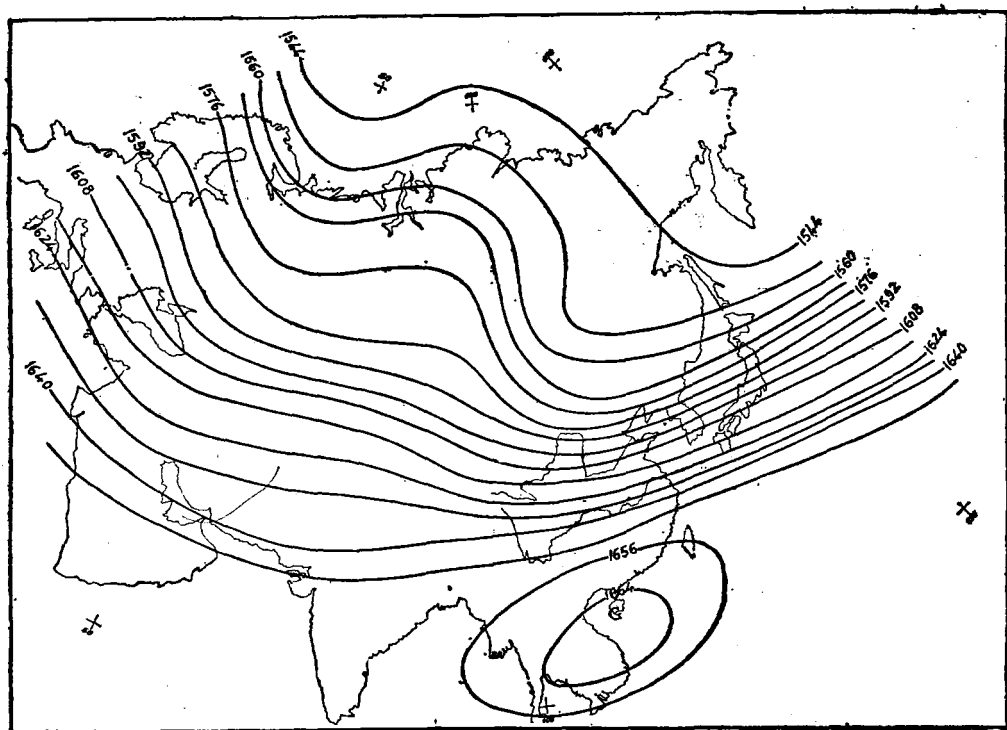


图 2 (b)



(c)

图2 a、b、c 分别为长波脊位于欧洲中部、乌拉尔山和中亚附近的 100 毫巴图

置。一类在欧洲中部，约 30°E — 40°E ；一类在乌拉尔山附近，约 50°E — 60°E ；一类在中亚，约 90°E — 100°E 。

我们对每种类型的低温连阴雨天气，划分开始、维持及结束三个阶段，分别作了地面、850、700、500、300、200 及 100 毫巴七个层次的综合平均图，每张系由 5 张同阶段的图作平均，总共使用了 255 张图做出三类共 41 张低温连阴雨综合平均图。这里仅给出三种类型的 100 毫巴综合平均图（图2 a, b, c）。分析上述资料发现：

(1) 低温连阴雨过程总是发生在超长波稳定时期。

资料分析表明，通常在低温连阴雨过程中，中高纬度超长波稳定少动，它们往往在图2中所给的三个基本位置上摆动，尽管组成一次低温连阴雨过程的天天气尺度波动可能有几个，但可以清楚地看到，这些天气尺度波动是同属于一次超长波过程背景下的扰动。

以 1980 年 3 月份为例，大尺度环流出现了两个稳定的时段。前期，10—18 日，亚欧范围为一稳定的横槽，从欧洲到西太平洋范围内只有一个稳定的波，在此期间，江南和华南出现低温连阴雨天气。当支持横槽形势的欧洲超长波脊东移减弱后，低温连阴雨结束。图3为沿 110°E 作的 500 毫巴风与变温时间剖面

图。从中可见，从月初到下旬，横槽的南北两侧分别有 2 至 3 次的增暖与降温过程。横槽北为减温，槽南为升温，这反映了南北冷暖空气的对峙现象。它分别与几次天气尺度的波动过程相对应。这也说明这次低温连阴雨是由 2 至 3 次的天气尺度波动过程组成。但只有当 18 日，中高纬度横槽破坏，即当行星尺度的超长波发生调整，这次维持 8 天的低温连阴雨过程才告结束。因而，低温连阴雨的预报抓天气尺度过程是不够的，必须把握住超长波的活动。3 月 22 日至 28 日，中高纬度稳定的纬向超长波重建，又一次低温连阴雨过程重新出现。所不同的是超长波脊的位置比前一次偏东。这两次过程都说明了低温连阴雨是一种大型天气过程，它要求大的环流形势稳定，中高纬度的稳定超长波正具备这一条件。

(2) 低温连阴雨过程的出现，与中高纬度上超长波初始位相关系不密切。超长波稳定的位相仅对地形有明显的选择。

从图2中可以看到，与我国大范围低温连阴雨天气相联系的中高纬度超长波脊的平均位置主要有三个稳定区，这说明低温连阴雨天气的出现只与超长波的稳定有关而与超长波脊的初始位相关系不大。所以出现超长波脊的三个稳定位置，与超长波对地理位置（地形）的选择性有关。前两类超长波初始位相主要

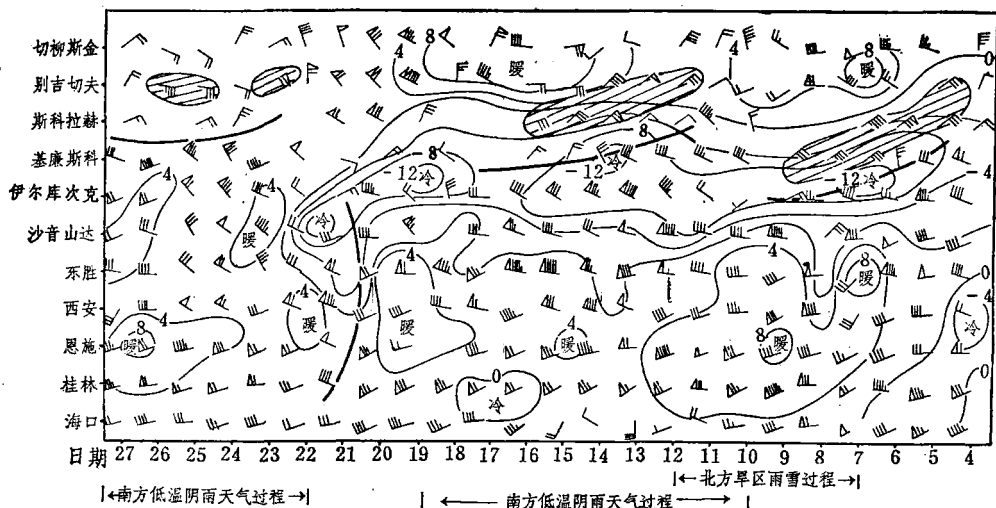


图3 1980年3月沿110°E500毫巴风与变温时间剖面图。
粗实线为风切变，实线为各站相对变温线，斜线区为12米/秒以上的偏东风。

稳定在乌拉尔山的上游，即40°E—60°E；后者即中亚超长波脊的稳定位置主要在蒙古高原的上风方。在欧亚大陆上的中高纬度范围内，乌拉尔山与蒙古高原是两个对大气超长波影响较为明显的重要地形。李麦村曾经从理论上讨论了大地形对超长波的作用，指出了热源项和地形项对超长波发展的贡献为〔4〕：

$$\frac{dA}{dt} = \frac{2\lambda^2 R}{C_p} Q \cos(\sigma_0 - \sigma) - \frac{f^2 \rho_0 g U_4}{K^2 + 2\lambda^2} K_n \sin(\sigma_0 - \sigma)$$

其中 σ 、 σ_0 、 σ 分别代表高度场、热源及地形项超长波脊的位相，其余符号与常用意义相同。

当 $\sigma_0 - \sigma = 0$ 时，高度场超长波脊与热源重合，超长波发展最快。进一步分析还指出，在冬季大地形的上游产生超长波脊，其下游产生超长波槽。我们从多

年资料分析所得的结果与上述理论分析是一致的。这可供今后用数值方法模拟和预报大范围低温连阴雨天气过程参考。

超长波初始位相对地形的明显选择性，说明地形和热源作用对超长波的稳定和发展起控制作用，或者说超长波有向地形或热源调整和适应的趋势。实际预报经验也表明，亚欧范围的中高纬度上不论是一槽一脊或两槽一脊，不论是脊的位置偏东或偏西，低温连阴雨天气发生的可能性均存在，关键是要求有稳定的形势，并在此形势支配下有偏东路径的冷空气不断向较低纬度地区扩散南下。

2. 低纬度和过赤道气流与低温连阴雨

五十年代至六十年代初期，人们对江南和华南连

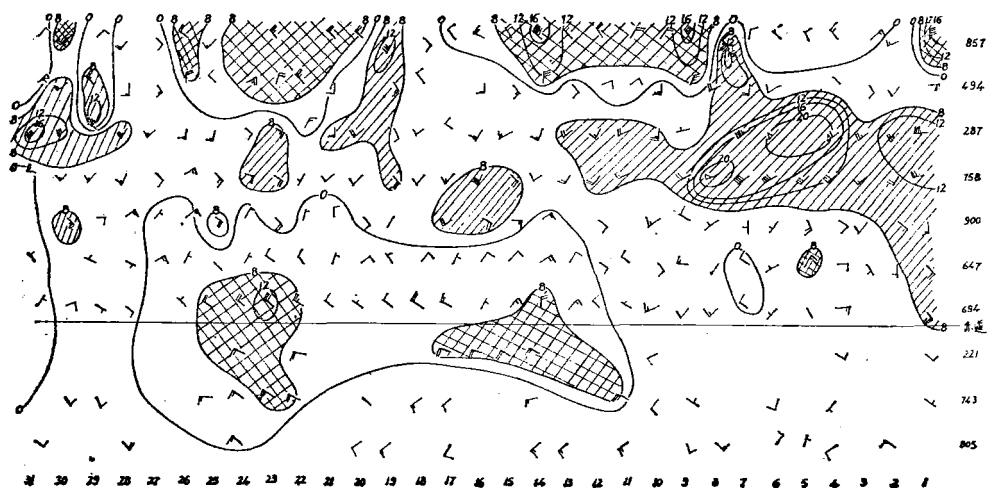


图4 1980年3月105°—125°E 850毫巴过赤道气流时间剖面图等风速线(米/秒)，偏南与偏北风分别标出。

阴雨天气的研究十分注意南支波动的作用，有人也称之印缅低槽的作用。现在当有了静止卫星云图后，我们经常可以看到，华南阴雨天气往往与过赤道的云涌有关。王继志与李麦村曾讨论了夏季季风期间，来自澳大利亚的过赤道气流对华南前汛期暴雨和梅雨天气的发展都有贡献〔5〕。实际上，过赤道气流不仅在夏季季风期间存在，在冬季季风期间仍有过赤道气流。低温连阴雨天气的发生，与冬季风源自西伯利亚的过南半球的气流以及源自澳大利亚的过北半球气流长时期交汇有关。

图4是从40°N到10°S沿过赤道气流的走向所作的850毫巴面上的时间剖面图。由此可见，1980年3月初，从南半球10°S到北半球为一致的偏南气流，这是入冬以来的第一次。这支偏南气流在我国华南地区形成低空急流，中心风速达20米/秒以上。在此之前，自去年11月份开始，低纬度到赤道是稳定的东北季风，越过赤道到达南半球的低纬地区（图略）。显然，1980年3月份，江南和华南出现的维持时间长，影响范围大的低温连阴雨天气与3月初从赤道附近出发的西南气流有关。

在图3中可以看到，3月10日前后，500毫巴在中高纬度上有强的增暖现象。它说明，图4中低纬度的850毫巴的偏南气流已经爬升到500毫巴高度。相反地，图3中中高纬度500毫巴上的东北风与降温从5日开始向低层和低纬度地区扩散，到10日偏北风已经扩散到850毫巴以及赤道以南地区（见图4）。

由此可见，1980年3月上中旬，在中高纬度与中低纬度及赤道附近地区有一次强的南北气流穿过程程，源自赤道以南的暖湿气流以华南低空急流的形式爬升到中高纬度，从850毫巴上升到500毫巴附近，而源自中高纬度的干冷气流从500毫巴下沉到850毫巴附近，并扩散到低纬和赤道附近。其中高纬度的气流取反气旋曲率南下，低纬的气流在赤道附近为反气旋弯曲，此后逐渐转为气旋式弯曲，完成一个波长的经向振动。这可能与大尺度运动中的位涡度守恒有关〔7〕。我国江南和华南是这两支气流重叠交汇最强的地区，低温连阴雨也就在这种形势下产生。我们把这种时间尺度长达7至10天以上，空间尺度扩展到南北半球的南北气流穿越过程，叫做南北半球间的经向超长波。这同〔8〕中的定义类同。由此可见，1980年3月中下旬两次低温连阴雨，不但与中高纬度的纬向超长波活动有关，还与南北半球间的经向超长波活动有关，这种低温连阴雨天气，实际上是中高纬度的纬向超长波与中低纬度与赤道附近的经向超长波所组成的混合超长波过程的产物。

三、低温连阴雨天气平均形势场的结构

上面已分析指出，低温连阴雨的发生与中高纬度

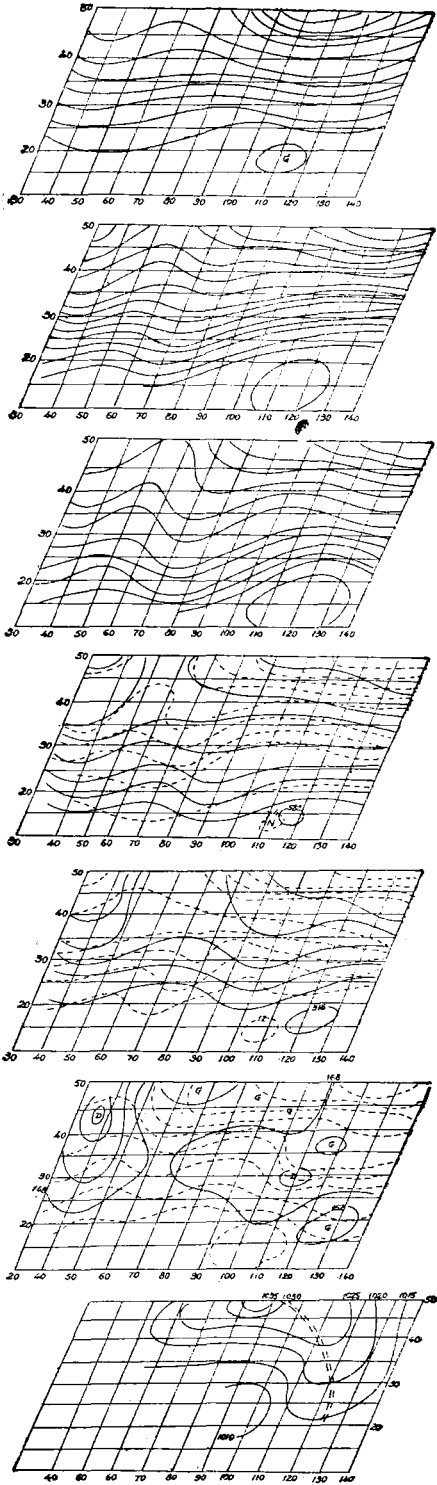
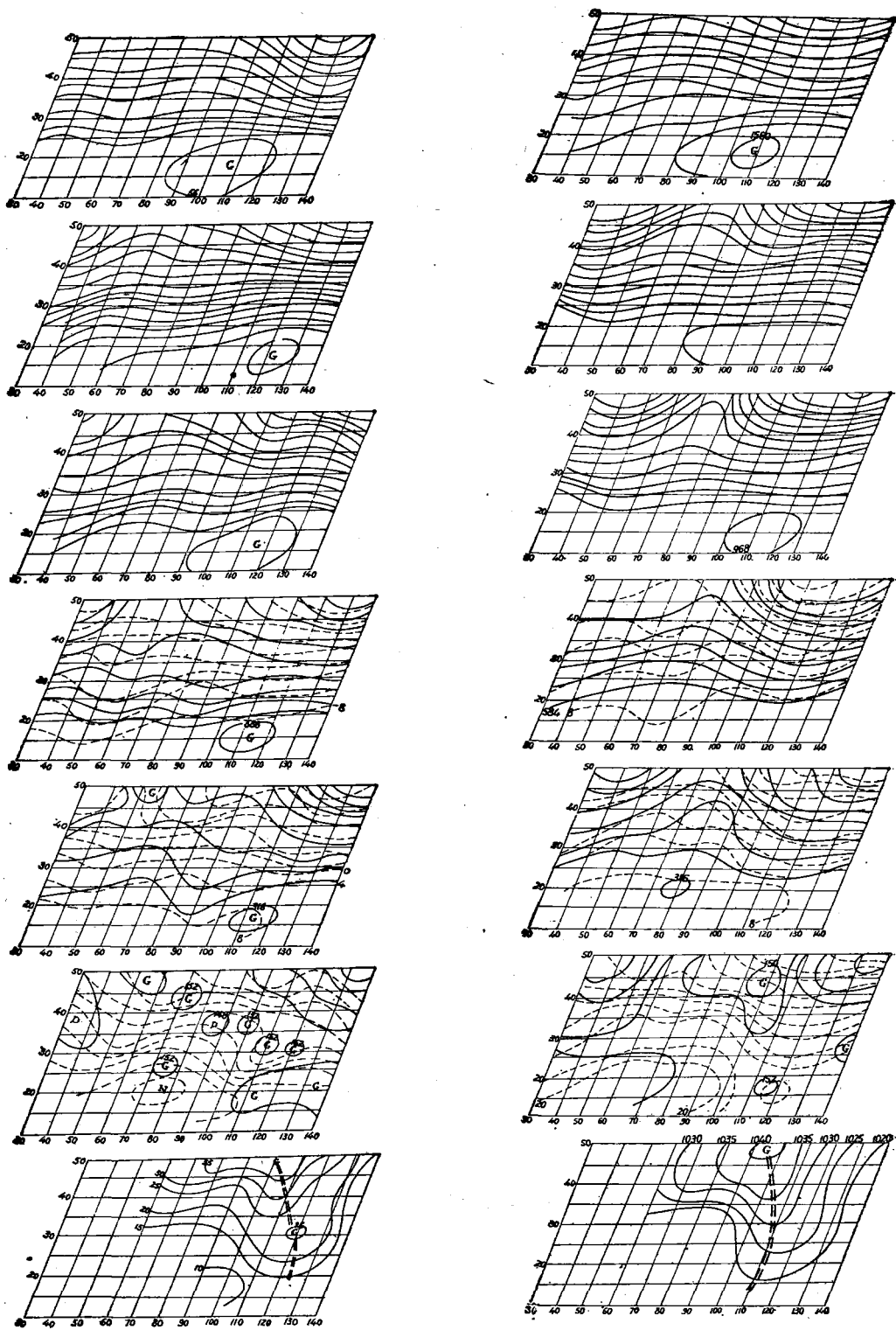


图5 (a)



(b) (c)

图5 a、b、c 分别为低温连阴雨开始、维持和结束三阶段的平均形势图，
 从下到上分别为地面、850、700、500、300、200、100 毫巴。

上超长波脊的初始位相关系不甚密切,所以现仅以其脊位于乌拉尔山附近的七层综合平均图来讨论低温连阴雨天气的三度空间结构。

图 5a, b, c 是低温连阴雨开始、维持和结束阶段的平均形势图,从中可以看到以下几点事实:

1. 从对流层低层到对流层顶超长波脊明显向西倾斜。

在低温连阴雨开始和维持阶段中,超长波的高压脊线在地面上处于 100°E 附近,200毫巴位于 50°E 附近,向西倾斜了50个经度,低温连阴雨期间这样平缓的坡度,反映了这种结构的特殊性和稳定性。李麦村等人指出,超长波随高度后倾正是它稳定和发展的必要条件〔6〕。低温连阴雨作为一种持续的大范围灾害性天气与它的垂直方向上向西倾斜较大有很重要的联系。

2. 准水平等压面上有两支锋区

在低温连阴雨开始和维持阶段,500毫巴以下准水平等压面上明显地存在着两支锋区,一支在 45°N —

50°N ,另一支在 25°N — 30°N 。两支锋区的存在与耸立在东亚地区的青藏高原有关。北支锋区是与西北气流相配合的,成为低温连阴雨的干冷气源,南支锋区与西南气流相配合,是低温连阴雨的暖湿气源。

3. 低温连阴雨结束时伴随超长波结构的调整。

从图 5c 可见,低温连阴雨结束时,超长波的结构发生明显的调整,这种调整表现在对流层高层与低层的位相趋于一致,超长波脊均移到 80°E — 100°E 附近。水平锋区由原来的南北两支合并成一支。超长波垂直倾斜度的变陡,水平锋区的合并破坏了原来的冷暖空气交汇的基本条件,反映了超长波结构的调整,这样低温连阴雨天气结束。

为了进一步讨论与低温连阴雨相联系的超长波的垂直结构,我们作了超长波所在范围内的综合平均经向和纬向空间剖面图,这两个剖面分别在 115°E 和 30°N 附近。从综合平均剖面图(图 6)可以看到以下几个事实:

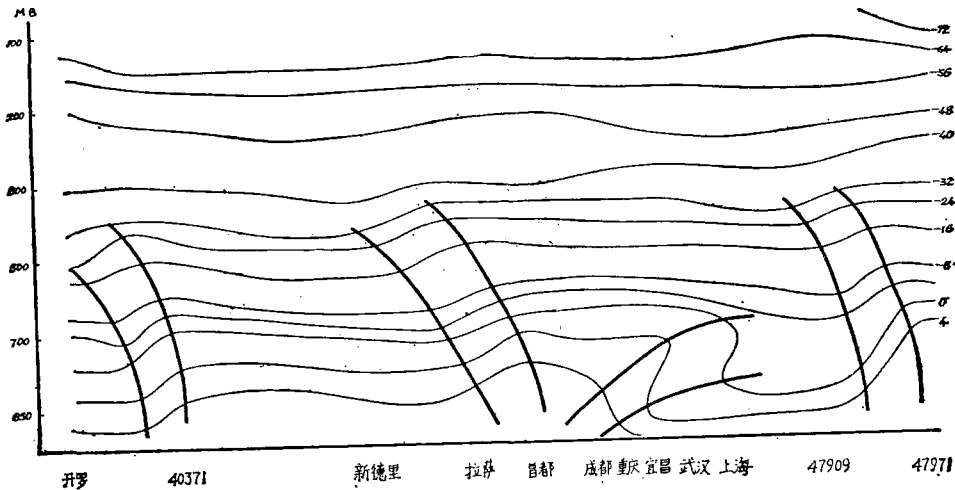


图 6 (a)

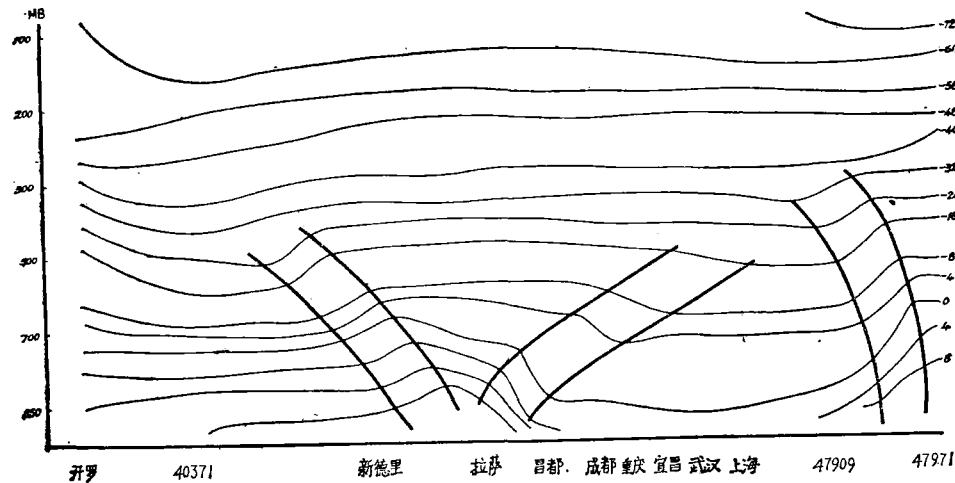
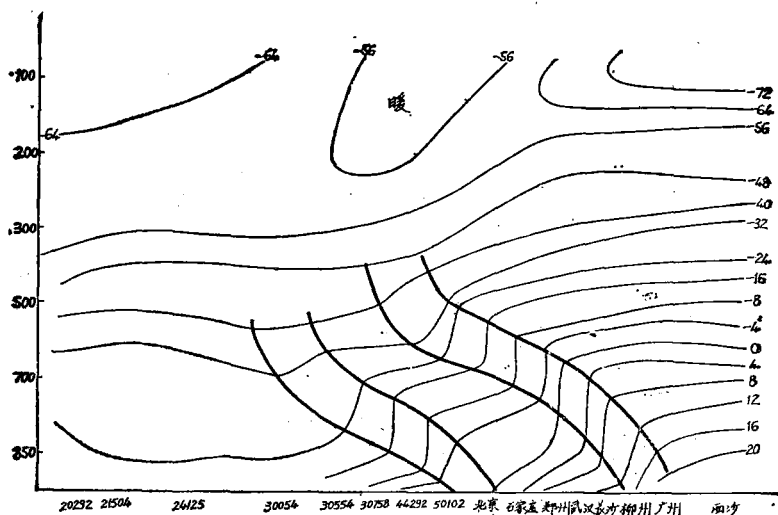
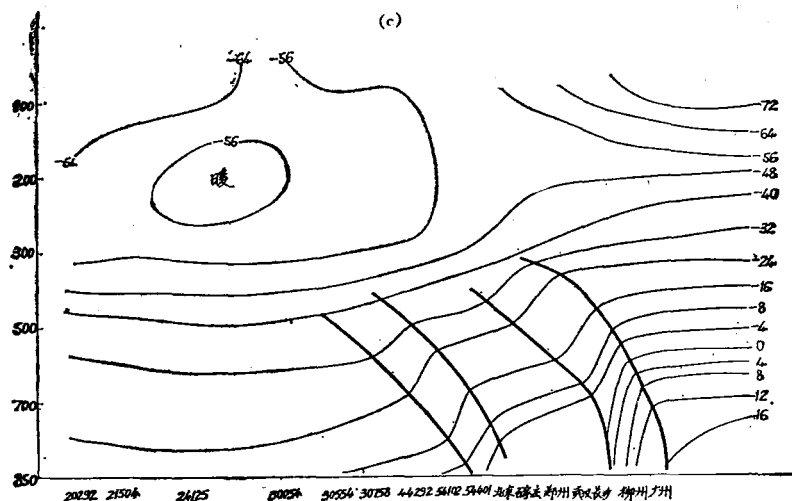


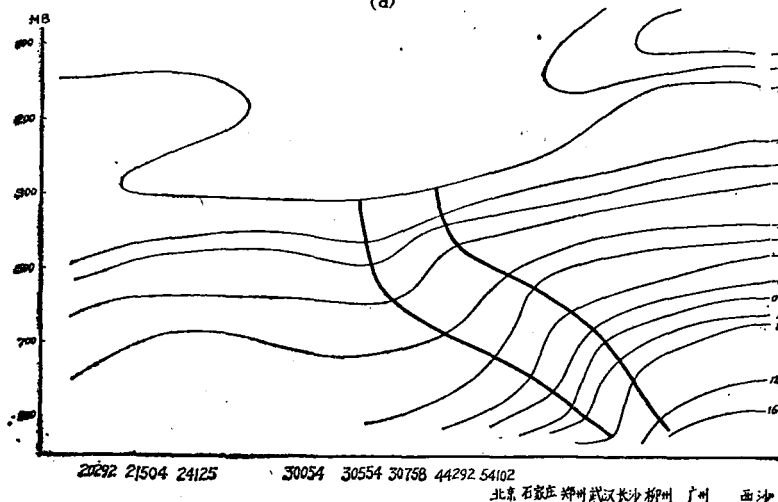
图 6 (b)



(c)



(d)



(e)

图6 a、b为低温连阴雨开始和维持期间内 30°N 附近的纬向剖面图；c、d、e为低温连阴雨开始、维持和结束期间内 115°E 附近的经向剖面图。

1. 与低温连阴雨相联系的超长波在温度场上具有“超级锢囚”特征。

从图 6a, b 可见, 低温连阴雨开始和维持阶段中, 温度场上锋区结构清楚, 在对流层中低层 (700—500 毫巴) 超长波的西段为次冷堆, 冷锋位于 90°E — 95°E 附近, 超长波中段为暖堆, 暖空气被抬举到对流层中高层 (600—400 毫巴), 东段为主要冷堆, 是东亚大槽后部的冷空气控制区。剖面图上 700 毫巴面上的温度场分布如图 7 所示, 它清楚地反映了这种结构与锢囚锋结构有相当的类似之处, 只不过其空间尺度较大, 因此, 可称之为“超级锢囚”。

2. 南北向剖面图中对流层中下层被两支强锋区所控制。

从图 6c, d 中可见, 对流层中低层 500 毫巴以下存在着两支锋区, 这同上述讨论准水平面上综合平均图上的结果完全一致。

3. 低温连阴雨结束时经向两支锋区合二而一。

从图 6e 中可以看到, 两支锋区已合并南移, 在 30°N 附近的纬向剖面图 (图略) 中可以看到, “超级锢囚”型锋区中暖区进一步抬升, 东部冷堆向西扩展, 对流层中低层完全被冷区控制, “超级锢囚”破坏, 低温连阴雨结束。

四、结论

综上所述, 可初步得到以下几点结论:

1. 低温连阴雨天气是一种行星尺度的超长波过程, 其时间尺度约为 4 至 9 天, 最长可达 15 至 20 天。

2. 与低温连阴雨相联系的超长波是一种混合超长波, 中高纬度上的纬向超长波的东西振动及其垂直结构的变化与低温连阴雨过程的阶段性有关; 低纬度和赤道附近的经向超长波的发展关系着低温连阴雨过程的有无, 南北半球经向超长波的发展相伴出现南北半球过赤道气流的相互掺和、穿透, 这将造成我国南方冷暖空气的汇合, 形成大范围低温连阴雨。

3. 在低温连阴雨发展和维持期间内, 超长波具有明显的西倾特征, 温度场上是一种“超级锢囚”结构, 在低温连阴雨结束时, 超长波西倾显著减小, “超级锢囚”结构完全破坏。

4. 一次低温连阴雨过程系由多次天气尺度扰动组成, 但对低温连阴雨的开始、维持、结束的预报, 需要对超长波的建立、维持、移动及其结构等进行深入研究, 在开展低温连阴雨天气的数值模拟和预报时, 应有效地表达超长波特征。

附表 我国南方各区 1960—1980 年
低温连阴雨过程一览表

华南地区		长江流域、江南地区		西南地区	
低温连阴雨起止日期	长度	低温连阴雨起止日期	长度	低温连阴雨起止日期	长度
1961.2.12—18	7	1960.3.1—5	5	1960.2.16—20	5
1963.2.8—12	5	3.13—20	8	3.31—4.3	4
3.11—15	5	1961.3.3—11	9	1961.2.1—8	8
1964.2.9—14	6	3.19—25	7	2.11—16	6
2.17—26	10	1962.3.7—11	5	3.4—11	8
1965.2.20—28	8	1963.3.5—14	10	3.21—28	8
3.3—7	5	1964.3.1—9	9	1962.2.25—28	4
1967.2.6—16	11	3.18—25	8	3.21—24	4
2.23—28	6	4.6—10	5	1963.2.3—11	9
1968.2.1—10	10	1965.3.1—7	7	3.9—14	6
2.14—27	14	3.20—31	12	1964.2.1—5	5
1969.2.16—3.1	14	4.3—7	5	2.9—26	18
3.3—8	4	1966.3.7—12	6	3.1—5	5
1970.2.27—3.8	10	4.4—11	8	1965.2.1—9	9
3.12—18	7	1968.3.22—27	6	2.21—3.7	15
3.20—26	7	1969.3.3—11	7	1967.2.6—16	11
1971.2.5—9	5	1970.3.1—8	8	2.23—26	4
1972.2.4—8	5	3.10—17	8	3.2—9	8
2.19—27	9	3.20—25	6	1968.2.1—13	13
1974.2.1—7	7	1971.3.2—8	7	2.15—24	10
3.10—16	7	3.10—14	5	1969.2.1—8	8
1975.2.7—13	7	1972.4.1—4	4	2.16—21	6
1976.2.18—29	12	1973.3.1—15	15	3.3—8	6
3.19—25	7	1974.3.6—9	4	1970.2.5—10	6
1977.2.1—5	5	3.12—16	5	2.20—27	8
1978.2.10—18	9	1975.3.2—8	7	3.1—7	7
1980.2.1—14	14	1976.3.6—15	10	3.11—26	6
		3.18—29	12	1971.2.1—14	14
		4.2—5	4	1972.2.1—9	9
		1977.3.17—23	7	2.11—3.1	20
		1978.3.3—8	6	1973.2.5—12	8
		3.11—17	7	1974.2.1—6	6
		3.20—25	6	2.23—27	5
		1979.3.10—20	11	3.6—14	9
		1980.3.1—7	7	1975.2.4—20	17
		3.10—18	9	1976.2.16—3.3	17
		3.21—28	8	3.5—14	10
				3.18—23	6
				1977.2.5—8	4
				2.15—21	7
				3.18—23	6
				1978.2.9—22	14
				3.21—25	5
				1979.2.1—7	7
				3.11—19	9
				1980.2.1—7	7
				3.2—7	6
				3.11—18	8
				3.22—28	7

参 考 资 料

- [1] 李兆祥: 春季南方连续低温阴雨的两个模式《气象通讯》第 2 期 1963
- [2] 牟惟丰等: 《气象科技》1975 第 4 期
- [3] 王继志、季良达: 北半球超长波振动与冷空气活动, 《大气科学》(即将发表) 1981
- [4] 李麦村、姚棣棠: 大地形对超长波活动的影响 (即将发表)
- [5] 王继志、李麦村: 源于澳洲的过赤道气流与中国季风雨, 《大气科学》(即将发表) 1981
- [6] 中国科学院大气物理研究所二室: 春季低温阴雨天气的预报 科学出版社 1977
- [7] E. Palmén, C. W. Newton, Atmospheric Circulation 1969
- [8] 李麦村: 超长波的尺度分析《大气科学》№2 1977