

长江中下游春季连阴雨、连晴天气研究

朱盛明

(江苏省气象科学研究所)

提 要

本文综述了近三年在长江中下游地区连阴雨、连晴天气研究方面的新进展,及其成果在业务预报中的应用。

春季连阴雨常引发早稻烂秧、小麦渍害和赤霉病、棉花僵苗不发等农业灾害,是长江中下游主要的自然灾害之一。进一步弄清它的发生发展规律,建立中期预报系统和农业气象决策系统,对于防灾、减灾、稳定发展农业,保持经济稳定、政治稳定和社会稳定具有战略意义。

就大气环流学科而言,对于冬夏季风盛行季节的研究,国内外已作了较为系统的工

作,而对过渡季节大气环流的发生、发展和演变规律以及中期预报方法的研究甚少。

1988年4月长江中下游6省和气象科学研究院联合组成“长江中下游连阴雨、连晴天气的研究”课题组。三年来,本课题的研究取得了以下进展。

一、编纂了《长江中下游春季连阴雨、连晴天气气候分析图集》*

*长江中下游春季连阴雨、连晴天气研究课题组编,付印中。

在长江中下游流域内选取35个具有代表性的站作为基本站,确定了整个流域的连阴雨、连晴天气的时间和空间两方面定义^{〔1〕}。并编纂了《长江中下游春季连阴雨、连晴天气气候分析图集》,内容包括连阴雨、连晴天气年际变化特征;历年连阴雨、连晴天气简表;连阴雨、连晴天气过程概述,内含起始场、过程平均图、过程天气实况图和过程资料、文字说明;连阴雨、连晴天气对农业生产的影响;各代表站最长连阴雨日期表;极端最长连阴雨天数分布图;累年最长连阴雨平均长度分布图;历年全区、北片、南片春季连阴雨天气日期;连阴雨静止锋锋面位置出现频率统计等。另外,还给出了根据欧洲中期预报中心7层 2.5×2.5 经纬距历史资料计算的EP通量等诊断物理量。

二、连阴雨静止锋的结构演变和增衰机制

春季连阴雨期间的所谓南岭静止锋还是30年前的模式。本课题应用较稠密的资料 and 现代动力学诊断方法,对连阴雨静止锋的结构、演变和增衰机制进行了较为详细的剖析。

1. 锋面形成和维持的研究

(1) 首先应用Sawyer-Eliassen 锋生方程对连阴雨锋进行了诊断分析,在摩擦项、非绝热加热项和地转形变项中,地转形变项的锋生作用最大;非绝热加热项次之,量级与前者相同,但数值较小;摩擦项的锋生作用最小。

进而从锋面方程出发,设基本流场定常,利用地转动量假定和刘式适等提出的在平衡态附近按泰勒级数展开的方法,最后导出kdv方程。得出锋生是由于非线性过程和频散过程共同作用并达到平衡而形成的,其中形变场对锋面形成至关重要,同时得出凝结加热也起着重要作用,其结果与前面相一致。

(2) 连阴雨锋附近加热场特征及其对锋面维持的作用

应用郭晓岚改进的积云参数化方案,计算了积云加热和大尺度凝结加热,同时利用温度场资料反算了总非绝热加热。主要结果如下。

a. 如图1所示,在锋面形成初期,大尺度凝结加热主要分布在锋面附近,在锋区上方呈带状分布。锋面下方为大尺度冷却区。当出现锋面气旋后,凝结加热则主要分布在气旋附近(图略)。

b. 图1中沿锋面存在的几个大尺度加热极值区,它们在加热锋生分布以及垂直运动场(图略)上,都有反映。这些极值区反映了锋面的中尺度特性。

c. 锋生函数的加热项沿锋面都是锋生作用,其大小与辐合、辐散项及倾斜项相当,与形变项同量级。证实了锋生公式的结果。

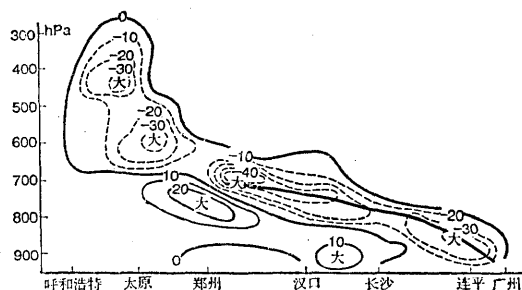


图1 连阴雨锋附近的大尺度凝结加热

单位: 10^{-6} 卡·克 $^{-1}$ 秒 $^{-1}$

d. 总非绝热加热的计算表明在高空锋区的北端为锋生。这与上面锋生函数计算结果相悖,说明是由于辐射冷却及次网格输送作用对高空锋区的维持起着重要作用。

2. 连阴雨静止锋的三维气流结构分析

在冷侧、锋区及暖侧各选择具有代表意义的等 θ_{se} 面进行相对气流分析,得出下列结果。

(1) 静止锋维持时的三股气流

位于冷侧对流层下层有一股冷干东风气

流。这股气流来自黄海边界层，先向西流动，并有弱下沉，接着向北，然后向东转为上升气流。它是锋后冷侧低层的冷输送带，且冷空气不强，有利于静止锋维持。

一股气流来自暖侧江南边界层，沿着锋面向北爬升，是偏南暖湿气流，它与低空西南急流相联系，为暖输送带。

还有一股气流为江南以北的500—300 hPa较强的冷干偏西气流，它先有弱的上升，再有弱下沉，然后又有较强的上升，抑制了第二股气流继续向北向上爬升。它与对流层中上层的平直西风环流形势相联系，表明中高纬度没有较强的冷空气南侵(图略)。

(2) 静止锋消散时的气流

静止锋消散时上述三股气流被二股气流所代替。一股为来自冷侧对流层中下层的西北干冷气流，先有上升，接着在延安到济南一线分为两股，北侧的一股向东北方向流去，并有较强下沉；南侧的一股扩散南下，下沉到长江中下游地区，它与低层冷高压南下相配合，表明中高纬地区对流层中下层已有较强的冷空气南侵。它的源地不是黄海边界层，且更干更冷。

另一股气流为来自中高纬对流层上层的西北冷干气流。该股气流先有较强的下沉后也在延安至济南一线分为两股，一股向东北方向流去并有上升；另一股扩散南下下沉到江南27°N的边界层，并向东南方向流去，取代了维持时期的暖输送带。

对流层上层和中下层的这两股干冷气流占主导地位，南岭静止锋遂转变为冷锋南下，长江中下游连阴雨天气结束。

3. 高原东侧水平稳定层的研究

为进一步认识高原东侧稳定层的结构、形成和维持原因，利用高原东侧较稠密的探空站资料，借助客观分析方法，对它进行了诊断分析。在春季连阴雨时期，稳定层的定义取气温垂直递减率 ≥ 0 的层次，即逆温层。主要结果有以下几点。

(1) 水平稳定层是低层大气维持时间较长的大尺度现象，东西和南北水平尺度均可达1500km左右，平均厚度则在800m。图2是水平稳定层顶部与底部的温度差，其零线可看成稳定层的水平边界。平均而言，顶底温差在1.5—2℃左右，比热带信风逆温要弱许多，并且可出现多个尺度较小的强逆温中心。

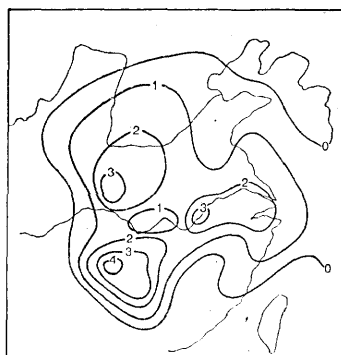


图2 逆温层顶部与底部的平均温度差

(2) 稳定层中逆温的形成和维持具有锋面逆温的特点。它的底部是北风，为冷平流；而上部是南风，为暖平流，造成大尺度的凝结潜热释放。因此，上下热力差动平流使其垂直稳定度加大。静力稳定度局地变化诊断方程的计算(见图3)证实了逆温的形成主要不是下沉逆温机制，相反，垂直运动和

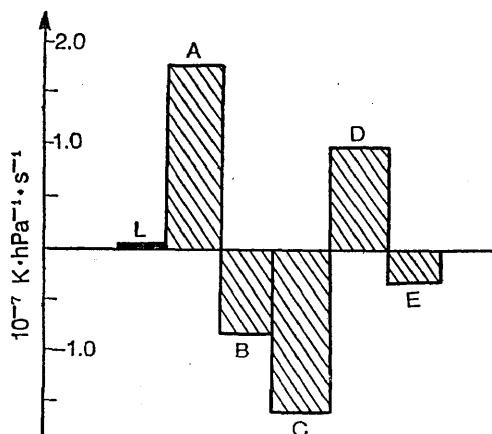


图3 稳定层内部静力稳定度的收支分布

L: 局地变化 A: 热力差动平流

B: 垂直平流 C: 辐散项 D: 凝结加热项

辐合辐散对逆温起减弱作用。

(3) 稳定层区域的垂直结构如图4。在南支急流入口区的急流轴处, 有很强的暖平流输送, 通过动力适应过程在稳定层上方产生了一个南段上升、北段下沉的直接环流圈。它的最大上升轴位于南支急流轴处。由锋生诊断方程的计算结果表明, 由于这个正环流圈存在, 产生了中层强烈锋消, 使南部地面锋后的倾斜锋区不可能向上伸展。而稳定层南部下弯接地静止锋区, 则由强烈的汇合锋生作用所维持。

4. 有无连阴雨锋的比较分析^[2]

(1) 由于北方干冷气流以及中层“死水区”的抑制和锋消作用, 连阴雨锋比无连阴

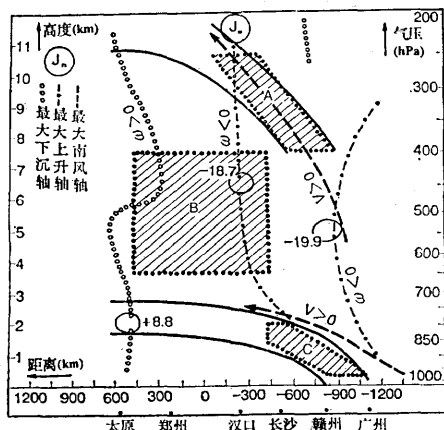


图4 稳定层区域的垂直结构

J_s 、 J_n 分别是南支和北支高空急流, 粗实线为高空锋区和低空稳定层, A: 高空锋区, B: 中层“死水区”, C: 静止锋锋区

雨锋坡度小, 伸展高度比无连阴雨锋低。

(2) 连阴雨锋低层表现为湿度锋区, 水汽梯度略大于温度梯度; 高层表现为温度锋区。

(3) 连阴雨锋区的高空锋区较无连阴雨的高空锋区伸展得更靠北。

(4) 从湿位涡方程得出, 连阴雨锋的高低中心都比无连阴雨锋面的强。

三、热带和南半球环流与

春季连阴雨的关系

1. 热带地区的低频振荡与长江中下游连阴雨、连晴天气的关系

对东半球 30°N — 30°S 区域 5×5 经纬距小块区域内的OLR资料进行功率谱分析(图5)得出, 周期为30天左右的低频振荡显著区域分别位于 0° — 10°S , 70 — 90°E 和 0° — 10°S , 130 — 150°E 两个地区, 正好位于赤道辐合带强对流辐合中心附近。

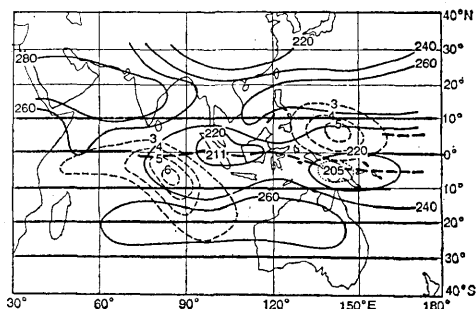


图5 OLR平均场(实线)和30天周期低频振荡显著区域(虚线)分布图
粗虚线表示赤道辐合带

把OLR区域平均值30天的带通滤波曲线分为4个阶段, 即低谷阶段(A)、低值向高值转变阶段(B)、高峰阶段(C)、高值向低值转变阶段(D), 1975—1983年共分为22个阶段。分析(见表1)可见, 长江中下游地区区域性连阴雨天气主要发生在低谷阶段(A); 而连晴天气主要发生在高峰阶段(C)。在高峰阶段无连阴雨, 低谷阶段无连晴天气发生。

2. 长江中下游春季连阴雨的环流背景

850hPa合成风场分析表明, 春季连阴雨期间, 主要是孟加拉湾槽前西南气流和副高西北侧西南气流向长江中下游输送暖湿空气。同时, 加上 100 — 110°E 附近越赤道气流的汇合(图略)。而马斯克林高压此时还不强, 其北侧 60°E 的越赤道气流较弱, 印度还是反气旋环流, 从流场上看无直接联系。

为进一步探索低纬环流系统活动与长江

表 1 振幅 $>50\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 的低频振荡的
低谷阶段与长江中下游连阴雨天气的关系

连阴雨起 止日期	低频振荡 所处阶段	低频振荡 低谷日期	长江中下游 连阴雨日期
1975.4.15—19	A	1975.4.18	4.15—19
1977.3.18—23	B	1976.4.30	4.28—5.4
1977.4.4—9	A	1977.4.8	4.4—9
1977.4.25—5.9	D、A	1977.5.6	4.25—5.9
1980.3.1—14	A	1979.4.2	4.2—7
1981.3.28—4.9	A	1979.5.2	5.1—15
1983.4.8—15	D	1980.4.10	4.6—16
1983.4.26—30	B	1981.4.4	3.28—4.9
		1982.4.22	4.16—24
		1982.5.30	5.25—29

中下游天气的关系,对 0° — 5°N , 50° — 60°E 间的平均 v_{850} , 20° — 25°N , 100° — 120°E 间的平均 u_{850} 、 v_{850} 以及 0° — 5°N , 90° — 95°E 间平均 v_{850} 进行功率谱分析,取通过 $\alpha=0.1$ 的谱峰值,前三个要素在周期为31天,后一个要素周期为12.4天,分别求出对应周期的带通滤波曲线(图略)。综合分析表明,索马里附近越赤道气流加强以后,南支西风加强,当 100° — 110°E 附近越赤道气流出现时,易出现连阴雨天气,即上述4条曲线的峰值阶段易出现连阴雨天气;而上述4条曲线的谷值阶段易出现连晴天气。

3. 春季势函数和辐散(合)风场与长江中下游连阴雨和连晴天气过程的关系

应用1980—1983年3—5月欧洲中期预报中心 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 经纬距7层格点资料,对9次连阴雨、连晴天气过程期间东半球 35°S — 65°N 地区风场进行分解,讨论了对天气系统的发展起重要作用的辐散风场和长江中下游地区连阴雨和连晴天气的关系。结果指出:

(1) 两类天气所对应的热带和副热带平均和逐日演变辐散风场都有差别。如图6所示,特别是我国长江中下游地区、澳大利亚地区及威海至新疆北部的高低空风场差异明显。一般地说,连阴雨形成期间,澳大利亚地区的低层辐散气流发展,其北侧 110° — 120°

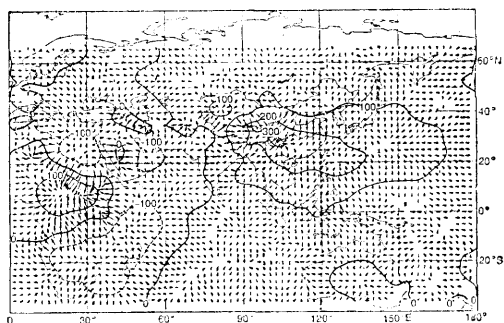


图6a 连阴雨过程850hPa平均势函数
和辐散风场

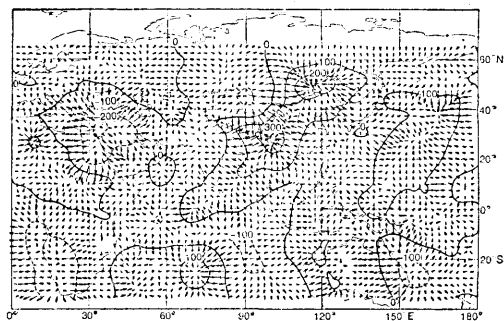


图6b 连晴过程850hPa平均势函数
和辐散风场

E间的向北越赤道气流与赤道偏东信风之间的辐合加强,从而激发哈得莱正环流发展,其下沉支加强了我国东南沿海的副高,而副高边缘西南气流的加强又促成了与东北季风间的辐合带的形成和加强。此辐合带正好位于高空 200hPa 急流的右后方,有利于低层垂直上升运动的发展。连阴雨的形还成还与北方一股股弱冷空气扩散南下有关。连阴雨期间,威海至新疆北部地区为弱低槽东移活动区,平均辐散风场上有弱的辐合中心;相反,连晴期间新疆暖高脊发展,这一地区为辐散区。通过逐日辐散风场演变分析还发现,即使在春季,马达加斯地区的低层辐散环流也时有发展,而且在连阴雨期有超前澳大利亚地区辐散风场发展征兆。上述现象在高层也有与之配合的辐合或辐散场发展(图略)。

(2) EDA分析

基于上述分析,用9次连阴雨、连晴天气过程前3天至初始日逐日势函数场在上述3个关键区的区域平均值,用探索性数据分析(EDA)中的双重图解法定量探讨它们与后期天气过程发生发展的关系(见图7)。由图7可见,连阴雨和连晴样本的密集椭圆中心有较大距离,而且在同一类天气中,相同预报时效样本点的群落也较清楚。从而用定量分析的方法证明了上述三个区域对于长江中下游连阴雨、连晴天气发生和发展的重要意义。1990年春季,用欧洲中期数值天气预报中心48、72小时风场预报进行连阴雨、连晴天气3—5天预报的业务化试验,取得了满意的结果。

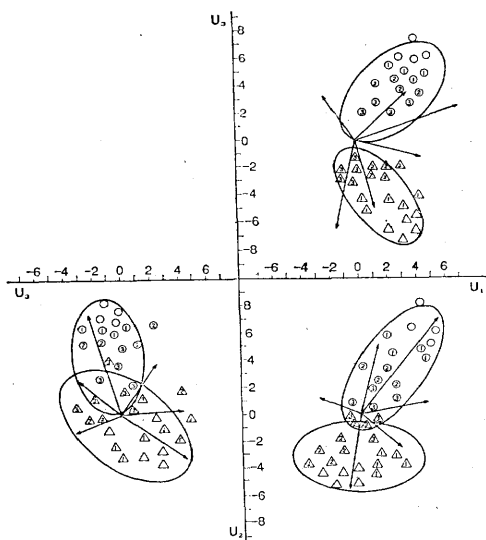


图7 双重图

○连阴雨样本, ▲连晴样本, 数字表示过程前1、2、3天, 起始日样本不标数字

四、过渡季节季风活动的特点和规律

在春季,冬季风与夏季风频繁进退和交替过渡。本课题结合春季连阴雨、连晴天气的研究,对春季的季风活动作了较为深入的探讨。

1. 春季季风活动的三个阶段及其与长江中下游连阴雨、连晴天气的关系

在20—40°N, 113—120°E区域内选取

了10个站08时850hPa上的 θ_{se} 和 v 分量,制作了1976—1985年平均3—5月逐日时空分布图。图8中用300、320、332、340K特征线北界位置,表示气团活动特点,结合 v 分量的情况把长江中下游春季季风活动划分为三个盛行期。

(1) 冬季风活跃期一直延至3月下旬, 320K线在26°N以南,南北界仍在长江以南。

(3) 3月底开始为长江中下游冬季风减弱期, 320K线开始北抬至26°N以北, 300K线过长江, 南风的北界也过长江, 但南北振荡频繁。

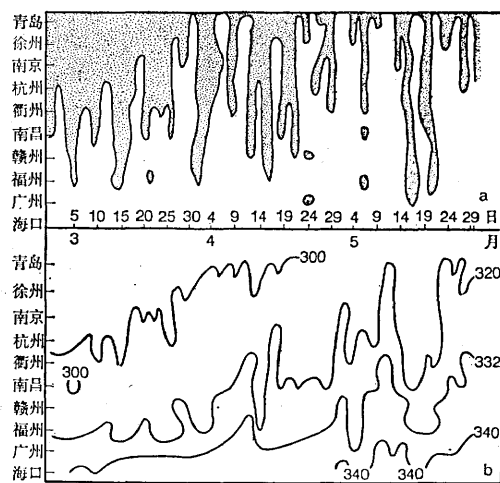


图8 850hPa 3—5月平均逐日 v 分量 (a) 和 θ_{se} (b) 时间剖面图
阴影区为北风分量

(3) 5月初开始,长江中下游夏季风开始影响期,夏季风增强,越过南岭,伸展到长江中下游,但时有冷空气扩散南下,冬、夏季风在长江中下游交替。300K线过34°N, 320K线过26°N,以后一直徘徊在南岭到长江之间;南风分量北界越过35°N,并继续北上。

根据以上10年平均情况划分季风活动阶段的标准,对逐年春季季风活动进行分析, 32°N以北地区在3—5月份主要受极地变性气团影响,只是冬季风较弱而已,而32°N到南岭之间地带冬夏季风交替激烈,约需经

表 2

纬向及经向气流参数定义

	参 数	符 号	定 义
纬向气流	1. 西伯利亚冷高压	SCH	1000hPa, 65—45°N, 70—90°E平均高度
	2. 低空切变	LLS	700hPa, 110—120°E风向切变线平均位置
	3. 纬圈超长波	ZUW	500hPa, 30°N纬圈 3 波波能密度
	4. 纬圈长波	ZLW	500hPa, 30—20°N纬圈 5 波平均相对振幅
	5. 副热带西风急流	STJ	200hPa, 35—15°N, 100°E—180°急流风速中心
经向气流	1. 澳大利亚冷高压	ACH	1000hPa, 20—30°S, 140—155°E平均高度
	2. 110°E低空越赤道气流	CEF	850hPa, 赤道107.5—112.5°E经向风速平均
	3. 西太平洋副热带高压	PSH	500hPa, 110—130°E西太平洋副高脊线平均位置
	4. 经圈超长波	MUW	500hPa, 115°E—65°W经圈 2 波位相
	5. 南亚高压	SAH	100hPa, 90°E—180°南亚高压中心位置

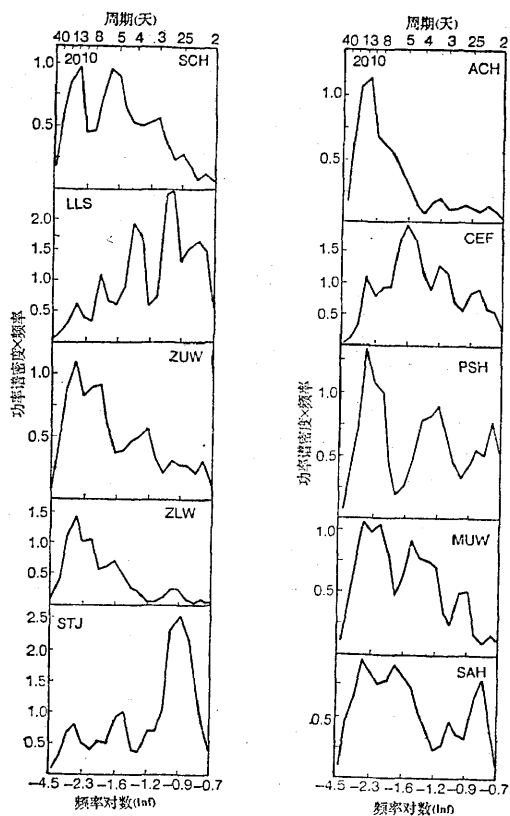


图 9 10个参数的功率谱

历5—6次进退以后,到6月中旬夏季风才稳定进驻这一地区。所以总的趋势是由第一阶段向第二阶段推移,但变化过程中也还有交替出现的情况。一般来说,冬季风活跃期对应连晴时段;冬季风减弱期对应连阴雨时段;冬夏、季风交替出现期中,夏季风影响阶

段多不稳定天气出现。

2. 季风天气系统振荡与长江中下游春季连阴雨、连晴天气在频谱带上的相干关系

首先对所用的35个代表站应用连续雨日及连续晴天长度权重法进行逐日编码后作功率谱分析,得出13.3天的显著振荡周期。随后在南北半球取了10个季风系统分别表示纬向和经向气流(见表2)。这些系统的活动与连阴雨、连晴天气有密切关系。从功率谱分析(见图9)可见,它们都有准两周的显著周期,因此计算了连阴雨、连晴天气与各参数在准两周振荡上的凝聚值和位相差(见表3),凝聚值的信度均超过了0.1。从各参数超前的位相差及时间差可以得到准两周振荡中各参数的顺序。以连阴雨为例(见图10),澳大利亚冷空气爆发向北推进;110°E附近自南向北的低空越赤道气流大大加强;同时,经圈上2波脊向北移动,意味着低纬及赤道天气系统的一致北移,副高脊线持续北抬,其西北侧的中低空西南气流推移到长江中下游;南亚高压亦从它的极南位置的华南北移,高层的辐散,将有利于低层暖湿气流的辐合上升。在以上经向气流振荡发展的同时,纬向气流方面,西伯利亚冷空气处于堆积和加强阶段;随着低空切变线向北移动,冷暖气流的交汇移到长江中下游地区;3波

表 3 R₁与各参数在准两周振荡上的凝聚值及位相差

参数	凝聚值	位相差 (度)	时间差 (天)	参数	凝聚值	位相差 (度)	时间差 (天)
SCH	0.61	137	4.99	ACH	0.47	145	5.37
LLS	0.64	133	4.94	CEP	0.76	89	3.30
ZUW	0.58	123	4.55	MUW	0.54	75	2.79
ZLW	0.62	115	4.26	PSH	0.48	125	4.63
STJ	0.72	93	3.46	SAH	0.63	51	1.90

波能密度减小,东亚大槽减弱,超长波进行调整;5波槽相对振幅减小,孟加拉湾低槽变浅,槽底加宽,槽前西南气流向长江中下游

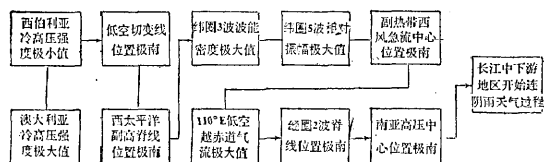


图10 连阴雨阶段各参数在准两周振荡上的相对顺序

地区延伸;超长波与长波的一致衰减,加强了短波扰动,随着副热带西风急流向北移动,急流上的小波动亦随之东传,不断引导北方小股冷空气向长江中下游侵袭。因此,从南半球澳大利亚冷高压极大值开始,经过5.37天(129小时)的系列酝酿过程,长江中下游开始连阴雨天气过程。

另外,通过500hPa高度场纬圈与经圈的时空谱分析还表明,与西风带天气系统相联系的纬向环流及与低纬、赤道和南半球天气系统相联系的经向环流的两组传播波均有显著的准两周振荡周期。西退传播分量在准两周振荡上有较高相干,振荡沿经圈的南北传播超前于沿纬圈的东西传播。经向与纬向环流的时空扰动构成了天气系统振荡及长江中下游地区春季连阴雨、连晴天气过程振荡的时空背景。

五、春季连阴雨、

连晴天气中期预报系统

长江中下游连阴雨、连晴天气研究的一个重要目的,是为农业生产趋利避害、减灾服务。为使研究成果最终落实到应用,编制了长江中下游春季连阴雨、连晴天气的中期预报——农业气象决策系统〔4〕。

1. 此系统由输入、输出、计算、推理机、综合决策等五大部分以及知识库和其他服务程序构成。输入部分包括有线报路报文编辑的串行通讯输入或文件输入、图形数字化仪输入以及全屏幕编辑输入接口软件和数据库。计算、推理、综合决策部分是积木式、可扩充的结构,目前含有统计、专家系统和综合决策三个模块,统计模块和专家系统利用输入部分输入专家系统经验、统计方程和数据资料以及系统自动建立的统计预报方程,分别得到各预报对象的多个预报结果供综合决策模块进行决策,得出预报结论。输出部分寓于数据库和计算、推理、综合决策部分之中,并以图形、数据和预报服务文字三种形式输出。知识库包括数据库、图形库、预报方程库和规则库。

2. 中期预报专家知识的描述

专家系统部分应用TURBO-PROLOG语言编制,采用广度优先的正反向混合推理策略,并设计了知识库管理与编辑软件,使外壳有较强通用性。并针对中期预报的特点设计了灵活、自然的知识表达方式,可由报路输入资料直接判断经验规则,尽量避免人机对话的问答式。

根据所表达的内容,专家知识可分为四大类,即:(1)数字化定量的预报指标类知识;(2)形势与指标结合的混合型专家知识;(3)纯形势类知识,即天气图知识;(4)模糊类专家知识。结合中期预报时效长、时空跨度大的特点,专门对“规则库”的基本形式进行了探讨,得出了中期预报知识的基本形式,便于表达本研究工作中得出的各种类型的知识。

3. 农业气象决策系统〔5〕、〔6〕、〔7〕

在收集、归纳、提炼农业气象危害指标及防御措施的基础上,完成了稻、麦、棉三种主要农作物农业气象决策方法知识库,其中早稻重点是育秧期低温冻害影响成秧率;小麦重点是湿渍、赤霉病和高温逼熟;棉花重点是出苗率和移栽后的发棵率。以中期预报系统的结论为依据,应用产生式推理方法,其中推理知识库采用模糊产生式推理进行农事防御措施决策。

六、结束语

本课题从天气气候特征、连阴雨静止锋的结构及增衰机制、低纬及南半球环流与连阴雨的关系、过渡季节季风活动特点等方面,研究了长江中下游春季连阴雨、连晴天气的演变规律。进而研制了春季连阴雨、连晴天气中期预报业务系统^[4]和农业气象服务决策系统^[5]。

参加本课题的六省市气象部门,都参加了每年业务应用实践;各项专门研究分课题,也坚持每年春季将科研成果(阶段成果)用于日常预报服务。密切结合预报实践开展科学研究,这是本课题的一大特色和成功之处。

通过实际应用表明,本课题不仅在理论探讨上有所进展,而且更重要的是用于实际预报上获得显著的成果和效益。本课题研制的春季连阴雨、连晴天气中期预报系统,在1989、1990年的预报实践中,使预报准确率达10%以上的大幅度提高。农业气象服务决策系统在各地防灾、减灾服务中取得了明显的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

- [1] 孙锦铨、陈永秀,长江中下游春季连阴雨天气气候分析,气象,1991年,5期。
- [2] 留小强等,等熵客观分析方法及其应用,气象,1990年2期。
- [3] 施宁,长江中下游春季连阴雨及其与厄尔尼诺年的环流背景的关系,气象,1990年,12期。
- [4] 缪国华等,长江中下游地区春季连阴雨连晴天气业务预报系统,气象,1991年,5期。
- [5] 庞培骥、郁志信,应用春季中期预报结果制作稻、麦、棉农气预报及服务决策方法的设计思路,气象,1991年,5期。
- [6] 庞培骥,模糊语言在PROLOG语言中的应用,微计算机应用,1990年,第3期。
- [7] 王保生,早稻春季连阴雨连晴天气服务系统效益的研究,江西气象,1990年,3期。

The studies on the persistent rainy and sunny weather processes in spring in the middle and lower reaches of the Changjiang River

Zhu Chengming

(The Meteorological Research Institute of Jiangsu Province)

Abstract

In this paper, here are the summary of the recent studies on the persistent rainy and sunny weather processes in spring over the middle and lower reaches of the Changjiang River in the last three years, and their application to the operational prediction.