

1998 1

暴雨·灾害

TORRENTIAL RAIN·DISASTER

ISBN 7-5029-2668-2



9 787502 926687 >

武汉区域气象中心 主办
气象出版社 出版

《暴雨·灾害》征稿简则

1 《暴雨·灾害》贯彻“百花齐放，百家争鸣”方针，努力反映暴雨和其它灾害科学领域内的最新科研成果和学术动态，促进广泛的学术交流和联系，为促进科技进步、减灾、防灾和社会安全服务。

2 《暴雨·灾害》刊载的稿件主要是：

2.1 反映暴雨科学和灾害研究各个方面有创造性的学术论文、短论、技术报告，包括暴雨的数值预报、数值试验、诊断研究、预报方法及应用；暴雨洪涝灾害及其它气象灾害的成因、规律、预测和减灾对策；新的探测技术在暴雨、灾害分析、研究中的应用。

2.2 综合评述国内外暴雨、灾害科学研究发展的新理论、新动态、新技术、新问题；有关重要学术会议的报道；有关书刊评价；有关暴雨或灾害研究的科学家、专家、学者的简历、功绩、成果评价。

3 来稿要求和注意事项：

3.1 来稿要求论点明确、文字精炼、数据可靠。每篇论文(含中英文摘要、图表与参考文献)以不超过8000字为宜，用方格纸横写，字迹清晰，一式三份，可由电脑打印或是复印，并附200字以内的中英文摘要(外文请用打字或用印刷体书写)。摘要请列论文所用理论、技术、方法和主要结论。列关键词三至五个。中国作者姓名用汉语拼音。文章如系国家、省部级重大科技项目或攻关项目成果或资助项目，均请在首页脚注标明。

3.2 插图只附最必要的(一般不宜超过5幅)，用透明描图纸黑墨清绘。图的大小应比预计制版尺寸放大1倍。文稿中应标明插图位置并附图题、图注，要求线条光洁、清楚美观。图中文字请用铅笔书写端正。照片务必黑白清晰(不用彩照)、层次清楚。表格列于文稿中，并列出表题，宜用三线表。

3.3 标题层次一律用阿拉伯数字连续编号，不同层次的数字之间加下圆点相隔，最末数字后面不加标点。标题层次的划分，一般不宜超过4层；编号应左起顶格书写，有标题时，应空一格再写标题，再起一行写具体内容；无标题时，在编号后空一格再写具体内容。

3.4 稿中外文字符号必须分清大小写、正斜体、黑白体、上下角标其高低位置应区别清楚。易混淆的外文字母，请用铅笔批注文种。

3.5 参考文献请按顺序编码制择要列入，在文中按出现先后顺序，编号加方括号列入引文的右上角。在文后参考文献中，序号编码不加方括号。若属期刊，请依次写明：序号，作者姓名，文献题目，杂志名称，发表年份，卷期；页码；如为图书，则依次写明：序号，作者姓名，书名，出版地名：出版社，年份，页码。

3.6 计量单位，采用《中华人民共和国计量单位》。

4 稿件一经刊登，酌致稿酬，不登之稿当妥予退还。请勿一稿两投。文责自负。

5 来稿请寄：湖北省武汉市东湖东路3号《暴雨·灾害》编辑部收。邮政编码：430074。请注明作者的通讯地址、单位、电话号码、传真机号码及邮政编码。

暴雨·灾害

(二)

主办单位	武汉区域气象中心
主 编	朱 正 义
出版单位	气象出版社 (北京市海淀区白石桥路46号 邮编:100081)
编辑单位	武汉暴雨研究所《暴雨·灾害》编辑部
本期编辑	廖 移 山，俞 康 庆(英文)，吴 向 东
发行单位	气 象 出 版 社
印刷单位	北 京 宏 远 兴 旺 印 刷 厂

1998年10月出版

ISBN 7-5029-2668-2/P·0936

定价:12.80元

《暴雨·灾害》

(二)

目 次

论 文

对称不稳定和螺旋度与梅雨锋暴雨增幅的关系·····	张诚忠 寿绍文 王祖锋	(1)
“96.8”暴雨和“63.8”及“75.8”暴雨的比较·····	陶祖钰 王立琨 马禹 王旭	(8)
用 MYWMS 实时云雨监测资料分析江淮梅雨锋上的特大暴雨 ·····		
·····	郑启松 金鸿祥 万玉发 徐双柱 袁誉常	(15)
一次台风间接暴雨的大尺度高低空急流影响的数值试验 ·····	陆端军 葛明 蒋尚城	(24)
7503 号台风环流维持和特大暴雨持续的物理机制 ·····	蔡则怡	(32)
中尺度暴雨数值模式中模型台风方案的应用研究 ·····	崔春光 王祖成	(41)
气象卫星资料在我国暴雨研究与预报中的应用 ·····	郑新江 叶惠明	(48)
上海地区热带气旋暴雨突然增幅的 Q 矢量分析 ·····	邓之瀛 杨美川	(56)
中国南方自然灾害及其影响的若干研究 ·····	梁必骥	(66)
湖北省 20 世纪 60 年代以来降水变化趋势初探 ·····	陈正洪 覃军	(75)
京津冀地区汛期暴雨与旱涝关系的研究 ·····	吴正华 李海盛 储锁龙	(84)
9509 号台风暴雨分析 ·····	陈良栋 易耀辉	(92)

短 论

降水距平 PP 模式的建立和检验 ·····	杨荆安 张鸿雁 陈正洪	(100)
------------------------	-------------	-------

技术报告

不同降水数值预报对孝感市梅雨期暴雨预报能力的探讨·····	邓兴旺	(106)
-------------------------------	-----	-------

书 评——一本提供我国历史时期冬季寒害资料的新书 ·····	乔盛西	(83)
--------------------------------	-----	------

会议报道——“第三届全国暴雨强对流科学讨论会”在北戴河召开 ·····	廖移山	(47)
-------------------------------------	-----	------

征稿启事——关于 1998 年特大洪灾的征稿启事 ·····		(105)
--------------------------------	--	-------

《暴雨·灾害》编审委员会成员名单

主任委员:朱正义

副主任委员:彭广 胡才望 袁恩国

委 员:(以姓氏笔划为序)

丁一汇	万玉发	丑纪范	王昂生	邓秋华	刘志澄	李泽椿
汪永铭	吴正华	陈双溪	陈正洪	张正洪	张玉玲	杨金政
杨景勋	郑启松	郭肖容	胡江林	胡伯威	赵思雄	俞康庆
柯怡明	席国耀	唐新章	黄士松	黄福均	章 淹	章国材

封面题字:中国气象局局长 温克刚

TORRENTIAL RAIN • DISASTER

CONTENTS

- Symmetric Instability and Helicity Relationships with the Amplification of Heavy Rain on Meiyu Front
..... Zhang Chengzhong (张诚忠), Shou Shaowen (寿绍文) and Wang Zufeng (王祖锋) (1)
- A Comparison Study of "96.8" Torrential Rain with "63.8" and "75.8" Torrential Rain
..... Tao Zuyu (陶祖钰) et al. (8)
- An Analysis of Extremely Heavy Rain in Plum Rain Front over Jiang-Huai Drainage Using Real-Time
Data of Cloud and Rain Derived in HYWMS Zheng Qisong (郑启松) et al. (15)
- A Numerical Experiment about Upper-Level and Low-Level Jets Influencing Heavy Rainfall Indirectly
Caused by Typhoon
..... Lu Duanjun (陆端军), Ge Ming (葛明) and Jiang Shangcheng (蒋尚城) (24)
- The Mechanism Responsible for Persisting of Typhoon Nina in 1975 and Its Heavy Rainfall after
Landing Cai Zeyi (蔡则怡) (32)
- An Application Study on the Bogus Typhoon Scheme with Mesoscale Heavy Rain Numerical Model
..... Cui Chunguang (崔春光) and Wang Zucheng (王祖成) (41)
- Application of Meteorological Satellite Data to Severe Rain Researching and Forecasting in China
..... Zheng Xinjiang (郑新江) and Ye Huiming (叶惠明) (48)
- The Q Vector Analysis of the Sudden Amplification of the Heavy Rain for Typhoon in Shanghai
..... Den Zhiying (邓之瀛) and Yang Meichuan (杨美川) (56)
- Several Research of Natural Disasters and Their Influences in South China Liang Biqu (梁必骐) (66)
- Preliminary Research on Variation Tendency of Rainfall in Hubei Province since 1960's
..... Chen Zhenghong (陈正洪) and Qin Jun (覃军) (75)
- The Relationship among the Torrential Rain and Drought and Flood at the Flood Period in Beijing-
Tianjin-Hebei Region
..... Wu Zhenghua (吴正华), Li Haisheng (李海盛) and Chu Suolong (储锁龙) (84)
- The Analysis of Heavy Rainfall of 9509 Typhoon
..... Chen Liangdong (陈良栋) and Yi Yaohui (易耀辉) (92)
- The Building and Test of PP Models for Precipitation Departure
..... Yang Jingan (杨荆安), Zhang Hongyan (张鸿雁) and Chen Zhenghong (陈正洪) (100)
- The Discussion for Heavy Rain Forecast Ability of Different Numerical Weather Model during Plum
Rain over Xiaogan City Deng Xingwang (邓兴旺) (106)

对称不稳定和螺旋度与梅雨锋暴雨增幅的关系^{①②}张诚忠^③ 寿绍文

(南京气象学院气象系, 南京 210044)

王祖锋

(贵州省气象局, 贵阳 550002)

摘 要

应用对称不稳定和螺旋度等概念分析研究了1991年7月8~9日一次在长江中下游地区梅雨锋上和贵州北部地区发生的暴雨增幅的成因。分析指出在暴雨增幅前期, 对称不稳定是降水的动力学机制之一; 在暴雨增幅期对称不稳定是强降水的主要动力学机制。螺旋度作为一个诊断量, 与暴雨有密切关系, 它对未来的暴雨落区有一定的指示性, 因此可在业务预报上作为预报指标应用。

关键词: 对称不稳定 螺旋度 暴雨

1 引 言

锋面附近降水常呈带状分布, 在理论上形成这种雨带的原因有: 锋区内爱克曼层的不稳定、锋面上的重力波以及不同平流所引起的对流等^[1]。Bennetts 和 Hoskins^[2]等提出了另一种值得注意的可能原因, 他们认为这些雨带可能是对称不稳定的一种表现形式。

在大气是重力稳定和惯性稳定的条件下, 当气块作倾斜位移时, 气块可能在位移方向产生加速度, 从而导致不稳定, 这种不稳定性称为对称不稳定。所以, 对称不稳定是空气块作倾斜上升运动时所表现的不稳定性, 即斜升气流的不稳定性。关于对称不稳定的条件判据有: 湿位涡 $q_w < 0$, 或里查逊数 $Ri < 1$, 或等位温面斜率大于等绝对动量 M 面斜率等。

螺旋度是近年来引入天气分析预报中的一个物理量。其严格的定义为风速度和涡度点积的体积分 $H = \iiint_V \mathbf{V} \cdot \nabla \times \mathbf{V} dV$, 其中 $\nabla \times \mathbf{V}$ 为三维相对涡度。可以看出, 螺旋度实质上是一个用来衡量风暴入流气流的强弱以及沿入流方向上的水平涡度分量大小的参数。在国外, Lilly(1986)^[3]讨论了螺旋度在形成超级雷暴单体中的作用, 并证明了螺旋度对于长生命史的对流风暴是至关重要的。Woodall^[4]应用观测和预报的空中风计算螺旋度密度用于预报龙卷风。Davies-Jones 等^[5]的观测研究证明了螺旋度可作为一个预报强对流风暴的参数。目前, 美国国家强风暴中心(NSSFC)已经开发了一套计算螺旋度的程序供业务预报使用。在国内, 章东华^[6]、杨越奎等利用螺旋度对强对流性天气、梅雨锋暴雨进行的研究, 也取得了一些有意义的结果。总之, 螺旋度的应用已引起国内外气象工作者的注意。

① 初稿时间: 1996年11月4日; 修改稿时间: 1997年7月18日。

② 本工作由国家自然科学基金项目和贵州省科学技术基金(青年基金)项目资助。

③ 现在工作单位: 广西壮族自治区气象局。

在本文中,我们选取了1991年7月8~9日一次长江中下游地区梅雨锋暴雨过程中,汉口到大别山南部一带的强降水的出现并达到顶盛的过程作为研究对象,以便揭示对称不稳定和螺旋度与暴雨的关系。在这次暴雨过程中暴雨主要发生在8日20时至9日20时的时段中,其中暴雨高峰期在9日08~14时前后,称为暴雨增幅期,而在此之前则称为暴雨增幅前期。降水分布呈带状,最强降水在湖北东部至大别山南部一带。同一期间,在贵州北部一带也有强降水发生。

2 条件性对称不稳定的诊断分析

上面已经提出,里查逊数 $Ri < 1$ 是对称不稳定判据之一;但是在实际的分析过程中,当大气为干空气的情况下,只有在地面附近小范围区域急流附近才能观测得到。而对于尺度100 km的锋区内一般是难以满足的。因此 Bennetts 和 Hoskins 进一步研究了在有效静力稳定度减小的潮湿大气中对称不稳定的可能性,他们把一个粗略的潜热释放模式引入了对称不稳定理论中,从而得出条件性对称不稳定的概念,他们指出湿位涡 $q_w < 0$ 是大气发生条件性对称不稳定的条件。等压面上的湿位涡表达式如下^[1,2]:

$$q_w = f(g/\theta_0)\zeta^2 \cdot \nabla\theta_w = f\eta N_w^2 - f(g/\theta_0)\left[\left(\frac{\partial\omega}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial p}\right)\frac{\partial\theta_w}{\partial x} + \left(\frac{\partial u}{\partial p} - \frac{\partial\omega}{\partial x}\right)\frac{\partial\theta_w}{\partial y}\right] \quad (1)$$

其中 $\zeta = \nabla \times \mathbf{V}$ 为三维涡矢, $N_w^2 = -\frac{g}{\theta_0} \frac{\partial\theta_w}{\partial p}$, $\eta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f$, θ_0 为标准大气的位温值。这里的计算中用 θ_w 代替 θ_0 。

湿位涡在剖面图上的分布,不仅能够反映条件性对称不稳定(CSI)的存在区域,而且还比较直观地反映了CSI的空间分布,有利于了解和揭示与中尺度系统的联系。下面利用中尺度数值模式MM4输出的每隔3小时的基本要素场作湿位涡的剖面分析。

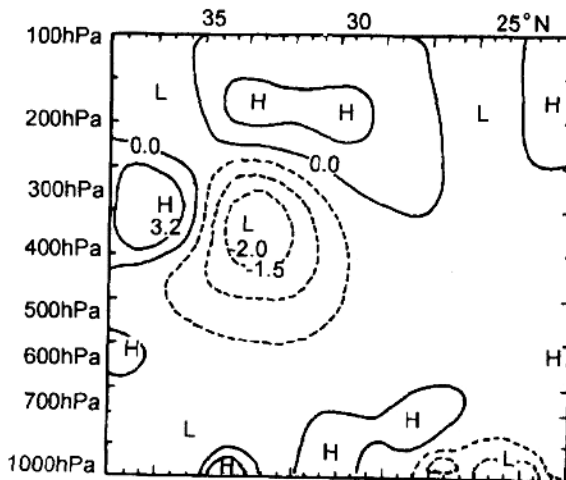


图1 8日23时经过112.81°E的湿位涡 q_w 剖面图

在暴雨增幅前期(平稳降水期,以8日23时代表),经过 112.81°E 位涡剖面图(图1)上,雨带(31°N)上空约700 hPa处有 $q_w > 0$ 区;在700 hPa到300 hPa之间, q_w 的值均小于0;特别是离雨带约350 km上空的300 hPa有一负中心值,为 $2.0 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-4} \text{ hPa}^{-1}$,在这高度以上的 q_w 值又转成正值。经过 114.67°E (即当日最强降水发生地湖北东部至大别山南部附近)的剖面图(图略)上,形势与过 112.81°E 的剖面类似。由此可以认为,在降水平稳期湿对称不稳定可能是降水的机制之一,而主要的引起降水动力学机制是辐合线的强迫抬升,这可从二维环流分析得出。

对于暴雨增幅期的分析,首先选取分析暴雨增幅前3小时(9日08时)的水平湿位涡分布,目的是看湿位涡的分布能否对应未来的暴雨,以便确定其能否应用于实际的业务预报中。之后,再选取9日14时经过暴雨区的剖面图分析,试图找出湿位涡与暴雨增幅的关系。

图2a为9日08时的850 hPa的 q_w 分布图,图中 $q_w < 0$ 的区域有两个,一在长江中下游,走向与未来的雨带极其相像,另一在长沙至杭州一线,它并无雨区配合。在700 hPa图(图2b)上襄阳、信阳处有一 $q_w < 0$ 中心值,负值区的走向为东西向,而未来的雨区恰好出现在离其南部约100 km,再往上分析各层的分布,效果并不好。所以700 hPa上的 q_w 分布似乎更能代表暴雨的落区,这结论与丁一汇^[8]所提的结果是一致的。

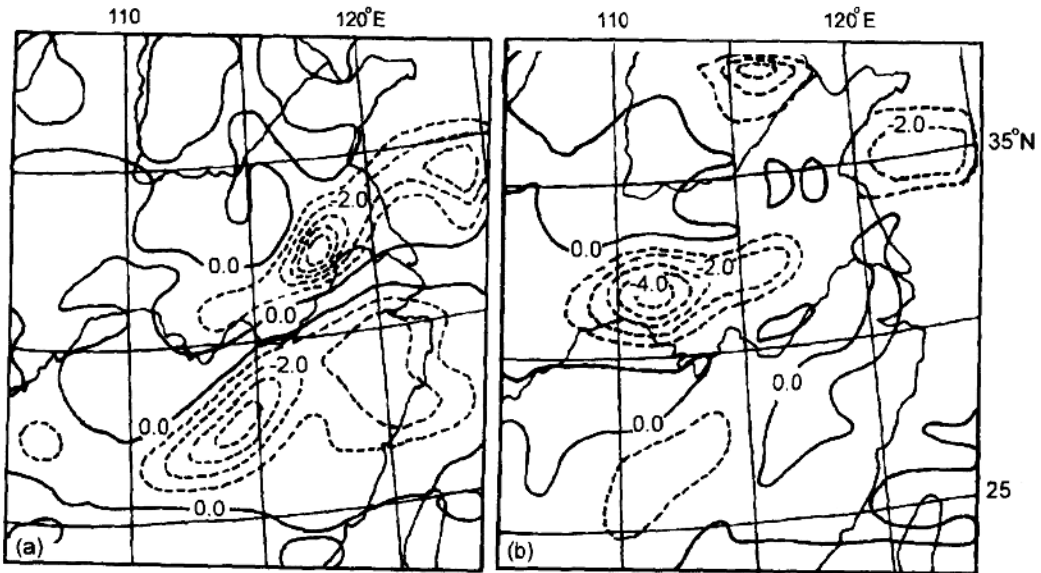


图2 9日08时850 hPa(a)和700 hPa(b)的湿位涡 q_w 分布

9日14时,经过暴雨中心的 114.67°E 剖面图上看,在雨带低层仍有弱的 q_w 正值区,这与8日23时相似,但是湿位涡 q_w 的极小值与前时次有很大的差异,在离雨带北侧60 km的上空600 hPa有一 q_w 极小中心,其值为 $-2.1 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-4} \text{ hPa}^{-1}$,并且随高度均有一向北倾斜的中心值分布,分别在400 hPa,250 hPa层上,其值均为 $2.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-4} \text{ hPa}^{-1}$;经过 112.81°E 的剖面上, q_w 的分布大都类似。进一步分析9日17时的形势基本与14时的一致。从这些分析,发现 q_w 的极小值均离雨带几十公里,所以可断定强降水期条件性对称不稳定是引起强降

水的动力学机制。同时,也发现一些有趣的现象:在增幅前期 700~600 hPa 上空的 q_w 绝对值总 $\leq 0.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-4} \text{ hPa}^{-1}$,到暴雨增幅时此层 q_w 的绝对值明显增大,这也说明了对流层中低层的条件性对称不稳定对暴雨增幅相当的敏感。

3 螺旋度及其与暴雨增幅的关系

3.1 螺旋度的概念及计算方法

根据 Davies-Jones^[5]等人的观点,在气层深度为 h 的相对螺旋度可定义成:

$$H = \int_0^h (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \omega dz \quad (2)$$

其中 $\mathbf{V}$ 是环境风速, $\mathbf{C}$ 是风暴的移动速度, ω 为三维的相对涡度, h 通常取 3 km。在直角坐标系中, ω 可表示成:

$$\omega = \nabla \times \mathbf{V} = \zeta \mathbf{i} + \eta \mathbf{j} + \xi \mathbf{k}$$

$$\zeta = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\eta = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$\xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

涡度的垂直分量一般比风的垂直切变要小一个量级^[6]以上,因而垂直涡度分量相对于水平涡度分量可以忽略掉,同时认为在强对流发生以前,垂直速度 w 在水平方向变化不大,此时水平涡度便简化成: $\zeta \approx -\frac{\partial v}{\partial z}$, $\eta \approx \frac{\partial u}{\partial z}$, 用矢量形式表示: $\omega = \mathbf{k} \times \frac{\partial \mathbf{V}_H}{\partial z}$, 这里令 $\mathbf{V}_H = u\mathbf{i} + v\mathbf{j}$ 为水平的风矢。因此(2)式可化成如下的形式:

$$H = - \int_0^h \mathbf{k} \cdot (\mathbf{V}_H - \mathbf{C}) \times \frac{\partial \mathbf{V}_H}{\partial z} dz \quad (3)$$

为了便于研究,这里规定 3 小时雨量 $\geq 40 \text{ mm}$ 为“强对流发生区”。而风暴速度 $\mathbf{C}$ 是这样确定的:以 950 hPa 到 400 hPa 气层中的平均风,风向向右偏转 30° , 75% 的风速作为该点的风暴速度^[7]。

3.2 结果分析

图 3a 为 8 日 20 时的螺旋度分布图,图中看出 $90 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 的等值线主要在桂东以及湘南一带,极大值可达到 $146 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 。从汉口到长江下游地区的螺旋度值几乎均小于 $90 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 。根据 Davies-Jones 等人^[5]所提出的有利于强对流发展的螺旋度临界值 ($\geq 157 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$),这就意味着此时的雨带地区发生强对流性天气可能性很小,短时间内的降水量必不大,结合随后的实况雨量看,降水强度均 $< 30 \text{ mm}/3 \text{ 小时}$ 。而湘南到贵阳的 H 极大值,恰好对应着贵州的暴雨。

图 3b 是暴雨增幅前 3 小时的螺旋度分布, H 值大于 $80 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 的等值线包括西至宜昌东到上海约有 300 km 长的带状分布, $H > 120 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 的线包括了汉口到大别山一线范围,中心值

位于汉口南部,中心值为 $157 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 。根据螺旋度的定义, H 的值取决于水平涡度于风暴相对速度的点乘,只要水平涡度方向与风暴相对速度方向一致或者夹角较小, H 值就越大。 H 值达到一定的量时,水平涡度将转化成垂直方向的涡度,使得对流得以维持和发展,产生强降水。再从流场分布可知,此时在襄阳、信阳有一个气旋环流维持, H 极大值恰好位于该气旋的东南部,从这些事实可以认为在气旋的东南侧,流入气旋的沿水平涡度方向旋转的空气微团是最强烈,导致该地区强烈上升运动,促进强对流系统的发生发展。从随后的实况雨量图看到, H 的大值区走向与雨区分布很一致,并且 H 的极大值恰好与大别山到汉口一带的强降水中心吻合得相当一致。

通过上面的分析不难发现,在暴雨非增幅期,引起降水的天气系统或中尺度系统的东南侧螺旋度小,因此强对流性天气发生发展的可能性也小,所带来的雨量不管是从范围或强度都较小;暴雨增幅前几个小时,引起降水系统的东南侧 H 值明显增大,这种 H 值的突然增大有利于强对流天气的发生发展,使低层的暖湿气流得到强烈抬升,极易造成局地暴雨。另外,我们发现螺旋度作为一个诊断变量,它能够超前预示未来的暴雨落区,这对实际的业务预报中具有现实的意义。

4 暴雨增幅的产生机制

通过上面几方面分析和诊断,可以认为对称不稳定是导致汉口到大别山地区1991年7月9日暴雨增幅的主要机制之一。从前面的分析知道,在降水增幅前期, $q_w < 0$ 主要出现在500 hPa以上的高空中,且其垂直厚度很薄,因此对称不稳定在此时对降水的作用不是主要的。到了暴雨增幅期 $q_w < 0$ 的空间分布有明显的变化,即 $q_w < 0$ 的区域已降至700 hPa上,且强度增强,厚度很厚。所以对称不稳定是暴雨增幅的重要机制。在气块分析中也发现,在暴雨增幅期

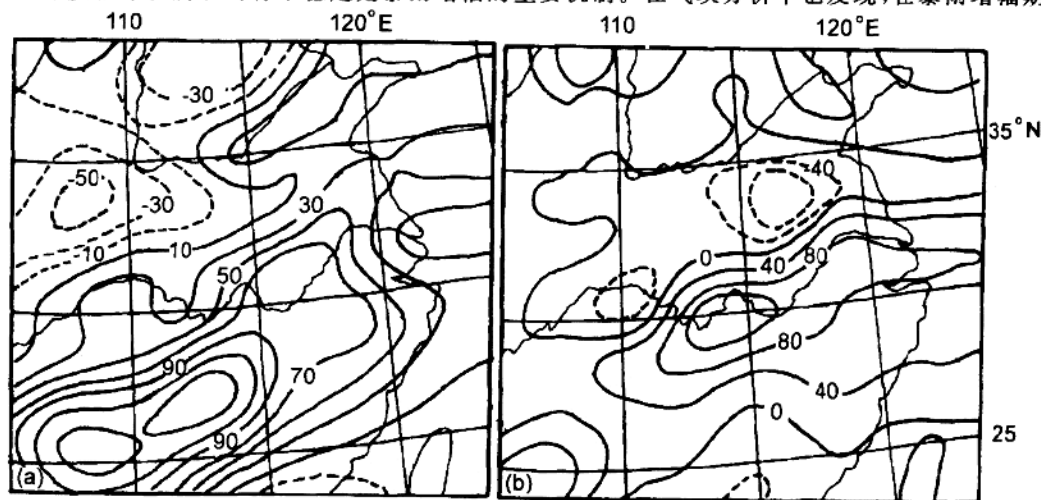


图3 8日20时(a)和9日08时(b)的螺旋度分布图($\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$)

的上空 700~500 hPa 之间有一对称不稳定区。因此气流开始受地面辐合抬升,达一定高度后再受对称不稳定的作用,势必使斜升对流得到发生发展,产生中尺度环流。后来的诊断分析表明,在汉口到大别山有一条与雨带平行的滚轴状环流管生成,该涡管中心高低起伏,尺度约 200 km^[9]。

螺旋度也是导致汉口到大别山地区 1991 年 7 月 9 日暴雨增幅的主要机制之一。它对暴雨的发生起了触发作用。螺旋度实质上是一个用来衡量风暴入流强弱以及沿入流方向的水平涡度分量的一个参数, H 值越大,说明在该环境中的垂直风切变大,从而形成了水平方向上的涡度管。只要沿着这一涡度方向的相对风速达到一定程度,将有利于强对流天气的发生发展,若气流流入已生成的风暴内部便会倾斜上升,产生围绕垂直轴线的气旋式旋转运动,将会更有利于风暴的加强,引起强烈的上升运动,为暴雨的产生创造有利条件。在暴雨增幅前 3 小时,气旋东南侧约 100 km 的 H 最大,随气旋东移至大别山, H 最大值也移至大别山南部,结果使该地区极易产生强对流性降水天气。

综上所述,可以总结出该地区暴雨增幅的产生机制:由于中- β 尺度气旋长时间在某地停滞,使该地区的上升运动增大,这样低层暖湿气流占据了对流层中低层,即受暖平流的控制,高空风随高度顺转,高低空风的切变大,从而导致水平涡度增大,形成了水平轴的涡管。气流沿水平涡管方向运动越大时,螺旋度的值也越大,达到一定程度后,水平涡度的旋转轴将发生倾斜,使水平涡度转化成垂直方向的涡度,加剧上升运动,使气旋得以维持和发展。另一方面,上升气流达凝结高度便释放潜热,使对流层中低层为弱的位势稳定,而此层有对称不稳定能量,当气流上升到此层时,就会有对称不稳定的发生,加剧气块的倾斜对流。根据湿位涡的表达式, $q_w < 0$ 是由于水平涡度方向与热成风方向一致或夹角小的缘故,因此,这时的斜对流是沿热成风的滚轴状的中尺度环流管,该管的形成又加剧扰动,引起重力不稳定,有利于暴雨的发生。在产生暴雨的过程中,因降水物的拖曳作用和中层干冷空气的进入便形成下沉气流,使涡管下凹,以及大别山地形等抬升的作用,于是形成了从汉口到大别山的自低向高的涡管。另外,随着环流管的生成,在该管某段其气流沿旋转方向运动增强,势必引起 H 值的增大,导致强对流性系统的生成。总之,我们可以认为,对称不稳定加剧了扰动,促使强对流系统的发生发展,形成暴雨增幅。所以对称不稳定是 9 日暴雨增幅的重要动力学机制。

5 结论

(1) 在降水增幅前期,对称不稳定是降水的动力学机制之一;暴雨增幅期对称不稳定是强降水的主要动力学机制。

(2) 螺旋度作为一个诊断量,与暴雨有密切关系,它对未来的降水落区有一定的指示性,因此可在业务预报上作为预报指标应用。

参考文献

- 1 寿绍文. 中尺度天气动力学. 北京: 气象出版社, 1993
- 2 Bennetts, D. A. and Hoskins, B. J., Conditional symmetric instability — a possible explanation for frontal rainbands. *Qurt. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1979, **105**: 945~964

- 3 Lilly, D. K., The structure energetics and propagation of rotating convective storm, Part 2: Helicity and storm ability. *J. Atmos. Sci.*, **43**: 126~140
- 4 Woodall, G. R., Qualitative analysis and forecasting of tornadic activity using storm-relative helicity. *NOAA Tech. Memo. Nws*, 1990, **127**: 55
- 5 Davies-Jones, R. et al., Test of helicity as a forecast parameter, Preprinters, 16th Conference on Severe Local Storms. AMS, 1990
- 6 章东华. 螺旋度概念及其在强对流风暴预报中的应用试验. 空军气象学院学报, 1994, 3
- 7 Leftwich, P. W., On the use of helicity in operational assesment of severe local storm potential. Preprints, 16th Conf. Severe Local Storms. AMS, 1990
- 8 丁一汇. 对称不稳定理论及其应用问题. 应用气象学报, 1994, 11
- 9 Shou Shaowen and Zhang Chengzhong, The mesoscale vortex tube in monsoon precipitation zone, *The 1st International Conference on Monsoon*, WMO, Indonesia, 1997, 2

SYMMETRIC INSTABILITY AND HELICITY RELATIONSHIPS WITH THE AMPLIFICATION OF HEAVY RAIN ON MEIYU FRONT

Zhang Chengzhong (张诚忠), Shou Shaowen (寿绍文)

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

and Wang Zufeng (王祖锋)

(Meteorological Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550002)

Abstract

By using the concepts of symmetric instability and helicity the causes of the heavy rain processes of July 8—9, 1991 occurred in the middle to low reaches of Changjiang River and in the north part of Guizhou Province are analyzed. The results show that the symmetric instability is one of the dynamic mechanisms of precipitation before the heavy rain amplification stage and is the major dynamic mechanism during the heavy rain amplification stage. As an important diagnostic physical parameter, helicity has a close relationship with heavy rain. Helicity is a good indicator of the heavy precipitation area, and may be applied in prognosis of heavy rain.

Key words: symmetric instability, helicity, heavy rain

“96.8”暴雨和“63.8”及“75.8”暴雨的比较^{①②}

陶祖钰 王立琨 马禹 王旭^③

(暴雨监测与预测国家重点实验室,北京大学地球物理系,北京 100871)

摘 要

本文对1996年8月4日造成严重灾害的河北特大暴雨的发生条件进行了诊断分析,并与建国以来北方的两次最有名的特大暴雨,“63.8”河北特大暴雨及“75.8”河南特大暴雨,进行了对比。文中还用卫星红外云图的云顶黑体温度揭示了这次暴雨过程中的中尺度现象。

关键词:暴雨 诊断 中尺度

1 引 言

1996年8月4日,河北省发生了一次特大暴雨(以下简称“96.8”暴雨)。此次特大暴雨是1963年以来河北省发生的最大一次暴雨。3日08时到5日08时(北京时,下同)石家庄等5个市县的降水量在400 mm以上。有意思的是这两次特大暴雨发生在同一天,即8月4日。这次暴雨的发生日期和我国北方另一次有名的特大暴雨(“75.8”河南特大暴雨)的发生日期(8月5~7日)也非常接近。“96.8”暴雨在河南最大的一小时雨强达106.8 mm(新乡),接近“75.8”暴雨的178.1 mm的最大雨强(林庄)。虽然“96.8”暴雨和“63.8”及“75.8”暴雨几乎发生在三个年份的同一天具有很大的偶然性,但是作为一次造成重大灾害的暴雨过程,分析其产生的原因还是很有必要的^④。

“63.8”和“75.8”暴雨曾引起气象界的广泛关注,特别是对“75.8”暴雨曾组织大批科学家进行了会战,提高了我国对暴雨认识的科学水平。现在无论是气象探测的手段还是气象研究的手段已较二三十年前有了很大的发展,在新的基础上对“96.8”暴雨进行深入的研究必将进一步提高我们对暴雨的科学认识。本文仅就我们所掌握的常规气象资料和卫星云图资料对“96.8”暴雨作一初步的分析,并将其和历史上有名的“63.8”及“75.8”两次暴雨的异同作一比较,其目的是为了引起更多的气象工作者对“96.8”暴雨的兴趣。

本文所用的资料为中国气象局发送的地面和高空报及暴雨监测和预报国家重点实验室 Tera Scan 卫星接受和分析系统所获取的日本 GMS-5 的卫星云图资料。暴雨成因的诊断采用了南京气象学院沈桐立的最优插值客观分析软件和北京大学黄伟的物理量诊断分析软件。网格距为200 km。

① 初稿时间:1998年3月5日;修改稿时间:1998年5月21日。

② 本文受国家自然科学基金重点项目49735180及教育部博士点基金资助。

③ 马禹、王旭同志现在新疆自治区气象局工作。

④ 据《中国灾害报》1996年9月24日报导,“96.8”暴雨造成的损失仅河北省的初步统计就达456.3亿元。

2 天气实况

造成“96.8”特大暴雨的天气系统是1996年8月1日在福建登陆的9608号台风蜕化成的低压。它的登陆地点和登陆后的前期路径和造成“75.8”特大暴雨的7503号台风非常相像(见图1)。不同的是,7503号台风在移到湖北西北部后逐渐停滞下来并维持了相当长的时间,从而造成了历史上非常罕见的特大暴雨^[2]。9608号台风在850 hPa等压面上的低压环流到达湖北后还一直向北移动到40°N附近。从图1所给的4日08时到5日08时的24小时雨量分布可见,在850 hPa台风低压路径的东侧有一南北向的大一暴雨带,最大日降水量超过300 mm的特大暴雨位于河北省石家庄地区。

从1日20时500 hPa环流形势看(图略),9608号台风低压的北上是与位于朝鲜半岛的一个强度达595 gpm的强副热带高压和位于河套的高空槽的存在有关。它与“63.8”暴雨的大尺度环流形势比较接近^[2]。但“63.8”暴雨的直接影响系统是沿副热带高压西侧北上的西南低涡,而不是登陆台风。“63.8”暴雨过程中,在副热带高压南侧的海上也有台风活动。它在“63.8”暴雨中的作用是其北侧和副热带高压之间的偏东低空急流为“63.8”暴雨提供了充沛的水汽。

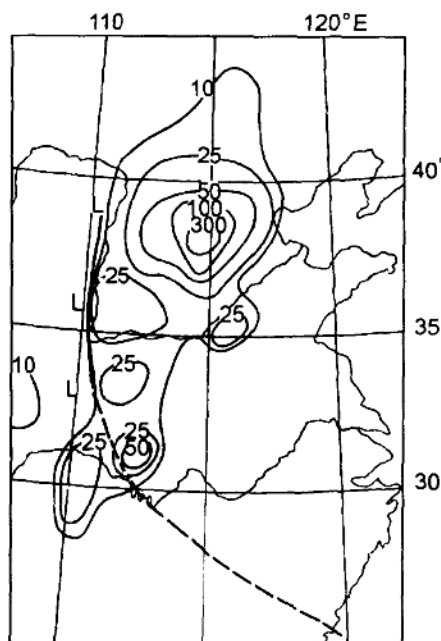


图1 1996年8月4日08时到5日08时的24小时雨量图(mm)

(图中给出10, 25, 50, 100和300 mm的等雨量线。1日08时到4日08时850 hPa等压面上9608号台风低压的路径用粗虚线给出。“L”表示4日08时和20时及5日08时台风低压的位置)

除9608号台风外,还有9216号和9406号两个台风从福建登陆后其台风低压环流北上达到华北并造成暴雨天气。9406号台风所造成的暴雨带与“96.8”暴雨相当接近^[3],但强度较小;9216号台风暴雨带的位置比前两者偏东^[4]。9216号和9406号台风的北上都对对流层高层

很强的经向环流有关。东亚沿海高空偏南风急流入口区南侧的辐散气流使台风能在陆地上远距离北上并引起强降水。9608号台风的高空环流和前两者完全不同。高空急流的经向度很小,并未伸到40°N以南(见图2)。与“63.8”暴雨相比,后者是典型的经向型大暴雨过程,高空的经向急流对暴雨区上方的高空辐散有重要贡献。1996年8月初的200 hPa图表明,9608号台风低压是从对流层下部穿过位于我国东部对流层上部的副热带高压。高压北部反气旋式的强辐散气流是造成“96.8”特大暴雨的基本原因之一。从图2可见,8月4日20时一个中心为 $40 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的强辐散区正好位于河北上空。

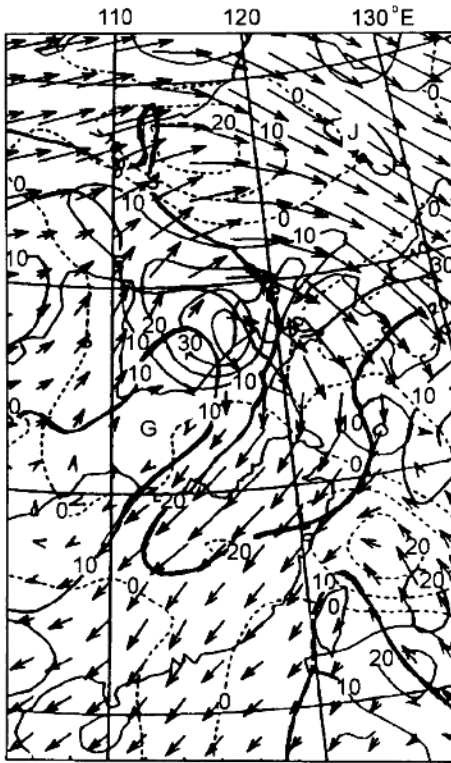


图2 1996年8月4日20时200 hPa 流场
(粗实线为等风速线,以 10 m s^{-1} 为间隔。细线为等散度线,以 $10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 为间隔(实线为正,虚线为负)。矢线为急流轴)

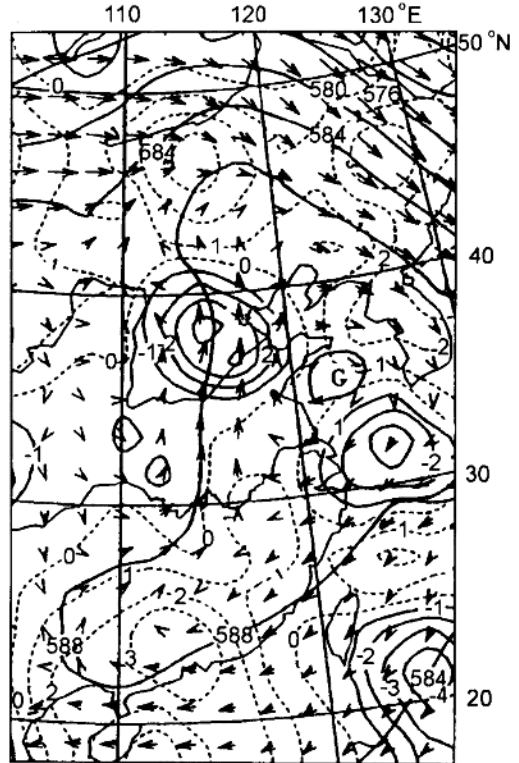


图3 1996年8月4日20时500 hPa 的垂直速度场
(图中下沉运动用虚线表示,上升运动用实线表示,单位为 $10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ 。粗实线为等高线,间隔为 40 gpm)

3 降水的物理条件

众所周知,产生特大暴雨必需具备两个最基本的宏观物理条件:充足的水汽及强大的上升运动使水汽在绝热冷却过程中大量凝结。图3中给出了8月4日20时500 hPa的垂直速度分布。从图中可见,一个中心强度为 $-4 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ 的强上升运动区正好位于河北省上空。上升运动区和卫星云图中暴雨云团的范围相当一致。从运动学的角度看,在这个500 hPa强上升运动区的上方有一个强辐散区与之配合(如图2所示),下方有一个强辐合区与之配合(如图4a所示)。从动力学角度看,对流层高层的辐散和对流层低层的辐合是9608号台风低压东北侧850 hPa的强暖平流(见图4b)引起气柱在垂直方向上伸长的结果。

“96.8”暴雨时,对流层底层的水汽非常充沛,地面和850 hPa的比湿分别高达22和16 g kg^{-1} 。同时,“96.8”暴雨的水汽输送条件也特别好,在暴雨区的南侧925 hPa和850 hPa都存

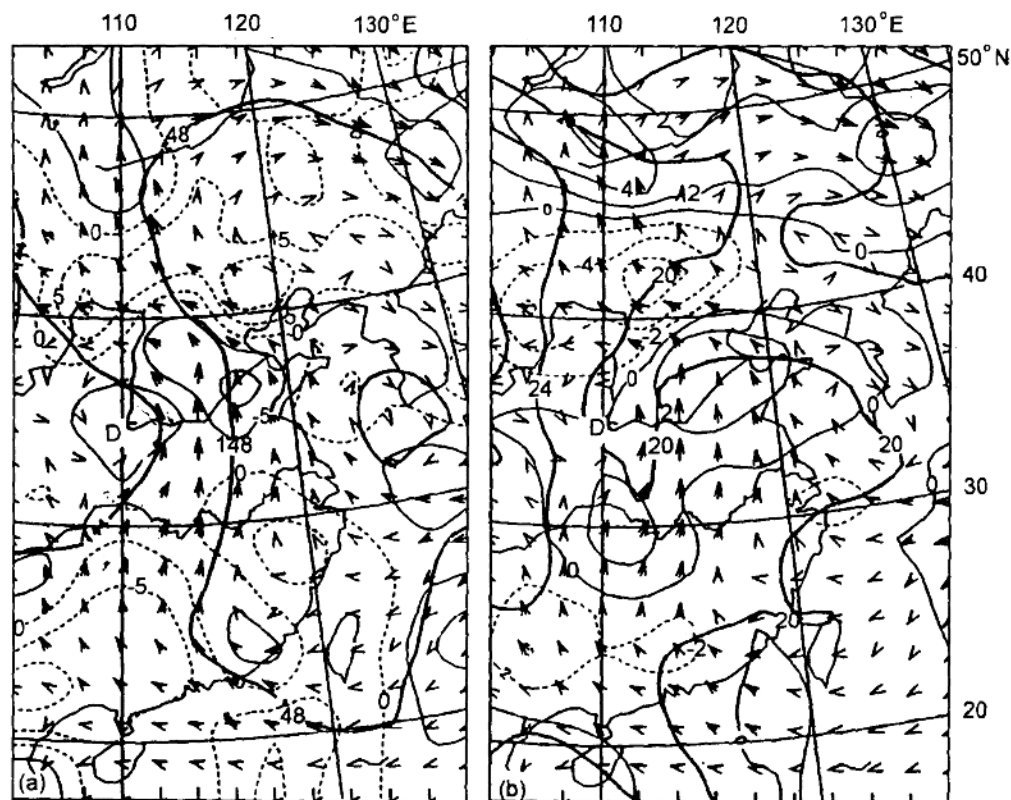


图4 1996年8月4日20时850 hPa的诊断场

(a. 散度场(细实线为负,细虚线为正,单位为 10^{-6}s^{-1}),高度场(粗实线)和格点风场

b. 温度平流场(细实线为正,细虚线为负,单位为 10^{-5}C s^{-1}),温度场(粗实线)和格点风场)

在一支偏南风低空急流,中心强度达到 $18\sim 20\text{ m s}^{-1}$ (河北邢台和河南郑州),与“63.8”暴雨的低空急流比较接近。而“75.8”暴雨的低空急流,主要是台风北侧的东风低空急流。从图5给出的4日20时925 hPa水汽通量及其散度图可见,有两支高湿气流(一支来自湖北和河南,另一支来华东沿海)向暴雨区输送水汽。它们在河北造成高达 $250\times 10^{-8}\text{ g cm}^{-2}\text{ hPa}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 的水汽辐合中心。它表明在“96.8”暴雨中台风低压东侧低层的东南气流也较强,对水汽的输送也有一定贡献。因此,与“63.8”和“75.8”暴雨相比^[5,6],“96.8”暴雨兼有两者的水汽来源,即既有来自南方的水汽,也有来自东面海上的水汽。这可能是造成“96.8”暴雨的重要原因之一。

4 暴雨云团的云图特征

在GMS-5红外云图上,造成“96.8”暴雨的云团为一个直径达到约500 km的接近圆形的暴雨云团。云团南侧的对流云带走向反映了“96.8”暴雨的水汽来自南方。它不同于“75.8”暴雨的卫星云图上有一条偏东风低空急流云线从沿海与7504号台风的云系相联结。此外,位于

蒙古国到新疆的中纬度西风带云系没有和暴雨云团相联,表明中纬度的高空西风急流对“96.8”暴雨没有直接的贡献。而“75.8”暴雨过程中,在卫星云图上可以清楚地看到河套低槽的云系和台风云系相联结。“96.8”暴雨的卫星云图特征和前面对暴雨环流条件的分析是相当一致的。

在“63.8”和“75.8”暴雨的研究中,通过较稠密的地面资料分析都发现大量的中尺度系统,如中尺度涡旋和中尺度辐合线等^[6,7]。这种中尺度系统和1小时雨量图上的雨团有关。现在有了每小时一次地球同步卫星的数字展宽红外云图,这就为分析“96.8”暴雨过程中的中尺度系统提供了非常有力的工具。通过反演云顶黑体温度(TBB),可以揭示9608号台风低压云团内的中尺度现象。图6给出了1996年8月4日12和19时及5日01时的 TBB 等值线分布。从12时的 TBB 分布可见,云团中有许多大小不等、形状各异的对流单体。其中最大的一个位于云团的中心,其 TBB 低于 -70°C 。它的位置恰好和石家庄的日降水量超过300 mm的特大暴雨区相对应(见图1)。云团边缘的 TBB 分布及云团周围零散的对流单体分布显示出涡旋状的结构(如图中的箭头所示)。

这个具有涡旋特征的云团在以后的几个小时中逐渐减弱。但是,在其南面(位于郑州附近)的一个孤立的小对流单体在未来1小时中迅猛发展。13时它的云顶最低温度达到 -80°C 。在以后的几个小时中,它的尺度迅速增大。到19时,它已发展成一个尺度达800 km的典型的卵形中- α 尺度云团(见图6b)。原来的涡旋云团此时已几乎消散殆尽,仅在新云团的西北侧边界残留一些很小的单体。与原来的云团相比,这个中- α 尺度云团内部的 TBB 分布相当均匀,为大片的 TBB 低于 -50°C 的区域,从中也看不到涡旋结构。只有从其边缘部分的一些突起及其外围的零散单体的分布可判断它仍具有涡旋结构。位于郑州附近的对流单体之所以能在几个小时内如此强烈的发展,使水平尺度增加一个数量级,其原因可能和它恰好位于涡旋环流中的辐合点有关(见图6a)。20时以后,这个强暴雨云团开始减弱。有意思的是在它的减弱过程中, TBB 分布再次显现出涡旋结构,而且比12时更为清晰。从图6c中所给出的5日01时的 TBB 分布中可以看到,云团的主体部分已分裂成四个较小的对流体,其云顶温度仍在 -50°C

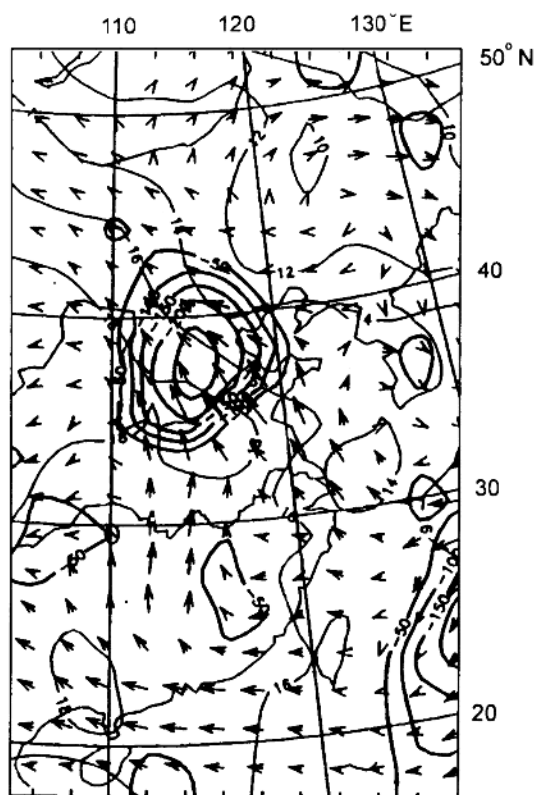


图5 1996年8月4日20时925 hPa水汽场的诊断
(图中的矢量为水汽通量,粗线为水汽通量散度的辐合区,
单位: $10^{-6}\text{g}/(\text{cm}^2\text{hPa s})$,细线为等比湿线,单位: g kg^{-1})

以下。它们大致排列成圆形,四周有呈螺旋状排列的小对流体,而在其中心部位是一个 TBB 高于 -30°C 的“空洞”。这四个对流体中,位于东北方和西南方的两个对流体一直维持到5日白天。上述情况表明,这个从台风低压南侧发展起来的强中尺度对流系统对“96.8”特大暴雨的产生有非常重要的贡献。

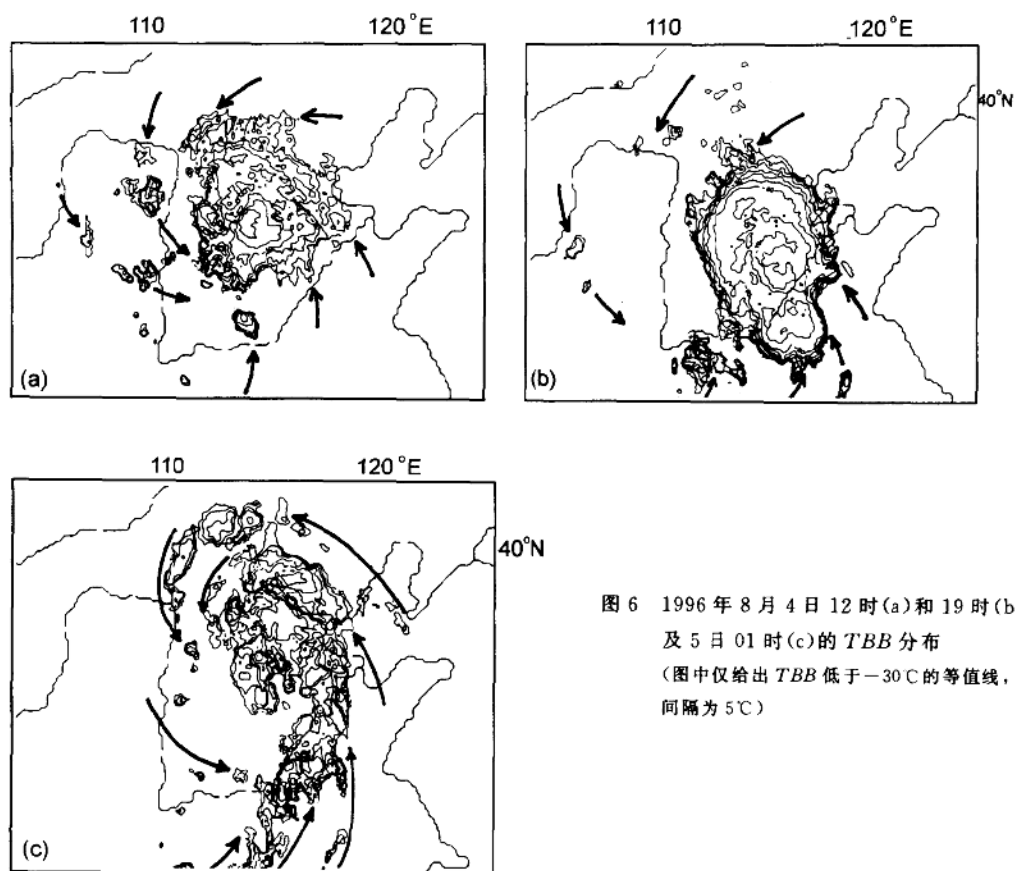


图6 1996年8月4日12时(a)和19时(b)及5日01时(c)的 TBB 分布
(图中仅给出 TBB 低于 -30°C 的等值线, 间隔为 5°C)

5 结语

对“96.8”河北特大暴雨的初步分析及其与“63.8”和“75.8”暴雨的对比表明,“96.8”暴雨的直接影响系统和“75.8”暴雨相同,都是台风低压。“63.8”暴雨时虽然台风位于海上,但对水汽的输送仍有一定贡献。但是,“96.8”暴雨中对水汽输送起主要贡献的是偏南风低空急流,它不同于“75.8”暴雨起主要贡献的是东风低空急流,而与“63.8”暴雨相同。

在“96.8”暴雨中我们没有发现中纬度西风带系统对暴雨有明显的作用。而在“75.8”暴雨过程中有西风带低槽的影响,在“63.8”暴雨过程中有高空经向急流的影响。

卫星云图分析表明,“96.8”暴雨的产生和9608号台风低压中形成的一个强中- α 尺度对流系统有关。但由于缺少中尺度地面资料和雨量资料,有关“96.8”暴雨的中尺度分析还有待今