

# 新疆东部地区夏季暴雨的分析

道然·加帕依<sup>1</sup> 车 罡<sup>1</sup> 李如琦<sup>2</sup>

(1. 新疆哈密地区气象局, 839000; 2. 新疆维吾尔自治区气象台)

**提 要:** 利用1961—2000年共40年新疆东部地区6站夏季降雨量资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的6小时再分析资料和常规探测等资料,对我国新疆东部地区夏季暴雨的天气气候特征、环流形势、影响天气系统及其暴雨形成的机制进行分析研究,并给出典型个例清晰的物理概念模型,提供了有参考意义的前兆依据。

**关键词:** 暴雨 环流特征 诊断分析

## Analysis of Summer Heavy Rainfall in Eastern Xinjiang

Daoran · Japayi<sup>1</sup> Che Gang<sup>1</sup> Li Ruqi<sup>2</sup>

(1. Hami Meteorological Office, Xinjiang 83900; 2. Xinjiang Central Meteorological Observatory)

**Abstract:** On the basis of the summer rainfall data of six stations in eastern Xinjiang from 1961 to 2000, NCEP/NCAR 6h reanalysis data and routine observed data, the synoptic and climatic features of the summer heavy rainfall in eastern Xinjiang, along with the circulation patterns, influencing weather systems and their forming mechanism, were investigated, and the physical concept model of the typical case was established, and some premonitory signs for the genesis of heavy rainfall were presented.

**Key Words:** heavy rainfall circulation feature diagnostic analysis

### 引 言

暴雨是我国主要的灾害性天气之一,常给国民经济和人民生命财产造成严重损失。西部地区虽以干旱少雨著称,但暴雨也常会给当地经济带来不可忽视的影响。新疆

95%农田主要由山区自然降水补给的河水来灌溉,因而降水量多少与农牧区的丰歉关系非常密切,尤其是暴雨天气过程出现次数虽不多,但它往往能造成山洪爆发,冲毁农田、破坏公路、铁路,使通讯中断等,如1996年7月新疆出现一次强度大、范围广、持续时间长的暴雨过程引发了50年一遇的特大洪涝灾

害,冲毁3条铁路干线,主要国道、省道中断,10个地州市遭受巨大影响,直接经济损失达40.9亿元,超过了新疆1995年的财政总收入<sup>[1]</sup>,新疆东部巴里坤也出现了特大山洪,直接经济损失为7千万元。

随着国民经济的飞速发展,干旱地区的暴雨引起气象学者们关注,并进行了不少研究<sup>[2-5]</sup>。有学者对新疆强降雨的天气气候进行了分析,指出5—8月强降雨出现频次较多,6月最多<sup>[6]</sup>。有研究<sup>[4]</sup>认为新疆强暴雨发生在南亚高压双体型中的青藏高压位置偏西的环流形势下,伊朗高压北抬与乌拉尔山高压叠加成为主导系统,中亚低涡是影响系统。暴雨水汽主要源地是印度半岛和孟加拉湾,水汽向北输送到青藏高原的中南部后,再向北输进新疆<sup>[5]</sup>等。但这些研究还是初步的,干旱地区暴雨的成因还远未弄清,又因暴雨是该区的小概率事件,在预报上一直是难题。因此深入分析研究干旱地区暴雨十分必要。

本文利用NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的6小时再分析资料、常规探测和降雨量资料对新疆东部夏季暴雨的天气气候特征、暴雨形成的天气学条件和物理成因进行分析研究,以进一步加强对干旱区暴雨形成机制的认识,提高暴雨预报的能力。

## 1 新疆东部暴雨的气候特征

中国气象局规定日雨量(24h)达到50mm即定义为暴雨。而新疆是属于干旱、半干旱地区,因此根据该区的暴雨成灾事实、暴雨特点以及河川与下垫面渗透力情况,新疆暴雨标准定义为:日雨量 $\geq 20\text{mm}$ 为干旱区暴雨日;日雨量 $\geq 25\text{mm}$ 为半干旱地区暴雨日<sup>[7]</sup>。

本文利用新疆东部的哈密、七角井、巴里坤、伊吾、红柳河和淖毛湖6个测站1961—2000年共40年的逐日(20—20时,北京时)

降雨量资料,依据新疆干旱区暴雨的标准进行统计。上述40年中新疆东部共出现44次暴雨过程。其中巴里坤县出现23次,为最多,占总数的52.3%;伊吾和红柳河各7次,次多,七角井有5次;哈密和淖毛湖最少,各1次。暴雨日数除5月、9月各有3次外,其余的均出现在夏季6、7、8月,以6月15次最多;并且1990年代以来暴雨日数明显增多,占暴雨总日数的40.9%(表1)。

表1 哈密地区20世纪各年代暴雨日数(单位:日)

	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	总计
哈密	0	0	1	0	1
巴里坤	6	2	6	9	23
伊吾	1	0	2	4	7
七角井	1	1	1	2	5
红柳河	0	3	2	2	7
淖毛湖	0	0	0	1	1
总计	8	6	12	18	44

降水资料统计结果表明,新疆东部的暴雨地理分布很不均匀,山区局部暴雨的日最大降水量远大于平原地区,如1961年7月21日在喀尔里克山测得的日雨量达93.4mm,而巴里坤、伊吾和哈密3县市的日最大降水量却为44.3mm。山区暴雨日数也明显多于平原地区,这与新疆东部的地形特征有关,东西向的天山山脉把新疆分成南北疆,在天山东麓天山支脉的北山呈东北西南向坐落在巴里坤至伊吾东北部,巴里坤位于北山西南侧,即天山脚下东北部。山区北坡(为迎风坡)暴雨多于南坡,巴里坤东部是喇叭口地形,东部暴雨多于西部,东部口门子测站最多,再往东伊吾—淖毛湖一带暴雨逐渐减少。

就全年而言,巴里坤暴雨日数占总降水日数的8.6%,七角井为6.4%,伊吾和红柳河都为5.4%,哈密最少只占0.5%,这也说明了东疆暴雨较少。

1995年7月20日巴里坤县日最大降雨量达64.1mm,是新疆东部多年来测得的最大

雨量值。干旱少雨的哈密日最大降雨量为 25.5mm, 出现在 1984 年 7 月 10 日, 为 40 年一遇。伊吾县日最大降雨量 39.3mm, 出现在 1997 年 6 月 26 日。1990 年 7 月 17 日七角井的日最大降雨量为 42.2mm。红柳河最大降雨量 44.2mm, 出现在 1979 年 7 月 16 日。

## 2 东疆暴雨的环流特征分析

暴雨是发生在一定的大尺度环流形势下, 冷暖空气在某地区交汇, 引起暴雨的天气尺度系统或中小尺度系统发展, 从而使某地区出现强垂直运动和水汽输送等条件, 给暴雨的形成提供有利条件。经对 1971—2000 年共 30 年 29 次暴雨个例的环流形势普查分型, 从每型中选出 3 个典型相似个例进行合成分析, 环流特征概况如下:

(1) 巴尔喀什湖低槽东移型。该型有 18 例, 占个例总数 62.1%, 为最多。在暴雨产生前 24 小时, 欧亚中高纬度为两槽两脊经向环流形势, 两槽分别位于西欧和西西伯利亚平原, 两脊在东欧到乌拉尔山和中西伯利亚以东地区; 青藏高压分布在印度半岛至青藏高原南侧(图 1a)。通常, 与北亚极涡相联结的暴雨影响低槽的槽线, 位于西西伯利亚平原中部至巴尔喀什湖一带(75°E 附近), 槽线长达 20 个纬距。高纬冷空气沿槽后偏北气流向南移动, 低纬海洋上的暖湿气流沿青藏高压后部向北输送, 与巴尔喀什湖槽前西南气流汇合, 有利于水汽输送进入新疆。当低槽移至新疆时, 槽线抵达 86°E 附近, 槽中冷暖空气将交汇于新疆东部地区, 该地区将出现暴雨, 暴雨过程将维持一天。

(2) 南北低槽结合型。该型有 6 例, 占个例总数 20.9%, 为次多。在暴雨出现前 24 小时, 亚欧中高纬度呈两槽三脊型, 较之第一种环流型经向度明显偏小, 两槽分别在黑海附近和巴尔喀什湖一带, 三个高压脊分别位

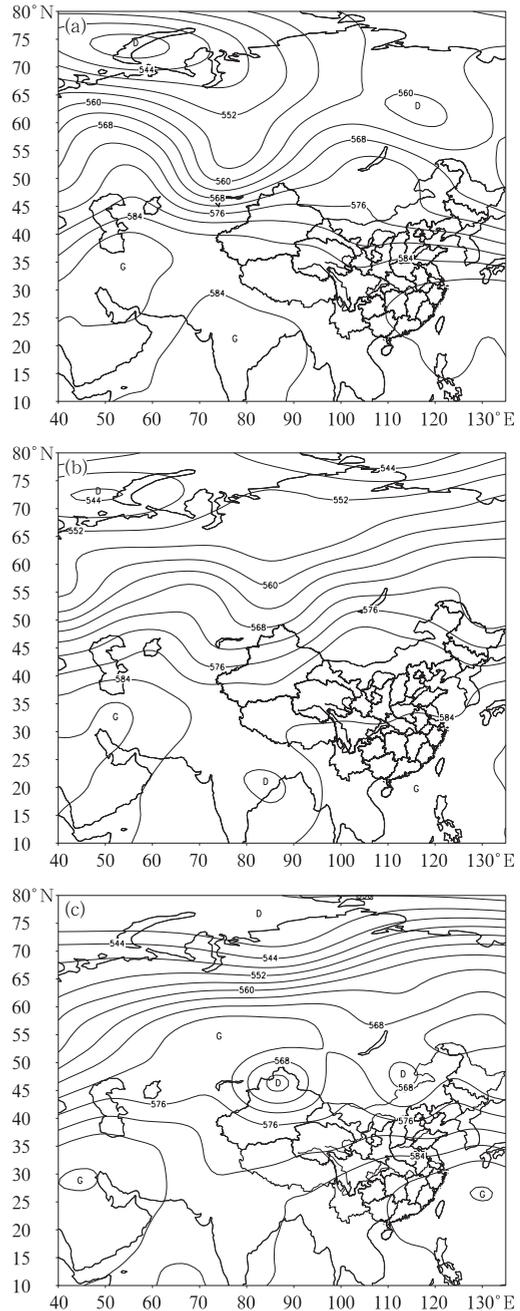


图 1 新疆东部的巴尔喀什湖低槽东移(a)、南北低槽结合(b)和高空冷涡暴雨型(c) 500hPa 环流形势

于西欧、乌拉尔山和蒙古国西部到贝加尔湖。在高纬有一带状低压区, 区中有 2~3 个中心, 低压区南部在巴尔喀什湖附近的暴雨影

响低槽分为南北两段(图1b),每段均有一支锋区与之配合,低槽在东移过程中两段槽及锋区将逐渐合并加强,当移至新疆西部时即已合为一低槽。与此同时,青藏高压通常维持在 $80^{\circ}\text{E}$ 以东的印度半岛东北部,我国西藏到西南地区东部;印度洋北部的水汽沿该高压脊西部的西南气流向北涌进与巴尔喀什湖槽前的偏南气流汇聚,与槽中的冷空气在新疆东部相遇后产生暴雨。

(3) 高空冷涡型。此型有5例,占个例总数17.0%,为最少。在暴雨发生前24小时,欧亚中高纬度为两槽一脊经向环流形势,长波槽分别位于欧洲和蒙古国西部到贝加尔湖一带,该槽呈东北西南向,在低槽西南方的新疆西北部上空为一较强的切断高空冷涡(图1c)。乌拉尔山至中西伯利亚是一长波脊。在中低纬度上伊朗高压和青藏高压均较强,它们之间从 $60\sim 90^{\circ}\text{E}$ 季风槽较活跃,槽前西南气流沿青藏高压西部往北流动,将低纬海洋上的水汽源源不断地从西藏上空输进新疆高空冷涡中,当冷涡逼近东疆时即产生暴雨。

### 3 东疆暴雨的天气动力学诊断分析

诊断分析方法是现代天气动力学中常用的一种研究方法。对上述三类暴雨型中一个典型暴雨个例有关物理量的连续性变化进行计算并分析,以了解东疆暴雨系统基本物理和动力过程。三类暴雨型的典型个例依次选取了1995年7月20日、1980年7月9日和1973年9月14日暴雨过程。

#### 3.1 巴尔喀什湖低槽东移型

##### 3.1.1 涡度场

在1995年7月19日东疆暴雨产生前24小时,500hPa上对应着低槽区,在 $65\sim 90^{\circ}\text{E}$ 之间的西西伯利亚平原为正涡度区,涡度轴线与槽线走向一致,呈东北西南向,其最大中心位于西西伯利亚平原中部,极值大于 $7.2\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ (图2a)。新疆位于正涡度区

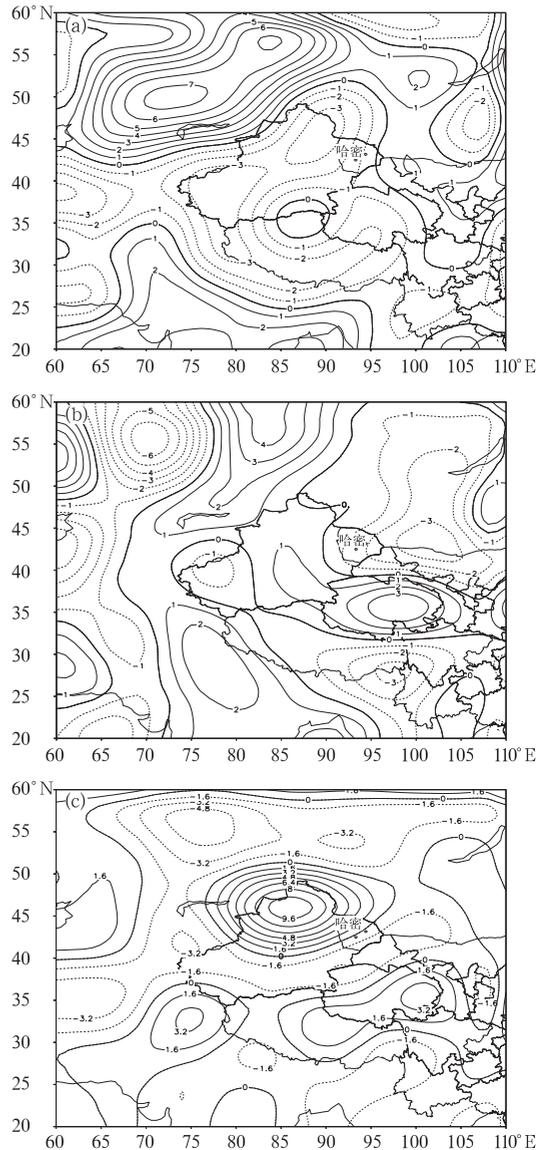


图2 新疆东部的巴尔喀什湖低槽东移(a)、南北低槽结合(b)和高空冷涡(c)暴雨型500hPa涡度场(单位: $10^{-5}\text{ s}^{-1}$ )

的南侧和东侧,是负涡度区,对应着中西伯利亚高压脊前偏北气流和槽底偏西气流。两负涡度中心在南疆盆地和新疆西北部,中心值均小于 $-3.2\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ ,并且正涡度中心在其西北方向。根据经验,这种分布有利于正涡度区向偏东方向抵达新疆。暴雨产生时,最大正涡度中心移至新疆西北部,新疆东部

处在涡度 0 线附近的正涡度平流区中(图略),其输送有利于垂直上升运动发展和暴雨发生。当正涡度大值区移出东疆后,降雨逐渐减弱。

### 3.1.2 垂直速度和螺旋度

暴雨发生前 24 小时,500hPa 上在西西

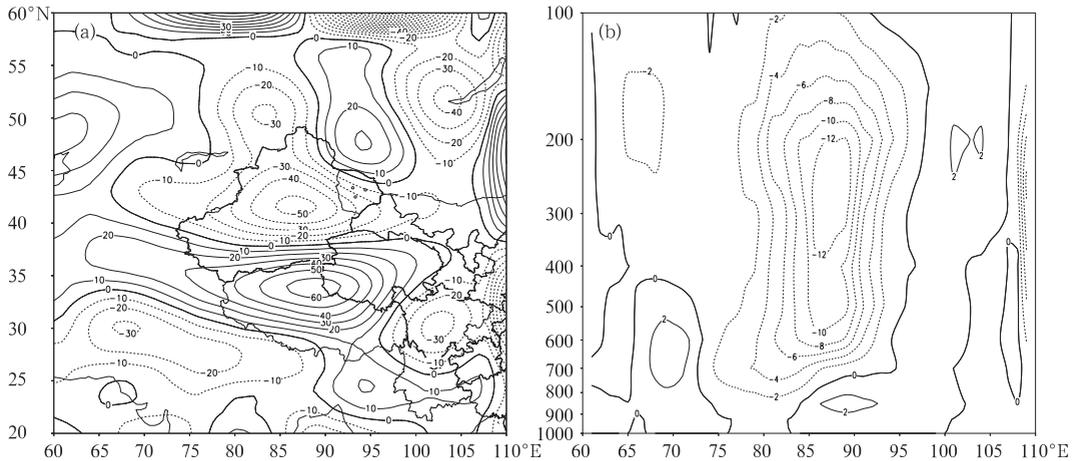


图 3 巴尔喀什湖低槽东移型 500hPa 垂直速度场(a,单位: $10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )和沿  $43^\circ\text{N}$  Z-螺旋度垂直剖面图(b,单位: $10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

近年来螺旋度常用于研究大气中一些与速度场相关的有旋系统及暴雨系统的结构特征<sup>[8]</sup>,其大小反映了旋转与沿旋转轴方向运动的强度程度。而 Z-螺旋度  $h_z = W\zeta_k$  的演变对暴雨有较好预报指示意义。由暴雨产生前 24 小时沿  $43^\circ\text{N}$ (哈密)Z-螺旋度垂直分布(图 3b)可见,在东疆 700hPa 以下层及以东区上空有一正 Z-螺旋度柱,东疆 700hPa 以上层及偏西地区上空是负值区,正值中心在 900hPa 上,强度大于  $2 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,负值中心在 300hPa 上,极值小于  $-12 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。暴雨发生时,对应着东疆暴雨区对流层中下层辐合、上层辐散的强上升气流区中螺旋度呈“下正上负”的垂直结构,大于  $6 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  正值中心位于 650hPa 上,小于  $-12 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  负值中心抬升到 200hPa 层上(图略),但与我国东部地区暴雨的螺旋度垂直结构相比,强度要弱得多。但当这种结构遭破坏,强降雨逐渐停止,这些先兆特征

伯利亚平原东部至新疆大部是上升运动区,区中有两个中心分别位于哈萨克斯坦东部和新疆西北部,极值小于  $-3.0 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $-5.2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 3a)。当新疆西北部的强上升运动区移到东疆,东疆暴雨发生,当被下沉运动区控制时,暴雨结束。

对暴雨预报有指示意义。

另外,在暴雨前一天,北疆和南疆大气的中低层处于上干冷、下暖湿的不稳定层结,  $\Delta\theta_{se(500\sim 850)} < 0$ (图略),而新疆东部大气层结较稳定,当不稳定层移到东疆时有利于对流性暴雨发生。这可能是新疆暴雨通常历时短之原因。

### 3.1.3 水汽通量和散度

水汽的来源和输送是影响新疆降水强度的关键。暴雨发生前 24 小时,在 500hPa 上新疆西部出现南北向大的水汽通量,并分别与印度半岛和青藏高原东部大值区相通(图 4a),同青藏高原后部及孟加拉湾季风槽前西南气流相对应,表明水汽主要来源于印度洋北部。尤以 700hPa 和 500hPa 层的值为大,500hPa 上新疆西部大值中心大于  $8.0 \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,东疆地区大于  $3 \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。伴随着东疆暴雨的发生,水汽

通量大值位于天山东麓,东疆达  $7.0 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,表明空气中水汽含量很大。从 700hPa 水汽通量散度分布图(图 4b)可看出,暴雨区主要有两条水汽通量辐合通道,一条从孟加拉湾向东北方向经青藏

高原东部向西北到新疆东部;另一条经印度半岛向北输送至新疆东部,在东疆的辐合中心大于  $-8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。水汽的聚集有利于暴雨生成。

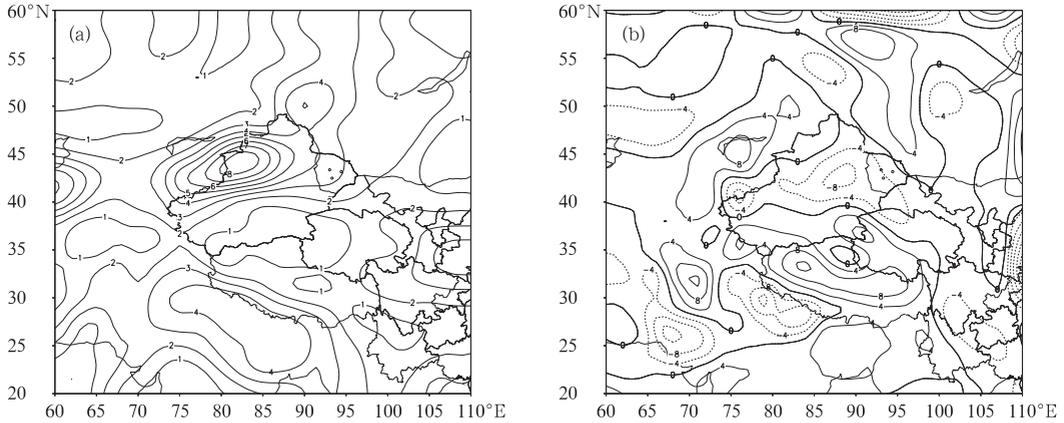


图 4 巴尔喀什湖低槽东移型 500hPa 水汽通量(a,单位: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )和 700 水汽通量散度(b,单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )

### 3.2 南北低槽结合型

#### 3.2.1 涡度场

该型个例为 1980 年 7 月 8 日,暴雨发生 24 小时前,与西西伯利亚平原中北部和南部两低槽相伴的正涡度区,较之巴尔喀什湖低槽东移型弱得多(图 1b),与中北部槽对应的中心值大于  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,该正涡度区在东移的过程中随着南北两低槽的叠合而加强,控

制新疆大部地区。暴雨发生时东疆上空被一正涡度中心占据,中心值大于  $3.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图略),强辐合抬升运动促使暴雨的发生。该中心移出东疆,暴雨告结束。

#### 3.2.2 垂直速度和螺旋度

在暴雨产生前 24 小时,500hPa 上对应两槽有两个上升运动区几乎相连接,以中纬度低槽前部的上升运动区范围较大,中心值都小于  $-1.6 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5a)。伴随

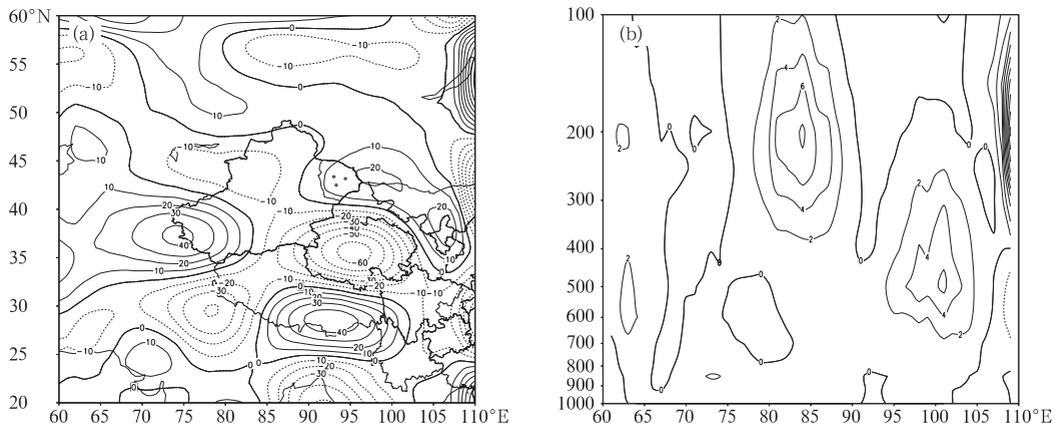


图 5 南北低槽结合型 500hPa 垂直速度场(a,单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )和沿  $43^\circ \text{N}$  Z-螺旋度垂直剖面图(b,单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

两槽东移合并,上升运动区亦东移至新疆合并加强,为暴雨提供了动力抬升条件。当其移出东疆时,降雨停止。由图 5b 可看出,暴雨前一天在新疆上空 800hPa 以下层、500hPa 以上层为正螺旋度,它们之间中层为负螺旋度。由此可见,Z-螺旋度“上正下负”的结构正在逐步建立,并随着影响天气系统的东移临近,中低层气流辐合,高层辐散致使低层正螺旋度上传加强,中层负螺旋度移向高层,强度也加强,形成“下正上负”的垂直结构,有利于暴雨发生。同时在北疆有一个  $\theta_{se(500\sim 850)} < 0$  的区域,虽范围较小,但表明新

疆北部中低层大气层结是不稳定的。当不稳定区控制了东疆,该地暴雨产生,当该地的  $\theta_{se(500\sim 850)} > 0$ ,暴雨中止。

### 3.2.3 水汽通量和散度

此型暴雨生成 24 小时前,在 500hPa 上新疆东部有一大于  $1\sim 2\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$  明显的水汽通量区,与西藏到西北地区东部大值区相连(图 6a),对应着青藏高压后部和孟加拉湾季风槽前西南气流,揭示了印度洋北部是暴雨的水汽源。水汽主要从印度半岛及西藏东部上空向北涌入新疆东部(图 6b),为暴雨提供了丰沛的物质条件。

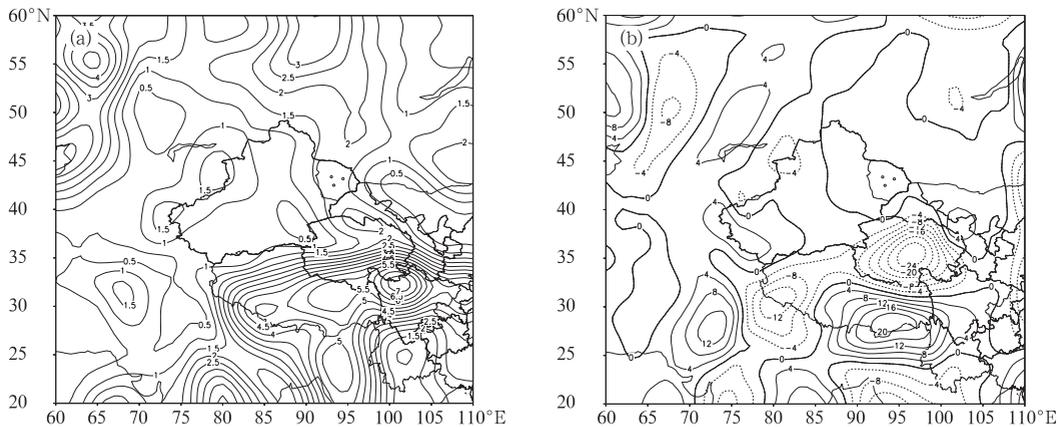


图 6 南北低槽结合型 500hPa 水汽通量(a,单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ )和 700 水汽通量散度(b,单位: $10^{-7}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ )

## 3.3 高空冷涡型

### 3.3.1 涡度场

该型个例暴雨出现 24 小时前(1973 年 9 月 13 日),500hPa 上涡度场较之前两型截然不同,配合高空冷涡在北疆到东疆有一个椭圆形的强正涡度区(图 2c),位于新疆西北部的强中心大于  $10.4\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,它的周围均被负涡度区所包围,对应着高空暖空气的动力加压区,揭示了高空冷涡系统孤立之特征。

### 3.3.2 垂直速度和螺旋度

暴雨产生前一天,在 500hPa 上与高空冷涡相匹配的范围较小、强度较强的垂直上

升运动区位于北疆至东疆,在新疆东南部的中心极值小于  $-5.0\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 7a),此区周围为下沉运动区。也表征了高空冷涡的特征。此时的螺旋度在新疆 800~100hPa 层间已建立较强的正中心,大于  $27\times 10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  中心在 300hPa 上,而在 800hPa 以下层及 100hPa 以上层为弱螺旋度负值区,这与高空冷涡在 700hPa 以上才有明显表现,300hPa 上最清楚反映一致。这种结构维持到暴雨结束。故本型暴雨的螺旋度“下正”的结构特征不十分明显(图 7b)。大气层结稳定度仅在冷涡附近的新疆西北部  $\theta_{se(500\sim 850)} < 0$ ,新疆其他地区层结稳定。所以新疆东部高空冷涡暴雨发生的几率最小。

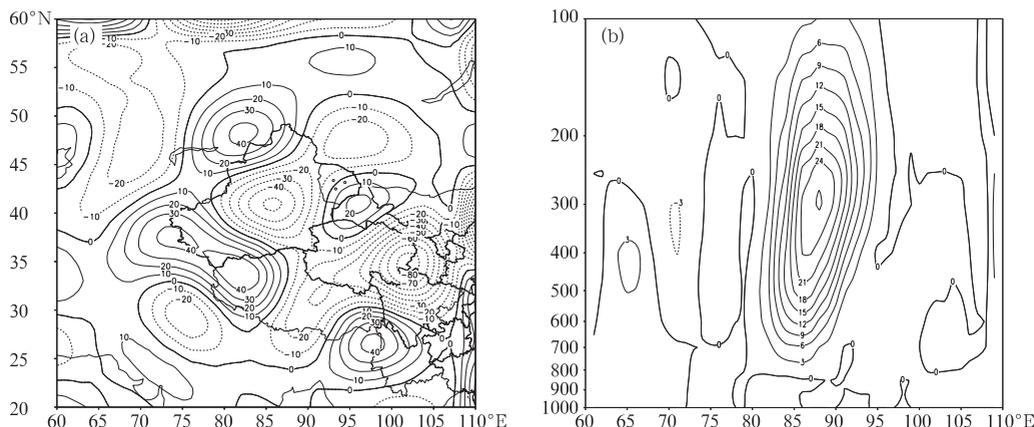


图7 高空冷涡型500hPa垂直速度场(a,单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )和沿 $43^\circ \text{N}$ Z-螺旋度垂直剖面图(b,单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

### 3.3.3 水汽通量和散度

该型水汽通量分布与南北低槽结合型非常相似(图略),说明暴雨水汽来自印度洋北部,水汽也以上述两种通道输入东疆,西藏东部的的水汽通量散度中心值小于  $9 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,表明从印度半岛上空输送更为显著。

## 4 小结

通过对新疆东部地区夏季暴雨的分析,得到以下一些主要结果:

(1) 1961—2000年40年中新疆东部地区共出现44次暴雨过程,其中巴里坤县出现23次,为最多,占总数的52.3%;伊吾和红柳河各7次,次多;哈密和淖毛湖仅一次,最少。1990年代以来暴雨日数明显增多,占暴雨总日数的40.9%;暴雨地理分布很不均匀,山区局部暴雨日数和量值均大于平原地区。

(2) 新疆东部暴雨的环流形势可分为巴尔喀什湖低槽东移、南北低槽结合和高空冷涡三种类型。巴尔喀什湖低槽东移型有18例,占个例总数62.1%,为最多。高空低槽和高空冷涡是主要的影响天气系统。

(3) 暴雨产生前24小时,对应主要影响天气系统在对流层中低层有明显正涡度区、垂直上升运动区、大气层结不稳定区及其螺

旋度存在着“下正上负”垂直结构的演变过程,其中高空冷涡型的螺旋度“下正”结构不清楚。这些物理量场的特征对暴雨预报有指示意义。

(4) 新疆东部暴雨的水汽主要来源于印度洋北部洋面,并从孟加拉湾向东北方向经西藏东部向北输送到新疆东部,或从印度半岛向北输送至新疆东部。

## 参考文献

- [1] 徐夔慧.“96.7”新疆特大暴雨洪水预报服务技术研究的综述与启示[J]. 新疆气象,1997,20(1):1-4.
- [2] 刘惠云,吕新生,杨莲梅.“96.7”新疆特大暴雨中期过程分析[J]. 新疆气象,1998,21(1):17-20.
- [3] 李霞,白慧星,汤浩.新疆“96.7”大暴雨过程中主要天气系统结构的天气动力学分析[J]. 新疆气象,1997,20(5):10-12.
- [4] 蒋军,谭艳梅,李如琦.2004年7月新疆特大暴雨过程的诊断分析[J]. 新疆气象,2005,28(4):4-6.
- [5] 王旭,马禹,赵兵科,等.新疆“96.7”特大暴雨水汽输送通道研究[J]. 新疆气象,1999,22(5):5-8.
- [6] 《新疆短期天气预报指导手册》编写组.新疆短期天气预报指导手册[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986:218.
- [7] 马淑红,席元伟.新疆暴雨的若干规律性[J]. 气象学报,1997,55(2):241-248.
- [8] 侯瑞钦,程麟生,冯伍虎.“98.7”特大暴雨低涡的螺旋度和动能诊断分析[J]. 高原气象,2003,22(2):202-208.