

诱发山洪泥石流特强暴雨的特征

张廷治 李守智 李祥云 许君强

(沈阳中心气象台, 110015)

提 要

以 80 年代以来发生在辽东半岛山区诱发较强的山洪泥石流的特强暴雨为主要研究对象, 从大中小尺度、高中低纬度、高中低空天气系统的配置和相互作用以及环境条件和物理机制等方面探讨其成因。发现特强暴雨在热力条件方面与一般暴雨的差异不甚明显, 都必须在低空暖湿空气输送和辐合而造成深厚的准饱和的大气层, 其差异主要表现为特强暴雨低层的强辐合和高层强辐散叠加而引起强烈垂直上升运动的动力条件。

关键词: 泥石流 暴雨 成因

引 言

诱发暴雨是针对山洪泥石流的诱发因素而提出的, 主要强调在短时(1、3、6 小时)内产生的特强降水。为了区分诱发暴雨与一般暴雨, 将短时强降水分为暴雨、大暴雨、特大暴雨和特强暴雨 4 个等级(附表)。

附表 各类短时暴雨强度/mm

暴雨类别	1 小时雨量	3 小时雨量	6 小时雨量
暴 雨	10—29	30—39	50—99
大暴雨	30—49	50—99	100—149
特大暴雨	50—99	100—149	150—199
特强暴雨	≥100	≥150	≥200

辽东半岛山洪泥石流与诱发暴雨研究^[1]结果指出, 大多数较严重的山洪泥石流都是由于短时特强暴雨诱发而形成, 极少数由短时特大暴雨诱发所致。

本文以 80 年代以来在辽东半岛山区发生的 9 次诱发较强山洪泥石流的特强暴雨为主要研究对象, 从高中低纬、高中低空、大中小尺度天气系统的配置和相互作用等方面研究诱发暴雨的成因和物理机制, 为制作诱发暴雨的预报提供预报因子。

1 大尺度环流背景

东北暴雨研究^[2]提出, 西风带、副热带和热带环流系统的相互作用是地处中高纬度的东北地区夏季暴雨的大尺度环流背景。通过对诱发暴雨大尺度环流形势分析结果表明, 这种“三带”环流特征更为明显。诱发暴雨发生前(1—3 天), 西太平洋副热带高压有一次明显的西伸北进增强的短期活动。在绝大多数情况下, 在副高的南到西南侧有热带气旋活动, 并伴随热带辐合带向北方推进, 促使副高后部的低值天气系统伴随低空急流和暖湿舌增强北上, 为诱发暴雨提供充足的水汽、动量和能量条件。此外, 西风带有至少可达 300hPa 以上的深厚的低压槽东移发展。高空槽前伴有高空急流与南来的低值天气系统和低空急流耦合, 中低纬天气系统的相互作用形成诱发山洪泥石流的特强暴雨的环境物理条件。为了区分特强暴雨与一般暴雨, 我们进一步分析了 100hPa 环流特征。

图 1 和图 2 是两种典型的诱发山洪泥石流的特强暴雨 100hPa 合成图, 可以看出辽东半岛在 100hPa 上日本海高压后部或中国大陆高压前部, 脊线在 38—42°N, 其垂直结构为向北倾斜的高压脊, 表明诱发特强暴雨

的高层 100hPa 仍维持较强的辐散场,有利于垂直上升运动的强烈发展。而一般强降水 100hPa 上空副高相对于前者偏南,脊线在 38°N 以南,辽东半岛处于槽前脊后的锋区上,辐散相对较弱。因此,用 100hPa 环流形势能更充分地显示诱发山洪泥石流特强暴雨与一般暴雨高层辐散的强弱及其两者的显著不同特征,对于制作诱发暴雨的预报提供非常重要的因子。

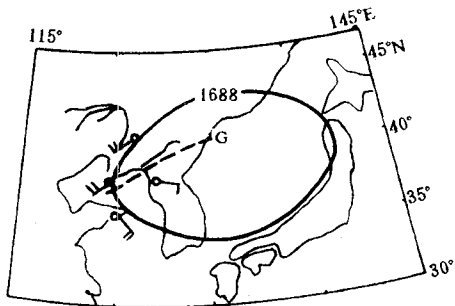


图1 日本海高压型特强暴雨 100hPa 合成图

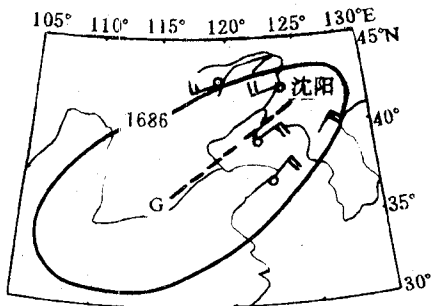


图2 大陆高压型特强暴雨 100hPa 合成图

2 高低空急流的耦合

根据气流补偿原理,垂直上升运动得以维持和发展需要低空辐合与高空辐散相配置。高低空急流的耦合,除了提供水汽和能量输送条件外,造成低空强辐合和高空强辐散相配置的环境条件,有利于垂直上升运动强烈发展,提供特强暴雨发生和发展的动力条件。

特强暴雨形成的高低空急流耦合可有以

下三种形式:

3.1 高空急流与低空急流相平行,特强暴雨处于低空急流中心的左前方强辐合和高空急流中心的右后方强辐散相耦合的地区(图3)。

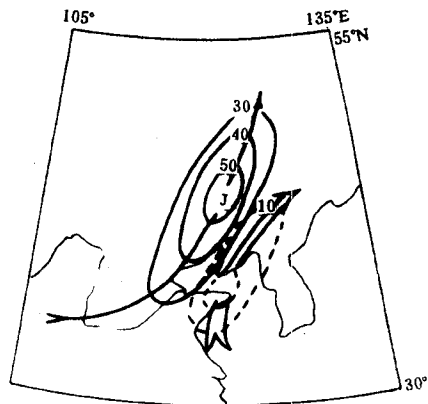


图3 1985年7月25日20时高低空急流耦合

3.2 高空西北急流出口区与低空急流耦合

如图4所示,在高空前倾槽(300hPa 槽前倾于 850hPa 槽)的形势下,西北急流的出口区出现明显的分支,辽东半岛处于两支急流之间的强辐散区,同时与西南低空急流耦合,形成低空急流中心左前方的强辐合区与高空急流出口区的强辐散区相叠置,促使垂直上升运动的强烈发展,大量潜在不稳定能量的释放导致强对流性天气的发生发展。

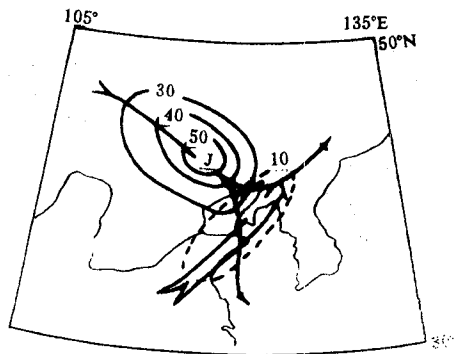


图4 1985年7月20日20时高低空急流耦合

3.3 高空西南急流出口区与低空急流耦合

如图5所示,辽东半岛处于高空急流左前方强辐散和低空急流左前方强辐合的叠置区。通过图5之AB做高空风垂直剖面图(图6),可以看出,在丹东至沈阳的辽东半岛上空,有高空、低空和超低空三支急流相配置,形成强烈的垂直上升运动,为特强暴雨提供动力条件。

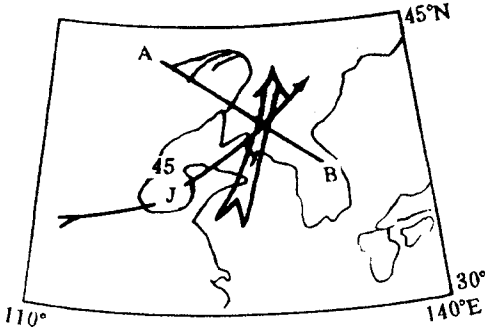


图5 1987年8月19日20时高低空急流耦合

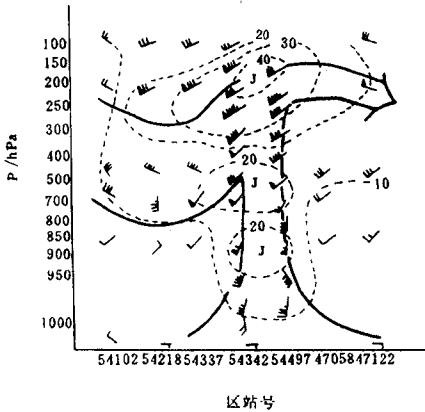


图6 1987年8月19日20时高空风垂直剖面图
虚线:等风速线 双箭线:垂直气流

4 特强暴雨的天气系统特征

特强暴雨的天气系统,就高空而言概括起来有两种特征:一种是中空500hPa多呈现阶梯槽或丁字槽,表现为中低纬度天气系统相互作用的一对耦合天气系统。850hPa或700hPa上有低值系统(低涡或热带气旋或低压)伴随低空偏南急流和暖湿(850hPa $T_d \geq 16^\circ\text{C}$, 700hPa $T_d \geq 8^\circ\text{C}$)高能舌伸向暴雨区,

提供水汽和能量输送及低空强辐合的环境物理条件。在高层有急流配置,中层槽前有明显的冷干平流与南支槽的低值系统前方暖湿气流的差动平流作用,有利于中低空位势不稳定能量的不断再生和发展。另一种特征是在垂直分布上,低槽陡峻或前倾,有利于对流天气发展。

在特强暴雨发生之前地面流场上出现明显的切变辐合线,当取网格距为50km时,其最大辐合可达 $-10^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$,在切变线附近配合有能量锋区。地面切变线的形成过程基本上可分为两类:一类是由冷性切变线演变而成,自西向东移动的冷锋尾端冷性切变线东移顺转,经过千山西北坡时一度减弱,在千山的东南坡由于偏南暖湿气流的加强,再生冷性切变线或变为暖性切变线,并在切变线上锋生成能量锋区。另一类是暖性切变线,沿着副高后部向偏北方向移至辽东半岛而形成东西向或西北—东南向切变线。

5 超低空急流及触发作用

超低空急流指在1km以下的行星边界层内出现 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的强风带。在诱发山洪泥石流的特强暴雨中均出现了超低空急流,其中只有1次由于暴雨的反馈作用而新生,其余都是在暴雨发生前3—24小时出现,具有超前性。较强的超低空急流的上界可与低空急流相连接,向下的强风带可延伸至地面。

超低空急流的形成比较复杂,副高的西伸北进增强,低值天气系统和中小尺度扰动的发展,中低纬天气系统的相互作用,暴雨的反馈作用,地形效应等均可成为产生各种不同尺度超低空急流的重要因素,并且与副高后部的暖湿高能舌有密切联系。尤其在副高西伸北进增强的环流形势下,促使副高后部的超低空急流增强加速北上,在有利的环境条件下,与强雷暴复合体或中小尺度扰动相碰,不仅促使切变辐合线上能量锋生,而且导致质量和水汽的强烈辐合上升运动,触发中小尺

度扰动的发展和短时特强暴雨的形成。

超低空急流对于特强暴雨的触发作用不仅是大量历史天气个例分析的结论,而且通过1994年灾害性特强暴雨的实践检验得到进一步的证实。

1994年8月5日20时内蒙古东南部昭乌达盟在冷锋前部的暖区能量锋区上,由于超低空急流从山东半岛刚刚移到大连,没有与能量锋区上雷暴区相遇,因此也没有产生特强降水。6日02—08时,伴随冷锋的东移,超低空急流增强北上,925hPa上最大风速达 $26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,与切变辐合线和能量锋区上雷暴相遇,行星边界层内产生 $2.1\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ 的强辐合,引起强烈的垂直上升运动,触发强雷暴的发展而产生特强暴雨(图7)。暴雨中心义县出现3小时150mm和6小时208mm的短时特强暴雨。

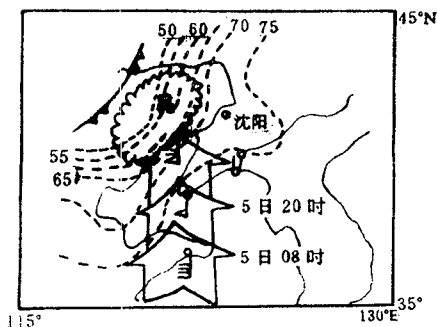


图7 1994年8月6日08时地面能量场(虚线)和925hPa超低空急流动态(双箭头,右标日期和时间)

同样,在1994年8月15日20时,在辽东半岛的能量锋区上的雷雨区,没有超低空急流的触发,没有产生特强降水。16日02—08时,随着9415号热带风暴在辽东半岛登陆,其右前方的超低空急流触发强雷雨发展,产生特强暴雨和山洪泥石流灾害。

6 地形增幅作用

辽东半岛南部濒临黄海,北部有高达1000m左右的长白山脉和千山山脉,为南低

北高的山区。山的坡度为0.1—0.2,大于锋面坡度,大地形抬升作用明显。千山东南侧的岫岩、凤城、宽甸等市县均为向南偏东开口的喇叭口地形。千山西北侧的本溪市、县为向西北开口的喇叭口地形。以上地区是辽东半岛山洪泥石流的多发区。除了其它有利条件外,与中小地形对降水的增幅作用有密切关系。当行星边界层内超低空急流正交流入喇叭口地形时,由于地形辐合抬升作用,促使中小尺度系统的发生发展,雨团明显增强和停滞,从而产生特强暴雨。如1982年8月8日14—17时,当雨团进入岫岩县北部山区喇叭口地形后,中尺度涡旋发展,雨团明显增强,并停滞了3个小时,最大降水中心的王家卜子出现1小时64mm、3小时161mm的特强暴雨。与前3小时雨团未进入喇叭口地形的降水强度相比增加了88mm。根据地形降水公式:

$$W = V \cdot (t\alpha + 2m\Delta z)$$

$$R_0 \approx - (F \cdot W) \times 2700$$

计算岫岩县北部喇叭口地形内王家卜子的地形降水,若取地面风速 $V = 5.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,则地形降水 $R_0 = 24\text{mm}$,持续3小时可达72mm,地形降水增幅率为48%,与实际喇叭口地形降水的增强量很接近。表明地形降水增幅作用是比较明显的,特别是当超低空急流正交侵入喇叭口地形时,地形降水增幅作用就愈加显著。

7 特强暴雨的卫星云图特征

特强暴雨的卫星云团特征主要表现为云团的合并发展,尤其是来自西风带的冷锋云带、积云线、积云团与来自南—西南方的副高后部云系和云团的结合并促使云团强烈发展,形成混合云降水。在云系合并之前,西风带云系的云顶温度偏高,一般在 $-30\text{—}-40\text{C}$;来自南方的云团的云顶温度较低,一般在 $-50\text{—}-60\text{C}$ 。云团合并之后获得发展,范围扩大可达100—200km,云顶温度降低,可达 $-59\text{—}-70\text{C}$ 。

8 特强暴雨的雷达回波特征

分析结果表明,诱发山洪泥石流的特强暴雨的雷达回波具有以下特征:

(1)多呈絮状结构,高度一般为9—15km,强度在中等以上,个别的块状强回波高度可达16—17km。

(2)由两个或多个回波合并而成,并迅速增强,而且能维持3—6个小时。

(3)发生在喇叭口地形内的回波中心出现停滞或旋转现象,回波增强,高度增高,雨量增大。

(4)特强暴雨的雷达回波与雨团对应分析发现两者关系密切。回波强度和移向预示下一时刻雨团的位置和降水强度。因此,可以根据雷达回波演变特征,结合雨团强度,预报下一时刻雨团的位置和中心强度,提供特强暴雨和山洪泥石流短时预报依据。

9 特强暴雨机制

综合分析,特强暴雨是在高中低纬度、高中低空、大中小尺度天气系统的相互配合、相互作用的最优条件下综合作用而形成的,其发生发展机制如图8所示。

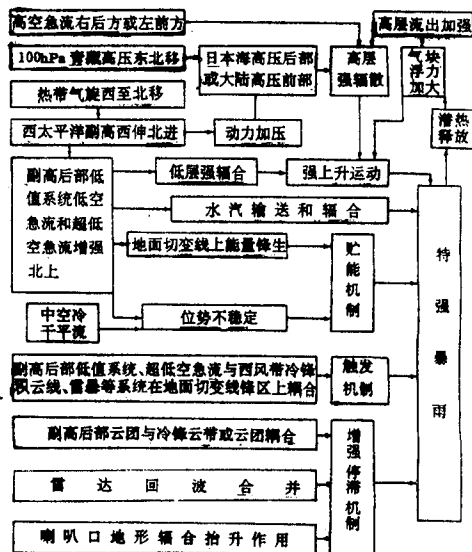


图8 特强暴雨机制

参考文献

- 1 张廷治. 辽东半岛山洪泥石流与诱发暴雨. 气象, 1991 (1).
- 2 郑秀雅, 张廷治, 白人海. 东北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992.

The Features of Severe Rainstorm Inducing Mountain Torrents and Mud-rock Flows

Zhang Tingzhi Li Shouzhi Li Xiangyun Xu Junqiang

(Shenyang Center Weather Office, 110015)

Abstract

The main studying objects were the severe rainstorms which had happened since 1980's and aroused grave mountain torrents and mud-rock flows in the mountainous area in Liaodong peninsula. The formation reasons of severe rainstorms were inquired in suitable disposition and interaction, environmental conditions and physical mechanism for weather systems of large, middle and small scales, at high, middle and low latitudes and altitudes. It was shown that there is no obvious difference in thermal condition between the severe and normal rainstorms, and both need quasi-saturated atmospheric layer resulted from the transportation and convergence of low altitude warm and moist air. The most remarkable feature is the dynamic condition of the violent vertical upward motion caused by the superposition of the violent convergence in the low level and the divergence in the upper air.

Key Words: mud-rock flow rainstorm formation reason