

北京泥石流暴雨基本特征

吴正华 储锁龙

(北京市气象科学研究所, 北京, 100081)

提 要

本文分析了北京地区泥石流暴雨的时空分布特征, 并指出, 泥石流暴雨主要是盛夏经向环流背景下的华北暴雨过程; 局地大气有明显潜在不稳定, 降水强度达 60 mm/h 以上; 泥石流暴雨落区是位于地面中尺度能量锋区、能量锋锋生和强水汽辐合的重叠区域。

关键词: 泥石流; 暴雨; 诊断分析; 北京。

一、前 言

北京的山区由燕山山脉军都山和太行山余脉(俗称西山)组成, 有永定河和潮白河两大水系穿过, 面积约一万平方公里。山区大部分海拔高度在 500 m 以上, 超过 2000m 的山峰有百草畔、大海陀山、东灵山, 不少山峰高度在 1200—1800 m。由于山高坡陡、石多土薄、植被稀疏, 加上降水时间集中, 多局地强降水, 易造成泥石流。1950 年以来, 北京山区曾发生 13 次泥石流, 其中六次灾害严重, 造成人畜伤亡、毁房淤田、路破桥垮, 引起政府特别关注。本文就北京的五次严重泥石流(1950 年 8 月 4 日夜间的泥石流, 因缺乏资料, 未做分析), 探讨其与暴雨的关系, 以及泥石流暴雨发生的环境条件等, 以便为探讨泥石流的监测和预防问题提供一些线索。

二、五次泥石流简况

1. 空间分布

这五次泥石流均集中在北京北部山区的潮白河流域。其中四次在密云水库北部和西部山区, 这里都有海拔高度 1000 m 以上的山峰, 山坡陡峭、土石裸露。特别是发生在云蒙山(1416m)和黑坨山(1534m)周围山沟的两次夜间严重泥石流, 造成 200 余人死亡, 一条山沟的几户人家无一幸免。山坡仅有的少量树木也被连根带走, 冲入一个小水库、堵塞溢洪道, 抬高水位, 造成该水库垮坝, 加重灾害。1982 年 8 月 4 日的泥石流位于密云水库东侧, 其地质结构不同, 是一次典型的粘性泥石流。

2. 与降水的关系

从表 1 可见, 泥石流与降水有如下关系:

1990 年 8 月 1 日收到, 11 月 8 日收到修改稿。

表 1 五次泥石流的降水简况

时间	地点 (县)	最大雨量 (mm)	降水强度 (mm/h)	前期降水	降水天气系统
1969 年 8 月 10 日 夜间	密云 怀柔	264.0	58.7 (怀柔气象站) 35.0 (密云气象站)	连续 5 天有降水, 前一日有大一暴雨	蒙古低涡和台风倒槽
1972 年 7 月 27 日 夜间	怀柔 延庆	426.7	114.0 (沙峪)	连续降水十多个小时	台风低压
1976 年 7 月 23 日 上午	密云	358.0	107.1 (古北口气象站) 150.0 (田庄水库)	连续五日有雷阵雨	蒙古低涡
1982 年 8 月 4 日 夜间	密云	>400.0 (调查值)	28.9 (古北口气象站) 60.0 (汗峪)	连续 8 天有降水, 前一日有大一暴雨	蒙古低涡, 低槽
1989 年 7 月 21 日 夜间	密云	387.0		连续三天有雷阵雨	西北涡, 暖切变

1) 四次泥石流发生的前期是连续数天有降水天气, 有的在前一天有大一暴雨过程。这时, 土壤已处于含水饱和状态, 又遇强烈降水而触发泥石流; 另一次(1972 年 7 月 27 日), 虽然前期干旱, 但由于台风低压影响, 泥石流发生前已连续不停地降水十余个小时, 到后期降水强度突然加大到 60 mm/h 以上而触发了泥石流。

2) 这五次泥石流均发生在七月下旬和八月上旬, 这正是北京地区降水量最大、暴

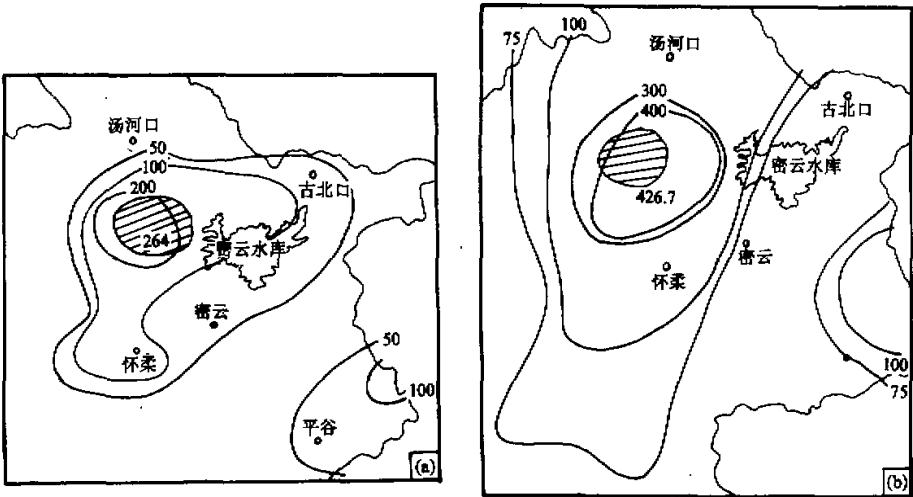


图 1 泥石流发生区(斜线)和日降水量分布(mm)
a: 1969 年 8 月 10 日; b: 1972 年 7 月 27 日。

雨日最多的时段。

3) 泥石流发生区的日雨量均超过 250mm, 而且短历时降水强度惊人, 达 60—150mm/h。从降水量等值线分布来看(利用水文站和气象站降水资料), 泥石流发生区均在最大降水量中心区, 图 1 给出的两个例子可说明这一点。可以认为, 地质结构分布是固定的, 触发泥石流的唯一条件是高强度降水, 或者说是洪暴引起泥石流。因此, 泥石流的监视和预防, 在完成地质结构调查分析之后, 就靠局地强降水落区的临近预报或警报服务。

三、泥石流暴雨天气形势特征

1. 大尺度环流背景和影响系统

泥石流暴雨是发生在经向型环流背景下, 西太平洋副热带高压位置偏北, 中心在日本海, 华北处于典型东高西低形势场中。热带辐合带位置也偏北, 海上有热带低压或台风活动, 甚至有登陆台风直接影响北京地区。低空(850—700 hPa)或有西南暖湿急流, 或有东南暖湿急流抵达华北北部。西风带天气系统表现多种多样(见表1)。因此, 泥石流暴雨实质上是中、低纬天气系统相互作用的结果, 这与近年来对华北特大暴雨环流背景的认识^[1]是一致的, 不再赘述。须指出的是, 泥石流发生前期连续数天的降水, 均是雨量较小的降水, 泥石流暴雨不是持续性特大暴雨过程, 而是移动性特大暴雨过程或局地特大暴雨过程。关键是要把握稳定性降水在何时何地转为对流性强烈降水。

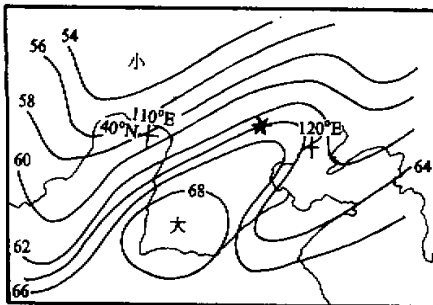


图2 泥石流暴雨当天08时850 hPa平均 T_e 分布
图中等值线数字单位为 $^{\circ}\text{C}$, 星号为泥石流发生区。

2. 低空能量场

图2是五次泥石流暴雨发生的当天08时(北京时间,下同)850 hPa层平均总温度(T_e)场,可见,在华北地区有一个次天气尺度 Ω 形高能舌(图2中 $T_e = 64^{\circ}\text{C}$ 的等值线),两侧为低能舌。高能舌内 $T - T_d$ 值不超过 4°C ,五次平均的北京850 hPa($T - T_d$)= 2°C 。高能舌是具有潜在不稳定的准饱和和暖湿气团。泥石流暴雨发生在最大潜在不稳定区下风方、高能舌顶端西侧的能量锋上。

3. 一个实例

1989年7月21日的泥石流暴雨,是一次位于西太平洋副热带高压西北侧的强对流性降水。直接造成暴雨的天气系统是700—850 hPa层的西北涡和暖切变。从七月中旬开始,西太平洋副热带高压逐日加强,热带辐合带上的热带风暴活跃,在18日和21日先后有两个台风在广东和浙江登陆。低层的东南暖湿气流和西南气流在华北平原汇合,形成一个双 Ω 形准饱和($T - T_d \leq 4^{\circ}\text{C}$)高能舌(图略),在太原和邢台有潜在不稳定中心。暴雨区正位于两个高能舌中间的能量锋区上。诊断分析的结果还显示,泥石流暴雨区也位于低空水汽辐合中心和强锋生的重叠区(图3)。这里,锋生函数是用 Q 矢量近似表示,即准地转锋生函数 $(2PQ \cdot \nabla T/R)^{[2]}$ 。这个结果与文献[3]中用实测风计算锋生函数所得到的结果是一致的。

这次泥石流是发生在密云县西北部白马关河谷,两侧是海拔高度600—1250m的山峰,河谷呈西北—东南走向的喇叭形,地形对降水的增幅作用明显,是不可忽略的。

四、泥石流暴雨前的局地大气层结特征

利用北京探空站(距离泥石流流区 70—100 km)的资料来近似说明泥石流流区大气层结特征。分析表明,除 1972 年 7 月 27 日过程外,其他四次泥石流暴雨当天 08 时的能量廓线均有潜在不稳定能量存在,低层的 T_d 值均超过 15°C , 甚至出现深厚准饱和层。边界层(取 900 hPa)气块的能量平衡高度(对流上限)可达 300 hPa 层附近(图 4), 是属于强对流型的局地大气能量廓线^[4]。而且, 0°C 层高度均在

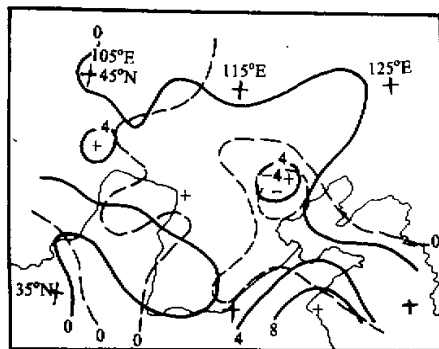


图3 1989 年 7 月 21 日 08 时 850hPa 层的锋生函数(实线)和水汽通量散度(虚线)
实线单位: $\times 10^{-1}^\circ\text{C}/100\text{ km}\cdot\text{h}$,
虚线单位: $\times 10^{-7}\text{ g/s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{hPa}$.

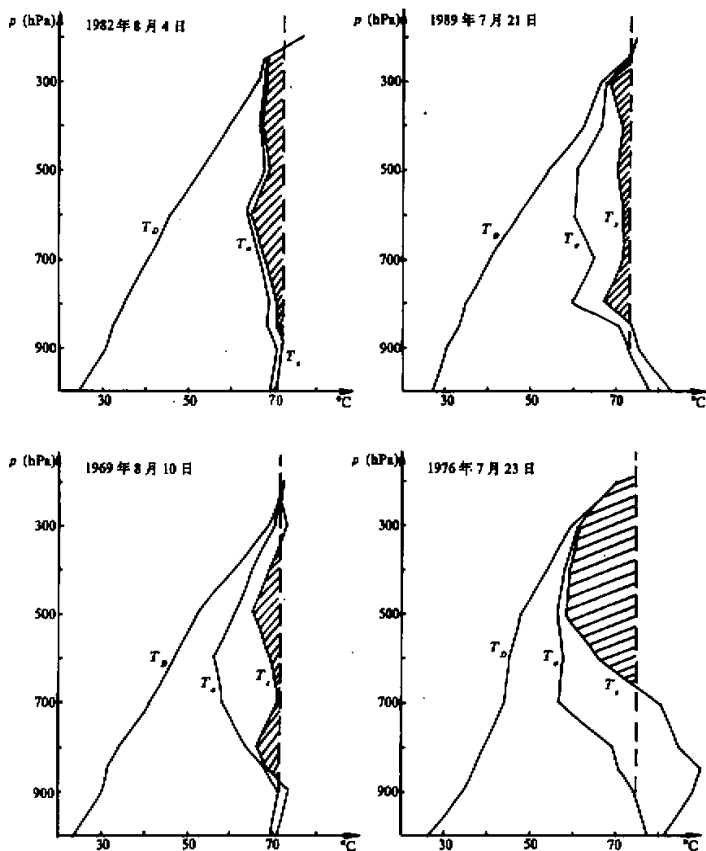


图4 四次泥石流暴雨当天08时能量垂直廓线
斜线区为潜在不稳定, 虚线为过程曲线。

5000m 附近, 其强对流天气表现为暴雨, 而不是降雪^[5].

1972 年 7 月 27 日过程的局地大气层结变化较特殊^[6]. 由于登陆台风的影响, 北京山区从 26 日夜开始出现降水(稳定性), 这反映在单站能量廓线图上, 27 日 02 时到 14 时的大气柱近于中性饱和, 没有潜在不稳定能量. 到 27 日 20 时, 虽然整层大气处于饱和, 但出现了明显潜在不稳定^[6], 27 日夜, 便转成强对流性降水, 强度达 114 mm/h. 这种变化, 从位于泥石流区南侧不到 30 km 的怀柔县气象站逐时雨量变化可见一斑. 记录表明, 27 日 14 时, 降水强度均小于 10 mm/h, 而 14 时以后, 出现四次大于 10 mm/h 的强降水, 最强降水在 22—23 时, 达 22.4 mm/h, 三小时最大雨量为 42.6 mm (22 时—28 日 01 时).

五、地面中尺度特征

利用稠密地面测站资料进行诊断分析, 可看到泥石流暴雨过程具有明显中尺度特征:

(1) 泥石流发生区是位于地面中尺度能量锋区和中尺度辐合区的重叠部位. 如, 1976 年 7 月 23 日 08 时, 在密云水库区域存在一条湿静力总温度梯度达 $21^{\circ}\text{C}/45\text{km}$ 的中尺度能量锋, 并有一条东西走向的中尺度辐合线叠加^[4], 其后 2—4 小时内, 泥石流暴雨(强度为 150 mm/h)正出现在中尺度辐合线北侧的地形迎风坡上. 又如, 1972 年 7 月 27 日 20 时, 有一条南北走向的能量锋区(强度为 $15—25^{\circ}\text{C}/100\text{km}$), 并有同样走向的中尺度辐合区(达 $-2.1 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$)相叠置(图 5). 将图 5 与图 1b 对照, 它正

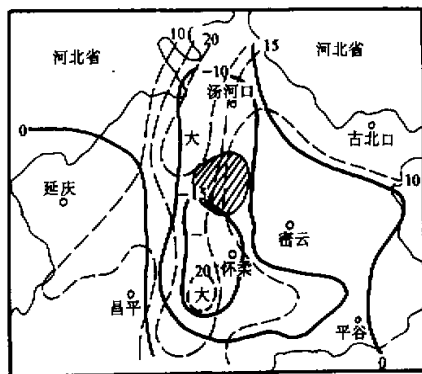


图 5 1972 年 7 月 27 日 20 时
地面总温度水平梯度
(虚线, $^{\circ}\text{C}/100\text{km}$)和散度
(实线, $\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$)分布

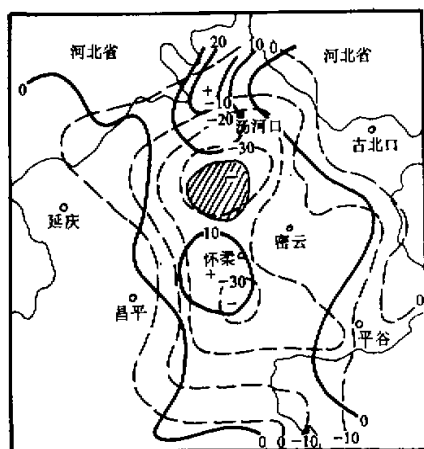


图 6 1972 年 7 月 27 日 20 时地面能量锋生
(实线)和水汽通量散度(虚线)分布图
实线单位: $\times 10^{-1}^{\circ}\text{C}/100\text{km} \cdot \text{h}$,
虚线单位: $\times 10^{-7}\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}$.

好与最大降雨区重合, 未来 6—8 小时, 泥石流就发生在这条中尺度能量锋上的有利地形区.

(2) 泥石流发生区也同时位于地面水汽通量辐合最强区和中尺度能量锋锋生大值区

的重叠部位。1972年7月27日20时,地面水汽通量散度分布表明,泥石流发生区的水汽通量辐合值最大,为 $-39.6 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图6中虚线),而计算地面能量锋锋生

$$\frac{d}{dt} |\nabla T_e| = \frac{1}{2} |\nabla T_e| (|\text{def}| \cos 2\beta - D)$$

式中 $|\text{def}| = \sqrt{(\partial u/\partial x - \partial v/\partial y)^2 + (\partial v/\partial x + \partial u/\partial y)^2}$, D 为散度,可知,泥石流发生区位于锋生区内,与图1b比较,呈南北走向分布的水汽通量辐合区和中小尺度能量锋锋生区的重叠区,也是这次过程夜间最强降水区。

六、结 论

综上所述,北京山区泥石流暴雨的特征主要是:

(1) 在地形条件有利于降水增幅的区域,当连续数天有降水,或经过十多个小时持续降水之后,又遇局地强烈降水,降水强度达 60mm/h 以上时,易产生灾害严重的泥石流。

(2) 北京泥石流暴雨主要是经向型环流背景下的华北暴雨过程,灾害严重的泥石流区的日雨量超过 250mm ,它与热带辐合带上热带涡旋有直接或间接联系,又与低层等压面上的次天气尺度湿斜压扰动— Ω 形高能舌密切相关。

(3) 泥石流暴雨发生前的局地大气层结存在明显潜在不稳定,水汽充沛,暴雨落区是在地面强中尺度能量锋、能量锋锋生和强水汽辐合的重叠地区。利用稠密的地面观测资料和其他遥感监测手段,并考虑地形、地质背景资料,是可能为防范泥石流灾害提供实时临近警报服务的。

致谢:本所邵明轩、葛明、徐红等同志提供了部分计算结果,特致谢意。

参 考 文 献

- [1] 蒋尚城, 1983, 中低纬系统的相互作用和大范围暴雨, 北方天气文集(4), 北京大学出版社, 1-10.
- [2] Barnes, S. L., 1987, Analysis of Quasi-geostrophic Forcing During the ALMCS Project. Vol. I Discussion, NOAA Tech. Memo. ERL ESG-27.
- [3] 张元箴, 1983, 变形率与能量锋锋生, 气象学报, 第41卷第2期, 219-222.
- [4] 雷雨顺等, 1978, 用不稳定能量理论分析和预报夏季强风暴的一种方法, 大气科学, 第2卷, 第4期, 297-306.
- [5] 雷雨顺, 1983, 特大暴雨的几个问题, 北方天气文集(4), 北京大学出版社, 20-27.
- [6] 雷雨顺等, 1978, 冰雹概论, 科学出版社, 41-42.

Basic Characteristics of the Rainstorm-Producing Mud-Rock Flow in Beijing Area

Wu Zhenghua Chu Suolong

(Beijing Meteorological Institute, Beijing, 100081)

Abstract

In this paper, temporal-spatial distribution of the rainstorm-producing mud-rock flow is analysed. It is pointed out that mud-rock flow rainstorm happens mainly in the situation of longitudinal circulation in North China. In the mud-rock flow area, local atmosphere is evidently latent instable, and the rainfall intensity is greater than mm/hour . The rainstorm area is located in the overlapping area of the mesoscale moist statical energy front zone, frontogenesis and strong moisture convergence on the surface.

Key words: Mud-rock flow; Rainstorm; Diagnostic analysis; Beijing.