

# 太行山中部低山丘陵区暴雨过程分析<sup>①</sup>

曹建生<sup>1,2</sup> 刘昌明<sup>1</sup> 张万军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院)

## 提 要

为了加强对太行山区暴雨过程的认识, 利用翻斗式自记雨量计对发生在2000年7月上旬、2004年7月中旬和8月上、中旬的三场暴雨过程进行了测定、分析。初步测得, 最大1分钟降雨3mm, 最大10分钟降雨17.5mm, 最大30分钟降雨30.75mm, 最大1小时降雨45.75mm; 降雨量主要集中在降雨过程的中后期, 在特大暴雨过程中尤为明显。这一暴雨过程特性为暴雨洪水灾害的防治增加了难度。

**关键词:** 暴雨 翻斗式自记雨量计 时程特征

## 引 言

我国是一个气象灾害频繁的国家, 而暴雨则是严重影响我国经济发展、威胁人民生命财产安全的严重气象灾害之一。研究暴雨过程特性, 不论是在小流域水量平衡、雨水转化机制研究中, 还是在防御洪涝灾害的水文预报中均具有十分重要的意义。另外, 该研究对开发、调控新的洪水资源, 扩大现实水资源的领域, 增大现实可用的水资源量, 减少由于降雨时空分布不均而造成水资源潜力的浪费同样有着重要的现实意义。目前, 针对暴雨是在一定的大尺度环流背景下由中、小尺度系统直接影响产生的这一特点, 已有许多科技人员从气象学的角度对暴雨的中尺度特征及影响系统进行了大量研究<sup>[1~9]</sup>, 而有关暴雨过程自身特性的研究还较少。近年来, 由于传感器和数据采集器的飞速发展, 特别是翻斗式自动量水技术的不断发展与完善<sup>[10]</sup>, 为测定和认识暴雨过程的时程分布特征提供了条件。

### 1 研究区概况

研究区位于河北省太行山中部的低山丘

陵区, 该区为中国科学院太行山山地生态试验站(37°52'44"N、114°15'50"E)的重点研究区域。该区地貌属于河北平原向山西高原过渡的低山丘陵区, 海拔高度为247~1014m, 气候属于半干旱半湿润大陆性季风气候, 冬季干旱少雪, 夏季炎热多雨, 多年平均气温13.0℃, 多年平均降雨量560mm, 降水时空分布不均, 其中雨季(7~9月份)降水量占全年降水量的70%左右, 且多以暴雨形式出现, 地质结构为前寒武系滹沱群变质岩组, 出露的岩石主要为花岗片麻岩, 在其表层覆盖有0.5~10m厚的风化层。土壤主要为褐土, 土层薄, 角砾石含量大, 易侵蚀, 具有较高的渗透性能。

### 2 研究方法

本研究中降雨的测定采用美国制造的翻斗式自记数字雨量计(Rain Collector II, Davis Instruments Corp., Hayward, CA, USA, 精度1/100inch或0.25mm)和HOBO型事件记录仪(HOBO Event Logger, H8或H7, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA., 最小响应时间0.5s)完成。

<sup>①</sup> 基金项目: 国家863项目“新型高效雨水集蓄与利用技术研究”(2002AA2Z4051); 研究所创新项目“山地水资源开发与农业可持续发展”项目资助。

### 3 结果与分析

太行山区的降雨年内分配不均,主要集中在7、8月份,且多以暴雨的形式出现,本文利用翻斗式自记雨量计对近几年来,发生的3次暴雨过程进行了测定,并对暴雨过程的时程特征进行了较为详细的分析。为了真实再现降雨过程中某一时刻的降雨实际情况,在进行数据分析时,时间步长均取10分钟,即降雨强度均是根据10分钟内的实际降雨量求出的。

#### 3.1 2000年7月3~5日的降雨过程分析

降雨过程起始于2000年7月3日下午15:00前后,终止于6日下午15:00前后,历时72小时左右,降雨总量达358.25mm,平均降雨强度为 $4.97\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ,最大降雨强度为 $73.5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ,具有历时长,总量大,强度大的特点。最大1分钟降雨2.25mm,最大10分钟降雨13.25mm,最大30分钟降雨30.75mm,最大1小时降雨45.75mm,最大3小时降雨87.25mm,最大6小时降雨108.75mm,最大12小时降雨206.5mm,最大24小时降雨252.25mm,上述特征值均出现在5日的下午及夜间。根据降雨强度常用分级标准<sup>[11]</sup>:当12小时降雨量 $R_{12} > 140\text{mm}$ 及24小时降雨量 $R_{24} > 200\text{mm}$ 时,属于特大暴雨,可知此次降雨为一次特大暴雨。

表1 2000年7月3~6日暴雨时程特征

阶段	起止时间	时段长度/h	时段累积量/mm	时段雨强/ $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	最大雨强/ $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	阶段降雨量/总降雨量
第一阶段	3日 15:00~5日 15:00	48	132.75	2.76	45	37.1%
第二阶段	5日 15:00~6日 3:00	12	206.5	17.21	73.5	57.6%
第三阶段	6日 3:00~6日 15:00	12	19.5	1.63	7.5	5.4%
全历时	3日 15:00~6日 15:00	72	358.25	4.97	73.5	100%

#### 3.2 2004年7月11~12日降雨情况分析

此次降雨过程从2004年7月11日凌晨4:05开始,到2004年7月12日上午10:53结束,历时30小时50分钟,降雨总量为170.25mm,平均降雨强度 $5.50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。图2给出了此次降雨过程的降雨强度和降雨累积曲线。最大1分钟降雨0.75mm,最大10分钟降雨4.50mm,最大30分钟降雨10.00mm,最大1小时降雨18.00mm。上述特征值均出现在2004年7月11日22:00~

图1给出了此次降雨过程的降雨强度及降雨累积曲线图,根据图1降雨强度过程和降雨累积过程的特性,此次降雨的时程分布特征可划分为三个阶段来分析。第一阶段,缓慢积累阶段(3日15:00~5日15:00),持续的时间较长,降雨强度的总趋势是逐渐增加的,但平均时段降雨强度和累积降雨量都不是很大;第二阶段,急剧积累阶段(5日15:00~6日3:00),持续时间相对较短,但时段平均降雨强度和累积降雨量却相对较大;第三阶段,缓慢积累阶段(6日3:00~6日15:00),持续时间相对也较短,但时段降雨强度和累积降雨量与第二阶段相比,均小得多,见表1。

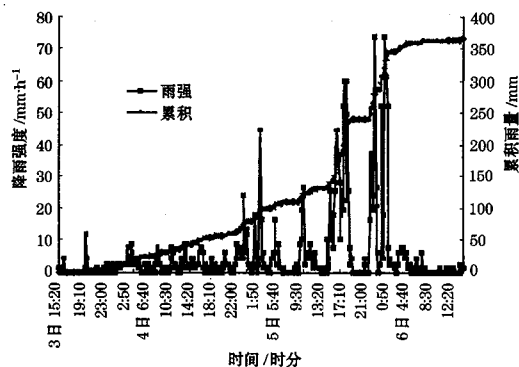


图1 2000年7月3~6日降雨强度及降雨累积曲线

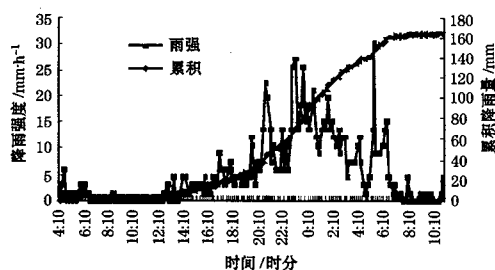


图2 2004年7月11~12日降雨强度及降雨累积曲线

23:00 之间,最大3小时降雨46.75mm,最大6小时降雨73.75mm,最大12小时降雨130.75mm,最大24小时降雨164.50mm。

根据降雨强度常用分级标准<sup>[1]</sup>,此次降雨为一次大暴雨。此次暴雨过程的时程分布特征见表2。

表2 2004年7月11~12日暴雨时程特征

阶段	起止时间	时段长度/h	时段累积量/mm	时段雨强/mm·h <sup>-1</sup>	最大雨强/mm·h <sup>-1</sup>	阶段降雨量/总降雨量
第一阶段	11日4:10~11日12:10	8	4.5	0.56	6	2.6%
第二阶段	11日12:10~12日7:10	19	162.5	8.55	25.5	95.4%
第三阶段	12日7:10~12日11:00	3.83	3.25	0.85	4.5	1.9%
全历时	11日4:10~12日11:00	30.83	170.25	5.5	25.5	100%

3.3 2004年8月9~14日降雨情况分析

降雨过程开始于2004年8月9日凌晨4:45,结束于2004年8月14日早晨7:10,总历时122小时左右,总降雨量为193.75mm,平均降雨强度为1.58mm·h<sup>-1</sup>,最大降雨强度达到了78mm·h<sup>-1</sup>,出现在8月9日的凌晨4:50前后。最大1分钟降雨3mm,最大10分钟降雨17.5mm,最大30分钟降雨29.5mm,最大1小时降雨31.75mm,最大3小时降雨45.75mm,最大6小时降雨58.5mm,最大12小时降雨62.75mm,最大24小时降雨77.25mm。根据降雨强度常用分级标准<sup>[1]</sup>,此次降雨为一次暴雨。

雨强度达到了78mm,虽然持续时间只有1.33小时,但阶段降雨量达到了32.75mm;第二次降雨过程在第一次降雨过程结束后34小时左右开始,在21小时内降雨77.25mm,第三次降雨过程在第二次降雨过程结束后28小时,具体见表3。

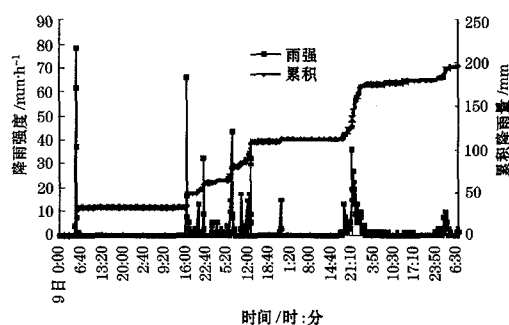


图3 2004年8月9~14日降雨强度及降雨累积曲线

图3给出了此次降雨的降雨强度及降雨累积曲线图。从降雨强度及降雨累积曲线上可以看出,总降雨历时主要包括3次降雨过程,第一次出现在总降雨历时的开始,最大降

表3 2004年8月9~14日降雨时程特征

时段	起止时间	时段长度/h	时段累积量/mm	时段雨强/mm·h <sup>-1</sup>	最大雨强/mm·h <sup>-1</sup>	阶段降雨量/总降雨量
1*	9日4:30~9日5:50	1.33	24.6	78	32.75	16.9%
2	9日5:50~10日16:10	34.33	0	0	0	0
3*	10日16:10~11日13:10	21	3.68	66	77.25	39.9%
4	11日13:10~11日22:10	9	0	0	0	0
5*	11日22:10~11日22:40	0.5	6.5	15	3.25	1.7%
6	11日22:40~12日17:10	18.5	0	0	0	0
7*	12日17:10~14日7:10	38	2.11	36	80.5	41.5%
总历时	9日4:30~14日7:10	122.66	1.58	78	193.75	100%

注:带“\*”的时段为降雨过程时段。

3.3.1 第一时段降雨过程分析

图4给出了第一时段降雨强度及降雨累积曲线。此次降雨过程从2004年8月9日凌晨4:30开始,到5:50结束,历时1小时20分钟,总降雨量32.75mm,平均降雨强度

24.6mm·h<sup>-1</sup>。最大1分钟降雨为3mm,出现在4:46;最大10分钟降雨为17.5mm,出现在4:45~4:55期间,最大30分钟降雨为29.5mm,出现在4:40~5:10期间。降雨主要集中在降雨过程的前期,在4:40~5:10的

30分钟期间,降雨量29.5mm,占总降雨量的90%。

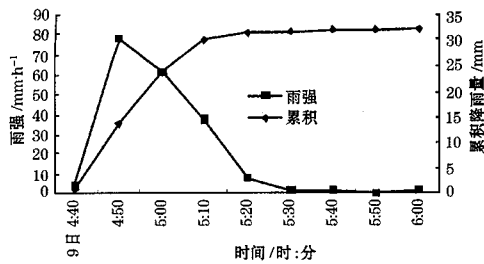


图4 2004年8月9日降雨强度与降雨累积曲线图

### 3.3.2 第三时段降雨过程分析

图5给出了第三时段的降雨强度及降雨累积曲线图。此次降雨过程从2004年8月10日下午16:16开始,到2004年8月11日中午13:10结束,历时21小时左右,总降雨量为77.25mm,平均降雨强度为3.68mm·h<sup>-1</sup>,最大降雨强度为66mm·h<sup>-1</sup>。由降

雨强度及降雨累积曲线可以看出,在长达21小时的整个降雨历时内,共发生4次强降雨过程,其中,第一次的平均降雨强度及最大降雨强度在4次中均是最大的,分别达到了26.35mm·h<sup>-1</sup>和66mm·h<sup>-1</sup>;具体情况见表4所示。由表4可知,4次降雨过程的时间占总降雨历时的42.1%,降雨量占总降雨量的93.1%。

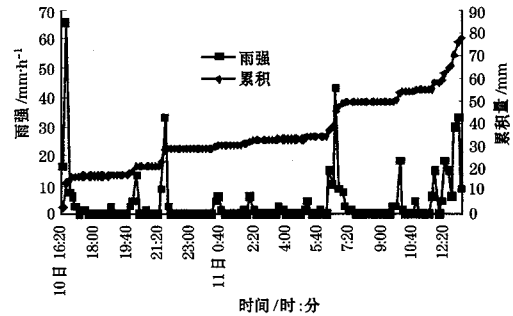


图5 2004年8月10~11日降雨强度与降雨累积曲线

表4 2004年8月10~11日降雨时程特征

时段	起止时间	时段长度/h	时段累积雨量/mm	时段雨强/mm·h <sup>-1</sup>	最大雨强/mm·h <sup>-1</sup>	阶段降雨量/总降雨量
1*	10日16:16~10日16:53	0.62	26.35	66	16.25	21%
2	10日16:53~10日19:42	1.82	0	0	1.25	1.6%
3*	10日19:42~10日21:42	3	3.83	33	11.5	14.9%
4	10日21:42~11日5:43	8.02	0	0	5.0	6.5%
5*	11日5:43~11日7:21	1.63	9.18	43.5	15	19.4%
6	11日7:21~11日9:37	2.27	0	0	0.5	0.65%
7*	11日9:37~11日13:10	3.55	7.82	33	27.75	35.9%
总历时	10日16:16~11日13:10	20.9	3.68	66	77.25	100%

注:带“\*”的时段为主要降雨过程时段。

### 3.3.3 第七时段降雨过程分析

图6给出了第七时段的降雨强度及降雨累积曲线图。此次降雨过程从2004年8月12日下午17:09开始,到2004年8月14日凌晨7:10结束,总历时38小时,总降雨量为80.5mm,平均降雨强度为2.11mm·h<sup>-1</sup>,最大降雨强度为36mm·h<sup>-1</sup>。最大1分钟降雨量为0.75mm,最大10分钟降雨量为6.5mm,最大30分钟降雨量为11.75mm,最大1小时降雨量为22.25mm,上述特征值均出现在2004年8月12日晚上21:00~22:00。最大3小时降雨45.75mm,最大6小时降雨58.5mm。图6可以看出,此次降雨主要集中在前期,其降雨量约占总降雨量的73%左右,具体时程分布特征见表5。

在前期,其降雨量约占总降雨量的73%左右,具体时程分布特征见表5。

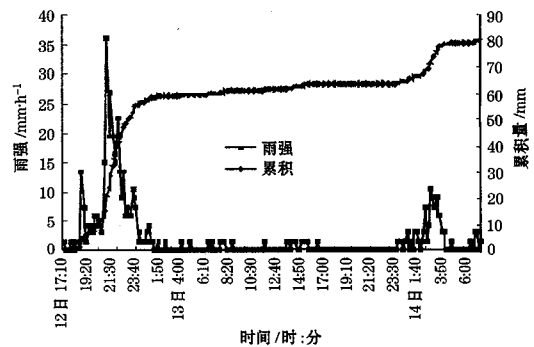


图6 2004年8月12~14日降雨强度及降雨累积曲线

表5 2004年8月12~14日降雨时程特征

时段	起止时间	时段长度/h	时段累积雨量/mm	时段雨强/mm·h <sup>-1</sup>	最大雨强/mm·h <sup>-1</sup>	阶段降雨量/总降雨量
1	12日17:10~13日1:30	8.67	58.75	6.78	36	73%
2	13日1:30~13日16:30	15	5	0.33	1.5	6%
3	13日16:30~13日23:40	6.67	0	0	0	0
4	13日23:40~14日7:10	7.68	16.75	2.18	10.5	21%
总历时	12日17:10~14日7:10	38	80.5	2.11	36	100%

4 小结

本文利用翻斗式自记雨量计,测得2000年以来,太行山区最大1分钟降雨为3mm,最大10分钟降雨17.5mm,最大30分钟降雨30.75mm,最大1小时降雨45.75mm。通过对3次暴雨过程的分析,发现3次暴雨过程有一个共同点,即降雨强度的时程变化很大,特征不明显,同时降雨量主要集中在降雨过程的中后期,在特大暴雨过程中尤为明显。

翻斗式自记雨量计与事件记录仪(HO-BO型)相结合,能够很好的完成对降雨过程的自动测定,并根据测定结果,可以计算出任一时段内的降雨量,即任一时刻的降雨强度;主要问题是数据分析的工作量较大,同时翻斗式自记雨量计使用一段时间后,脉冲发生器(磁簧开关)容易产生“连带假脉冲信号”,即伴随真脉冲信号的产生,“舌簧管”多闭合一次,因此在进行数据统计时,首先要将“连带假脉冲信号”删除。

降雨强度是指单位时间内的降雨量,而在实际中某一时刻的降雨强度是根据以该时刻为中心的一小段时间内的降雨量计算出来的,由于降雨过程是变化的,因此计算时段的大小直接影响着某一时刻降雨强度的真实

度,在理论上是计算时段越小,计算出的降雨强度的真实度越高,但在实际中无法做到降雨强度的绝对真实。

参考文献

- 1 罗秋红. 1996年4月19~20日我省暴雨过程分析. 广东气象, 1996, (2): 22~24.
- 2 雷崇典, 邓小丽, 杨金海. 2002-07-04子长特大暴雨中尺度分析. 陕西气象, 2004, (1): 4~8.
- 3 刘素洁, 卢娟, 魏薇等. 2002年8月4日辽南特大暴雨成因分析. 辽宁气象, 2003, (3): 10~12.
- 4 苏爱芳, 郑世林. 960917河南暴雨过程分析. 河南气象, 1997, (4): 11~12.
- 5 李象玉, 纪英惠, 潘志祥. 暴雨过程的中尺度分析. 气象, 1999, 25(9): 31~44.
- 6 赵贤产, 华云峰. 一次连续暴雨过程的特征分析. 浙江气象, 2003, 24(4): 12~17.
- 7 齐艳军, 程明虎, 仪清菊. 98.7湖北特大暴雨的天气分析与降水模拟. 气象, 2004, 30(3): 12~16.
- 8 毕宝贵, 李晓莉, 李泽椿. 1997年7月19日影响北京地区的暴雨个例分析. 气象, 2004, 30(6): 18~23.
- 9 王丽荣, 连志鸾. 石家庄市强暴雨的气候特征和环流形势分析. 气象科技, 2004, 32(2): 97~100.
- 10 曹建生, 刘昌明, 张万军. 基于翻斗法的自动量水技术及其应用. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 49~52.
- 11 任树梅, 朱仲元, 张文萍, 王丽学. 工程水文学. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 16~24.

Heavy Rainfall Process in Hill Area of Middle Part of Taihang Mountain

Cao Jiansheng<sup>1,2</sup> Liu Changming<sup>1</sup> Zhang Wanjun<sup>1</sup>

(1. Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, CAS, Shijiazhuang 050021;

2. The Graduate School of Chinese Academy of Sciences)

Abstract

With tipping bucket and self-recording rain meter, the three heavy rainfall events, in the first ten days of July in 2000, in the middle ten days of July and in the first and middle ten days of August in 2004 in Taihang mountain area, are monitored and analyzed. The monitored max rain intensity are 3mm in one minute, 17.5mm in ten minutes, 30.75mm in half an hour, 45.75mm in an hour. The rain density varied in time largely and had no clear characters. Rainfall mainly accumulated in the middle and latter period of a event, especially during heavy rain period.

**Key Words:** tipping bucket and self-recording rain meter time character heavy rainfall