

文章编号 : 1673-8411 (2019) 02-0025-06

## 基于芝加哥法的桂林市短历时暴雨特征分析

周绍毅<sup>1</sup>, 苏志<sup>1</sup>, 廖雪萍<sup>2</sup>, 何如<sup>1</sup>

(1. 广西气象服务中心, 南宁 530022; 2. 广西气象科学研究所, 南宁 530022)

**摘要:** 利用桂林气象站 1957-2014 年逐分钟降雨资料, 运用线性倾向估计、M-K 突变检验方法分析了桂林市短历时暴雨变化特征, 采用芝加哥法推算了重现期 2a, 历时 30-180 min 的暴雨雨型。结果表明: (1) 桂林市各短历时最大降雨量均呈增加趋势, 30-90min 最大降雨量增加趋势较为显著, 120-180min 最大降雨量增加趋势不明显; (2) 各历时前 10 个降雨极值在 1986-2014 年间出现的个数大于 1957-1985 年间, 降雨极端值均出现在 1978 年以后, 各历时年最大降雨量变化均未有明显的突变; (3) 桂林市短历时暴雨雨型为单峰型, 30-90min 雨峰位置降雨量随着历时的增加而增加, 90-150min 雨峰位置降雨量随着历时的增加先减少后增加, 雨峰位置基本处于整场降雨过程的 1/3 分位; (4) 30min 和 60min 降雨过程的累积降雨量一开始出现激增变化, 随后增速趋于平缓, 历时 90-180min 降雨过程的累积降雨量经过平缓增加-激烈增加-平缓增加的过程。

**关键词:** 芝加哥法; 短历时; 雨型; 桂林市

中图分类号: P429

文献标识码: A

## Analysis of Short-duration Rainstorm Characteristics in Guilin City Based on Chicago Method

Zhou Shaoyi<sup>1</sup>, Su Zhi<sup>1</sup>, Liao Xueping<sup>2</sup>, He Ru<sup>1</sup>

(1. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022;

2. Guangxi Meteorological Society, Nanning 530022)

**Abstract:** Based on the minute-by-minute rainfall data of Guilin meteorological station from 1957 to 2014, the variation characteristics of short-duration rainstorm in Guilin City are analyzed by linear tendency estimation and M-K mutation test. The rainstorms have a 2a recurrence period and last 30-180 min are calculated by Chicago method. The results show that: (1) the maximum precipitation in each short duration of Guilin City shows an increasing trend, the increasing trend of a duration ranges from 30 to 90 minutes is more significant, while 120-180 minute duration is not obvious; (2) the extremum number of the top 10 rainfall duration in 1986-2014 is greater than that in 1957-1985; the extreme precipitation values all appear after 1978, and there was no abrupt change in the annual maximum precipitation. (3) The short-duration rainstorm pattern in Guilin is single-peak, the peak position of the rainfall duration between 30 and 90 minutes increases with the increase of duration; when the duration ranges from 90 to 150 minutes, the peak position decreases first and then increases with the increase of duration, and the location of the rain peak is basically 1/3 of the whole rainfall process; (4) the cumulative rainfall of the 30-minute and 60-minute rainfall process changes sharply at the beginning, and then the growth rate tends to be flat. The cumulative rainfall ranges from 90 to 180 minutes shows a process of gentle increase-intense increase-gentle increase.

**Keywords:** Chicago Law; dhort duration; rainfall pattern; Guilin City

收稿日期: 2019-01-20

基金项目: 广西气象局气象科研项目 (桂气科 2017TG02) 和广西气象服务中心科研项目 (201809)

作者简介: 周绍毅 (1980-), 男, 广西藤县人, 高级工程师, 从事气候应用与气候资源研究工作。E-mail: 343173058@qq.com

## 引言

桂林地处我国华南的亚热带季风气候区, 每年汛期都会受到几场大暴雨袭击, 而城市暴雨内涝与大暴雨息息相关, 强度大的短历时暴雨是造成城市内涝的主要原因<sup>[1]</sup>。近年来, 桂林市常发生暴雨内涝, 对道路交通和人民的出行造成严重影响。如 1996 年 4 月 18 日 08 时至 19 日 08 时, 受地面冷锋、850hPa 切变线、500hPa 西风槽和 700hPa 低涡的共同影响, 桂林遭受暴雨袭击, 过程雨量达 301mm, 造成市区道路被淹、交通受阻、许多地势低的单位被水围困, 损失严重<sup>[2]</sup>; 2007 年 6 月 7-9 日, 桂林市出现入汛以来的第一场大暴雨, 24h 雨量达 112.7mm, 突降的暴雨使漓江突破警戒水位, 迎来 2007 年首个洪峰, 洪水漫进市区, 导致多个路段出现内涝现象<sup>[3]</sup>。近年来, 许多学者分析研究了广西的降雨气候特征<sup>[4-8]</sup>, 但研究城市短历时暴雨特征的较少。本文利用桂林市 1957-2014 年的降雨量资料, 研究桂林市短历时暴雨特征, 对短历时暴雨预警预报、城市排水防涝设计以及防涝治涝总体部署具有重要意义。

## 1 资料来源与方法

### 1.1 资料来源

采用广西气象信息中心提供的桂林气象站 1957-2014 年分钟降雨量资料。

### 1.2 短历时暴雨变化分析方法

线性倾向估计法计算短历时暴雨的长期变化趋势及大小。采用蒙特卡罗方法来估计相关系数的临界值, 蒙特卡罗检验方法近年来广泛应用于气象相关检验中, 比  $t$  检验更加能够反映出相关的真实性<sup>[9-11]</sup>。应用 M-K 检验法对短历时暴雨进行时间序列突变检验<sup>[12]</sup>。

### 1.3 芝加哥雨型确定方法

采用芝加哥法确定桂林市短历时暴雨雨型。芝加哥法雨型为一定重现期下不同历时最大雨强复合而成, 雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程线模型确定<sup>[13]</sup>, 具体技术流程如图 1 所示。

### 1.4 降雨量阈值指标

雨量阈值指标根据一年一遇降雨量大小来设定, 桂林市降雨量阈值指标见表 1。

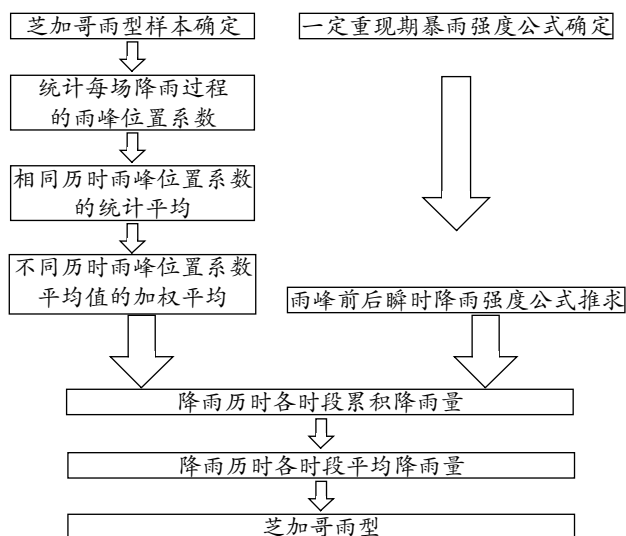


图 1 芝加哥法雨型技术流程图

## 2 结果与分析

### 2.1 短历时暴雨变化特征

从桂林市逐年分钟雨量资料中挑选 30、60、90、120、150、180min 共 6 个降雨历时的每年最大降雨量值, 用来分析短历时暴雨变化特征。桂林市各短历时年最大降雨量的变化趋势见图 2 和图 3, 各短历时最大降雨量均呈增加趋势, 其中 30min、60min 和 90min 年最大降雨量气候倾向率分别为  $1.15\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $2.13\text{mm}(10\text{a})^{-1}$  和  $2.00\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 增加趋势较为显著, 通过了 90% 的信度水平, 120min、150min 和 180min 年最大降雨量的气候倾向率分别为  $1.61\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $1.67\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$  和  $1.92\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 增加趋势不明显。

为进一步分析桂林市暴雨的时间变化特征, 将各降雨历时多年最大降雨量由大到小排序, 提取前 10 个最大值, 并以 1985 年为界将 1957-2014 年平均分为两个时间段进行统计 (表 2)。由表可见, 1986-2014 年间 10 个降雨极值出现的个例数大于 1957-1985 年, 各短历时降雨极端最大值出现在 1978 年以后。以上分析说明, 桂林市极端强降水事件多出现在 20 世纪 70 年代后期以后。

表 1 桂林市降雨量阈值指标

历时 /min	降雨时长 /min	阈值指标 /min
30	[15, 45]	14
60	[45, 75]	16
90	[75, 105]	18
120	[105, 135]	20
150	[135, 165]	22
180	[165, 195]	24

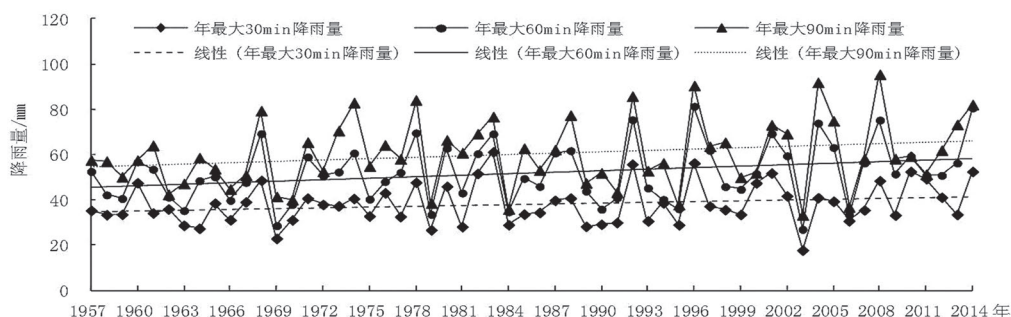


图2 桂林市年最大 30min、60min、90min 降雨量变化曲线

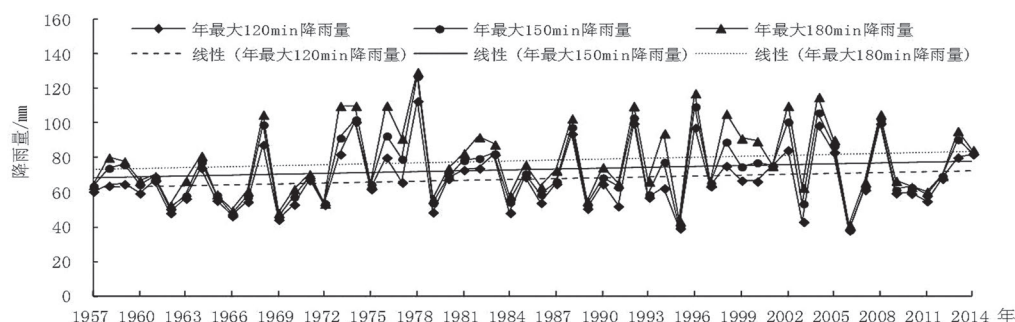


图3 桂林市年最大 120min、150min、180min 降雨量变化曲线

表2 桂林市各短历时降雨量气候倾向率和最大的10个降雨极值分布

降雨历时 /min	气候倾向率 /mm·(10a) <sup>-1</sup>	1957-1985 年间 出现的个例数	1986-2014 年间 出现的个例数	极端最大值 /mm	出现年份
30	1.15*	3	7	61.3	1983
60	2.13**	3	7	81.4	1996
90	2.00*	4	6	95.6	2008
120	1.61	3	7	113.1	1978
150	1.67	4	6	127.3	1978
180	1.92	4	6	129.9	1978

注: “\*”, “\*\*” 分别表示达到 90%, 95% 的信度水平。

## 2.2 短历时暴雨突变检验

图4为桂林市各短历时暴雨M-K检验曲线。30min、60min和90min最大降水量的变化特征较为相似,均出现减少—增加—减少—增加趋势,其中70年代初以来呈持续增加趋势,但未达到 $\alpha=0.05$ 显著性水平(图4a-c);120min、150min和180min最大降水量的变化特征也较为相似,1957-1962年呈增加趋势,1963-1973年呈减少趋势,1974-2014年呈增加趋势,减少和增加趋势均未达到 $\alpha=0.05$ 显著性水平(图4d-f);各短历年最大降雨量均未有明显的突变。

## 2.3 短历时雨型特征

### 2.3.1 降雨场次分析

根据不同降雨历时对应的降雨时长(见表1),统计得到桂林市不同降雨历时大于阈值指标的所

有降雨场次。表3为30min历时降雨量大于阈值指标的所有降雨场次,历时30min的场次共有23场,只有单峰和双峰两种类型,其中单峰型19场,占82.6%,有14场的峰值出现在降雨过程前部;双峰型有4场,占17.4%。23场降雨中,有9场出现在2000年之后,占39.1%,降雨量最大值为43.9 mm,出现在2014年。

通过分析其他降雨历时(60min、90min、120min、150min和180min)降雨场次,可以发现单峰型的降雨场次占总降雨场次56%,在单峰型降雨中80%降雨场次峰值出现在降雨过程前部(表略)。

### 2.3.2 雨峰位置系数

根据芝加哥雨型确定方法,以5min为间隔将各历时的最大降雨过程进行分段,统计每场降雨过程的雨峰位置系数,再将相同历时的雨峰位置系数求平均,得到各历时平均雨峰位置系数<sup>[13]</sup>(见表4),

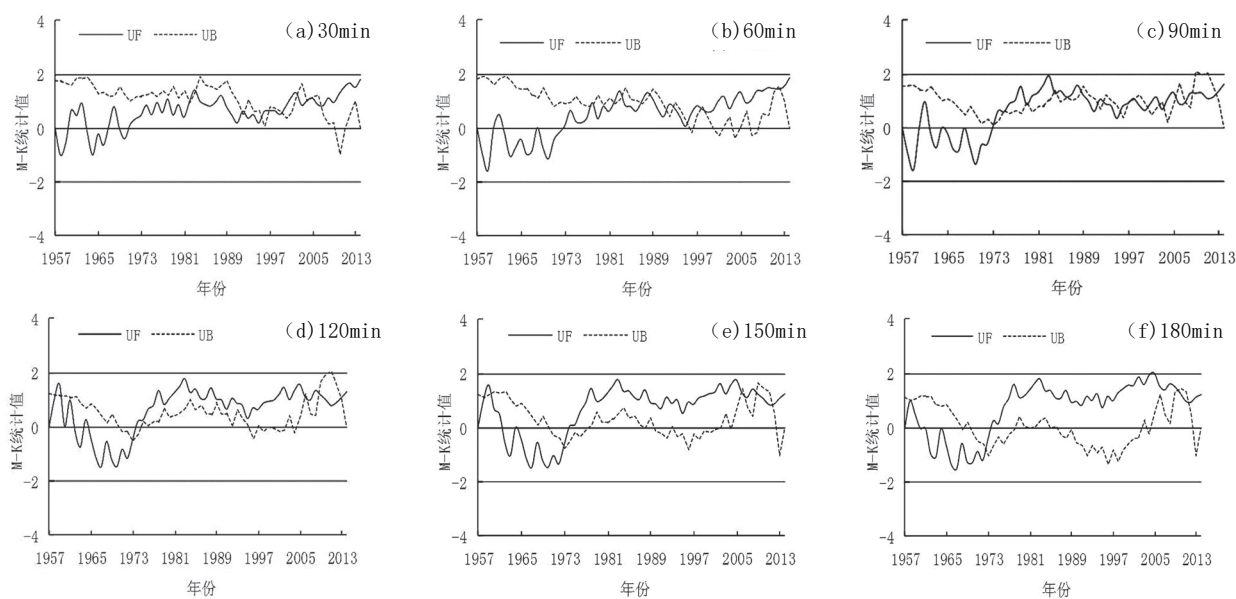


图4 桂林市各短历时年最大降雨量 M-K 检验曲线

表3 桂林历时 30min 降雨场次样本

降雨开始时间 (年/月/日时:分)	历时 /min	降雨量 /mm	峰型	峰值位置
1961/07/10 17:23	31	14.88	单	前
1967/05/03 14:57	30	17.50	单	前
1976/08/02 21:27	21	21.60	单	前
1977/05/12 19:25	29	15.50	单	前
1978/07/21 19:17	35	14.10	单	前
1979/07/18 15:23	37	20.42	单	前
1984/06/29 17:03	41	19.28	双	前后
1984/07/22 23:54	36	14.13	双	前后
1985/06/10 11:55	41	18.32	双	前后
1987/06/28 03:09	29	15.13	单	中
1987/07/01 15:01	36	21.17	单	前
1990/04/03 05:47	44	22.29	单	后
1994/08/15 14:51	34	21.81	单	前
1994/08/29 16:50	24	18.68	单	前
2004/06/15 13:28	33	14.00	单	前
2004/07/03 16:32	44	19.10	单	后
2005/06/15 23:19	44	18.10	单	前
2007/07/15 01:06	17	18.40	单	前
2009/07/31 16:25	37	31.60	单	中
2009/09/07 19:46	22	15.30	单	前
2013/05/24 18:28	32	14.40	双	前后
2014/07/16 18:36	32	43.90	单	后
2014/08/02 15:46	32	20.20	单	前

表4 桂林市重现期 2a 各降雨历时的峰值、雨峰时段和雨峰系数

降雨历时 /min	峰值 /mm	雨峰时段 /5min	雨峰系数
30	11.22	2	0.405
60	12.15	4	0.297
90	12.25	6	0.315
120	11.14	8	0.257
150	10.63	9	0.343
180	11.99	11	0.251

由表可见, 各降雨历时雨峰位置系数在 0.251~0.405 之间, 30min 雨峰位置系数最大, 降雨历时 180min 最小。将所有历时的雨峰位置系数进行加权平均, 得到桂林市综合雨峰系数为 0.295。

### 2.3.3 暴雨雨型特征

基于芝加哥雨型确定方法, 计算得到桂林市短历时暴雨雨型。图 5a 为重现期  $P=2a$ , 降雨历时为 30min、60min、90min、120min、150min 和 180min, 以 5min 为间隔的降雨过程, 即暴雨雨型分布。由图可知, 各降雨历时的暴雨雨型为单峰型, 降雨历时 30~90min, 雨峰位置降雨量随着历时的增加而增加, 由 30min 的 11.22mm 增加到 90min

的 12.25mm (表 4), 降雨历时 90~150min, 雨峰位置降雨量随着历时的增加而减少, 而后又开始增加。降雨历时 30min、60min、90min 和 150min 的峰值分别发生在第 2、第 3、第 6 和第 8 时段, 雨峰位置处于整场降雨过程的 1/3 分位。降雨历时 150 和 180min 的峰值分别发生在第 9 和第 11 时段, 雨峰位置略超前于整场降雨过程的 1/3 分位。

图 5b 是基于芝加哥法推求得到的重现期  $P=2a$  各降雨历时的累积降雨量分布图。由图可见, 历时 30 和 60min 的降雨过程的累积降雨量一开始出现激增变化, 随后增速趋于平缓, 历时 90~180min 降雨过程的累积降雨量经过平缓增加—激烈增加—平缓增加的过程。

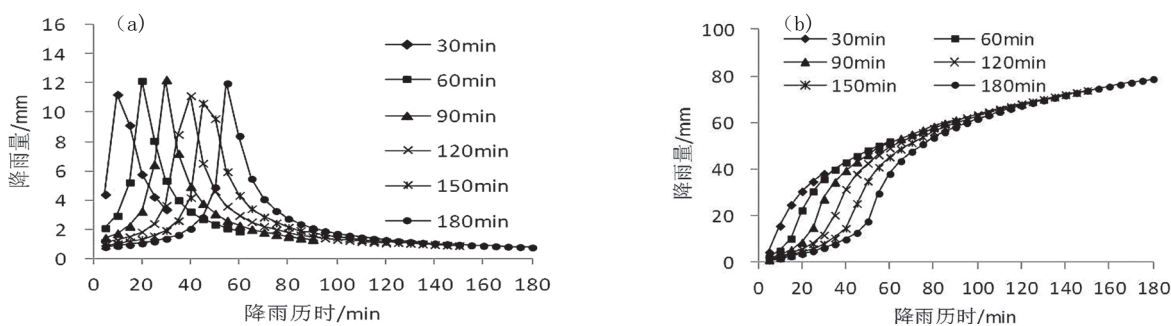


图 5 桂林市重现期 2a 各降雨历时设计暴雨雨型 (a)、累积降雨量 (b) 分布

## 3 结论

利用桂林气象站 1957~2014 年逐分钟降雨资料, 分析了桂林市短历时暴雨变化特征, 采用芝加哥法推算了重现期 2a, 历时 30min、60min、90min、120min、150min、180min 的暴雨雨型, 主要结论如下:

(1) 桂林市各短历时最大降雨量均呈增加趋势, 30min、60min 和 90min 最大降雨量增加趋势较为显著, 120min、150min 和 180min 最大降雨量增加趋势不明显; 各历时前 10 个降雨极值在 1986~2014 年间出现的个数大于 1957~1985 年间, 降雨极端值均出现在 1978 年以后; 各短历时年最大降雨量变化均未有明显的突变。

(2) 桂林市短历时暴雨雨型为单峰型, 30~90min 雨峰位置降雨量随着历时的增加而增加, 90~150min 雨峰位置降雨量随着历时的增加先减少后增加。雨峰位置基本处于整场降雨过程的 1/3 分位。30min 和 60min 降雨过程的累积降雨量一开始出现激增变化, 随后增速趋于平缓, 历时 90~180min 降雨过程的累积降雨量经过平缓增加—激烈增加—平缓增加的过程。

### 参考文献:

[1] 周绍毅, 卢小凤, 罗红磊. 南宁市短历时暴雨演变特

征分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1): 64~67.

[2] 李向红, 孙莹, 吕小艳, 等. 桂林“96.4”大暴雨成因分析 [J]. 广西气象, 1997, 18(S1): 20~23.

[3] 邱奕炜, 盛晖, 刘熔熔. 桂林市“06.07”大暴雨成因分析 [J]. 气象水文海洋仪器, 2009, 26(1): 87~92.

[4] 林振敏, 姚才, 郑宏翔, 等. 广西 6~8 月分级降水的气候特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2): 36~41.

[5] 覃志年, 何慧, 况雪源. 广西季气温、降水量异常频次的时空分布特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2): 27~30.

[6] 丘平珠, 唐炳莉. 广西降水强度的气候分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 50~52.

[7] 黄名慧, 樊俏丽. 南宁城区“7.18”灾害性强降水分 29(S1): 25~26.

[8] 周绍毅, 苏志, 李强. 广西 5 个主要极端降雨指数变化趋势分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(3): 8~13.

[9] LIVEZEY R E, CHEN W Y. statistical field significance and determination by Monte Carlo technique [J]. Mon Weal Rev, 1983, 111(1): 46~59.

[10] 施能, 魏凤英, 封国林. 气象场相关分析及合成分析中的蒙特卡洛检验 [J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(3): 355~359.

[11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37~40.

[12] 住房和城乡建设部. 中国气象局. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则 [S]. 2014.

[13] 周绍毅, 罗红磊, 苏志, 等. 南宁市新一代暴雨强度公式与暴雨雨型研究 [J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2): 1~5+9.