

基于防洪排涝设计的鄂州市短历时暴雨雨型研究

徐文昊¹, 王小玲², 张 奇¹

¹民航湖北空管分局, 湖北 武汉

²武汉中心气象台, 湖北 武汉

Email: 290530576@qq.com

收稿日期: 2021年4月14日; 录用日期: 2021年5月20日; 发布日期: 2021年5月27日

摘 要

采用鄂州市国家气象观测站1980~2017年共38a的逐分钟降水资料, 利用芝加哥雨型分析法推求鄂州市区重现期2a历时30、60、90、120、150、180 min以5 min为单位时段的设计短历时暴雨雨型, 结果表明: 利用芝加哥法推求鄂州市区各降水历设计暴雨雨型基本呈单峰形, 短历时降水样本中单峰型所占比例最大, 雨峰位于整场降水过程的前、中部; 暴雨雨型雨峰位置超前于整场降水过程的1/2分位, 各历时的降水强度随着重现期的延长而增大; 利用芝加哥法推求的鄂州市暴雨雨型具有“单峰型、来得快、强度大、长尾巴”的特点。因此当短历时暴雨发生时, 鄂州市水利、水文、住建、防洪等相关应在第一时间做好排水排涝准备, 防止降水强度过大导致城市内涝灾害。

关键词

暴雨雨型, 雨峰位置, 降水历时

Study on Short Duration Rainstorm Pattern Based on Flood Control and Drainage Design in Ezhou City

Wenhao Xu¹, Xiaoling Wang², Qi Zhang¹

¹Hubei Sub-Bureau of Middle South Air Traffic Management Bureau, CAAC, Wuhan Hubei

²Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan Hubei

Email: 290530576@qq.com

Received: Apr. 14th, 2021; accepted: May 20th, 2021; published: May 27th, 2021

Abstract

Using the minute-by-minute rainfall data of 38 years from 1980 to 2017 at Ezhou National Meteorological Observation Station, and the Chicago rain pattern analysis method, the design short-duration rainstorm pattern for Ezhou urban area with a return period of 2 years of 30, 60, 90, 120, 150, 180 min and a unit of 5 min was obtained. The results indicate that based on Chicago method, the design rainstorm pattern of Ezhou urban area is basically unimodal, the unimodal type accounted for the largest proportion in the short duration precipitation samples, the rain peak is located in the front and middle of the whole precipitation process; the location of the rainstorm peak was half of the whole precipitation process; and the precipitation intensity of each duration increased with the extension of the return period. The heavy rain pattern of Ezhou city is characterized by its "unimodal type, quick coming, stronger, long duration" by using Chicago method. So when a short duration rainstorm occurs, Ezhou water conservancy, hydrology, housing, flood control and so on should be ready for drainage and flood discharge in the first time to prevent urban waterlogging disaster caused by excessive rainfall intensity.

Keywords

Rainstorm Pattern, Location of Rain Peak, Time of Precipitation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

暴雨是我国主要气象灾害之一，对人民的生命安全与农业工业的生产都会带来严重危害。在全球气温逐渐变暖背景下，我国各地的极端暴雨事件时有发生，其中城市暴雨渍涝灾害成为近年来最受关注的城市灾害之一。当发生强降水事件时，城市排水系统径流如何科学地设计，是有效减少城市渍涝灾害的重点所在，也是各级政府及职能部门应该重视的问题。雨型的定义是说明降水的过程，表示降水强都在各个时间段内的分布情况。设计雨型就是在体现设计暴雨的降水强度情况，代表大多数暴雨雨型的平均情况综通过大数据的实时暴雨雨型体现。设计暴雨的雨型的重要性体现在城市建设中的排水管网规划设计中。设计雨量的确定也能够影响城市排水管网管径计算和调洪计算，通过不同的雨型计算出完全不同的洪峰流量和洪水过程线。据研究，在汇流历时内平均雨强相同条件下，雨峰在中部或后部的三角形雨型比均匀雨强的洪峰大 30%以上[1]。因此设计合理的暴雨雨型是科学进行城市建设与规划的依据。

国外诸多学者近些年设计了不同方法对城市短历时设计暴雨雨型进行分析。前苏联的包高马佐娃等人在 20 世纪 40 年代就提出过将雨型划分成 7 类的说法[2]，随后，人们利用计算机，采用模糊识别法来判断雨型[3]。Knifer 和 Chu 基于暴雨强度公式提出了峰值时刻的统计方法及峰值前后的瞬时暴雨强度计算公式，进而得到了一种不均匀的设计雨型——芝加哥雨型[4] [5]。Pilgrim 和 Cordery 基于数理统计原理提出一种无级序平均法推求设计暴雨雨型[6]。王家祁提出了“短推长”和“长包短”两种雨型方法[7] [8] [9]，这两种方法用较多的雨型场次避免了传统典型暴雨进行频率放大作为设计雨型偶然性较大的不足；武晨均与王敏用这个方法研究本地区的设计雨型[10]，也取得了一定成果。

鄂州市位于湖北省东部，滨于长江中游南岸。处在我国南北气候的交界线上，属亚热带季风气候区，

年平均降水量处于湖北省雨情最多区域之一，为 1402 毫米。鄂州市中心城区地形总体地势呈南高北低，中间高东西低的趋势，地形多样，地貌复杂，丘陵、垄岗、平原、滩地、湖泊兼而有之。当出现暴雨后，城市雨水经雨水口、雨水管、排洪沟等依次收集后，排入洋澜湖。但由于鄂州城区排水分区较混乱，无明确有效的分区，内涝风险严重，因此能够为城市径流设计和排水规划产生影响的暴雨雨型研究势在必行，而截止目前，鄂州市尚未进行暴雨雨型涉及，因此本文利用鄂州市气象站共 38a (1980~2017 年) 的连续降水资料，遴选分析降水过程确定暴雨雨型，通过此方法为鄂州市暴雨径流控制设施的设计提供依据。

2. 资料与方法

使用芝加哥雨型分析法分析鄂州市国家气象观测站 1980~2017 年共 38a 的逐分钟降水资料，推算出鄂州市区重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180 分钟的设计短历时暴雨雨型，单位时段为 5 分钟，为今后鄂州市的城市排水防洪规划、与标准的建立提供技术支持。

2.1. 降水资料

本项目研究所用的降水资料来源于鄂州国家一般气象站(以下简称鄂州气象站)的地面气象观测资料，气象资料的观测和审核严格执行中国气象局《地面气象观测规范》等相关规章，观测资料通过中国气象局认定，可靠性得到保障。本项目使用 1980 年至 2017 年共 38a 连续的分钟降水资料，足以反映鄂州市区的降水规律。对原始降水自记雨量资料读数采用初算、复算、审核三步进行，通过专用软件，获取逐分钟的降水量数据，可以满足研究需要，所以，本次降水资料满足可靠性的要求。

2.2. 降水样本选取方法

首先我们通过资料确定降水事件，我们假设最小的一个降水间隔时间定义此次降水间隔内降水量小于设定值或者没有雨，用来区分两场降水，将连续的降水资料区分解成若干独立场次。本项目中对短历时降水场次过程选择间隔时间为 120 min 进行划分(见图 1)，将鄂州气象站 1980~2017 共 38a 降水资料，取最小降水间隔时间等于 120 min 划分降水场次(若间隔大于等于 120 min 降水量小于 0.1 mm，则将连续降水过程划分为两场)。

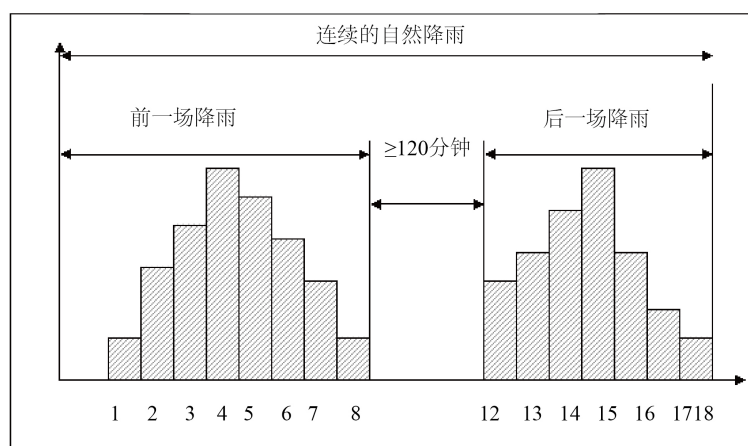


Figure 1. Diagram of precipitation frequency division

图 1. 降水场次划分示意图

在降水场次划分的基础上，针对最大历时过程通过超定量法选出历时短的暴雨雨型，用来作为样本分析，在所有独立的降水过程中，选取并筛出连续 Z 分钟的降水过程中降水量大于其对应阈值的全部场

次。本项目针对最大历时过程的降水量阈值基于利用 P-III 型曲线对降水样本进行趋势拟合得到的 2 年一遇重现期各降水历时下的降水量如表 1。

Table 1. Standard test system result data

表 1. 标准试验系统结果数据

降水历时(min)	30	60	90	120	150	180
降水量阈值指标(mm)	32.20	41.57	48.18	55.10	60.32	63.44

2.3. 降水雨型的推算

我们从三个方面对暴雨的雨型进行定义：雨峰类型、雨量分布、雨峰位置。本文通过芝加哥法对鄂州市重现期 2、3、5、10a 历时 30、60、90、120、150 与 180 分钟间隔 1 分钟的短历时设计暴雨雨型做出推演，得出结论。

芝加哥法所进行的雨型设计典型降水过程，通过分析降水时间的序列判别峰前与峰后，以统计出来暴雨的强度公式作为基础，引入暴雨峰值发生时间的综合雨峰位置系数 r 。雨峰位置系数 r_i 由下列公式得出：

$$r_i = \frac{t_i}{T_i} \quad (1-1)$$

t_i 表示每次降水样本的峰值时间， T_i 表示本次降水经历时间。通过加权平均的方式，根据每次不同时间段的降水的雨峰位置系数 r_i 得出 r 。

我们假设峰前的瞬时强度为 $i(t_b)$ ，历时为 t_b ，峰后的瞬时强度为 $i(t_a)$ ，历时为 t_a 。取一定重现期下暴雨强度公式形式为： $(t+b)^n$ ，计算得出雨峰前与雨峰后的瞬时降水强度：

$$i(t_b) = \frac{A \left[\frac{(1-n)t_b}{r} + b \right]}{\left[\frac{t_b}{r} + b \right]^{n+1}} \quad (1-2)$$

$$i = \frac{14.096 \times (1 + 0.594 \lg P)}{(t + 12.565)^{0.711}} \quad (1-3)$$

(1-2)与(1-3)里， A 、 b 、 n 表示设定重现期下的暴雨强度参数， r 代表综合雨峰的位置系数。

我们使用(1-2)与(1-3)公式和雨峰位置系数 r ，使用芝加哥算法，得出各时段的平均单位降水量、累计降水量和各个时段内平均降水的强度，分析出对应的降水历时和一定重现期的芝加哥法雨型。

3. 结果分析

3.1. 降水样本的选取

首先通过上述办法统计出 1980~2017 年鄂州市气象站共 38a 降水历时 30、60、90、120、150、180 分钟里符合设定的降水场次。然后以每 5 分钟为间隔，对样本的最大降水过程进行分段，统计降水过程的雨峰峰形和雨峰位置系数，最后对历时相同的最大降水样本的雨峰位置系数进行算术平均得到各历时的位置系数，如表 2 (降水历时 60、90、120、150、180 min 表略)。

Table 2. 30 minute precipitation sample (Sample of maximum experience time)
表 2. 30 min 降水样本(最大历时过程)

序号	开始时间	降水量/mm	5 min 雨量最大值时段	峰型	雨峰位置系数
1	200008102128	59.31	4	单(中, 3)	0.67
2	199007091514	54.23	3	双(中后, 4)	0.50
3	200206271602	48.57	2	单(前, 1)	0.33
4	198609071545	47.45	5	单(后, 2)	0.83
5	199807220645	43.96	1	单(前, 1)	0.17
6	199908192204	43.87	3	单(中, 3)	0.50
7	198307041059	43.03	1	单(前, 1)	0.17
8	199104110938	40.63	4	单(中, 3)	0.67
9	201008231846	40.50	4	单(中, 3)	0.67
10	198708282259	38.55	4	单(中, 3)	0.67
11	198705251829	38.40	2	单(前, 1)	0.33
12	200607060306	38.30	3	单(中, 3)	0.50
13	198305292001	36.99	2	单(中, 3)	0.33
14	200707100038	36.40	6	双(前后, 4)	1.00
15	199304301948	36.33	2	单(前, 1)	0.33
16	200908161353	35.30	5	双(前后, 5)	0.83
17	198607210231	35.09	2	单(前, 1)	0.33
18	200807101643	34.80	1	单(前, 1)	0.17
19	200106181153	34.58	2	单(前, 1)	0.33
20	199807210654	34.46	1	单(前, 1)	0.17

3.2. 雨峰类型分析

由表 2 可以看出连续 30 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 26 场降水中。其中降水场次均为单峰型的有 21 场, 双峰型的有 5 场; 其中单峰型降水峰值在降水过程前、中部的场次有 19 场, 占 90.5%; 连续 60 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 27 场降水中(图略), 其中单峰降水次数 20 场; 降水峰值在降水过程前、中部的场次有 19 场, 占 95.0%; 连续 90 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 26 场降水中(图略), 其中单峰降水次数为 12 场; 降水峰值在降水过程前、中部的场次有 11 场, 占 91.7%; 降水峰值基本分布在降水过程前、中部; 连续 120 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 26 场降水(图略), 其中单峰降水次数为 16 场; 降水峰值在降水过程前、中部的场次有 14 场, 占 87.5%。双峰降水次数 8 场, 降水峰值分布在降水过程前、中部; 连续 150 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 29 场降水(图略), 其中单峰降水次数为 19 场; 降水峰值在降水过程前、中部的场次有 16 场, 占 84.2%。双峰以上降水次数 10 场; 连续 180 min 降水量大于对应历时降水量阈值的 28 场降水(图略), 其中单峰降水次数为 19 场; 降水峰值在降水过程前、中部的场次有 16 场, 占 84.2%。双峰以上降水次数 9 场。

对最大历时过程短历时降水样本在模式雨型所占比例进行统计可发现(图 2), 单峰型在短历时降水样本中占比例最大, 历时 30 min 时较明显, 比例达到 77.2%。双峰型占比次之, 三峰型占比最小。综合以上分析, 单峰型降水在在短历时的最大历时过程降水样本中数量最多, 雨峰位于降水过程的前、中部。

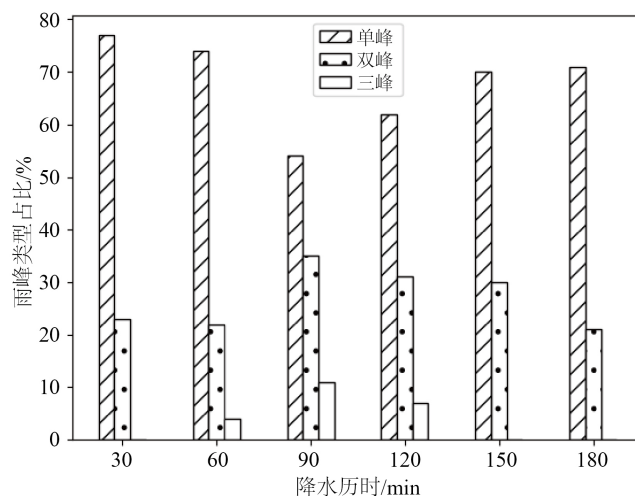


Figure 2. The proportion of sample rain peak types in different precipitation experience time

图 2. 不同降水历时样本雨峰类型占比

3.3. 雨峰位置系数分析

以 5 分钟为间隔, 采用各降水历时的逐年最大降水过程为样本, 统计出降水过程的雨峰位置系数。按照历时长度将其与历时相同的逐年最大降水样本的雨峰位置系数分别作加权平均和算术平均, 得出综合雨峰位置系数。最终如表 3 确定出鄂州市的综合雨峰位置系数为 0.32。

Table 3. Location r of rain peak coefficient

表 3. 雨峰位置的系数 r

降水历时(min)	各降水历时雨峰位置系数	综合雨峰位置系数 r
30	0.51	0.32
60	0.43	
90	0.30	
120	0.33	
150	0.33	
180	0.35	

3.4. 雨型结果分析

使用积分的方式计算出芝加哥法合成的暴雨过程线各单位时段平均降水量与累计降水量, 得出每时段的平均降水强度, 对出重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180 分钟的芝加哥法雨型样本进行定性。

利用芝加哥法推求重现期 2a 鄂州市的短历时单位分钟间隔的设计暴雨雨型分布图可以看出(图 3), 历时 30~180 分钟的峰值分别发生在第 11、21、32、42、53、63 时段。雨峰类型为典型的单峰型, 重现期延长时下增大, 雨峰位置在降水过程一半时段前。

4. 方法与建议

(1) 绝大多数历时暴雨雨型的雨峰位置处于或超前于其整场降水过程的一半, 说明短历时暴雨很容易瞬间产生较大的降水量, 且在降水前期就容易分辨, 所以在汛期, 鄂州市防洪防涝相关部门应及时关注

气象局短历时暴雨预警信息，第一时间做好排水排涝准备，启用洪涝相关应急措施，应对城市内涝灾害。

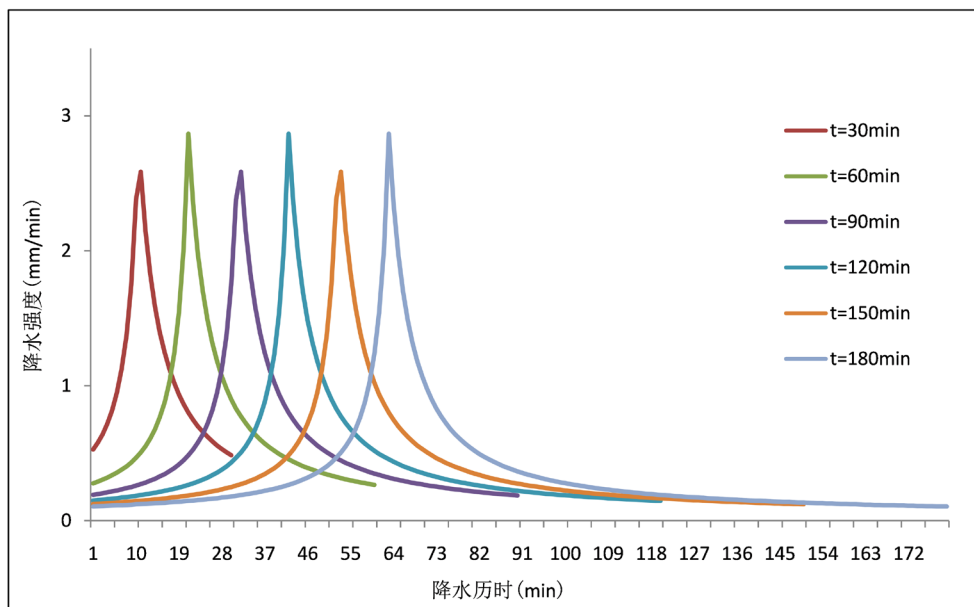


Figure 3. Using Chicago method to deduce the design rainstorm pattern distribution map of precipitation duration in Ezhou city with return period of 2a

图 3. 芝加哥法推求重现期 2a 鄂州市区各降水历时设计暴雨雨型分布图

(2) 鄂州市的暴雨雨型特点为单峰型、强度大、发生快、历时长。在历时相同的情况下，降水强度与重现期长度成正比，所以在作暴雨雨型设计时，应将重现期作为主要的考虑要素之一。

5. 结论

本文利用芝加哥雨型分析法分析鄂州市国家站 1980 年至 2017 年共 38a 的单位分钟降水资料，推演出鄂州市区重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180 分钟以 5 分钟为单位时段的设计短历时暴雨雨型，对建立鄂州市防洪排涝规划体系提供理论支撑，结论如下：

(1) 鄂州市区重现期 2a 各降水历时 5 分钟间隔的设计暴雨雨型雨峰位置历时 30~180 分钟的峰值分别发生在第 11、21、32、42、53、63 时段。雨峰类型为典型的单峰型，历时的降水强度在重现期延长的情况下增大，雨峰位置在降水过程一半时段前。

(2) 鄂州市区各暴雨雨型历时设计多数为单峰形，单峰型暴雨在短历时的最大历时过程降水样本中数量最多，其中历时 30 min 时尤最为明显，比例达到了 77.2%。雨峰位于整场降水过程的前、中部。

(3) 鄂州市的暴雨雨型特点为单峰型、强度大、发生快、历时长。历时一致的降水强度在重现期延长的情况下增大。建议在鄂州时发生短历时暴雨时，市防洪防涝相关部门应及时做好排水排涝相关应急响应，对应城市内涝灾害。

由于短历时暴雨局地性较强，空间差异明显，本文仅采用了重现期 2a 的数据对比分析了鄂州市暴雨分布特征，今后将获取更多完整区域站数据进一步分析。

参考文献

- [1] 岑国平, 沈晋, 范荣生. 城市设计暴雨雨型研究[J]. 水科学进展, 1998, 9(1): 41-46.
- [2] 莫洛科夫 MB. 雨水道与合流水道[M]. 北京: 建筑工程出版社, 1956.

-
- [3] 吴介一, 张飒兵, 等. 计算机网络中面向拥塞控制的一种模糊流量控制机制[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2001, 31(1): 6-10.
- [4] 王光明, 廖玉芳, 曾向红, 等. 湖南短历时暴雨雨型分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(1): 86-90.
- [5] 任雨, 李明财, 等. 天津地区设计暴雨强度的推算与适用[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 364-368.
- [6] Pilgrim, D.H. and Cordery, I. (1975) Rainfall Temporal Patterns for Design Floods. *Journal of the Hydraulics Division*, **101**, 81-95. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0004197>
- [7] 王家祁. 中国设计暴雨和暴雨特性的研究[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 328-336.
- [8] 陈波, 史瑞琴, 陈正洪. 近 45 年华中地区不同级别强降水事件变化趋势[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 47-54.
- [9] 陈正洪, 李兰, 刘敏, 等. 湖北省 2008 年 7 月 20~23 日暴雨洪涝特征及其灾害影响[J]. 暴雨灾害, 2009, 29(4): 345-348.
- [10] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究[J]. 水文, 1994(3): 1-6.