

成丹,陈正洪. 湖北宜昌市区暴雨雨型的演变特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(2): 225-231, [CHENG Dan, CHEN Zhenghong. Evolution Characteristics of Rainstorm Hyetograph in Yichang of Hubei Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(2): 225-231], DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0225

湖北宜昌市区暴雨雨型的演变特征

成丹, 陈正洪

(湖北省气象服务中心, 湖北 武汉 430205)

摘要:利用湖北省宜昌市宜昌基准站 1956—2013 年逐分钟降雨资料,对宜昌市区暴雨雨型的演变特征进行分析,并采用同频率分析法推求该地区历时 6 h、12 h、24 h 的设计暴雨雨型。结果表明:宜昌市区 1956—2013 年汛期(5—9 月)前期易发生持续 12~24 h 或 24 h 以上、降雨量 50~100 mm 的暴雨,而中后期易发生持续 12 h 以下、降雨量 30~70 mm 的暴雨。1956—2013 年,宜昌市区短历时、中长历时、长历时暴雨和大暴雨发生次数缓慢增加,而特长历时大暴雨明显减少。其中,短历时暴雨的峰值趋于增大,持续时间趋于增加;中长历时暴雨的小时雨量无显著变化,但雨量分布、雨峰趋于后移,持续时间趋于增加;长历时暴雨的小时雨量趋于减少,雨量分布、雨峰趋于前移,持续时间趋于缩短。宜昌市区历时 6 h、12 h、24 h 的设计暴雨雨型均为典型的单峰型,雨峰分别位于第 20、34、113 时段。

关键词:暴雨雨型;降雨历时;暴雨强度;同频率分析法

文章编号:1006-7639(2017)-02-0225-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0225

中图分类号:P426.62

文献标识码:A

引言

近年来,受全球气候变化以及城市化效应的影响,区域性极端暴雨事件呈增加趋势^[1-4],城市暴雨造成的内涝积水现象颇为严重^[5-7]。暴雨雨量与历时直接关系到城市安全问题,尤其暴雨雨型特性直接影响处理城市内涝、城市洪水等安全问题采用的防控方法与防控的关键时间。

雨型,即降雨强度在时间尺度上的分配过程^[8-9]。1940 年前苏联莫洛可夫等^[10]对乌克兰等地的降雨资料进行统计分析,划分了 7 种雨型,发现强度大致均匀的雨型很少。1957 年 Keifer 等^[11]根据强度—历时—频率关系得到一种不均匀的设计雨型,即芝加哥雨型。之后 Huff^[12]、Pilgrim^[13]、Yen^[14]等都提出了各自设计的暴雨雨型,发现设计雨型多为单峰型^[15]。国内也相继开展了城市暴雨及雨型的相关研究^[16-19],如水利部门常采用同频率分析法^[16]设计暴雨雨型。

尽管国内外学者采用不同方法设计了城市暴雨

雨型,但是对具体城市暴雨雨型的演变过程分析甚少。而通过分析暴雨雨型的逐年或年代变化特征,能够为校准城市雨水排水系统设计提供科学的理论依据^[20]。宜昌市作为湖北省第二大经济体,近年来城市建设发展迅速,城市布局发生了重大变化,城市暴雨内涝风险日益加剧。目前宜昌市的暴雨雨型演变尚无相关分析,因此本文利用 1956—2013 年宜昌市区宜昌基准站的逐分钟降雨资料,分析该地暴雨雨型的演变特征,并采用同频率分析法设计 6 h、12 h、24 h 的暴雨雨型,可为宜昌市雨水排水系统设计工作提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料

使用湖北省宜昌市区宜昌站(国家基准气象站)1956—2013 年逐分钟降雨资料。其中,1956—2004 年为自记纸观测记录资料,采用了中国气象局组织编制的“降雨自记纸彩色扫描数字化处理系统^[21]”对其进行扫描、图像及数据处理,将气象站降

收稿日期:2016-06-06;改回日期:2016-08-02

基金项目:中国气象局 2014 年重点工作城市暴雨强度公式编制修订和城市暴雨规律分析试点“山洪地质灾害防治气象保障工程”及湖北省宜昌市财政项目“宜昌市区暴雨强度公式修编与暴雨雨型分析”共同资助

作者简介:成丹(1988-),女,硕士,工程师,主要从事城市气象与专业气象服务研究. E-mail:chengdan19880423@126.com

雨自记纸图像进行数字化转换,并经人工审核或修正后,录入数据库;2005—2013 年为新型自动气象站自动记录的逐分钟雨量数据。

1.2 暴雨历时—强度划分

将 24 h 以内的暴雨按照历时长短划分为短历时、中长历时、长历时,并定义历时超过 24 h 的暴雨为特长历时;同时,按照降雨量大小设置暴雨、大暴雨、特大暴雨 3 个强度等级,具体信息见表 1。

表 1 暴雨历时—强度划分标准
Tab.1 The classification standards of rainstorm duration and intensity

类型	历时/ h	暴雨/ mm	大暴雨/ mm	特大暴雨/ mm
短历时	1 < t ≤ 6	30 ≤ r < 70	70 ≤ r < 140	r ≥ 140
中长历时	6 < t ≤ 12	30 ≤ r < 70	70 ≤ r < 140	r ≥ 140
长历时	12 < t ≤ 24	50 ≤ r < 100	100 ≤ r < 250	r ≥ 250
特长历时	t > 24	50 ≤ r < 100	100 ≤ r < 250	r ≥ 250

1.3 雨型特征分析指标

研究短历时暴雨及以上强度降雨时,设置了雨型的高矮程度 A 和胖瘦程度 B 指标分别反映暴雨的峰值和持续时间变化^[22]。其表达式如下:

$$\begin{cases} A = \frac{R_{1h\max}}{R_s} \\ B = \frac{T}{T_a} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $R_{1h\max}$ 为场次暴雨 1 h 最大降雨量, R_s 为场次暴雨总雨量, 单位: mm; T 为场次暴雨历时, T_a 为场次暴雨多年平均历时, 单位: h。A 值越大表示雨型越高, B 值越大表示雨型越胖。

研究中长历时暴雨及以上强度降雨时,设置了雨型的分布变化 C、雨峰的时间位置变化 D、雨型的高矮程度 E 及胖瘦程度 B 等指标^[22]。其表达式为:

$$\begin{cases} C = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i \times T_i)}{R_s \times T} \\ D = \frac{T_{1h\max}}{T} \\ E = \frac{R_g}{R_s} \\ B = \frac{T}{T_a} \end{cases} \quad (2)$$

其中, R_i 为场次暴雨第 i 个小时降雨量, R_s 为场次暴雨总雨量, R_g 为场次暴雨中小时雨量大于场次暴雨强度的雨量总和, 单位: mm; T_i 为场次暴雨第 i 个

小时数, T 为场次暴雨历时, $T_{1h\max}$ 为场次暴雨 1 h 最大降雨的时间位序, T_a 为场次暴雨多年平均历时, 单位: h。C 指标表示降雨量分布的时间重心, C 值越大表示降雨量越集中于降雨历时后半时段; D 指标表示雨峰的时间位置, D 值越大表示雨峰出现时间越趋于降雨历时后半时段; E 值越大表示雨型越高, B 值越大表示雨型越胖。

1.4 同频率分析法原理

同频率分析法的思路:长历时雨型包含短历时雨型(“长包短”),给定各短历时雨峰时段,从最长历时雨型中可依次提取出所需各短历时雨型,保证各历时之间的关联性。

具体步骤:确定历时 1 h 的降雨样本,以 5 min 为间隔进行分段,首先确定雨峰大小(“5 min 雨量最大值”)和雨峰时段(“5 min 雨量最大值的出现位置”)。其中,雨峰大小取所选样本 5 min 雨量最大值的平均值;雨峰时段取所选样本 5 min 雨量最大值出现位置的平均值。然后,将各样本的总雨量扣除雨峰时段的雨量,得到剩余的雨量并进行平均;将各样本除雨峰时段外的其它时段的雨量比例进行平均,得到其它时段的雨量分配比例,再与对应的雨量值相乘,从而得到 1 h 的雨型。2 h 雨型是将 1 h 雨型根据雨峰时段对齐放入,其余时段按比例分配。其它历时依次类推,最终得到 6 h、12 h、24 h 的设计暴雨雨型。

2 结果分析

2.1 暴雨历时—强度特征

2.1.1 暴雨历时—强度总体特征

根据表 1 暴雨历时—强度划分标准,将湖北宜昌站 1956—2013 年降雨资料进行分类统计(表 2)。由表 2 发现,宜昌市区 1956—2013 年发生的暴雨多为短历时和中长历时暴雨,2 种类型暴雨发生频次接近,分别为 82、83 次,占暴雨总数的 23.0%,即宜

表 2 1956—2013 年湖北宜昌市区暴雨历时—强度发生频次(单位:次)

Tab.2 The frequency of rainstorm with different durations and intensities in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013 (Unit: times)

类型	暴雨	大暴雨	特大暴雨
短历时	82	12	2
中长历时	83	22	2
长历时	65	8	0
特长历时	65	15	0

昌市区较易发生降雨量 30 ~ 70 mm、持续 1 ~ 6 h 或 6 ~ 12 h 的暴雨;其次为长历时和特长历时暴雨,发生次数均为 65 次,占暴雨总数的 18.3%;而中长历时的大暴雨也占有较高比例,且未出现过长历时及以上的特大暴雨。

2.1.2 暴雨历时—强度月分布

图 1 给出 1956—2013 年湖北宜昌市区各历时下不同强度暴雨的月分布。可知,1956—2013 年宜昌市区短历时暴雨 4—10 月均有发生,呈典型的单峰型,主要集中在 7、8 月,其中 8 月出现频次最大(31 次),4、10 月最小(2 次)(图 1a);中长历时暴雨发生在 4—9 月,也表现出单峰特征,发生频次 4、5 月接近,6 月逐渐增加,至 7 月达到峰值(26 次),随后逐渐减少,9 月最小(5 次)(图 1b);长历时和特

长历时暴雨的月分布特征较相似,呈明显的双峰型特征,且前波峰普遍高于后波峰,发生频次均在 6 月达到最大值(分别为 18、13 次),7 月基本维持,8 月有所减少,9 月再次增加,随后再次减少(图 1c 和图 1d)。可见,持续 12 h 以上的暴雨在主汛期(5—9 月)中前期(5—7 月)发生概率更大,而持续 12 h 以下的暴雨在主汛期中期(7—8 月)发生概率偏大。还发现,短历时和中长历时大暴雨的月分布特征较相似,8 月之前发生频次逐渐增加,至 8 月达到最高,分别为 6 次和 9 次,而后有所减少;长历时大暴雨 5—9 月发生概率接近;特长历时大暴雨 7 月发生次数显著偏多,达 7 次。可见,短历时、特长历时大暴雨多发生在主汛期的中期,而其他 2 种类型多发生在后期。特大暴雨往往出现在仲夏。

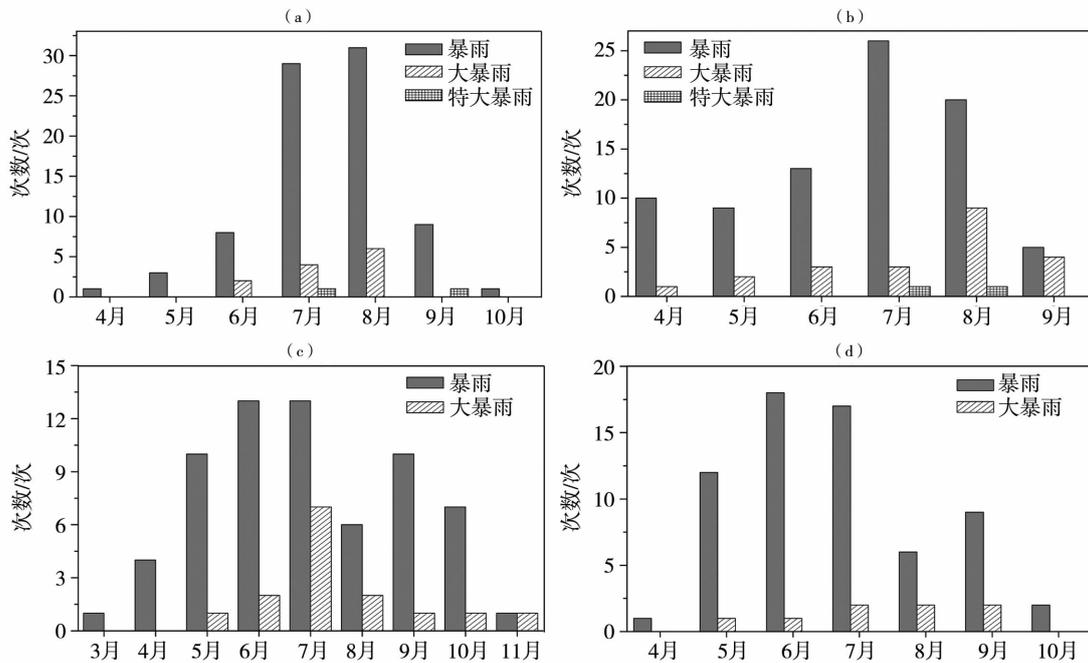


图 1 1956—2013 年湖北宜昌市区不同历时—强度暴雨的月分布

(a)短历时,(b)中长历时,(c)长历时,(d)特长历时

Fig. 1 The monthly distribution of rainstorm frequency with different intensities and durations in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013

(a) short duration, (b) medium and long duration, (c) long duration, (d) extra - long duration

2.1.3 暴雨历时—强度年变化

图 2 为 1956—2013 年湖北宜昌市区各历时—强度暴雨发生频次的年际变化。可以看出,近 58 a 湖北宜昌市区各历时暴雨发生频次波动较大,持续 24 h 以下的短历时、中长历时、长历时暴雨发生频次呈微弱增加趋势,而持续 24 h 以上特长历时暴雨几乎无明显变化趋势。尽管大暴雨发生次数较少,但短历时、中长历时、长历时大暴雨的年变化趋势同

暴雨趋于一致,而特长历时大暴雨随时间减少,1980 年代中期以后很少发生。

2.2 暴雨雨型变化特征

根据表 2 可知,1956—2013 年湖北宜昌市区各历时大暴雨及特大暴雨的发生次数不及暴雨的 1/4,故根据雨型特征分析指标针对不同历时暴雨及以上强度的雨型特征指标分别进行计算分析。

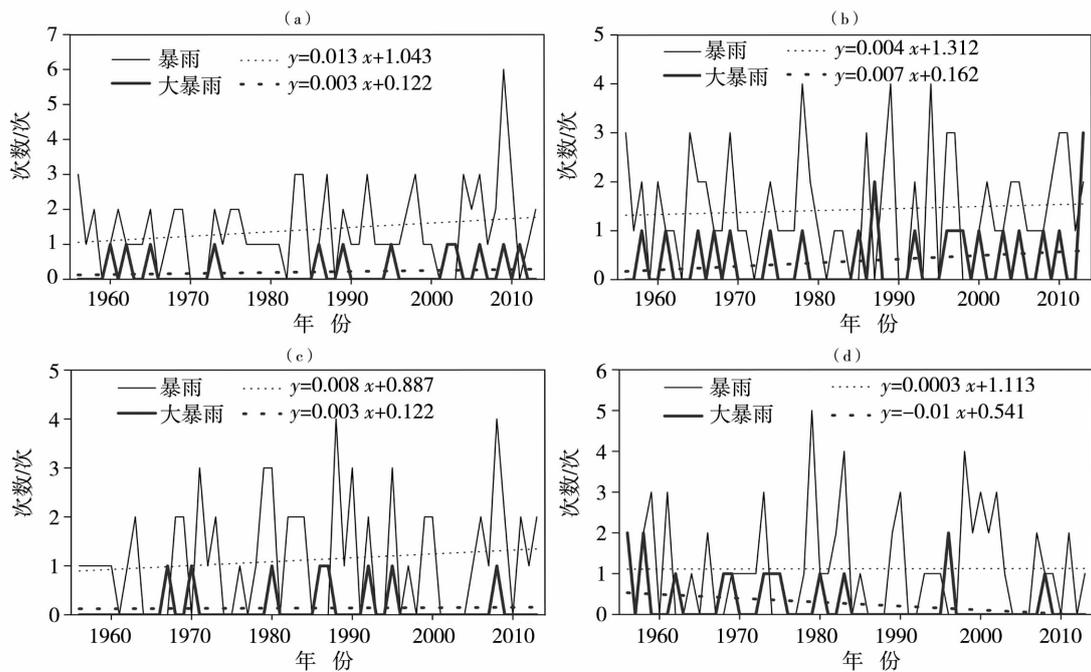


图2 1956—2013年湖北宜昌市区各历时—强度暴雨发生频次的年际变化
(a)短历时,(b)中长历时,(c)长历时,(d)特长历时

Fig. 2 The annual variations of rainstorm frequency with different intensities and durations in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013

(a) short duration, (b) medium and long duration, (c) long duration, (d) extra - long duration

2.2.1 短历时暴雨及以上强度

经统计,1956—2013年湖北宜昌市区短历时暴雨及以上强度降雨的平均历时为3.8 h,平均降雨量为51.6 mm。根据公式(1)计算1956—2013年湖北宜昌市区短历时暴雨及以上强度降雨的高矮(A)及胖瘦(B)特征指标(图3),发现A、B指标年均值整体均呈微弱的上升趋势,表明近58 a宜昌市区短历时暴雨雨型趋于“高、胖”的特点发展,即短历时暴雨及以上强度的峰值趋于增大,持续时间趋于增加。

2.2.2 中长历时暴雨及以上强度

经统计,1956—2013年湖北宜昌市区中长历时暴雨及以上强度的平均历时为9.0 h,平均降雨量为54.8 mm。根据公式(2)对1956—2013年宜昌市区中长历时暴雨及以上强度的雨型特征指标进行计算(图4),发现C、D、B指标年均值整体均呈上升趋势,而E指标变化不大,表明近58 a来宜昌市区中长历时暴雨及以上强度的雨型在小时雨量上并无显著变化,但暴雨的雨量分布在时间上呈后移趋势,雨峰趋于后移,且持续时间趋于增加。

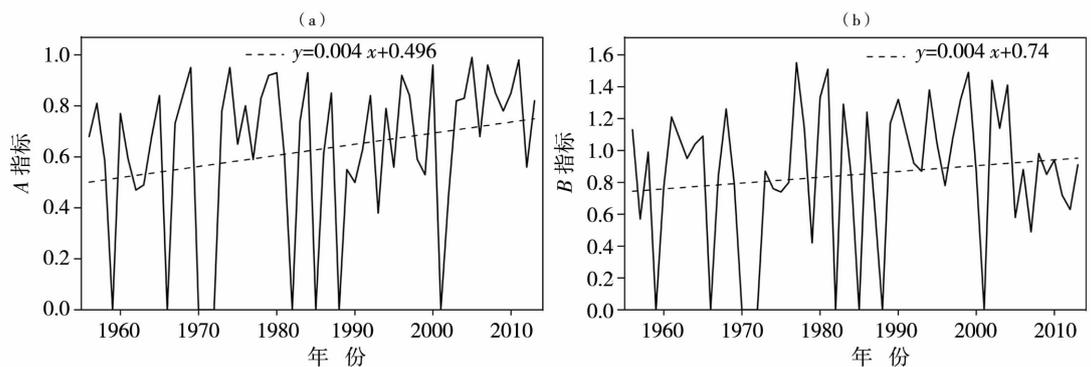


图3 1956—2013年湖北宜昌市区短历时暴雨及以上强度雨型A指标(a)和B指标(b)的年际变化
Fig. 3 The annual variations of A (a) and B (b) indexes for short duration rainstorm and above in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013

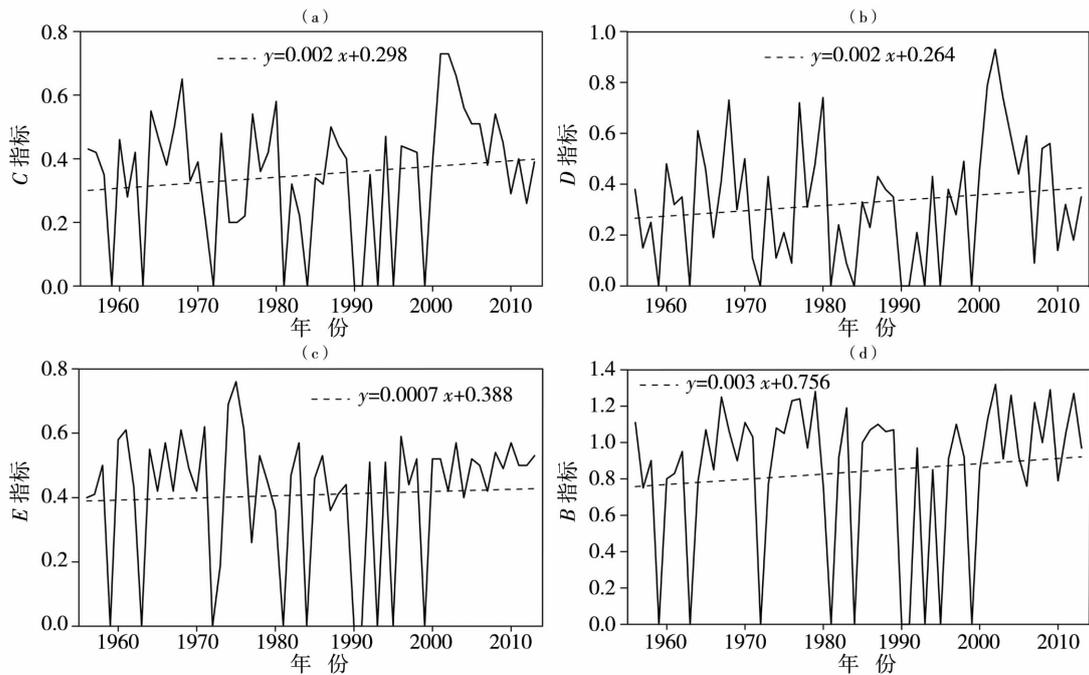


图 4 1956—2013 年湖北宜昌市区中长历时暴雨及以上强度的雨型特征 C(a)、D(b)、E(c)、B(d) 指标年际变化
 Fig. 4 The annual variations of C index (a), D index (b), E index (c), B index (d) for medium and long duration rainstorm and above in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013

2.2.3 长历时暴雨及以上强度

1956—2013 年,湖北宜昌市区长历时暴雨及以上强度降雨的平均历时为 18.4 h, 平均降雨量为 72.4 mm。同样,根据公式(2)针对 1956—2013 年湖北宜昌市区长历时暴雨及以上强度降雨的雨型特

征指标进行计算(图 5),发现 C、D、E、B 指标年均值均呈下降趋势,表明 1956—2013 年湖北宜昌市区长历时暴雨及以上强度的小时雨量趋于减少,暴雨雨量分布在时间上呈前移趋势,雨峰趋于前移,且持续时间趋于缩短。

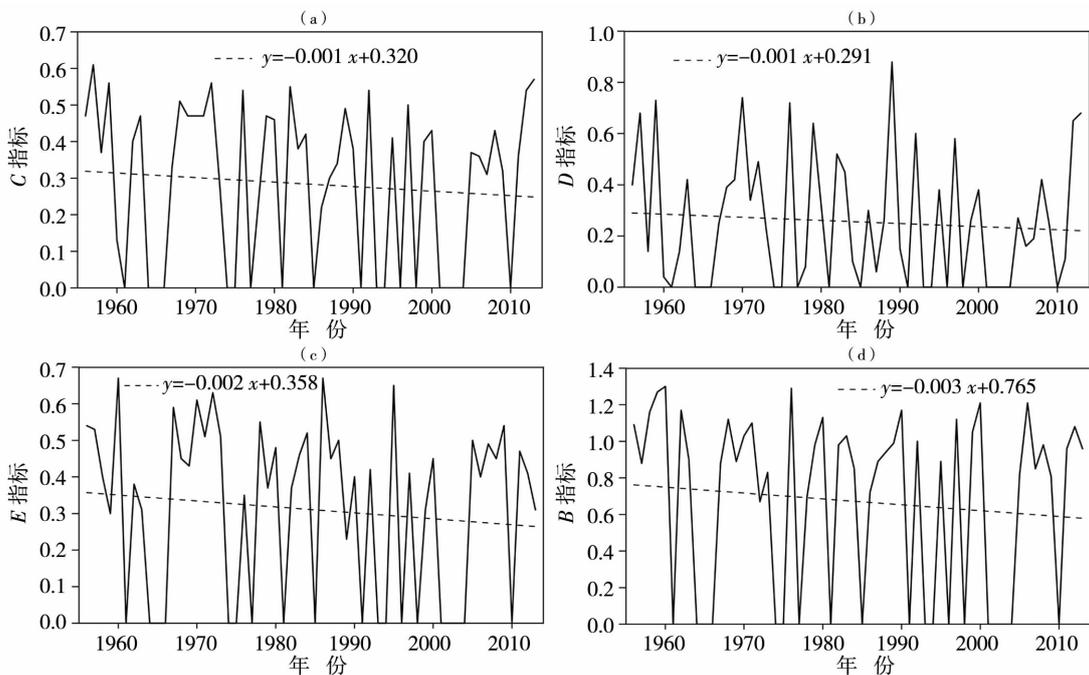


图 5 1956—2013 年湖北宜昌市区长历时暴雨及以上强度的雨型特征 C(a)、D(b)、E(c)、B(d) 指标年际变化
 Fig. 5 The annual variations of C index (a), D index (b), E index (c), B index (d) for long duration rainstorm and above in Yichang of Hubei Province during 1956 - 2013

2.3 历时 6 h、12 h、24 h 设计暴雨雨型

根据同频率分析法原理,推求得到湖北宜昌市区历时 6 h、12 h、24 h 的雨型分配比例(图 6)。由图 6 可得,历时 6 h、12 h、24 h 的设计暴雨雨型均为典型的单峰型,雨峰分别位于第 20、34、113 时段,即

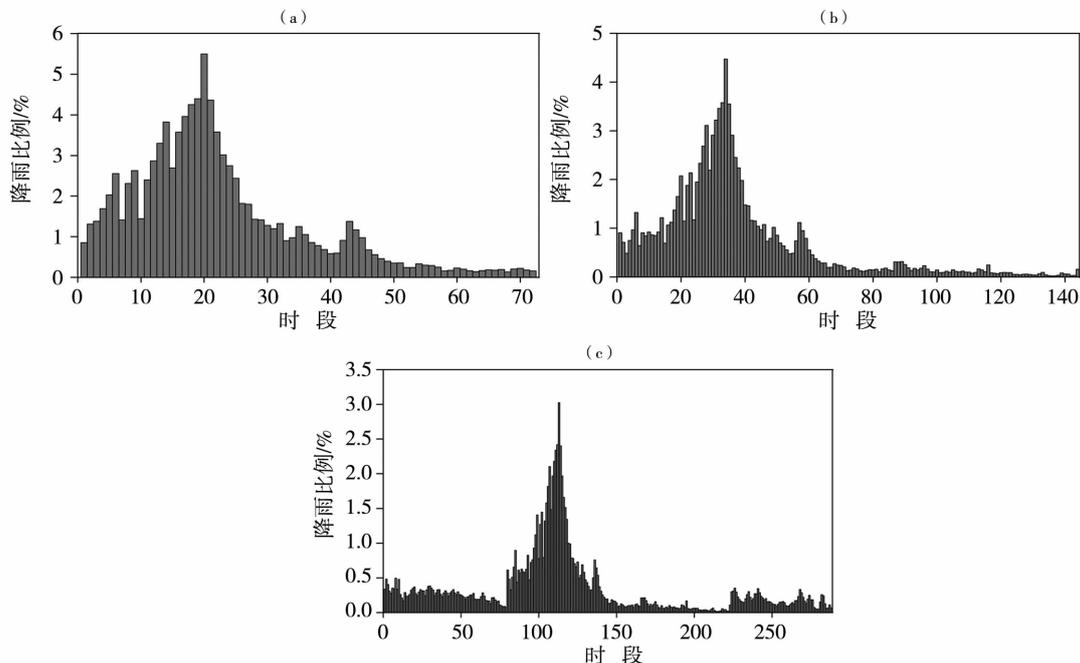


图 6 基于同频率分析法的 1956—2013 年湖北宜昌市区历时 6 h(a)、12 h(b)、24 h(c) 设计暴雨雨型
Fig. 6 The design rainstorm hyetograph for 6 hours (a), 12 hours (b), 24 hours (c) duration in Yichang of Hubei Province during 1956–2013 by using the same frequency analysis method

3 结 论

(1)宜昌市区 1956—2013 年汛期(5—9 月)前期易发生持续 12~24 h 或 24 h 以上、降雨量 50~100 mm 的暴雨,而中后期易发生持续 6~12 h 或 1~6 h、降雨量 30~70 mm 的暴雨。

(2)近 58 a 来,宜昌市区短历时、中长历时、长历时暴雨和大暴雨发生次数缓慢增加,其中短历时增加最为明显,而特长历时大暴雨则呈减少趋势。

(3)1956—2013 年宜昌市区短历时暴雨的峰值趋于增大,持续时间趋于增加;中长历时暴雨的小时雨量无显著变化,但雨量分布、雨峰趋于后移,持续时间趋于增加;长历时暴雨的小时雨量趋于减少,雨量分布、雨峰趋于前移,持续时间趋于缩短。

(4)宜昌市区历时 6 h、12 h、24 h 的设计暴雨雨型均为典型的单峰型,雨峰分别位于第 20、34、113 时段。

宜昌市区历时 6 h、12 h 暴雨出现在降雨时程的前 1/3 时段,而历时 24 h 暴雨往往在降雨时程的前 1/2 时段快速达到峰值,随后逐渐减弱。因此当气象部门发出短历时暴雨预警时,宜昌市水利、水文等相关部门必须第一时间做好排水排涝准备,防止城市内涝。

参考文献

- [1] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(1): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.
- [2] 翟盘茂,李蕾. IPCC 第五次评估报告反映的大气和地表观测变化[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):20-24.
- [3] 胡容,史小康,李耀东. 重庆一次暴雨过程的诊断分析[J]. 气象与环境科学,2016,39(1):66-73.
- [4] 李泽椿,湛芸,张芳华,等. 由河南“75·8”特大暴雨引发的思考[J]. 气象与环境科学,2015,38(3):1-12.
- [5] 李书严,马京津,轩春怡,等. 1951~2008 年北京极端天气事件分析[J]. 气候与环境研究,2012,27(2):244-250.
- [6] 马京津,李书严,王冀. 北京市强降雨分区及重现期研究[J]. 气象,2012,38(5):569-576.
- [7] 闵爱荣,廖移山,杨荆安. 2010 年 4-10 月我国主要暴雨天气过程简述[J]. 暴雨灾害,2011,30(1):90-96.
- [8] 植石群,宋丽莉,罗金铃,等. 暴雨强度计算系统及其应用[J]. 气象,2000,26(6):30-33.
- [9] 吴雪剑,费建芳,程小平,等. 一次暴雨过程降水强度“双峰”结构成因分析[J]. 气象科学,2014,34(3):252-260.
- [10] 莫洛可夫 M B, 施果林 Г Г. 雨水道与合流雨水道[M]. 北京: 建筑工程出版社,1956.

- [11] Keifer C J, Chu H H. Synthetic storm pattern for drainage design [J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1957,83(4):1-25.
- [12] Huff F A. Time distribution of rainfall in heavy storms[J]. *Water Resources Research*, 1967,3(4):1007-1019.
- [13] Pilgrim D H, Cordery I. Rainfall temporal patterns for design floods[J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1975,101(1):81-95.
- [14] Yen B C, Chow V T. Design hyetographs for small drainage structures[J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1980,106(6):1055-1076.
- [15] Kibler D F. *Urban storm water hydrology*[M]. Washington: American Geophysical Union, 1982:48-60.
- [16] 牟金磊. 北京市设计暴雨雨型分析[D]. 兰州:兰州交通大学, 2011.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 任雨,李明财,郭军,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.
- [21] 王伯民,吕勇平,张强. 降水自记纸彩色扫描数字化处理系统[J]. *应用气象学报*,2004,15(6):737-744.
- [22] 严昇. 我国大型城市暴雨效应及雨岛效应演变规律[D]. 上海:东华大学,2011.

Evolution Characteristics of Rainstorm Hyetograph in Yichang of Hubei Province

CHENG Dan, CHEN Zhenghong

(*Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430205, China*)

Abstract: Based on the minutely precipitation data at Yichang station of Hubei Province during 1956-2013, the evolution characteristics of rainstorm hyetograph in Yichang were investigated. And the design hyetographs of rainstorm for 6 h, 12 h and 24 h durations were calculated by using the same frequency analysis method. The results show that the rainstorm lasting for 12 hours to 24 hours or more and 50 mm to 100 mm precipitation more frequently occurred in the early stage of flood season (from May to September) during 1956-2013 in Yichang, while that lasting below 12 hours and 30 mm to 70 mm precipitation most likely happened in the middle and later stage of flood season. The occurrence frequencies of rainstorm and heavy rainstorm with short duration, medium and long duration and long duration slowly increased in Yichang during 1956-2013, while that of heavy rainstorm with extra-long duration obviously decreased. The peak and duration of rainstorm with short duration tended to increase in Yichang during 1956-2013. The change of hourly precipitation for the rainstorm with medium and long duration wasn't significant, but the distribution and peak position of rainfall moved backward in time, and the duration tended to increase. The hourly rainfall of the long duration rainstorm tended to decrease, and the distribution and peak position moved forward in time, the duration tended to decline. The design hyetograph of rainstorm for 6 h, 12 h and 24 h durations in Yichang uniformly presented typical single-peak pattern, and the peak position located at the 20, 34 and 113 time interval respectively.

Key words: rainstorm pattern; rainfall duration; rainstorm intensity; same frequency analysis method