

方怡, 陈正洪, 孙朋杰, 等. 2016. 黄石、大冶两邻近地区设计雨强差异的原因分析. 气象, 42(3): 356-362.

# 黄石、大冶两邻近地区设计雨强差异的原因分析<sup>\*</sup>

方 怡<sup>1</sup> 陈正洪<sup>1</sup> 孙朋杰<sup>1</sup> 陈幼姣<sup>2</sup> 陈 城<sup>3</sup>

1 湖北省气象服务中心, 武汉 430074

2 黄石市气象局, 黄石 435000

3 湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074

**提 要:** 利用水平距离约 23.7 km、年降水量相近的黄石和大冶气象站多年分钟降水资料, 根据相关规范, 分别推算黄石、大冶两市暴雨强度公式各参数, 并分析两市设计雨强存在差异的原因。结果表明: (1) 根据公式推算结果, 在重现期 0.5~100 a 黄石各历时雨强 (5~120 min) 均大于大冶, 最大可达 27.34%; (2) 黄石平均年降水量略小于大冶, 但最大年降水量、最大月降水量、最大日降水量、平均年暴雨日数均大于大冶的相应值; (3) 对经过年多个样法选样后的降水量样本进行分析: 除了第一个最大降水量的多年平均值黄石偏大, 其余 7 个次大值大冶略大。黄石前 8 个最大降水量算出的标准偏差约为大冶的 1.4 倍。综合可见, 短历时降水量的偏大是黄石设计雨强结果偏大于大冶的原因, 设计雨强结果对样本的第一个最大雨量值以及标准偏差更为敏感。

**关键词:** 暴雨强度公式, 设计雨强, 平均值, 标准偏差

**中图分类号:** P457

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.3.011

## Analysis of the Causes for the Difference of Rainstorm Intensity Design in Huangshi and Daye Cities

FANG Yi<sup>1</sup> CHEN Zhenghong<sup>1</sup> SUN Pengjie<sup>1</sup> CHEN Youjiao<sup>2</sup> CHEN Cheng<sup>3</sup>

1 Hubei Provincial Meteorological Service Centre, Wuhan 430074

2 Huangshi Meteorological Office of Hubei Province, Huangshi 435000

3 Hubei Meteorological Information and Technology Support Centre, Wuhan 430074

**Abstract:** By using the minute rainfall data of Huangshi and Daye Cities which are located 20 km apart and according to the related standards, this paper calculates the parameters of the rainstorm intensity formula and analyzes the difference of the designed rainfall intensities in the two cities. The results show that in the return period of 0.5–100 years, the rainfall intensity of Huangshi in every period of time (5–120 min) is stronger than Daye's, getting to 27.34%. Except the annual mean rainfall, the maximum annual rainfall, the maximum monthly rainfall, the maximum daily rainfall, the average annual rainstorm days in Huangshi are more than Daye's. By analyzing the rainfall data, it is found that Huangshi has bigger average value of the the first maximum rainfall, for the other 7 second heaviest rainfalls, the values for Daye are larger than that for Huangshi. The standard deviation of Huangshi calculated by the first eight maximum precipitation amounts are about 1.4 times more than Daye's. In short, these results show that the large rainfall in a short time is the cause for the design of the stronger rainfall intensity of Huangshi than Daye's. The designed rainfall intensity is more sensitive to the first heaviest rainfall and the standard deviation.

\* 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”)和黄石市财政项目共同资助

2015 年 5 月 19 日收稿; 2016 年 1 月 5 日收修定稿

第一作者: 方怡, 主要从事专业气象服务工作. Email: fangyi919@aliyun.com

**Key words:** rainstorm intensity formula, designed rainfall intensity, average value, standard deviation

## 引 言

城市暴雨渍涝灾害已成为最为突出的城市灾害之一,黄石地区地处湖北省“暴雨窝子”之一的鄂东丘陵山区,平均年降水量在 1400 mm 以上,有些年份可超过 2000 mm。近年来黄石、大冶两市不同程度的滞涝事件时有发生,例如 2010 年 7 月 10—11 日,黄石部分地区遭遇强暴雨袭击,多地房屋倒塌、基础设施损毁,全市因灾直接经济损失 5.4 亿元,受灾人口达 50.03 万人。为了优化城市排水渠道和地下管网规划、预防大面积暴雨滞涝灾害,在进行城市排水工程规划设计时,雨水管网的规划设计排水量应用当地的暴雨强度公式进行计算。根据相关规范,利用黄石、大冶两市气象站历史分钟降水资料分别计算两地的暴雨强度公式,通过比较发现,即使作为邻近城市,两市的暴雨强度公式在参数数值、设计雨强结果方面均存在明显差异。

暴雨强度公式是反映一定频率的暴雨在规定时段最不利时程分配的平均强度的计算公式,合理编制暴雨强度公式是提高城市防洪排涝能力和防灾减灾的现实需要。近年来,许多学者对暴雨强度公式的编制问题进行过相关研究,研究内容多集中于暴雨强度公式参数估算方法的研究、改进(陈正洪等,2007;顾俊强等,2000;周玉文等,1997;李祚泳等,2002;植石群等,2000)。邓德培(2006)、周玉文等(2011)、郭渠等(2015)比较了年最大值法和年多个样法推求暴雨强度公式的差别,分析了不同选样方法对重现期或者概率关系带来的影响。宁静等(2007)通过上海市中心城区与郊县设计雨强的对比,讨论了城市化效应对短历时设计雨强的影响。前人的研究大多立足于暴雨公式的参数求解方法或者降水资料的不同选样方法分析等,探究邻近地区设计雨强产生差异的主要敏感因子的文章则至今鲜有报道。此外,也有许多学者对降水的气候特征做过一些相关分析(张意林等,2008;谢五三等,2010;李海燕等,2011),但是这种分析大多以逐日降水资料为基础,基于长年代分钟降水资料分析降水特征的研究并不多见。

本文分别计算黄石、大冶两邻近城市的暴雨强度公式,通过比较发现两地暴雨强度公式在参数数值、设计雨强结果方面均存在明显差异,然后主要立足于分钟降水资料从降水气候特征值、短历时雨强年(代)变化、降水样本取样时间的一致性三方面分析造成公式存在差异的原因,从中探求暴雨强度公式编制过程中设计雨强的敏感因子,从而进一步提高暴雨强度公式推求结果的合理性,同时也希望对暴雨强度公式的实际应用有一定的借鉴意义。

## 1 资 料

本文所用到的资料主要分为两部分,一是用于暴雨强度公式计算的分钟雨量数据,二是用于黄石、大冶两市降水气候特征值分析的相关雨量数据,资料清单详见表 1。

表 1 降水资料使用清单

Table 1 List of the used precipitation data	
站名	降水资料
黄石	1961.1.1 至 2000.12.31 雨量自记纸资料(信息化分钟数据)
	2001.1.1 至 2012.12.31 自动站分钟雨量数据
	1973.1.1 至 2012.12.31 年、月、日降水量
大冶	1973.1.1 至 2004.12.31 雨量自记纸资料(信息化分钟数据)
	2005.1.1 至 2012.12.31 自动站分钟雨量数据
	1973.1.1 至 2012.12.31 年、月、日降水量

## 2 暴雨强度公式计算及雨强比较

利用中国气象局下发的“暴雨强度计算系统”,针对黄石气象站 1961—2012 年共计 52 年,大冶气象站 1973—2012 年共计 40 年的分钟降水资料(表 1),按照《室外设计排水规范》(中华人民共和国住房和城乡建设部,2014)、《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》(宋丽莉等,2014)等相关规范要求,采用年多个样法从逐年分钟雨量资料中挑选 5、10、15、20、30、45、60、90 和 120 min 的 9 个降雨历时的前 8 个最大值作为原始数据。对原始数据按从大到小的顺序排序后,选取前面资料年数 4 倍的数据作为统计样本参与暴雨强度总、分公式的推算。总、分公式分别见式(1)和式(2),具体参数

推求结果如表 2 所示。

从表 2 两市暴雨强度公式参数结果来看,黄石总公式的  $A_1$  和  $b$  值分别约为大冶相应值的 3.3 和 2.3 倍。在 10 年及以上重现期,黄石分公式的  $A$ 、 $b$  值分别是大冶相应值的 3 和 2 倍左右。此外,文章对暴雨强度公式设计雨强结果也进行了比较,由于分公式比总公式计算结果更为精确,这里选用大冶、黄石两市暴雨强度分公式,分别计算两者在 11 个重现期:0.25、0.33、0.5、1、2、3、5、10、20、50 和 100 a,以及 9 个降水历时:5、10、15、20、30、45、60、90 和 120 min 下的暴雨强度。通过比较发现(表 3),在重现期 0.5~100 a 的各历时下,黄石设计雨强结果基本较大冶的相应值偏大,例如:当重现期为 1 a 时,黄石设计雨强结果比大冶基本偏大,偏大程度在

1.81%~4.25%,并且随着重现期的增加,这种偏大程度有着增加的趋势;当重现期为 10 a 时,黄石设计雨强结果比大冶的偏大程度在 10.16%~20.14%。当重现期为 100 a 时,这种偏大程度最大可以达到 27.34%。说明同属环大冶湖地区的黄石、大冶两市,其降水规律可能存在明显的差异。

$$q = \frac{A_1 \times (1 + c \times \lg P)}{(t + b)^n} \quad (1)$$

$$i = \frac{A}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式中, $q$ (或  $i$ )为暴雨强度(单位: $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ), $P$ 为重现期(单位:a); $A_1$ (或  $A$ )、 $b$ 、 $c$ 、 $n$ 是与地方暴雨特性有关且需求解的参数: $A_1$ (或  $A$ )为雨力参数, $b$ 为降雨历时修正参数, $n$ 为暴雨衰减指数。

表 2 黄石、大冶暴雨强度总、分公式参数一览表

Table 2 Parameter list of total and branch formula of intensities of rainstorms in Huangshi and Daye

$P/a$	黄石				大冶			
	$A_1/\text{mm}$	$b/\text{mm}$	$n$	$c$	$A_1/\text{mm}$	$b/\text{mm}$	$n$	$c$
0.25	9.79	8.286	0.769	/	16.828	12.017	0.87	/
0.33	12.084	10.266	0.780	/	16.512	11.923	0.843	/
0.5	15.472	12.037	0.790	/	16.154	11.798	0.808	/
1	20.222	14.068	0.802	/	15.661	11.600	0.757	/
2	29.474	17.511	0.829	/	16.398	11.731	0.731	/
3	34.680	18.600	0.839	/	16.791	11.773	0.718	/
5	41.122	19.750	0.849	/	17.266	11.817	0.703	/
10	50.014	21.412	0.863	/	18.020	11.923	0.686	/
20	62.807	23.613	0.882	/	19.144	12.163	0.675	/
50	78.874	25.196	0.897	/	20.519	12.336	0.663	/
100	90.753	26.191	0.907	/	21.525	12.445	0.655	/
总公式	33.865	21.816	0.881	0.6	10.408	9.314	0.653	0.451

表 3 黄石、大冶暴雨强度分公式计算结果的比较[(黄石—大冶)/大冶×100%]

Table 3 Comparison of the calculated results of rainstorm intensities by sub-formula between Huangshi and Daye city ((Huangshi—Daye)/Daye)×100%

$P/a$	$T/\text{min}$								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
0.25	-6.30	-8.30	-9.02	-9.18	-8.85	-7.81	-6.65	-4.49	-2.61
0.33	-5.22	-5.48	-5.37	-5.11	-4.44	-3.39	-2.43	-0.80	0.53
0.5	-0.35	0.37	0.91	1.33	1.97	2.66	3.16	3.89	4.42
1	1.81	3.10	3.74	4.07	4.25	4.05	3.68	2.88	2.13
2	6.64	9.32	10.75	11.50	11.98	11.65	10.89	9.15	7.51
3	10.26	13.18	14.68	15.44	15.81	15.18	14.11	11.80	9.68
5	13.61	16.70	18.24	18.96	19.15	18.18	16.74	13.78	11.12
10	14.57	17.81	19.41	20.11	20.14	18.81	17.01	13.37	10.16
20	16.05	19.64	21.45	22.26	22.34	20.87	18.82	14.65	10.94
50	19.86	23.59	25.43	26.21	26.12	24.30	21.88	17.04	12.77
100	21.10	24.81	26.62	27.34	27.12	25.05	22.39	17.13	12.53

### 3 差异成因诊断分析

黄石、大冶两市气象站直线距离约为 23.7 km,在大冶的平均年降水量(1479.5 mm)大于黄石的相应值(1445.2 mm)情况下,黄石气象站的设计雨强结果却在大部分重现期、降水历时下比大冶的相应值偏大,为了找出造成两市设计雨强结果的差异原因,我们将从降水气候特征值、短历时雨强年(代)变化、降水样本取样时间的一致性等方面进行探索。

表 4 1973—2012 黄石和大冶多年降水气候特征值

Table 4 The climate eigenvalues of precipitation in Huangshi and Daye during 1973—2012

	黄石	大冶
平均年降水量/mm	1445.2	1479.5
最大年降水量/mm	2222(1998 年)	2076(1999 年)
最大月降水量/mm	842.9(1998 年 7 月)	621.1(1998 年 7 月)
最大日降水量/mm	360.4(1998 年 7 月 22 日)	250.5(1998 年 7 月 22 日)
平均年暴雨日数/d	5.2	4.9

从黄石、大冶两站历年年降水量变化图(图 1)可以看出,两站年降水量随着年份变化的趋势基本一致。大部分年份下,黄石年降水量的大值年对应大冶站年降水量大值,黄石年降水量的小值对应大冶站年降水量小值。不过对于一些年降水量较大的年份,如 1977、1983、1998 年等,黄石站对应的年降水量值在大部分年份要大于大冶站。这说明以年降水量为尺度进行比较时,在强降水年黄石的降水强度相对更强。

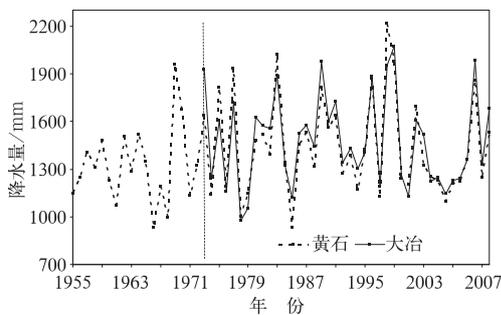


图 1 1955—2012 年黄石和大冶年降水量变化  
(图中竖虚线表示大冶 1973 年建站)

Fig. 1 Variation diagram of annual precipitation in Huangshi and Daye during 1955—2012  
(The vertical dotted line means the Daye Station built in 1973)

从黄石、大冶两站逐年日最大降水量变化图(图 2)可以看出,逐年日最大降水量均呈波动变化,

### 3.1 降水气候特征值的比较

选取黄石、大冶两站多年降水气候特征值进行比较,结果如表 4 显示。1973—2012 年,虽然黄石的平均年降水量(1445.2 mm)小于大冶(1479.5 mm),但是其最大年降水量、最大月降水量、最大日降水量及平均年暴雨日数均大于大冶的相应值。这说明从降水的多年情况来看,虽然大冶的降水总量较大,但是黄石的降水强度可能较强。

除 1994 年等少数年份外,黄石气象站逐年最大日降水量均大于大冶。这说明以逐年日降水量最大值为尺度进行比较时,黄石日降水强度有可能更强。

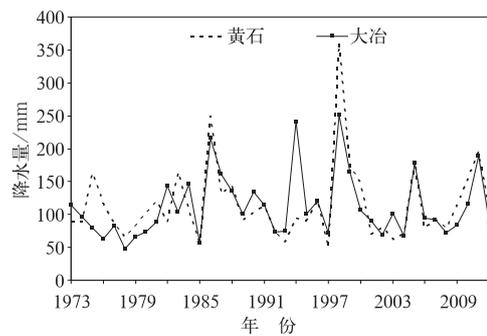


图 2 1973—2012 年黄石、大冶逐年日最大降水量变化

Fig. 2 The yearly variation diagram of the daily maximum precipitation in Huangshi and Daye during 1973—2012

### 3.2 短历时强降水年变化的比较

从黄石、大冶(1973—2012 年)两站经“年多个样法”选样后的原始数据中选取 5、10、15、20、30、45、60、90 和 120 min 的 9 个降水历时的逐年第一个最大降水量进行比较,如图 3 所示(仅给出 5、15、30、60、90 和 120 min)。从两站降水量曲线波动可以直观地看出,在这 9 个降水历时下,黄石站(蓝线)

降水量在大部分年份要大于大冶站(红线)。从两站降水量的变化趋势线来看,在 5~45 min 的短历时条件下,黄石降水量趋势线高于大冶,从历时 30 min 开始到 45 min,大冶降水量的增加趋势逐渐明显,而黄石的增长趋势逐渐减弱;在 60~90 min 降水历时下,两者趋势线末端相交,但是黄石趋势线仍

然在绝大部分年份明显高于大冶。直至历时 120 min,大冶最大降雨量极值变化趋势线在 1995 年左右略高于黄石。由此可见,在 5~90 min 的短历时情况下,黄石第一个最大降水量值趋势线均大于大冶,短历时降水量的偏大解释了黄石设计雨强结果偏大于大冶的原因。

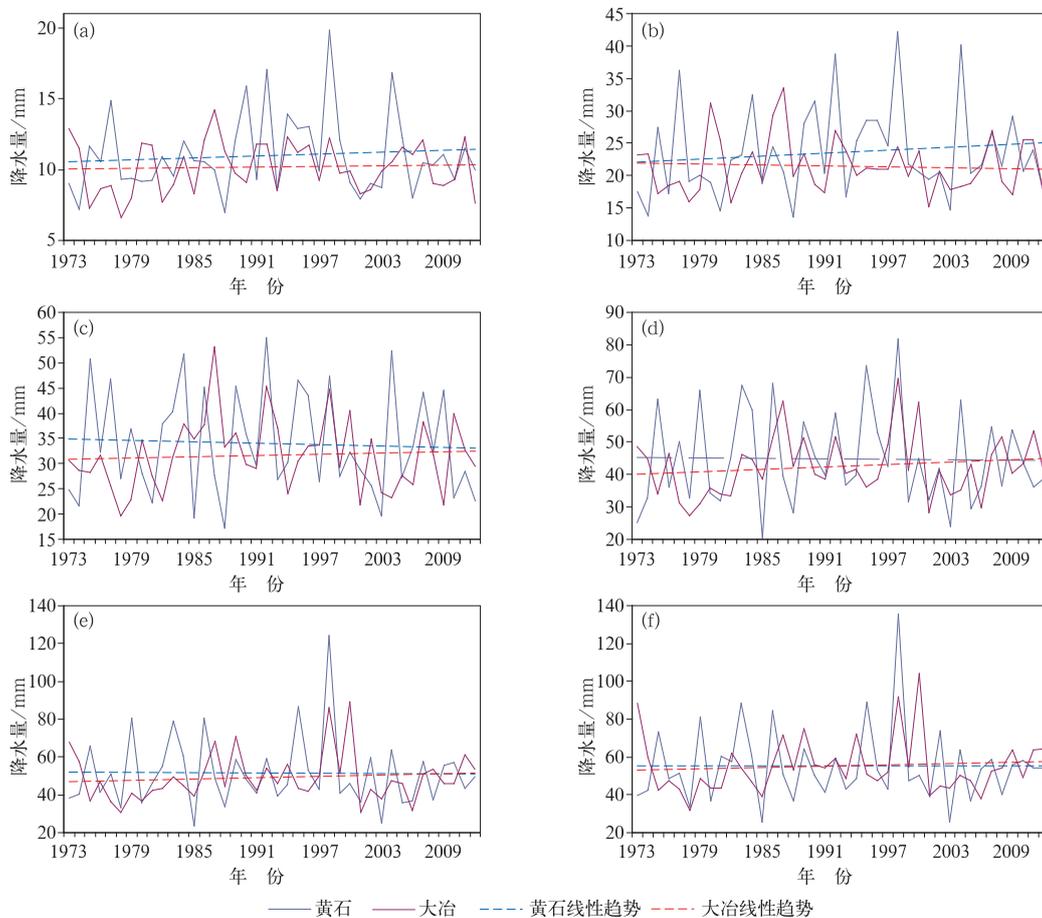


图 3 黄石、大冶 1973—2012 年逐年历时 5 min(a)、15 min(b)、30 min(c)、60 min(d)、90 min(e)、120 min(f)下最大降水量的比较

Fig. 3 Comparison of the maximum precipitation in 5 min (a), 15 min (b), 30 min (c), 60 min (d), 90 min (e) and 120 min (f) between Huangshi and Daye during 1973–2012

此外,本文利用黄石(1961—2012年)、大冶(1973—2012年)两站经年多个样法选样后的原始资料,将各历时下的 8 个最大降水量值分别进行多年平均以及标准偏差的计算,然后比较(图 4 和图 5)。由图 4 和图 5 可知,在 10 和 60 min 降水历时下,除了第一个最大降水量的多年平均值黄石均偏大,其余 7 个次大值的平均值基本为大冶略大,但是黄石前 8 个最大降水量的标准偏差绝大部分大于大冶,这说明即使 7 个次大值序列黄石的平均值偏小,

但是其降水量值在序列内的变化情况仍然更为剧烈。

也将 5、15、20、30、45、90 和 120 min 降水历时下黄石、大冶两站的 8 个最大降水量值分别进行多年平均以及标准偏差的计算及比较(图略),情况与上述降水历时 10、60 min 下的情况类似,除了第一个最大降水量的多年平均值黄石均偏大,其余 7 个次大值黄石略小于大冶。但是,黄石前 8 个最大降水量分别算出的标准偏差基本大于大冶,且黄石的

标准偏差是大冶相应值的 1.4 倍左右。这说明黄石各大值序列内的变化情况更为剧烈,其极大值数据相对较大。由此可见,黄石的设计雨强结果大于大冶,可能是由于设计雨强结果对降水样本的第一个最大降水量值以及标准偏差更为敏感造成。

推求暴雨强度公式主要利用短历时强降水数据

作为采样样本,继而利用极值分布曲线(指数分布、皮尔逊-Ⅲ型分布、耿贝尔分布等)进行样本拟合,这一过程是利用降水资料的极值来估算未来各重现期的降水极值情况。推测正是由于黄石站极大值数据的相对更大造成其设计雨强结果大于大冶站。

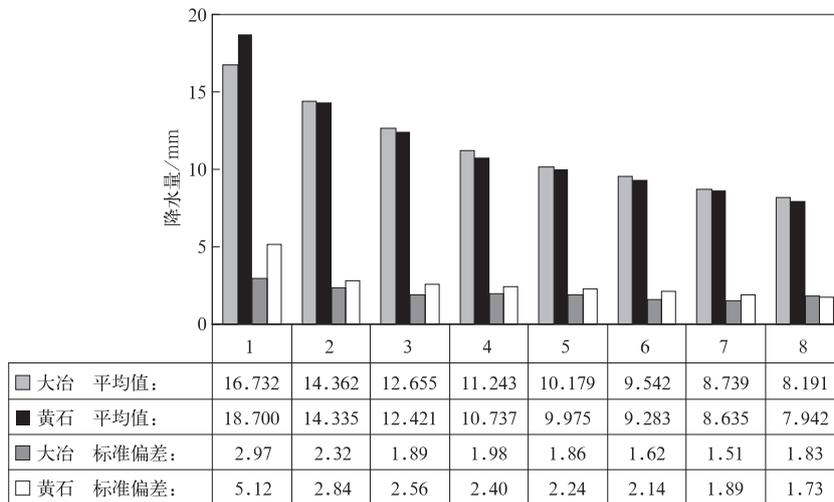


图 4 10 min 降水历时下,大冶、黄石前 8 个最大降水量的多年平均值及标准偏差

Fig. 4 The years' mean value and standard deviation of the first 8 maximum precipitation in 10 min

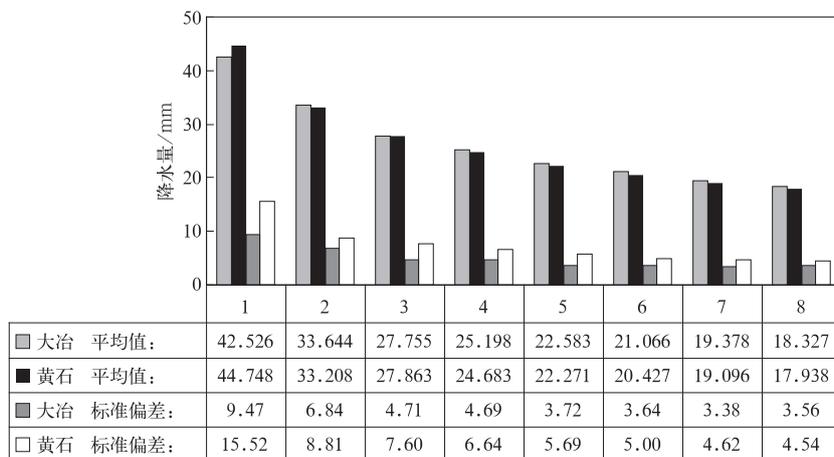


图 5 同图 4,但为 60 min

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for 60 min

### 3.3 降水样本取样时间一致性的讨论

考虑到计算大冶市暴雨强度公式使用的是 1973—2012 年共计 40 a 的降水资料,计算黄石市暴雨强度公式使用的是 1961—2012 年共计 52 a 的降

水资料,为了找到大冶市暴雨强度计算结果相对于黄石偏小的原因,检验降水资料取样时间的差异对黄石、大冶两地暴雨强度造成的影响,我们从黄石的降水资料中选取 1973—2012 年共计 40 a 资料再次进行计算,同时与大冶计算结果进行比较。结果发

现,当黄石站采用与大冶同期(1973—2012年)降水资料进行计算得到的暴雨强度公式,其暴雨强度计算结果较大冶的偏大程度更大了。这一点与黄石站 1970 以前的年降水量波动平缓,基本小于 1970 年之后的年降水量的情况相一致(图 1),同时也排除了降水样本取样时间的不同会造成大冶市暴雨强度计算结果小于黄石这一可能。

## 4 结论与讨论

(1)黄石市的暴雨强度公式设计雨强结果在大部分重现期、降水历时下比邻近的大冶市偏大,最大偏大程度达到了 27.34%。

(2)从降水气候特征值来看,大冶的降水总量较大,但是黄石的降水强度可能较强。

(3)在 5~90 min 的短历时情况下,黄石降水量均大于大冶,短历时降水量的偏大解释了黄石设计雨强结果偏大于大冶的原因;当历时到了 120 min 时,大冶降水量的增加趋势开始明显大于黄石。

(4)对经年多个样法选样后的原始资料,除了第一个最大降水量的多年平均值黄石均偏大,其余 7 个次大值黄石略小于大冶。黄石前 8 个最大降水量分别算出的标准偏差约为大冶的 1.4 倍左右。设计雨强结果对降水样本的第一个最大降水量值以及标准偏差更为敏感。

(5)黄石利用 1973—2012 年降水资料计算得到的设计雨强比其利用 1961—2012 年降水资料的结果要大,排除了降水样本取样时间的不同会造成大冶市暴雨强度计算结果小于黄石这一可能。

在全球气候变化、极端气候事件频发的大背景下,随着城市化进程的不断加速,城市下垫面也发生着巨大变化,城市热岛效应、城市对大气环境的影响等都是极端降水事件的诱发因素。而且黄石、大冶两地有着不同的地理环境,这些都可能导致两邻近地区拥有不同的降水规律。两地不同的降水特征导致在大冶平均年降水量大于黄石的情况下,其降水

强度计算结果在大部分重现期、降水历时下小于黄石。

此外,从本文的分析可以看出,即便是气象站直线距离仅为 23.7 km 的黄石、大冶两市,其设计雨强结果都存在着明显的差异。在暴雨强度公式编制工作的实际开展过程中,我们发现很多城市存在没有本地暴雨强度公式,在雨水管渠的施工设计中照搬邻近城市公式结果这一现象,由此看来这种做法显然是不合理的。

## 参考文献

- 陈正洪,王海军,张小丽,等. 2007. 水文学中雨强公式参数求解的一种最优化方法. 应用气象学报, 18(2): 237-241.
- 邓培德. 2006. 城市暴雨两种选择方法的概率关系与应用评述. 给水排水, 32(6): 39-42.
- 顾俊强,陈海燕,徐集云. 2000. 瑞安市暴雨强度概率分布公式参数估计研究. 应用气象学报, 11(3): 355-363.
- 郭渠,廖代强,孙佳,等. 2015. 重庆主城区暴雨强度公式推算和应用探讨. 气象, 41(3): 336-345.
- 李海燕,陈国平,陈光涛. 2011. 近 48a 鄂东汛期暴雨日数的时空变化特诊. 暴雨灾害, 30(1): 77-82.
- 李祚泳,高攀宇,邓新民. 2002. 暴雨强度公式参数的遗传优化. 气象, 28(5): 8-10.
- 宁静,李田. 2007. 城市化效应对上海短历时设计雨强的影响. 中国给水排水, 23(15): 51-57.
- 宋丽莉,张善发,何伶俐,等. 2014. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则. 北京: 气象出版社, 25.
- 谢五三,王胜. 2010. 近 40a 淮河流域暴雨特征分析. 暴雨灾害, 29(4): 377-380.
- 张意林,覃军,陈正洪. 2008. 近 56a 武汉市降水气候变化特征分析. 暴雨灾害, 27(3): 253-257.
- 植石群,宋丽莉,罗金玲,等. 2000. 暴雨强度计算系统及其应用. 气象, 26(6): 30-33.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2014. 室外设计排水规范(2014年版)(GB50014—2006). 北京: 中国计划出版社, 247.
- 周玉文,翁窈瑶,张晓昕,等. 2011. 应用年最大值法推求城市暴雨强度公式的研究. 给水排水, 37(10): 40-44.
- 周玉文,周胜昔. 1997. 极大似然法求皮尔逊Ⅲ型分布参数. 给水排水, 23(6): 19-21.