

范嘉伟, 黄锦林, 唐造造. 高州市不同历时降雨组合的风险概率研究[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 213–217. [FAN Jiawei, HUANG Jinlin, TANG Zaozao. Analysis of Risk Probability of Different Duration Rainfall in Gaozhou City[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 213–217. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.037.]

## 高州市不同历时降雨组合的风险概率研究<sup>\*</sup>

范嘉伟<sup>1,2,3</sup>, 黄锦林<sup>1,2,3</sup>, 唐造造<sup>1,2,3</sup>

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510635; 2. 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广东 广州 510635; 3. 广东省山洪灾害防治工程技术研究中心, 广东 广州 510635)

**摘 要:** 基于目前水文频率分析中的不确定性问题, 以高州市马贵站 1965–2016 年的降雨资料为例, 利用 P–Ⅲ型曲线对高州市年最大 1 h 降雨量与相应各历时长降雨量进行了频率分析; 构建年最大 1 h 与相应 6 h、12 h、24 h 降雨量的联合分布模型, 并计算三种组合下的两种风险率大小。结论指出: 条件概率  $P_2$  均明显大于条件概率  $P_1$ ; 各降雨组合的  $P_1$  和  $P_2$  随年最大 1 h 降雨量的增加而增大, 即当  $H_1$  为 117.45 mm 取得最大值, 其中  $P_1(H > H_6 | H < H_1)$  与  $P_2(H > H_6 | H > H_1)$  达到最大值 48.5% 和 71.2%。在设计重现期增至 10 年及以上时, 其所对应的风险率均显著降低至 20% 以下。因此在推求设计暴雨和设计洪水时, 利用 Copula 函数估算不同降雨组合的风险概率, 对于准确合理预测遭遇强降雨事件, 准确计算设计暴雨值, 保证居民财产安全有着重要的意义。

**关键词:** Copula 函数; 降雨组合; 设计暴雨; 条件概率; 风险; 广东高州

**中图分类号:** TV122; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)01–0213–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.01.037

在我国水利工程设计中, 普遍利用设计暴雨推求设计洪水, 在对降雨和洪水进行频率分析时通常基于单变量的概率分布函数来表征, 然而, 在实际情况下有多个特征量在共同决定着降雨和洪水的过程, 以降雨为例, 特征量即包括降雨量、雨型、雨峰、历时等。因此, 由于没有考虑变量之间相关性, 传统估算方法有待研究和完善, 从气候因素的不确定性方面考虑, 各历时年最大设计暴雨的取值存在估算误差<sup>[1–3]</sup>, 对暴雨特征值等水文要素间相互遭遇的风险性进行分析研究十分必要<sup>[4]</sup>。

目前, 一些学者已对诸多水文要素互相遭遇的风险概率进行了相关研究, 陈子桀等<sup>[5]</sup>以最大日降雨量为基准, 构建了 1 d 和 3 d、1 d 和 7 d 降雨量的联合概率分布模型; 高玉琴等<sup>[6]</sup>通过建立 1 d 和 7 d 面雨量的联合分布模型, 计算了设计暴雨值和相应重现期值; 刘成林等<sup>[7]</sup>引入 3 维 Copula 函数建立了不同降雨特征变量的组合模型, 得出了不同量级变量的条件概率和遭遇概率; 武传号等<sup>[8]</sup>以广州市为例分析研究了暴雨和潮位的风险

关系; 许月萍等<sup>[9]</sup>分别运用不同函数建立了各个历时的降雨量联合分布模型, 降低了水文分析中的不确定因素; 杨星等<sup>[10]</sup>基于深圳市洪水潮位资料建立了两变量的风险模型, 为深圳市防灾减灾工作提供了科学指导依据。

虽然我国在降雨量监测技术较为成熟, 统计数据较为可靠, 但在设计暴雨计算中考虑多因素共同作用下的降雨过程还较少, 针对不同历时降雨组合的遭遇风险的分析还很欠缺, 因此, 本文以高州市马贵镇为研究区域, 对年最大 1 h 与相应不同历时下的降雨量变化过程做了统计分析, 指出了在设计暴雨计算中将各时段暴雨参数取为定值可能出现计算误差, 并利用 Copula 函数建立不同历时降雨组合下的联合分布模型, 对可能遭遇的降雨组合风险概率进行了分析研究。分析结果给出了不同重现期降雨组合的概率取值, 可为计算设计暴雨提供新的研究思路, 对如何及时预测暴雨洪涝灾害问题具有一定参考价值, 对高州市防洪减灾工程建设提供有效的科学依据。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017–05–18 修回日期: 2017–07–24

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2015–12)

第一作者简介: 范嘉伟(1991–), 女, 山西太原人, 硕士, 研究方向为水文水资源等. E-mail: jiawei\_fan@126.com

通讯作者: 黄锦林(1971–), 男, 江西赣州人, 教授级高级工程师, 博士, 从事水利工程与防洪减灾研究工作。

E-mail: hjl@gdsky.com.cn

表 1 条件风险概率模型

$P(x < x_1 \cup y < y_1)$	$P_1(y > y_1   x < x_1)$	$P_2(y > y_1   x > x_1)$
$C(u_1(x_1), u_2(y_1))$	$\frac{u_1(x_1) - C(u_1(x_1), u_2(y_1))}{u_1(x_1)}$	$\frac{1 - u_1(x_1) - u_2(y_1) + C(u_1(x_1), u_2(y_1))}{1 - u_1(x_1)}$

表 2 曹江马贵站各时段暴雨频率表

时间/h	P=0.01%	P=0.05%	P=0.1%	P=0.2%	P=0.5%	P=1%	均值	CV	CS
1	181.2	159.3	149.7	140.2	127.32	117.5	59.33	0.3	1.39
6	615.2	513.5	469.9	426.6	369.7	326.9	120.46	0.45	2.42
12	837.9	700.0	640.8	581.9	504.4	446.1	159.09	0.48	2.31
24	863.5	737.4	682.8	628.0	555.2	499.8	195.62	0.45	1.72

1 研究方法

阿基米德型 Copula 函数 (Archimedean - Copula) [11] 在水文领域应用较为普遍。它们的表达形式简洁易懂,且通常基于二维,由于在其构造基于多变量的联合分布函数时可以变换成各种普适性好、表达式多样的形式,在实际的学术研究中具有极强的科研价值,在水利工程中也被广泛用来分析实际问题[12-14]。常见的二维 Archimedean Copula 函数通常为 Gumbel - Hougaard (G - H)、Clayton、Ali - Mikhail - Haq (AMH)、Frank 四种[15]。

选择最优 Copula 函数建立模型前,需要估计函数参数  $\theta$  的大小。相关性指标法[16]是统计 Copula 函数中参数  $\theta$  的常用方法,即通过建立 kendall 秩相关系数  $\tau$  与  $\theta$  的关系,推求参数  $\theta$  的值。kendall 秩相关系数  $\tau$  表达式如下:

$$\tau = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}[(x_i - x_j)(y_i - y_j)]。$$
 (1)

式中:  $\tau$  为 kendall 秩相关系数,  $\text{sign}(\cdot)$  为符号函数,  $(x_i, y_i)$  为测点据,  $n$  为实测序列长度。

根据  $\tau \sim \theta$  相关关系[17],在求得 Copula 函数的参数  $\theta$  后,便可以建立不同变量间的联合分布函数,优选最佳联合分布模型。

想要确定最能够准确反映研究对象真实特性的 Copula 函数,需要进行拟合优度评价如离差平方和准则法(OLS)、AIC 信息准则法[16-18]等。计算得出的 AIC 值与 OLS 值越小,则 Copula 函数拟合程度越高。

优选出最佳 Copula 函数后,当取  $u_1(x_1), u_2(y_1)$  条件下,  $C(u_1, u_2)$  的值为在  $x$  取值小于  $x_1$ , 或  $y$  取值小于  $y_1$  时该联合事件发生的风险概率。条件概率表示变量  $X$  小于规定的设计值  $X_1$  时,变量  $Y$  却超过设定的设计值  $Y_1$  的风险概率;表示变

量  $X$  超出规定的设计值  $X_1$  的同时变量  $Y$  也超过规定的设计值  $Y_1$  的风险概率(表 1)。

2 研究区域分析

2.1 流域概况

曹江是鉴江的一级支流,发源于广东省高州市马贵镇山心村海拔 1 141 m 的蓝蓬岭,自东北向西南流经马贵、大坡、石龙等镇,其上游的高山区多为海拔 1 000 m 以上,历来是高州市的暴雨高区,年雨量平均在 2 400 mm 以上,年最大值可超过 4 000 mm。降雨较大原因是当水汽向北或向西推进时受阻,以及受山地抬升作用影响,在其东南迎风坡形成强降雨带,因此多年来雨带覆盖的高州的马贵镇等部分地区受到了严重的洪涝灾害。

针对 2010 年“9·21”暴雨洪水中受灾最为严重的高州马贵镇,选取马贵水文站,收集历年各历时降雨资料进行暴雨要素的分析计算工作,全面分析研究其不同历时暴雨特征要素,可以为今后防御今后类似的中小流域暴雨事件提供借鉴,减少灾害损失,为防洪工程设计建设提供科学依据。马贵站位于曹江流域马贵镇的马贵圩,于 1956 年设站(111°18' E, 22°12' N),降雨数据均采用遥测系统记录和存储,质量优良,成果可靠。

2.2 降雨频率分析

选用马贵雨量站点进行历年降雨频率计算分析,分析时段选取年最大 1 h、以及以年最大 1 h 降雨出现时间为基准,分别选取连续 6 h、12 h 和 24 h 的降雨量为研究数据。样本数据采用 1965 - 2016 年实测系列进行 P - III 型曲线[19]频率适线,适线采用目估法,万年一遇暴雨参考可能最大暴雨(PMP)适当控制,分析结果如表 2 所示,表 2 中将重现期百年一遇至万年一遇的设计暴雨值进行了汇总,为水利工程设计提供数据参考。

### 3 降雨组合风险分析

方便起见, 本文中以  $P$  表示风险概率; 以  $H$  表示降雨量, 下标为降雨历时。通过计算, 得到  $H_1$  与  $H_6$  组合的秩相关系数  $\tau$  为 0.781,  $H_1$  与  $H_{12}$  组合的秩相关系数  $\tau$  为 0.715,  $H_1$  与  $H_{24}$  组合的秩相关系数  $\tau$  为 0.683。因此三组变量间均存在良好的正相关性, 通过对阿基米德 Copula 函数的参数  $\theta$  进行估算, 进而建立理论联合分布模型。估算结果如表 3 所示。

表 3 阿基米德 Copula 参数  $\theta$

变量组合	G-H Copula	Clayton Copula	AMH Copula	Frank Copula
$H_1$ & $H_6$	4.57	7.14	0.87	14.08
$H_1$ & $H_{12}$	3.52	5.04	0.81	12.63
$H_1$ & $H_{24}$	3.16	4.32	0.79	8.35

对各降雨组合的 Copula 进行拟合优度评价, 分析表中的 AIC 和 OLS 指标结果。根据表 4 数据显示, 结合 AIC 与 OLS 评价价值越小拟合程度越好的原则, 可知 G-H Copula 函数对于各降雨组合联合分布拟合效果最好, 可以认为用 G-H Copula 函数来建立联合分布模型最能准确反映变量间的相关关系。因此, 代入计算求得的参数, 采用 G-H Copula 函数构建两变量联合概率分布  $C$ , 根据表 1 中的条件风险概率模型, 进而得出  $P_1$  和  $P_2$ 。

本文以年最大 1 h 和相应 24 h 降雨组合为例, 给出  $P_1$  和  $P_2$  概率分布图和相应等值线图 (见图 1), 可得两变量在不同取值下的  $P_1$  和  $P_2$ 。其余降雨组合分布图特征与之相近, 因此不再一一列出。由风险概率的定义, 可以表 5 为例, 将  $P_1$ ,  $P_2$  具体定义为和, 并赋予其实际的风险定义: 1 h 降雨量虽未超过设定的警戒值, 但此期间 24 h 累积降雨量将超过设定警戒值的风险概率  $P_1$ , 实际工程中可根据  $P_1$  快速确定在 1 h 临界雨量范围内  $H_{24}$  的超警风险率; 在 1 h 降雨量超出了设定的警戒值的情况下, 相应 24 h 降雨也同样超出规定值  $H_{24}$  的风险概率  $P_2$ , 受两个超警水文要素影响, 此工况下的受灾情况可能较严重, 相关部门可根据  $P_2$  值的大小制定相应防灾减灾措施。

表 6~表 7 对不同时段下的降雨量组合进行了进一步风险概率统计。在表 6 中, 分别选取各重现

期下的降雨量值  $H_1$  和  $H_6$  值, 并得出对应的  $P_1$  和  $P_2$ 。其中  $P_2$  的风险概率值均大于  $P_1$ , 从表 6 可以看出, 在特定的  $H_1$  值下,  $P_1$  和  $P_2$  均随  $H_6$  的增大而减小, 在  $H_1$  取值为两年一遇时,  $P_1$  和  $P_2$  分别达到最小值 0.3% 和 1.2%。在给定  $H_6$  时,  $P_1$  和  $P_2$  均随  $H_1$  的增大而增大, 例如当  $H_6$  取 10 年一遇的 185.76 mm 下, 最大 1 h 降雨量为 55.35 mm 时,  $P_1$  和  $P_2$  分别为 5.7% 和 13.7%;  $H_1$  为 93.81 mm 时,  $P_1$  和  $P_2$  分别为 8.9% 和 17.2%, 增加了 56% 和 25%。总结表 6 可得出, 100.35 mm 的  $H_6$  与 117.45 mm 的  $H_1$  条件下,  $P_1(H > H_6 | H < H_1)$  与  $P_2(H > H_6 | H > H_1)$  达到最大值 48.5% 和 71.2%。表 7 中的风险概率分布与表 6 具有相似的规律性, 在此不在赘述。

对比表 5~表 7 的计算成果不难看出,  $H_1$  在任意重现期条件下, 当相应 6 h、12 h、24 h 降雨量重现期从 2 年一遇增加至 5 年一遇时,  $P_1$  和  $P_2$  减小幅度较大且均在 50% 以上, 如在 1 h (117.45 mm) 与 6 h 降雨组合中,  $H_6$  从 100.35 mm 到 147.36 mm 的增加使两种风险概率分别从 48.2% 和 69.7% 降为 18.9% 和 32.8%。此外, 在设计重现期增至 10 年及以上时, 其所对应的风险概率均显著降低至 20% 以下。

因此在推求设计洪水中传统的取值方法不能够全面地反映研究区域历年降雨特征, 估算设计暴雨时由于缺乏考虑多种降雨组合情况的发生概率, 将可能造成最终计算结果的偏差。

### 4 结论

本文选取高州市历年降雨序列资料, 对各个时段降雨量进行了详细的统计与分析, 采用 P-Ⅲ型曲线对年最大 1 h 降雨以及时段内 6 h、12 h、24 h 降雨序列进行拟合, 采用 G-H Copula 函数构建 1 h~6 h、1 h~12 h、1 h~24 h 的联合概率分布模型, 在分布模型的基础上分别推求条件风险概率  $P_1$  和  $P_2$ , 风险分析结论可为改进设计暴雨与设计洪水的计算方法, 准确合理预测遭遇强降雨事件, 以及制定有效的城区防灾减灾措施提供有力的科学参考依据。

表 4 各降雨组合的 Copula 拟合优度评价

Archimedean Copula	$H_1$ & $H_6$	$H_1$ & $H_{12}$	$H_1$ & $H_{24}$	$H_1$ & $H_6$	$H_1$ & $H_{12}$	$H_1$ & $H_{24}$
	AIC			OLS		
(G-H) Copula	-380.29	-424.79	-331.01	0.0284	0.0416	0.0327
Clayton Copula	-326.44	-318.60	-309.83	0.0357	0.0505	0.0362
(AMH) Copula	-172.03	-65.25	-150.52	0.0511	0.0924	0.0619
Frank Copula	-208.51	-273.77	-196.48	0.0393	0.0581	0.0588

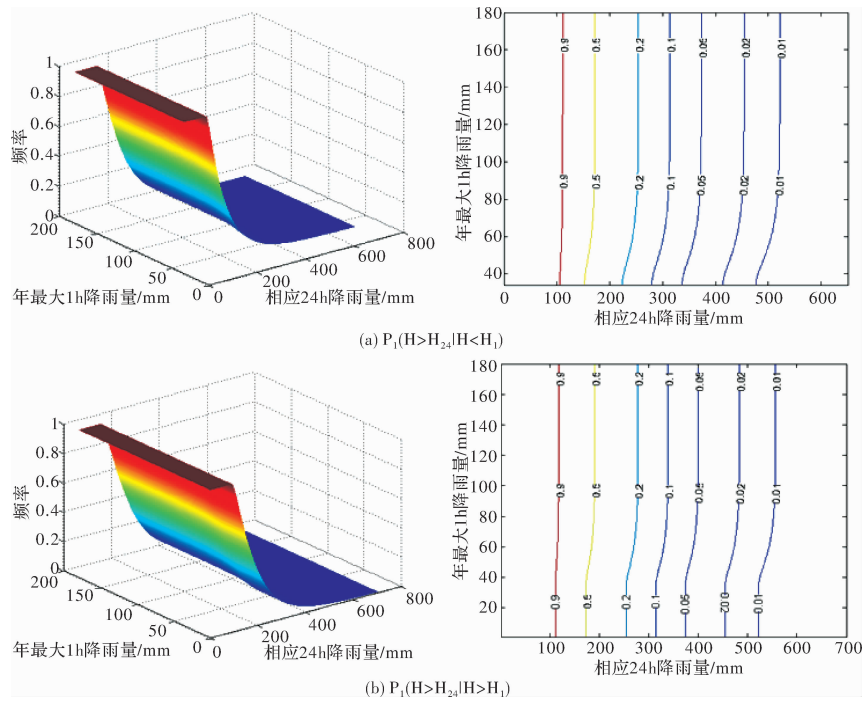


图1 年最大1 h与相应24 h降雨量 $P_1$ 、 $P_2$ 概率与相应等值线图

表5 年最大1 h与相应24 h降雨量风险概率计算成果

$a$	$H_{24}$	$a$		2		5		10		20		50		100	
		$H_1$		171.78		253.42		312.05		369.40		444.03		499.81	
		$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$
2	55.35	0.451	0.544	0.172	0.233	0.086	0.117	0.043	0.062	0.018	0.027	0.012	0.015		
5	71.91	0.481	0.583	0.191	0.251	0.095	0.131	0.048	0.067	0.022	0.029	0.014	0.016		
10	83.13	0.491	0.591	0.201	0.257	0.100	0.131	0.050	0.069	0.023	0.029	0.015	0.017		
20	93.81	0.507	0.594	0.205	0.260	0.102	0.132	0.052	0.071	0.024	0.030	0.016	0.017		
50	107.42	0.515	0.597	0.206	0.261	0.104	0.132	0.053	0.071	0.024	0.031	0.016	0.017		
100	117.45	0.520	0.601	0.208	0.262	0.105	0.133	0.053	0.072	0.024	0.031	0.016	0.018		

表6 年最大1 h与相应6 h降雨量风险概率计算成679C

$a$	$H_6$	$a$		2		5		10		20		50		100	
		$H_1$		100.35		147.36		185.76		224.50		280.62		326.95	
		$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$
2	55.35	0.354	0.615	0.121	0.268	0.057	0.137	0.025	0.069	0.008	0.025	0.003	0.012		
5	71.91	0.441	0.669	0.165	0.308	0.080	0.161	0.037	0.083	0.012	0.031	0.004	0.015		
10	83.13	0.464	0.683	0.178	0.320	0.085	0.168	0.041	0.087	0.014	0.033	0.005	0.016		
20	93.81	0.476	0.692	0.182	0.326	0.089	0.172	0.043	0.090	0.015	0.035	0.006	0.017		
50	107.42	0.482	0.697	0.189	0.328	0.094	0.174	0.044	0.092	0.016	0.036	0.006	0.017		
100	117.45	0.485	0.712	0.201	0.333	0.101	0.176	0.052	0.094	0.022	0.036	0.006	0.017		

表7 年最大1 h与相应12 h降雨量风险概率计算成果

$a$	$H_{12}$	$a$		2		5		10		20		50		100	
		$H_1$		133.0		201.37		256.27		312.53		388.19		446.08	
		$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$
2	55.35	0.374	0.518	0.142	0.220	0.072	0.115	0.038	0.061	0.016	0.027	0.009	0.016		
5	71.91	0.426	0.540	0.168	0.242	0.085	0.129	0.044	0.067	0.020	0.031	0.012	0.019		
10	83.13	0.439	0.565	0.176	0.254	0.088	0.133	0.046	0.071	0.021	0.034	0.012	0.021		
20	93.81	0.445	0.582	0.181	0.261	0.091	0.137	0.048	0.075	0.022	0.036	0.013	0.022		
50	107.42	0.456	0.593	0.185	0.270	0.094	0.140	0.049	0.078	0.022	0.036	0.013	0.023		
100	117.45	0.457	0.602	0.186	0.273	0.095	0.141	0.049	0.081	0.022	0.037	0.013	0.023		

## 参考文献:

- [1] FONTANAZZA C M, FRENI G, LA LOGGIA G, et al. Uncertainty evaluation of design rainfall for urban flood risk analysis[J]. Water Science&Technology, 2011, 63(11): 2641–2650.
- [2] 吴志勇, 郭红丽, 金君良, 等. 气候变化情境下黑河流域极端水文事件的响应[J]. 水电能源科学, 2010, 28(2): 7–9.
- [3] 陆桂华, 张亚洲, 肖恒, 等. 气候变化背景下蚌埠市暴雨与淮河上游洪水遭遇概率分析[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(1): 31–36.
- [4] 许月萍, 李佳, 曹飞凤, 等. Copula 在水文极限事件分析中的应用[J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, 42(7): 1119–1122.
- [5] 陈子燊, 刘曾美. 不同历时设计暴雨组合的风险率分析[J]. 水文, 2011, 31(4): 12–17.
- [6] 高玉琴, 陈钊西, 赵丽梅, 等. 秦淮河流域不同频率降雨联合概率分析[J]. 水电能源科学, 2016, 34(3): 1–5.
- [7] 刘成林, 周玉文, 隋军, 等. 3 维 Copula 函数在降雨特征多变量频率分析中的运用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015, 47(4): 87–92.
- [8] 武传号, 黄国如, 吴思远. 基于 Copula 函数的广州市短历时暴雨与潮位组合风险分析[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2): 33–40.
- [9] 许月萍, 童杨斌, 富强, 等. 几种 Copulas 模拟不同历时降雨量的影响分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(6): 1107–1111.
- [10] 杨星, 蔡开玺, 杨虎. Clayton Copula 模式下的深圳市洪潮组合风险率[J]. 武汉大学学报(工学版) 2011, 4(5): 590–593.
- [11] Sklar M. Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges [M]. Université Paris, 1959, 8: 229–231.
- [12] NELSEN R. An introduction to copulas[M]. New York: Springer Verlag, 2006.
- [13] SALVADORI G, DE MICHELE C. Frequency analysis via copulas: theoretical aspects and applications to hydrological events [J]. Water Resources Research, 2004, 40(12): W12511.
- [14] ZHANG L, SINGH V P. Gumbel – Hougaard copula for trivariate rainfall frequency analysis[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2007, 12(4): 409–419.
- [15] ZHANG Q, LI J, SINGH V P, et al. Copula – based spatio – temporal patterns of precipitation extremes in China[J]. International Journal of Climatology, 2013, 33(5): 1140–1152.
- [16] NELSEN R B. An introduction to Copulas[M]. Beilin: Springer, 1999.
- [17] JOE H. Multivariate models and dependence concepts[M]. London: Chapman&Hall, 1997.
- [18] 范嘉炜, 黄锦林. 基于 Kendall 重现期的降雨潮位风险分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(5): 21–24.
- [19] 李宏伟, 水文频率参数计算方法与应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009: 1–14.

## Analysis of Risk Probability of Different Duration Rainfall in Gaozhou City

FAN Jiawei<sup>1, 2, 3</sup>, HUANG Jinlin<sup>1, 2, 3</sup> and TANG Zaozao<sup>1, 2, 3</sup>

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China;

2. State and Local Joint Engineering Laboratory of Estuary Hydropower Technology, Guangzhou 510635, China;

3. Mountain Flood Disaster Prevention Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510635, China)

**Abstract:** Based on the rainfall data from 1965 to 2016 in Maogui station of Gaozhou, the  $P$ -III curve is used to analyze the frequency of the maximum 1 h rainfall and the corresponding daily rainfall in Gaozhou. The annual distribution model of 1h and the corresponding 6h, 12h, 24h rainfall distribution model was established. We also calculated the two kinds of risk ratio of three combinations. We have got the conclusion that the conditional probability  $P_2$  is significantly larger than the conditional probability  $P_1$ ; The value of  $P_1$  and  $P_2$  of each rainfall combination increased with the increase of the maximum rainfall of 1h,  $P_1(H > H_6 | H < H_1)$  and  $P_2(H > H_6 | H > H_1)$  reached the maximum value of 48.5% and 71.2%. When the return period is increased to 10 years and above, the corresponding risk rates significantly reduced to less than 20%. Therefore, it is important to estimate the risk probability of different rainfall combinations by using Copula function to estimate the storm value and ensure the safety of residents' property.

**Key words:** copula function; rainfall combination; design rainstorm; conditional probability; risk; Gaozhou