

近 30 年江西省洪灾损失等级评估及对降雨响应研究

欧阳千林¹, 占承德²

(1. 江西省鄱阳湖水文局, 江西 庐山, 332800; 2. 江西省九江市水文局, 江西 九江, 332000)

摘 要: 本文基于 1991~2016 年洪涝灾害损失指标统计成果, 运用物元分析法对洪涝灾害损失进行评估分级, 并定性分析降雨量对洪涝灾害损失的影响程度。分析结果为: 1) 江西几乎年年都有洪灾损失产生, 小灾、大灾、重灾分别占总年份的 65%、19%、16%, 且重灾主要集中在 20 世纪 90 年代; 2) 影响洪灾损失的主要降雨指标为年降雨量、汛期降雨量、月降雨变异系数, 且呈正比关系; 3) 受各种工程措施和非工程措施影响, 同等频率降雨条件下, 2000 年以后, 特别是 2010 年以后洪灾损失程度较 20 世纪 90 年代大大减小。

关键词: 江西; 洪灾损失; 等级评估; 降雨量

中图分类号: P332.2

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2020)05-0325-07

0 引 言

自然灾害是一个全球性的问题, 而暴雨洪水灾害又是最主要最频繁发生的灾害之一^[1]。我国的洪涝灾害发生频次高、影响范围广、造成的损失大和突发性强^[2-3]。洪灾损失往往包括成灾面积大小、伤亡人口多少、倒塌房屋数量和直接经济损失等, 不同类型的洪水以及主要发生地点的不同都会造成不一样的洪灾损失, 如何快速评价洪灾损失程度是防洪减灾措施的理论基础和前提, 也是当今社会研究的热点之一^[4]。

江西地处长江中下游南岸, 位于东经 113°35'~118°29', 北纬 24°29'~30°05' 之间, 属中亚热带湿润季风气候区。适宜的气候水文条件造成江西河流众多, 水系发达, 洪涝灾害也十分频繁, 自东晋太元六年(公元 381 年)至中华人民共和国成立的 1 568 年间, 江西省共发生较大洪水 521 年次, 1998 年鄱阳湖又发生全流域性大洪水, 造成江西省极大的经济损失^[5]。目前, 对江西省历史洪灾损失的评估鲜见报道, 本文基于近 30 年江西省洪涝灾害损失统计成果, 运用物元分析方法, 对

江西省洪涝灾害进行评估, 并定性分析降雨量对洪涝灾害损失的影响程度。

1 数据与方法

1.1 数据来源

洪灾损失数据主要包括 1991~2016 年共 26 年的逐年洪灾损失值, 其指标包括成灾面积、死亡人口、受灾人口、倒塌房屋、直接经济损失等 5 项。洪灾损失数据主要来自于江西省水利厅统计成果。同时, 考虑随着社会发展, 即使同样频率的致灾洪水也会在不同时期、不同地区造成不一样的损失, 特别会影响直接经济损失指标的精度。故以每年洪灾造成直接经济损失和当年国民生产总值的比值评估当年经济损失情况, 并以 2016 年作为基准年来调整每年的直接经济损失。国民生产总值数据来自于《江西省统计年鉴》。

降雨量数据主要包括 1991~2016 年江西省各市逐月降雨量数据, 数据来自于《江西省水文局统计年鉴》。

1.2 分析方法

物元分析是研究解决不相容问题的规律和方法的

新兴学科,其逻辑基础是形式逻辑与辩证逻辑的结合^[6]。目前该方法也已大量应用于各行各业的总体评价和评估中^[7-9],主要的原理是对于研究的事物 N,其特征 C 的值为 V,即可用有序三元 $R=(N,C,V)$ 作为基本元描述为物元^[8]。若研究事物具有多个特征,可用 $C_1、C_2、C_3\cdots C_n$ 分别描述它的 n 个特征,用 $U_1、U_2、U_3\cdots U_n$ 分别对应 n 个特征的量值,可用矩阵表示为:

$$R=(N,C,V)=\begin{vmatrix} & c_1 & u_1 \\ N & c_2 & u_2 \\ & \cdots & \cdots \\ & c_n & u_n \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} & c_1 & (a_1,b_1) \\ N & c_2 & (a_2,b_2) \\ & \cdots & \cdots \\ & c_n & (a_n,b_n) \end{vmatrix} \quad (1)$$

随后计算各灾级的关联函数:

$$K_j(G_i)=\begin{cases} \frac{\rho(j,X_{0i})}{|X_{0i}|} & x\in X_{0i} \\ \frac{\rho(j,X_{0i})}{D(j,X_{0i},X)} & x\notin X_{0i} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $K_j(G_i)$ 为关联函数; j 为洪灾指标; $\rho(j,X_{0i})$ 及 $D(j,X_{0i},X)$ 为距。

对每项评估指标,按照文献^[9]方法设计隶属函数为:

$$u_k(x_k)=\begin{cases} 1, & x=x_{kmax} \\ (a_k+b_kx_k)^{k_k}, & x_{kmax}>x>x_{kmin} \\ 0, & x=x_{kmin} \end{cases} \quad (3)$$

式中, x_k 为洪灾损失的第 k 项指标的数据; x_{kmax} 为洪灾损失的第 k 项指标的最大值; x_{kmin} 为洪灾损失的第

k 项指标的最小值; a_k,b_k,k_k 为第 k 项指标的特定参数,其值应满足:

$$\begin{cases} (a_k+b_kx_{kmin})^{k_k}=0 \\ (a_k+b_kx_k)^{k_k}=0.5 \\ (a_k+b_kx_{kmax})^{k_k}=1 \end{cases} \quad (4)$$

对于第 k 项指标,取定以下的等级划分标准:

$$\begin{cases} 0\leq u_k\leq 0.25, \text{ I 类} \\ 0.25<u_k<0.5, \text{ II 类} \\ 0.5\leq u_k\leq 0.75, \text{ III 类} \\ 0.75<u_k\leq 1, \text{ IV 类} \end{cases} \quad (5)$$

将洪灾损失按照损失程度的大小分为 4 类,分别为 I 类(小灾)、II 类(中灾)、III 类(大灾)、IV 类(重灾),划分标准结果见表 1。

同时采取指数超标法 $W_k=\frac{Q_k}{S_k}$, (Q_k 为第 k 项指标

的平均值, S_k 为第 k 项指标 4 个类别标准的平均值),计算各指标权重,并将其标准化,得各指标权重值,见表 2。

2 分析与结果

2.1 近 30 年江西洪灾损失评估

根据物元分析评估原理构建物元分析经典域和节域:

表 1 江西省洪灾损失各项评估指标的等级标准

	I 类(小灾)	II 类(中灾)	III 类(大灾)	IV 类(重灾)	最高允许值
成灾面积 $A/(1\ 000\text{hm}^2)$	120.1	340.5	639.9	1 159	1 739
死亡人口 $D/\text{人}$	18.0	79.0	185.0	313.0	469.5
受灾人口 $S/\text{万人}$	520	1 110	1 830	2 081	3 123
倒塌房屋 $H/\text{万间}$	1.30	10.4	37.0	91.2	136.8
直接经济总损失 $L/\text{亿元}$	27	85.9	240	3 808	5 712

表 2 各项指标归一化权值

评估指标	成灾面积	死亡人口	受灾人口	倒塌房屋	直接经济损失
W_k	0.25	0.18	0.24	0.10	0.23

$R_1 =$	M_1	A	[0, 120.1]
		D	[0, 18.0]
		S	[0, 18.0]
		H	[0, 1.3]
		L	[0, 1.3]
$R_2 =$	M_2	A	[120.1, 340.5]
		D	[18.0, 79.0]
		S	[52.0, 1110]
		H	[1.30, 10.4]
		L	[27.0, 85.9]
$R_3 =$	M_3	A	[340.5, 639.9]
		D	[79.0, 185.0]
		S	[1110, 1830]
		H	[10.4, 37.0]
		L	[85.9, 240]
$R_4 =$	M_4	A	[639.9, 1159]
		D	[185.0, 313.0]
		S	[1830, 2081]
		H	[37.0, 91.2]
		L	[24.0, 3808]
$R =$	M	A	[0, 1739]
		D	[0, 469.5]
		S	[0, 3123]
		H	[0, 136.8]
		L	[0, 5712]

随后计算各指标对应的 4 个标准类别的关联函数, 加权计算出综合成灾面积、死亡人口、受灾人口、倒塌房屋和直接经济损失的关联函数, 并根据评定准则, 对各年洪灾损失样本做出属于哪类损失等级的判定, 判定结果见表 3。从表中可以看出, 江西每年都会因洪

表 3 江西省历年洪灾损失等级评估成果

年份	损失等级	年份	损失等级	年份	损失等级	年份	损失等级
1991	小灾	1998	重灾	2005	小灾	2012	小灾
1992	大灾	1999	小灾	2006	大灾	2013	小灾
1993	重灾	2000	小灾	2007	小灾	2014	小灾
1994	重灾	2001	小灾	2008	小灾	2015	小灾
1995	重灾	2002	小灾	2009	小灾	2016	小灾
1996	大灾	2003	大灾	2010	大灾		
1997	小灾	2004	小灾	2011	小灾		

涝灾害而发生洪灾损失。其中, 损失等级为小灾的有 17 年, 占总年数的 65%; 损失等级为大灾的有 5 年, 占总年数的 19%; 损失等级为重灾的有 4 年, 占总年数的 16%。

同时, 还可以看出大灾及以上等级洪灾损失主要集中在 20 世纪 90 年代, 特别是重灾均发生在 20 世纪 90 年代, 且具有连续性的特点。

2.2 降雨量对洪灾损失影响

2.2.1 降雨量与洪灾损失指标关系分析

降雨量指标既需用年降雨量表示, 也应考虑到降雨时间分布不均、空间分布不均对洪涝灾害损失的影响。分析年降雨量 P 、4~6 月份(主汛期)降雨量 P_{4-6} 、4~9

月份(汛期)降雨量 P_{4-9} 、月降雨量变异系数 CV_M 、年降雨量空间变异系数 CV_S 等 5 项雨量指标与成灾面积、死亡人口、受灾人口、倒塌房屋、直接经济损失等 5 项洪灾损失指标的 Spearman 相关系数, 见表 4。

从表 4 可以看出, 各雨量指标与各洪灾损失指标之间 Spearman 相关系数较小, 但各指标之间又存在一定的关系。例如: 月降雨量变异系数与各洪灾损失指标均存在较为显著的正相关关系, 变异系数越大, 洪灾损失程度越大; 年降雨量大小与成灾面积和受灾人口之间存在一定的显著关系, 年降雨量越大, 成灾面积和受灾人口就越多; 汛期降雨量大小, 特别是主汛期降雨量的大小与成灾面积、受灾人口和倒塌房屋之间存在较

表 4 雨量指标与洪灾损失指标的 Spearman 相关系数统计

	P	P ₄₋₆	P ₄₋₉	CV _M	CV _S
成灾面积	0.43*	0.49*	0.44*	0.42*	0.34
死亡人口	0.34	0.35	0.36	0.45*	0.36
受灾人口	0.40*	0.44*	0.45*	0.47*	0.36
倒塌房屋	0.36	0.40*	0.40*	0.43*	0.31
直接经济总损失	0.36	0.37	0.38	0.43*	0.43*

注:标“*”表示通过置信度 0.05 显著性检验。

为显著的关系,表明洪灾损失的关键在于汛期降雨量的大小,这一方面取决于年降雨总量的大小,另一方面又取决于月降雨变异系数的大小。

同时,随着社会经济的发展,科学技术水平的提高,各类减灾的工程措施和非工程措施的运用,不同年代背景下降雨量与洪灾损失指标之间的紧密程度又会发生变化。分别分析 1991~1999、2000~2009 年共 2 个年代下降雨量指标与洪灾损失指标之间的 Spearman 相关系数,见表 5;2010~2016 年各雨量指标和洪灾损失指标相关关系均不显著,年降雨量与各洪灾损失指标相关关系均不显著,故未列入。

从表 5 中可以看出,1991~1999 年汛期降雨量、月降雨量变异系数和年降雨量空间变异系数大部分与洪灾损失指标之间存在显著的关系,且关系较为紧密,特别是 4~6 月份降雨量与倒塌房屋和直接经济损失之间相关系数达到了 0.80;2000~2009 年,汛期降雨量与死

亡人口和受灾人口存在显著的关系。

从影响机理上分析,降雨量指标与成灾面积关系应最为密切。运用逐步回归法分析降雨量指标与成灾面积关系得知,成灾面积与年降雨量、4~9 月降雨量、月降雨变异系数之间关系最为密切。因各指标之间单位不一致,故对各项指标进行标准化处理,并建立多元回归模型。绘制历年成灾面积模拟值和实测值过程线,见图 1。模拟值过程线与实测值过程线变化基本一致,20 世纪 90 年代拟合程度最好,2010 年以后拟合程度偏差较大。

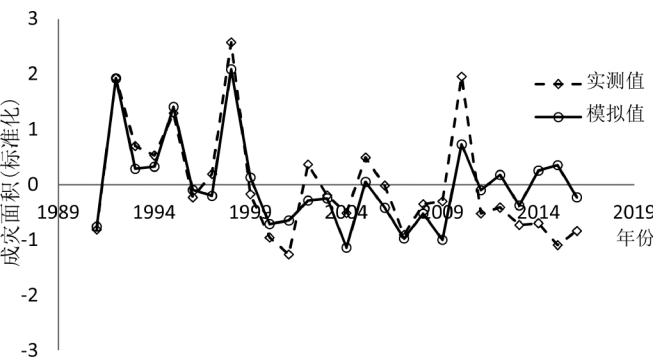


图 1 江西省历年成灾面积(标准化)统计值与模拟值过程线

综上所述,影响洪灾损失指标的主要降雨指标为年降雨量、汛期降雨量、月降雨变异系数,年降雨量越大、汛期降水量越集中、月降雨变异系数越大,洪灾损失程度越大;20 世纪 90 年代各降雨量指标与洪灾损失关系最为紧密,随着社会的发展,特别是 2010 年以后,降雨量指标与洪灾损失之间的紧密程度逐渐减小。

表 5 不同年代雨量指标与洪灾损失指标的 Spearman 相关系数统计

	1991~1999				2000~2009			
	P ₄₋₆	P ₄₋₉	CV _M	CV _S	P ₄₋₆	P ₄₋₉	CV _M	CV _S
成灾面积	0.68*	0.22	0.59	0.70*	0.62	0.42	0.24	-0.31
死亡人口	0.77*	0.17	0.72*	0.59	0.82**	0.56	0.00	-0.19
受灾人口	0.75*	0.20	0.56	0.59	0.80**	0.63*	0.08	-0.14
倒塌房屋	0.80**	0.35	0.69*	0.80**	0.47	0.26	0.16	-0.42
直接经济总损失	0.80**	0.33	0.72*	0.61	0.48	0.27	0.04	-0.24

注:标“*”和“**”分别表示通过置信度 0.05 显著性检验。

2.2.2 降雨量与洪灾损失等级关系分析

灰色关联度分析是一种多因素统计分析的方法,通过分析研究对象与各因子之间的贴进度,计算关联系数,从而判断各因子与研究对象影响程度大小。计算

各降雨指标与洪灾损失等级之间的关联系数,具体计算方法不再赘述,可参考文献^[11]。计算结果见图2,各降雨指标与洪灾损失等级关系相差不大。1996年以前,各降雨指标系数均偏小,省内降雨过程与洪灾损失等级

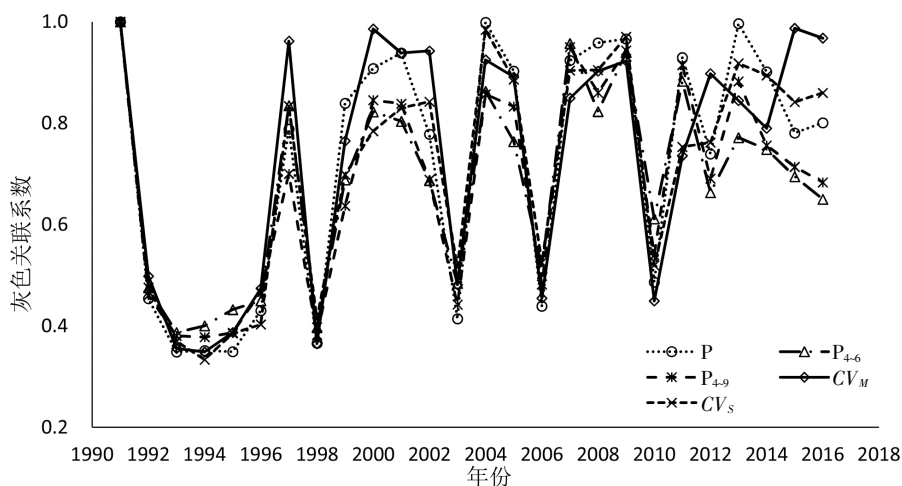


图2 各降雨指标与损失等级灰色关联系数过程图

之间关系并不密切。例如发生重灾的1993年、1994年、1995年降雨总量在26年内分别排在第10、7、9位;4~6月降雨总量分别排在第7、3、1位;4~9月降雨总量分别排在第9、11、4位。值得关注的是1993年年降雨总量、4~6月降雨量、4~9月降雨量分别排在序列第10、7、9位(见图3,三角形为发生重灾年份,菱形为发生大灾年份),却酿成巨灾,表明遭成洪灾损失的不仅仅与这5个降雨指标有关。

同样的,降雨指标与洪灾损失关系不十分密切的年份还有1998年、2003年、2006年和2010年,这几年均是大灾以上的年份,分析影响洪灾损失程度的降雨指标不能仅仅依靠江西境内降雨时空变化特征,2003年各项降雨指标排列均靠后,年降雨总量、4~6月降雨总量、4~9月降雨总量分别排名在第24、15、22位,但其却造成18人死亡和828万人受灾,这主要由于降雨空间分布极其不均,赣州、吉安、抚州等地受强降雨而造成局地洪水,而其他江西大部并未产生较大洪水。

从频率角度定性分析,1991~1999年2~5年一遇降雨共7年,10年、20年一遇降雨分别有1年;2000~2009年2~5年一遇降雨共9年,10年一遇降雨1年;2010~2016年2~5年一遇降雨共3年,10年、20年、30

年一遇降雨分别有1年。对比洪灾损失等级,可发现同等频率降雨条件下,2000年以后,特别是2010年以后洪灾损失程度较20世纪90年代大大减小。至于造成同频率降雨情况下洪涝灾害损失程度减小的原因,一是由于水利工程投入大幅度增加。改革开放,特别是“98长江流域大洪水”过后,江西水利建设投入大幅增加,1998年以前年均投入4.7亿元,1998年以后水利投入突破两位数,2010年以后每年水利投入更是增加到百亿元^[12]。二是由于各项水利工程大量建设。至2018年江西共加固整治堤防115座,累计达3071km;新建水库718座,除险加固水库9259座;中小河流治理866条共6520km;水土流失面积治理达6000多万亩^[12]。三是由于水利科学技术水平的大幅提升。受人类社会科技水平快速发展裨益,水利这一古老技术也迎来蓬勃发展,各种防灾减灾技术手段得以拓展,防灾减灾技术能力得以提升。四是由于公众防灾减灾意识得以增强。通过科普宣传、公众参与等各种手段,社会公众防灾减灾意识得到大步提升,但农村居民的防灾减灾意识和自救互救能力相对较为薄弱^[13]。

综而述之,在一般情况下,6~10年一遇的暴雨就能对江西造成较大的洪灾损失,降雨量越大,降雨越集中,造成的损失就越大,但也不排除在降雨总量较小的

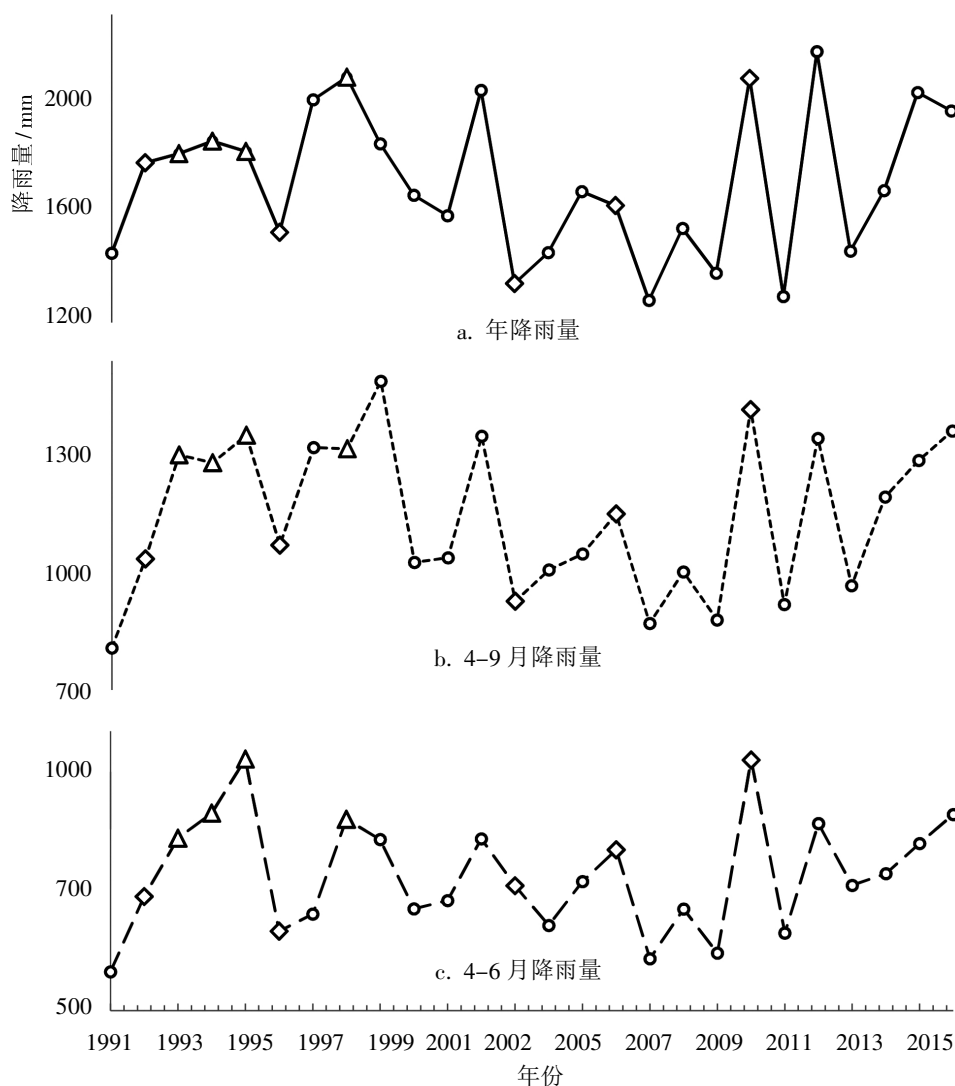


图3 江西省历年特征降雨变化过程

情况下也能造成较大的洪涝灾害损失。同时,受水利投入大幅增加影响,江西各类工程和非工程措施得到大幅提高,防灾减灾能力得到极大提升,同等频率降雨条件下,2000年以后,特别是2010年以后洪灾损失程度较20世纪90年代大大减小。

3 结 论

本文基于1991~2016年洪涝灾害损失指标统计成果,运用物元分析法对洪涝灾害损失进行评估分级,并定性分析降雨量对洪涝灾害损失的影响程度,得出以下结论:

(1)江西年年都会因洪涝灾害而发生洪灾损失,主

要是小灾,占总年份的65%,大灾、重灾分别占总年份的19%、16%,且重灾主要集中在20世纪90年代。

(2)影响洪灾损失指标的主要降雨指标为年降雨量、汛期降雨量、月降雨变异系数,年降雨量越大、汛期降雨量越集中、月降雨变异系数越大,洪灾损失程度越大。

(3)受各种工程措施和非工程措施提升影响,同等频率降雨条件下,2000年以后,特别是2010年以后洪灾损失程度较20世纪90年代大大减小。

但因大部分洪灾损失具有局部性特点,全省平均降雨难以定量反应降雨对洪涝灾害损失的影响,后期需继续收集资料,分析典型流域下极端降水对洪涝灾害损失的影响。

参考文献:

- [1] 刘家福, 张柏. 暴雨洪灾风险评估研究进展 [J]. 地理科学, 2015, 35 (3): 346~351.
- [2] 胡俊锋, 杨月巧. 基于气象水文要素的洪涝灾害损失评估[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12 (1): 26~31.
- [3] 张游, 王绍强, 葛全胜, 等. 基于 GIS 的江西省洪涝灾害风险评估[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20 (Z1): 166~172.
- [4] 韩平, 程先富. 洪水灾害损失评估研究综述[J]. 环境科学与管理, 2012, 37 (04): 61~64.
- [5] 孙晓山, 谭国良, 陈福春, 等. 江西河湖大典[M]. 长江出版社, 2010.
- [6] 蔡文. 新学科《物元分析》[J]. 广东工业大学学报, 1992 (4): 105~108.
- [7] 李英攀, 李晓喆, 刘名强, 等. 基于物元分析的城市综合体建筑火灾风险评价研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 53 (03): 352~358+372.
- [8] 刘灿均, 门宝辉, 蔡常鑫. 基于物元分析法的温榆河水质评价初步研究[J]. 水资源开发与管理, 2019 (10): 11~15+4.
- [9] 李超. 基于物元分析的我国洪灾损失综合评估 [J]. 统计教育, 2006 (03): 44~46.
- [10] 张院, 寇文杰. 模糊数学综合评判法中指标权重和算法的优选[J]. 人民黄河, 2015, 37 (07): 64~67.
- [11] 秦聪. 基于改进灰色关联分析法的汾河水质评价 [J]. 水利水电快报, 2019, 40 (5): 35~38.
- [12] 康成英, 廖金源. 改革开放 40 年江西水利事业发展成就与思考[J]. 水利发展研究, 2019, 19 (01): 48~52.
- [13] 王海亮, 王阳, 敬雨男, 等. 风险管理视角下鄱阳湖流域暴雨洪涝灾害防御对策与建议[J]. 气象与减灾研究, 2018, 41 (04): 304~309.

编辑: 张绍付

Research on flood disaster losses grade and response to rainfall in Jiangxi province over 30 years

OUYANG Qianlin¹, ZHAN Chende²

(1. Poyang Lake Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Lushan 332800, China;

2. Jiujiang Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Jiujiang 332000, China)

Abstract: Based on the statistical results of flood disaster losses in 1991~2016, this article uses matter-element analysis to evaluate and grade flood disaster losses, and analyzes the changes of rainfall indicators that affect flood disaster losses. The results shows: 1) Every year, Jiangxi province suffers from flood disaster losses. The years of minor disasters, major disasters, and severe disasters accounted for 65%, 19%, and 16%, respectively. The years of severe disasters were mainly concentrated in the 1990s. 2) The main rainfall indicators that affect the degree of change in flood loss are annual rainfall, rainfall during the flood season, and monthly rainfall coefficient of variation. Flood damage losses and rainfall indicators are directly proportional. 3) Affect by various engineering measures and non-engineering measures, under the same frequency of rainfall, after 2000, especially after 2010, the degree of flood damage was greatly reduced compared with the 1990s.

Key words: Jiangxi; Flood disaster losses; Grade assessment; Rainfall

翻译: 欧阳千林