

溧水河区域雨洪风险评估应用研究

高士佩, 许建平

(江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

摘要:雨洪灾害风险因子由致灾因子、孕灾环境、承灾体共同作用构成。云物元模型能有效的将物联网技术和大数据云计算决策方法融合,解决多源复杂的雨洪风险评估难题,提高雨洪灾害风险评估的时效性和准确性。从雨洪灾害评估的平均风险等级的发展趋势来看,2016—2018 年溧水河区域雨洪灾害风险等级在逐渐升高,区域遭受雨洪风险灾害的可能性也越来越大。

关键词:雨洪灾害; 风险评估; 溧水河区域; 云物元模型

中图分类号: TU992

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2020)09-0006-05

Application of rain and flood risk assessment in Lishui River area

GAO Shipai, XU Jianping

(Jiangsu Water Conservancy Science Research Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: The risk factors of rain and flood disasters are composed of the combined effects of disaster – causing factors, disaster – preparing environment and disaster – bearing bodies. The cloud matter element model can effectively integrate the Internet of Things technology and big data cloud computing decision – making methods, solve the assessment problem of multi – source and complex rain and flood risk, and improve the timeliness and accuracy of rain and flood disaster risk assessment. Judging from the development trend of the average risk level of rain and flood disaster assessment, the risk level of rain and flood disasters in Lishui River area was gradually increasing from 2016 to 2018, and the possibility of the area suffering rain and flood risk disasters was also increasing.

Key words: rain and flood disasters; risk assessment; Lishui River area; cloud matter element model

近年来,大数据已在城市治理、智能交通、气象监测等领域开展了较为广泛的研究,但在雨洪灾害管理领域的研究还处在起步阶段。国内学者早期构建雨洪风险评估指标体系时,在雨洪灾害孕灾环境方面,通过降水量^[1]来反映;在雨洪灾害致灾因子方面,通过警戒水位、积水深度和时间、灾害重现期^[2]等来描述。目前在防汛管理方面,水利部门已经建设了防汛监测系统,用于雨情、汛情、工情等监测与管理。但由于雨洪管理涉及复杂海量的大数据,目前的监测系统对雨洪管理大数据分析处理的功能还不够完善,风险管理和调控功能还存在欠缺,需在数据分析基础上,进一步拓展雨洪风险评

估研究。随着信息技术的迅猛发展,物联网、大数据、云计算等技术应用越来越广泛,如何有效的将物联网技术和大数据决策方法融合,在此基础上,解决多源复杂的雨洪灾害监测及风险评估难题,提高雨洪灾害风险评估的时效性和准确性,对水利相关部门高效地进行雨洪灾害防控具有重要的意义。南京市地处长江下游宁镇低山丘陵地带,流域集水区呈扇型河谷平原。溧水河为秦淮河上游两源之一,洪水源近流急,几乎每年都出现雨洪灾害,2000年以来已发生4次较大洪涝灾情,其中2016年严重的雨洪灾害造成多处被淹,雨洪灾害已严重影响南京经济社会的发展。基于此,文中选择了2011—

收稿日期:2020-04-08

基金项目:江苏省水利科技项目(2017060)

作者简介:高士佩(1968—),男,研究员级高级工程师,硕士,研究方向为防洪管理与水利科研。E-mail:gsp68@sohu.com

2016 年期间雨洪灾害较重的溧水河区域引入云物元模型进行评估并进行结果分析。

1 区域雨洪概况

溧水河地处秦淮河上游,南起一、三千河交汇口,北至西北村,承接一、二、三千河等支流汇水,流域面积约 831 km²,溧水河上段有一、三千河 2 支流,分别承中山水库、西横山水库来水;而后在左岸江宁区有横溪河汇入,承赵村水库来水,右岸有二干河汇入,承接方便水库和卧龙水库来水。在下段右岸江宁区有高阳河(又称句容南河)汇入,至西北村和句容河交汇后注入秦淮河干流。天生桥河沟通秦淮河与石臼湖水系,在秦淮河与石臼湖水系分水岭位置有天生桥套闸控制,天生桥河北片汇水在沙河口汇入一干河(图 1)。

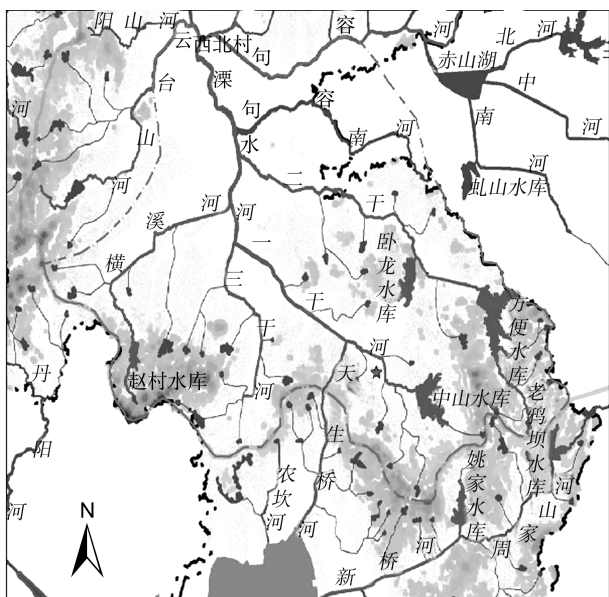


图 1 溧水河区域水系地形

溧水河区域地形总体为东西高中间低,形成以溧水河为南北向轴线的河谷地形。南北向地势则自南向北逐渐降低,南侧为秦淮河流域与石臼湖水系的分水岭,多为山丘和岗地;北侧除东、西两端为山丘和高地,中间为溧水河河谷圩区,并和秦淮河干流圩区绵延相接。溧水河支流上游主要为山丘区,中小型水库多发源于此。溧水河干流两岸及支流中下游两岸为圩区。

秦淮河上游的溧水河区域包括江宁区禄口、秣陵、湖熟街道和溧水区柘塘镇、永阳镇等行政区,禄口新城、永阳新城、空港新城、溧水经济开发区等新城和园区,禄口国际机场、宁宣高速、沿江高速、宁高城际等重要基础设施,为溧水河重要防护保护对

象(图 2)。溧水河规划防洪标准为 50 年一遇。

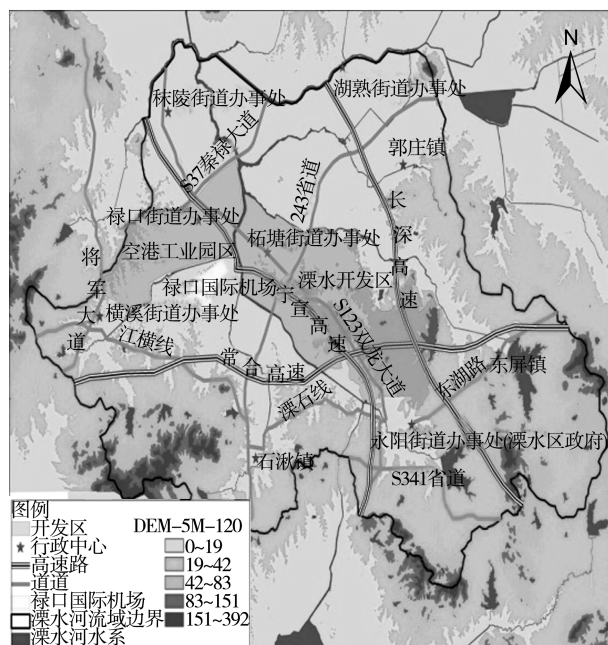


图 2 溧水河区域主要防洪保护对象及设施分布

区域多年平均降雨量 1 027.5 mm,但降水量年际变化大,年最大降雨量达是年平均降雨量的 2 倍,年最小降雨量仅为年平均降雨量的 46.2%。年内分布也不均匀,汛期 6—9 月约占全年 55%,汛期雨量又集中在 6—7 月,雨量占汛期 63%。由于梅雨期长,雨量集中,面广量大,历次暴雨洪水多在此段时期发生。

溧水河支流大多为山丘型河道,洪水呈扇形向干流汇集,源近流急,河谷浅,蓄水能力低,暴雨后汇流迅速,洪水位涨幅大,洪峰高。溧水河口前圩村(秦淮河干流)水文站典型洪水年洪峰流量分别为:2015 年 6 月 27 日 1 100 m³/s、2016 年 7 月 7 日 1 200 m³/s^[3]。溧水河上段一干河上游支流清溪河局部圩堤决口,洪水短时漫溢至圩内,后决口被及时封堵,淹没大约 2.5 km²。

2 技术路线

建立区域雨洪风险评估数据库,构建区域雨洪风险评估模型进行评估,技术路线如下:

基础资料收集与整理。收集和整理溧水河区域的自然地理、水文与洪水、构筑物及其运用调度方案、社会经济和洪涝灾害等基础资料。

研究区域雨洪大数据源,建立区域雨洪风险评估集成数据库。为有效的进行暴雨洪涝的风险评估,需要对降雨数据、地物水文、地表地形、历史灾情及社会经济等多源异构大数据进行数据结构分

析,在此基础上,解决数据格式转换问题,实现数据的统一存储,并构建区域雨洪风险评估集成数据库。

构建区域雨洪风险评估模型及算法。将云模型引入到物元分析中,采用云物元模型构建雨洪风险的评估模型。

3 风险评估模型建立

3.1 指标体系构成

区域雨洪灾害风险因子由致灾因子、孕灾环境、承灾体共同作用构成。进行雨洪灾害风险评估时,可以分别从致灾因子、孕灾环境及承灾体三方面选取合适的指标,开展综合评估。影响雨洪灾害的因素众多,包含气象、水文、降雨、地形地貌、绿化、水域、排水设施、社会经济等,因此在构建雨洪灾害风险评估指标体系时,需综合考虑。指标的选取应遵循科学性、实用性、可行性、全面性等原则,使构建的指标体系能够完整准确地反映区域雨洪灾害风险的状况,且使指标体系的规模尽可能小。参考已有文献和研究成果^[4],选取了相应的风险评估指标,构建了区域雨洪风险评估指标。指标体系由目标层、一级指标和二级指标组成,其中一级指标由致灾因子、孕灾环境和承灾体 3 个指标构成;致灾因子分别由暴雨天数、24 h 最大降雨量和月降雨量 3 个二级指标构成,孕灾环境分别由区域平均高程、绿化覆盖率、排水设施密度、不透水面积和水域面积百分比 5 个二级指标构成,承灾体由人口密度、地均 GDP、单位面积防洪投入和洪水应急处置能力四个二级指标构成。

3.2 评估指标权重确定

网络分析法 (Analytic Network Process, ANP) 是在层次分析法 (AHP) 的基础上,考虑到了不同元素以及相邻层次之间的相互影响,为解决复杂系统中的方案选择和指标评价问题提供了一种新的决策方法。网络分析法的特点就是综合考虑了不同层次之间的信息反馈和同一层次不同元素之间的相互影响,它并不要求像 AHP 那样有严格的层次分明,利用超矩阵对各相互作用因素进行综合分析,从而得到其混合权重。由此得出的溧水河区域雨洪风险评估指标体系和指标权重见表 1。

3.3 指标分级

参考国家防汛抗旱总指挥部办公室《防汛手册》^[5]和江苏省、南京市防汛防旱应急预案,综合考虑南京市统计年鉴和流域气象降雨数据,将溧水河区域雨洪风险评估评价指标划分为 5 个等级,得出

表 1 溧水河区域雨洪风险评估指标体系和指标权重

目标层	一级指标	权重	二级指标	权重
雨洪 灾害 风险	致灾因子 (I_1)	0.36	暴雨天数 I_{12}	0.36
			24 h 最大降水量 I_{11}	0.39
			月降水量 I_{13}	0.25
	孕灾环境 (I_2)	0.39	平均高程 I_{21}	0.20
			植被覆盖率 I_{22}	0.17
			排水管网密度 I_{23}	0.27
			不透水面积 I_{24}	0.24
			水域面积百分比 I_{25}	0.12
	承灾体 (I_3)	0.25	人口密度 I_{31}	0.25
			地均 GDP I_{32}	0.21
			单位面积防洪投入 I_{33}	0.23
			洪水应急处理能力 I_{34}	0.31

具体的分级指标见表 2。

3.4 风险评估模型建立

根据建立的雨洪风险评价指标体系,云物元模型将雨洪风险作为总目标层,其中包括三个一级指标层,致灾因子、孕灾环境和承灾体。每一个一级指标物元都包含有各自的二级评价指标。评估模型主要包括构建立风险评估物元、建立雨洪灾害的标准云、计算一级指标的风险类属度和风险等级的判定等步骤。

建立风险评估物元。根据已建立的雨洪灾害风险评估指标体系,将灾害风险作为总目标层并建立评估对象的指标层云物元模型。建立雨洪灾害风险标准云。云物元模型中各灾害指标风险的评价等级是通过云模型替代固定区间的方式表示。转换计算得到相应云参数,可以得到溧水河流域雨洪灾害风险的标准云参数矩阵。

计算一级指标的风险隶属度。根据标准云参数矩阵,可计算出各二级指标关于各风险等级的隶属度。通过二级指标对各个风险的隶属度的加权可直接得到一级指标层物元关于风险等级的隶属度。

风险等级判定。在得到各一级指标层物元对于各个风险等级的隶属度后,将各一级指标权重进行加权后,就可得出雨洪风险的等级隶属度。

4 区域灾害风险评估

溧水河区域大规模的降水主要集中在夏秋季,本文选取区域 6—9 月的雨洪灾害进行风险评估,根据南京市统计年鉴和南京市气象局国家基准气候

表 2 溧水河区域雨洪风险评估指标分级标准

一级指标	二级指标	稍有风险 V_1	一般风险 V_2	显著风险 V_3	高度风险 V_4	重度风险 V_5
I_1	I_{11}	0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 15
	I_{12}	0 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300
	I_{13}	0 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 400	400 ~ 600
I_2	I_{21}	450 ~ 150	150 ~ 80	80 ~ 40	40 ~ 20	20 ~ 0
	I_{22}	80 ~ 50	50 ~ 40	40 ~ 30	30 ~ 20	20 ~ 0
	I_{23}	40 ~ 24	24 ~ 18	18 ~ 12	12 ~ 6	6 ~ 0
	I_{24}	0 ~ 4	4 ~ 8	8 ~ 12	12 ~ 16	16 ~ 40
	I_{25}	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30
I_3	I_{31}	0 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 5	5 ~ 8	8 ~ 15
	I_{32}	0 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 1 000	1 000 ~ 2 500
	I_{33}	800 ~ 300	300 ~ 100	100 ~ 50	50 ~ 10	10 ~ 0
	I_{34}	100 ~ 90	90 ~ 80	80 ~ 70	70 ~ 60	60 ~ 0

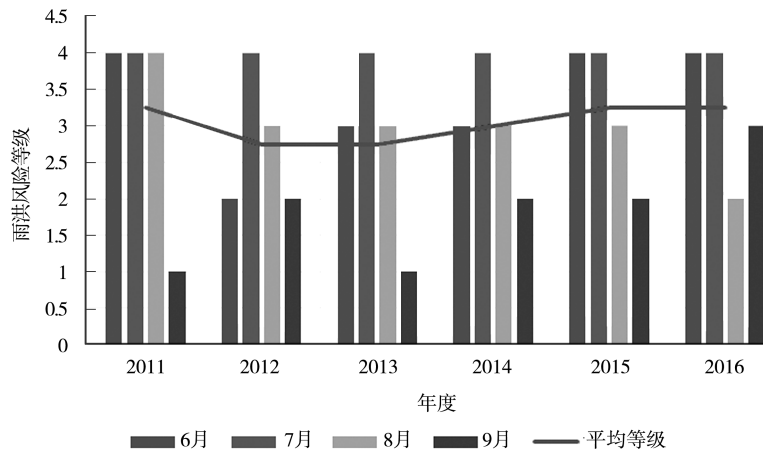


图 3 2011—2016 年溧水河区域 6—9 月雨洪灾害风险等级

站数据, 计算 2016 年溧水河区域雨洪灾害风险等级。

根据标准云参数矩阵, 将溧水河区域的指标数据代入, 即可利用 Matlab 软件进行计算迭代, 计算出溧水河区域雨洪风险等级见中各项指标的等级隶属度, 并通过与相应权重进行组合即可获得最终的溧水河区域雨洪风险等级的各级隶属度。具体各等级隶属度如表 3 所示。

最后根据隶属度最大的原则对各物元所属的风险等级进行判定, 即可判断该雨洪风险属于哪一风险等级。溧水河区域雨洪风险等级见图 4、图 5、

表 3 2011—2016 年溧水河区域 6—9 月雨洪灾害风险等级

年份	风险等级			
	6 月	7 月	8 月	9 月
2011	V_4	V_4	V_3	V_1
2012	V_2	V_4	V_3	V_2
2013	V_3	V_4	V_3	V_1
2014	V_3	V_4	V_3	V_2
2015	V_4	V_4	V_3	V_2
2016	V_4	V_4	V_2	V_3

图 6 和图 7。



图 4 研究区域 6 月份雨洪风险评估结果



图 5 研究区域 7 月份雨洪风险评估结果



图 6 研究区域 8 月份雨洪风险评估结果

5 评估结果

从雨洪灾害一级指标风险等级来看,可以得出溧水河区域孕灾环境指标处于 V_4 等级,承灾体指标处于 V_2 等级,而致灾因子指标则由于每月的降雨量与降雨持续时间的不同导致所处的风险等级也不



图 7 研究区域 9 月份雨洪风险评估结果

同,因此综合得出的区域各月的雨洪风险等级也不相同。

从雨洪灾害各月的风险等级来看,2011 年至 2016 年 7 月的风险等级相较其他月的风险等级高,一直处于 V_4 等级,而 9 月的风险等级较低。主要是由于 7 月的降雨量和降雨持续时间要高于其他月份,而到 9 月之后区域降雨逐渐减少,就不易再发生雨洪灾害。

从雨洪灾害平均风险等级的发展趋势来看,2011—2016 年溧水河区域雨洪的风险等级在逐渐升高,主要是由于致灾因子中暴雨持续时间与短时间降雨量逐年增加,同时承灾体因子中人口密度和 GDP 也在快速增长。说明由于气候变化的影响,导致区域夏季遭受强降雨的可能性越来越大,同时由于区域城市化进程的速度不断加快,经济增长和人口激增导致区域内建设用地及不透水面积逐渐增加,而配套的排水设施与绿化建设却没有与之发展匹配,所以区域遭受雨洪风险灾害的可能性也越来越大。

参考文献:

- [1] 王劲峰. 中国自然灾害影响评价方法研究[M]. 北京:中国科技出版社, 1993.
- [2] 刘树坤, 宋玉山, 程晓陶等. 黄河滩区及分滞洪区风险分析和减灾对策[M]. 郑州:黄河水利出版社, 1999.
- [3] 张然, 胡电海. 秦淮河流域“2016·7”特大暴雨洪水分析[J]. 江苏水利, 2017(4):65-68.
- [4] 范兴科, 吴普特. 暴雨的判定方法和评价指标[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1):72-75.
- [5] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 防汛手册[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1992.