

川滇地区主汛期暴雨洪水灾害风险评价

杜华明, 董廷旭

(绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要: [目的] 对川滇地区主汛期暴雨洪水灾害风险等级分布及特征进行研究, 以为区域暴雨洪水灾害的防御提供理论参考。[方法] 采用反距离加权空间插值(IDW), 自然灾害风险指数等方法。[结果] 暴雨洪水灾害的高、较高风险区主要集中在川东盆地和云南省南部边缘地区; 中度风险区主要分布在川西南山地和云南省的大部分地区; 较低灾害风险区零星分布在滇东高原、滇西北地区 and 川西高原东北部等地; 低风险区主要位于川西高原地区。[结论] 大气环流、降水量、地形地貌、河网水系是影响川滇地区主汛期暴雨洪水灾害的主要因素, 人类活动对区域下垫面性质的改变, 是加剧暴雨洪水灾害的触动因素。

关键词: 主汛期; 暴雨洪水灾害; 风险评价; 川滇地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0027-05

中图分类号: K903

文献参数: 杜华明, 董廷旭. 川滇地区主汛期暴雨洪水灾害风险评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 27-31. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.005

Risk Assessment of Rainstorm Flood Disaster in Main Flood Season in Sichuan-Yunnan Region

DU Huaming, DONG Tingxu

(College of Resource and Environment Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of rainstorm flood disaster risk in main flood season were studied in Sichuan-Yunnan region to provide theoretical reference for defense of regional rainstorm and flood disasters. [Methods] Methods of inverse distance weighted interpolation(IDW) and natural disaster risk index were used. [Results] The highest risk area of rainstorm flood disasters was mainly concentrated in the eastern Sichuan Basin and the followed area was the southern part of Yunnan Province. Moderate-risk areas were mainly distributed in the southwest mountainous region of Sichuan Province and the most areas of Yunnan Province. Lower-risk area were sporadically distributed in East Yunnan Plateau, Northwest Yunnan Province and the northeastern part of Western Sichuan Plateau. The lowest-risk area was mainly located in Western Sichuan Plateau. [Conclusion] The main influence factors of rainstorm flood disasters were atmospheric circulation, precipitation, topography and river network; the change of land use due to human activities was the trigger of rainstorm flood disasters.

Keywords: the main flood season, rainstorm flood disaster, risk assessment, Sichuan-Yunnan region

暴雨洪水灾害风险评价是进行灾害风险管理, 对灾害进行预防与控制, 减少灾害损失最有效的手段和方法。Jim 等^[1]对洪水灾害风险的研究指出, 降雨量和降雨频次是洪水灾害风险的主要影响因素; Haruyama 等^[2]对泰国中部平原洪水风险进行了评价与区划研究; Serpico 等^[3]对意大利洪水灾害卫星遥感监测与评估进行了详细论述; Ahmed 等^[4]运用遥感影像结合 GIS 技术, 对埃及西奈南部的圣凯瑟琳

路山洪灾害风险进行了评估, 为决策部门采取相关措施减灾提供参考。Matthias 等^[5]对哥伦比亚 Nevado del Tolima 地区的洪水和泥石流风险进行了风险评价和区划研究, 使灾害风险得到空间化表达, 为当局采取措施减少灾害潜在影响发挥了重要作用; 中国学者方建等^[6]对全球洪水灾害风险的评估指出, 亚洲地区、美国中南部和欧洲西部洪水灾害风险最高; 赵庆良^[7]、殷淑燕^[8]、何文华^[9]、薛仓生^[10]、陈吉虎^[11]等也

分别从社区暴雨洪水风险、暴雨洪水发生规律、城市化对暴雨洪水的影响、暴雨洪水特征、水土保持植物措施对暴雨洪水的减灾作用等角度出发对暴雨洪水灾害进行了多方位研究。

川滇地处内陆,位于青藏高原东南缘,在中国自然区划中,处于地貌第一阶梯与第二阶梯的过渡地带,青藏高原、云贵高原、横断山区、四川盆地等构成川滇大陆地貌的主要特征。川滇地区地形地貌复杂,河网密布、水系发达,受季风气候的影响,主汛期(6—8月)多暴雨洪水灾害,给人类生存和社会发展带来严重影响,通过对川滇地区暴雨洪水灾害的风险评价与区划,有助于深入认识川滇地区暴雨洪水灾害特征和风险程度,也可为区域暴雨洪水灾害的防御提供理论参考。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

所涉及的数据主要包括气象数据、基础地理数据、土地利用数据、社会经济数据和历史灾害数据。气象数据资料来源于中国气象科学数据服务共享网。

基础地理数据主要包括 1:250 000 的川滇地区 DEM 数据、行政区划图及土地利用数据,DEM 数据主要用于高程指标和河网密度的提取与相关计算,行政区划图主要用于掩膜提取;DEM 数据和行政区划图来源于四川省测绘局基础地理信息中心等单位;土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>)。遥感影像数据来源于国际科学数据服务平台 (<http://datamirror.csdb.cn/index.jsp>) 和寒区旱区科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn>)。社会经济数据主要包括川滇地区各县(市、区)国民生产总值、人口密度、人口构成、地方财政收入、人均 GDP、公路里程数等人口、经济、社会数据资料,这些资料来源于各类统计年鉴、地方志、地理志及实地调查资料,主要应用于相关指标的计算。历史暴雨洪水灾害的灾情及损失数据资料(1961—2014年)主要来源于《中国水旱灾害公报》《四川水旱灾害》《云南水旱灾害》《中国气象灾害大典:四川卷·云南卷》等书籍,市、县民政局、救灾办、气象局和一些其他政府机构。

1.2 研究方法

1.2.1 熵组合权重法 层次分析法(AHP)是一种对指标进行定性定量分析的方法,是主观确定指标权重的方法之一;熵值法是根据所求熵值对于指标的离散程度确定各指标权重的方法,是一种客观确定权重

的方法;为了克服人为确定权重的主观性,因此将层次分析法与熵值法结合确定各指标的权重^[12]。

$$W_j = \frac{\sqrt{W_{1j} \cdot W_{2j}}}{\sum \sqrt{W_{1j} \cdot W_{2j}}} \quad (1)$$

式中: W_j —— j 指标的综合权重; W_{1j} ——指标 j 的主观权重; W_{2j} ——指标 j 的客观权重。

1.2.2 暴雨洪水灾害综合风险模型 采用灾害风险指数法,根据暴雨洪水风险形成机制,结合致灾因子的危险性(H)、孕灾环境的敏感性(S)、承灾体的脆弱性(V)和防灾减灾能力(P)这 4 方面因素进行暴雨洪水灾害综合风险评价。

$$FDRI = (H^{WH})(S^{WS})(V^{WV})(P^{WP}) \quad (2)$$

$$H = W_{H1} X_{H1} + W_{H2} X_{H2} \quad (3)$$

$$S = W_{S1} X_{S1} + W_{S2} X_{S2} + W_{S3} X_{S3} + W_{S4} X_{S4} \quad (4)$$

$$V = W_{V1} X_{V1} + W_{V2} X_{V2} + W_{V3} X_{V3} \quad (5)$$

$$P = W_{P1} X_{P1} + W_{P2} X_{P2} + W_{P3} X_{P3} \quad (6)$$

式中:FDRI——暴雨洪水灾害综合风险指数,用以表征暴雨洪水灾害风险程度,其值越大,则灾害风险程度越高; H, S, V, P ——表示灾害危险性、敏感性、脆弱性和防灾减灾能力因子指数; W_H, W_S, W_V, W_P ——灾害危险性、敏感性、脆弱性和防灾减灾能力的权重; W_j ——指标 j 的权重; X_j ——指标 j 的归一化值。

2 暴雨洪水灾害风险评价指标体系

在充分认识川滇地区地理特征、气候环境、社会经济、生态环境、人文条件等的基础上,结合区域实际情况,遵循气象灾害所固有的复杂性和不确定性等风险相关原理,依据科学性、可靠性、可操作性、系统性和简明性等原则,从灾害危险性、敏感性、脆弱性、防灾减灾能力 4 个方面对评价指标进行科学筛选和权重确定,构建暴雨洪水灾害风险评价指标体系。该指标体系共 4 个一级指标和 12 个二级指标(表 1),通过咨询人文地理、自然地理、灾害管理等方面的专家,结合川滇地区主汛期暴雨洪水灾害的实际情况进行打分,得到各评价指标的 AHP 权重,结合熵权,进行指标综合权重值计算。

(1) 暴雨洪水灾害致灾因子。川滇地区主汛期降水量主要成分是暴雨,暴雨是诱发洪水灾害的首要因素,洪水灾害与多暴雨年份是一致的。以川滇地区暴雨频次、暴雨强度作为暴雨洪水灾害致灾因子,这两个因子值越大,暴雨洪水发生的可能性就越高。

(2) 暴雨洪水灾害孕灾环境。地形地貌通过影响降水来影响区域洪水灾害,植被、河网水系特征和人类活动通过产、汇流影响洪水灾害^[13]。地形对暴

雨洪水灾害的强度有很大的影响,暴雨引发的洪水灾害一般发生在海拔较低、坡度较小的平原、沟谷、山地地区;河网密度越高的区域越容易形成暴雨洪水灾

害;而植被对暴雨洪水灾害具有一定的缓冲作用;因此,选择海拔、坡度、河网密度、植被覆盖度 4 个指标作为孕灾环境敏感性指标。

表 1 川滇地区暴雨洪水灾害风险指标及权重

目标层	准则层	指标层	熵权	AHP	组合权重
暴雨洪水灾害风险	致灾因子危险性(0.46)	暴雨频次	0.64	0.53	0.59
		暴雨强度	0.36	0.47	0.41
	孕灾环境敏感性(0.31)	海拔高度	0.07	0.21	0.14
		坡度	0.07	0.27	0.17
		河网密度	0.61	0.31	0.46
		植被覆盖度	0.25	0.21	0.23
	承灾体脆弱性(0.12)	人口密度	0.20	0.41	0.30
		经济密度	0.40	0.30	0.35
		地均固定资产投资额	0.40	0.29	0.35
		人均 GDP	0.19	0.39	0.29
	防灾减灾能力(0.11)	地方财政收入	0.16	0.36	0.26
		路网密度	0.65	0.25	0.45

(3) 暴雨洪水灾害承灾体。暴雨洪水灾害的受袭对象主要包括人口、建筑物、基础设施、工矿企业等内容,暴雨洪水灾害风险指标体系中主要选取人口密度、地均 GDP 和固定资产等指标;人口密度高、地均 GDP 高、财产价值高的区域遭受暴雨洪水灾害时造成的经济损失相对较高。

(4) 防灾减灾能力主要包括应急管理、减灾投入和自救能力。区域水利设施的投入、路网密度、应急管理水平、财政收入、灾害意识、对危机的准备程度等对区域暴雨洪水灾害的防治具有重要作用,受限于指标的可获取性,以人均 GDP、地方财政收入和道路的通畅性作为主要指标。

3 暴雨洪水灾害风险评价

3.1 基于行政区尺度的气象灾害风险评价

暴雨洪水灾害风险度指其可能对生命和社会经济造成的危害程度,为了更好地为区域防灾减灾服务,尽量保持县级行政界线的完整性,进行基于县级行政单元的暴雨洪水灾害风险评价。

3.1.1 致灾因子危险性 由图 1 可知,川东盆地、云南南部和川滇交界处属于高、较高暴雨洪水危险区,川东盆地边缘地带、云南中东部 $25^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间,云南 23°N 以南的局部区域为中等危险区;云南 23°N 以北的大部分区域、川西南山地属较低危险区;川西高原属低危险区。暴雨是影响川滇地区洪水灾害的首要因素,川东盆地西南部地区暴雨灾害频次最高,强度最大,因此危险性等级最高。

3.1.2 孕灾环境的敏感性 孕灾环境的敏感性主要

受到地形地势、植被盖度、河网密度等因素的影响。图 1 表明,川滇地区暴雨洪水敏感性最高的区域零星分布于川东盆地和云南东北部地区,该区域地势相对平坦、河网密度高、水域面积广阔;较高敏感性区域集中分布在川东盆地;中等敏感区主要分布在川西高原大部 and 云南 $23^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间;较低敏感区域分布于云南 23°N 以南和 27°N 以北大部、川西高原西北部区域;低敏感区集中分布于川滇交界处、云南省南部局部和四川省北部边缘区域。

3.1.3 承灾体脆弱性 由图 1 可以看出,成都市、德阳市、广汉市、郫县、新都县、温江县、双流县、新津县、昭通市、曲靖市、昆明市等地人口密度相对集中、人均 GDP 高,遭受暴雨灾害受到的损失也是最高的,属于高脆弱区;川东盆地盆底区域和滇东零星分布着较高脆弱区;川东盆缘地带和滇东局部分布着中等脆弱区;川西南山地、云南省大部分地区属于较低脆弱区;川西高原为低脆弱区。由此可见,承灾体脆弱性主要受区域人口、经济的影响,经济发达区域人口集中、固定资产相对较多,就更容易受到暴雨洪水灾害的影响。

3.1.4 防灾减灾能力 由图 1 可知,川滇地区防灾减灾能力最高的是以昆明市和成都市为中心的局部区域,这些地点经济发达,地方财政收入高,人均 GDP 高,路网发达;较高防灾能力区分布在川东盆地和云南东部局部地区;川东盆地盆缘地带和云南大部分地区为中等防灾能力区;川西高原东南部区域为较低防灾能力区;川西高原西北部区域为低防灾能力区。从防灾能力等级区划图可以看出,地区经济发达,人均收入水平高,其自救能力也相对较强。

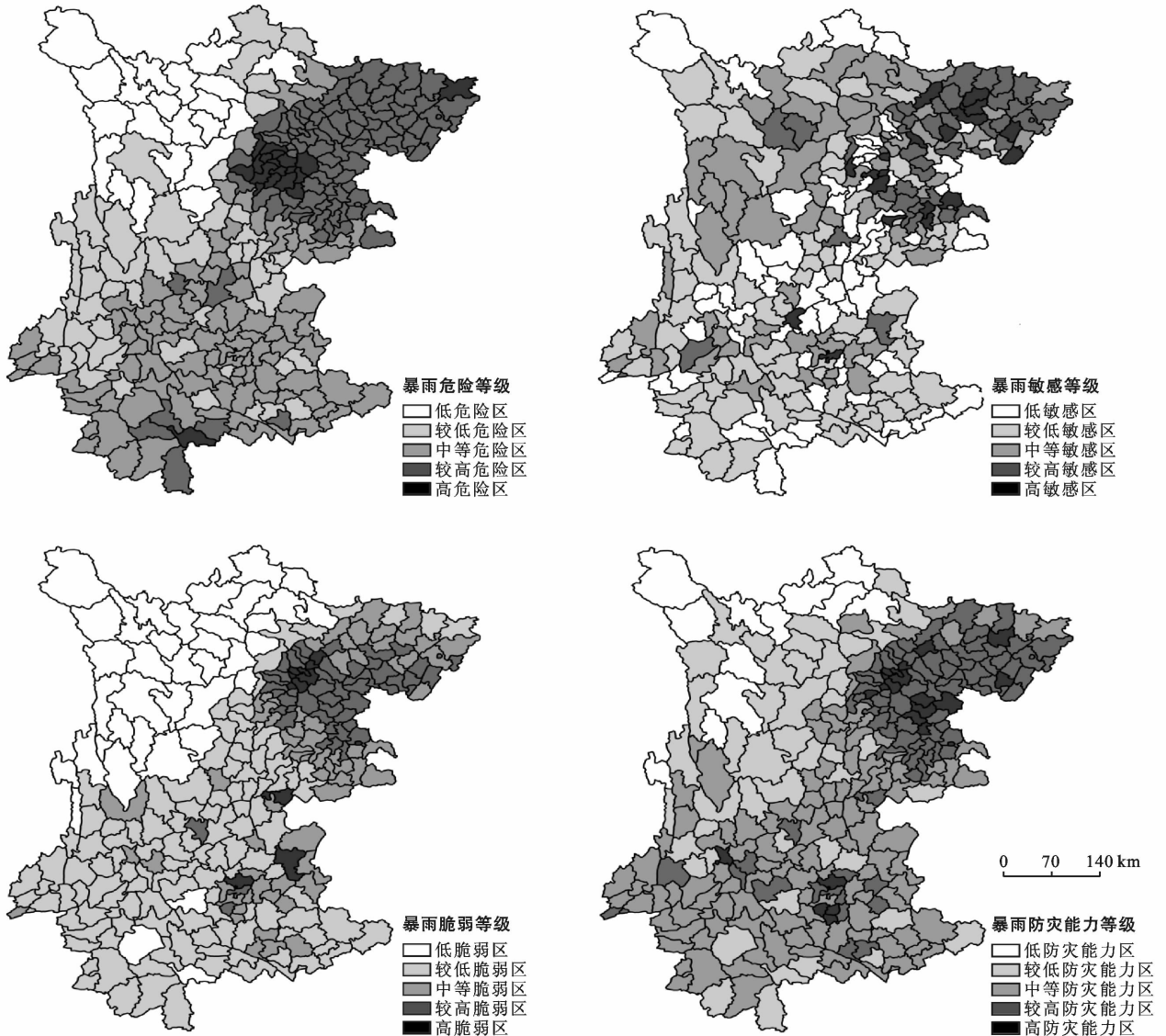


图 1 川滇地区暴雨洪水灾害风险评价指标因子分级

3.1.5 暴雨洪水灾害的综合风险评价 根据川滇地区暴雨洪水灾害综合风险指数,把暴雨洪水灾害风险划分为 5 个等级,低(0.23~0.33)、较低(0.34~0.42)、中等(0.43~0.48)、较高(0.49~0.56)、高(0.57~0.78)风险区。图 2 为川滇地区暴雨洪水灾害综合风险评价图。由图 2 可知,暴雨洪水灾害多发区域与地理环境条件密切相关,川东盆地和云南南部地区为高、较高暴雨洪水灾害风险区,由于山地对暖湿气流的剧烈抬升使川东盆地的盆缘山地和山前平原多暴雨^[13],云南省南部边缘地带离海洋相对较近,暖湿气流能提供充足的水汽,有助于大暴雨的形成。中度风险区分布广泛,主要分布在川西南山地和云南的大部分地区,这些地区为峡谷或山地地区,地形切割较为剧烈,大部分地区降雨量充沛,暴雨发生频率高。较低灾害风险区零星分布在滇东高原、滇西北地

区和川西高原东北部等地,这些地区虽然为高原区域,但地形切割一般不剧烈,人口密度相对较低,经济活动不高。低风险区主要位于川西高原地区,这些地区人类活动相对较微弱,人口密度低,经济主要以牧业活动为主,降水量较少,暴雨发生频率非常低。

3.2 基于 GIS 格网技术的暴雨洪水灾害风险评价

在 GIS 格网技术的支持下,根据川滇地区的面积、获取数据状况、灾害特征、乡镇大小、地形地貌特征,生成 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 的网格,把川滇地区划分为 36 367 个网格;以 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 网格作为基本评价单元,实现暴雨洪水灾害综合风险区划的格网化表达。图 3 为川滇地区暴雨洪水灾害综合风险评价图。由图 3 可知,高风险区分布在川东盆地大部 and 云南江城,占川滇总面积的 6.53%;较高风险区主要位于川东盆地和云南的思茅、勐腊、沾益、华坪等地,占总面

积的 13.86%;中等风险区主要包括云南省大部分地区 and 川西南山地, 占总面积的 19.72%;较低风险区主要集中在滇西北地区 and 川西高原大部分地区, 占总面积的 40.29%;低风险区主要分布在川西高原的德格、甘孜、新龙、巴塘等地, 占总面积的 19.60%。

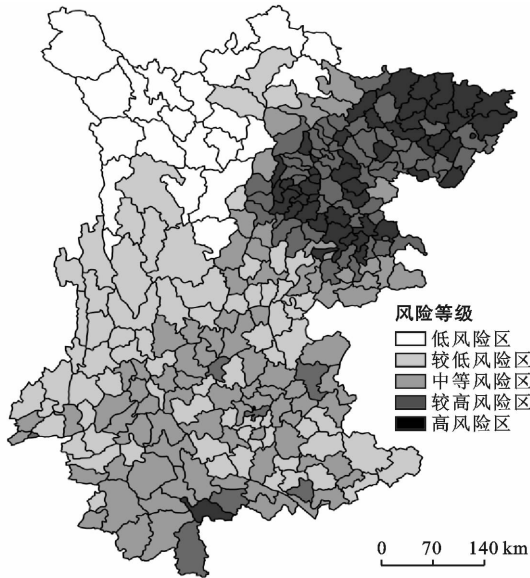


图2 川滇地区暴雨洪水灾害风险等级分布图

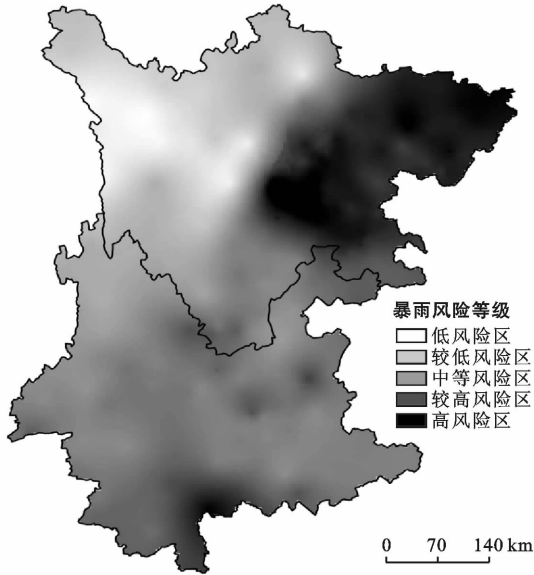


图3 川滇地区暴雨洪水灾害风险网格图

川滇地区暴雨洪水灾害分布面广,受地理位置、河网密度、近海距离等因素的影响,地势低平、海拔高差小的平原、坝子是暴雨洪水灾害发生的重点区域,地势陡峭的地方易于形成山洪灾害;川东盆地、云南省南部地区暴雨灾害发生频率高,且易于形成大面积的暴雨洪水灾害。

总体上看,川滇暴雨洪水灾害风险在空间分布上表现出两大特征。一是暴雨洪水灾害风险由川东盆

地向外辐射递减,川东地区暴雨洪水灾害发生频率高,人口、经济、基础设施密度高,灾害时造成的经济损失就高,但该区域灾后的应急救助、防灾减灾的能力也相对较高。二是云南省滇东高原零星分布着暴雨洪水灾害高风险区,云南省大部分地区为中等灾害区,且灾害风险有呈纬度变化的趋势。

4 结论

(1) 构建了川滇地区主汛期暴雨洪水灾害风险评价指标体系。从川滇地区主汛期暴雨洪水灾害的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力 4 个方面构建暴雨洪水灾害风险评价指标体系。分析发现川东盆地、云南南部和川滇交界处属于高、较高暴雨洪水危险区;暴雨洪水敏感性高、较高区域位于川东盆地和云南东北局部;川东盆地和云南东北部地区为暴雨洪水的高、较高脆弱区;川东盆地和云南局部为防灾减灾能力的高、较高区域。

(2) 受多种季风环流影响,川滇地区多暴雨洪水灾害。高风险区分布在川东盆地大部 and 云南江城;较高风险区主要位于川东盆地 and 云南的思茅、勐腊、沾益、华坪等地;中等风险区主要包括云南大部分地区和川西南山地;较低风险区主要集中在滇西北地区 and 川西高原大部分地区;低风险区主要分布在川西高原的德格、甘孜、新龙、巴塘等地。川滇地区高、较高、中等、较低、低暴雨洪水灾害风险区分别占川滇总面积的 6.53%, 13.86%, 19.72%, 40.29%, 19.60%。

(3) 灾害风险分析的目的在于掌握并描述某种灾害的状况、区域灾害风险的高低,以便进行灾害风险管理、减少和控制灾害风险。在灾害风险分析评价方面,为了更好地为区域防灾减灾服务,从灾害的防御、管理方面的考虑出发,采用了以县为评价单元的暴雨洪水灾害风险评价;基于格网的暴雨洪水灾害风险评价对暴雨洪水灾害防御时的具体地理位置提供了参考,奠定了理论研究与实践运用有机结合的基础。本研所得到的川滇地区暴雨洪水灾害风险区划与该区域暴雨洪水灾害实际分布相符,因此,研究结果对预防暴雨洪水灾害、减轻灾害损失具有一定的参考意义。

[参 考 文 献]

- [1] Jim W H, Paul B S, Richarad J D. National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales[J]. *Natural Hazards*, 2005,36(1):147-164.
- [2] Haruyama S, Ohokura H, Simking T, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data [J]. *GeoJournal*, 1996,38(3):273-278.

逐渐趋于平缓,说明在撞击结束后普通坝体的惯性效应比新型坝要明显。

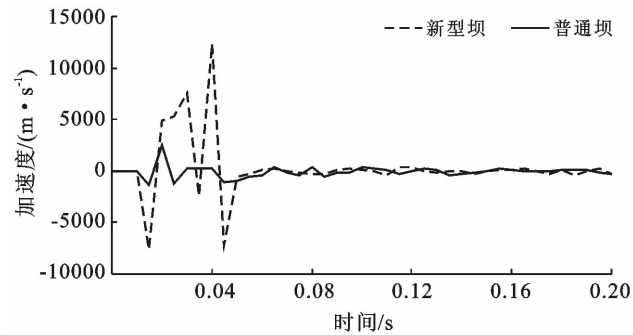


图6 不同坝体冲击方向的加速度时程曲线

3 结论

(1) 新型坝与普通坝相比,其冲击力可减小 1/1.15 左右,坝体的响应加速度可降到普通坝的 1/7.14,内能及动能比普通坝分别降低了 9.59% 和 17.1%,从而减轻坝体局部的冲切破坏,说明本设计中新型带摩擦阻尼器的泥石流拦挡坝具有良好的抗冲击性能。

(2) 新型坝的前格栅柱虽然在钢球冲击作用下会发生破坏,但是新型坝的后格栅坝及横向钢管连梁不论是位移、变形还是坝体响应的加速度等都很小,从而确保了新型坝在巨石冲击作用下不会发生整体

破坏,仍然能够正常发挥拦挡作用。

(3) 基于“拦疏一体、延长使用年限、保护整体”的思想提出的新型坝具有良好的抗冲击性能。

[参考文献]

- [1] 王启亮,吕义清,员孟超. 虎峪沟泥石流特征及其危险度评价[J]. 水土保持通报,2010,30(6):219-222.
- [2] 游勇. 泥石流梁式格栅坝拦砂性能试验研究[J]. 水土保持学报,2001,15(1):113-115.
- [3] 懒户俊彦,葛西俊一郎,山口健太郎,等. 采用格栅型钢结构过水大坝防止泥石流[J]. 水土保持科技情报,2000(2):37-39.
- [4] 王秀丽,黄兆升. 冲击荷载下泥石流拦挡坝动力响应分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(4):61-65.
- [5] 王秀丽,郑国足. 新型带弹簧支撑抗冲击研究及其在泥石流拦挡坝中的应用[J]. 中国安全科学学报,2013,23(2):3-9.
- [6] 邓虎,陈宁生,胡桂胜,等. 甘肃舟曲三眼峪沟泥石流流动力学特征参数计算[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2011,30(4):833-838.
- [7] 中国地质调查局. DZ/T0239-2004 泥石流灾害防治工程设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [8] 何思明,吴永,沈均. 泥石流大块石冲击力的简化计算[J]. 自然灾害学报,2009,18(5):51-56.
- [9] 余同希,邱信明. 冲击动力学[M]. 北京:清华大学出版社,2011:81-82.
- [10] 薛仓生,金菊良,丁峰,等. 淮河流域安徽省 2007 年的暴雨洪水特性分析[J]. 灾害学,2009,24(1):86-91.
- [11] 陈吉虎. 北京市“7·21”特大暴雨对城市水土保持和监测工作的启示[J]. 水土保持通报,2013,33(6):313-316.
- [12] 郭恩亮. 辽宁中部地区暴雨洪涝灾害风险评价[D]. 辽宁大连:辽宁师范大学,2013.
- [13] 郁淑华. 西南地区洪涝灾害的监测与预报[M]. 北京:气象出版社,2004:1-33.

(上接第 31 页)

- [3] Serpico S B, Dellepiane S, Boni G, et al. Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation [J]. Proceedings of the IEEE, 2012,100(10):2946-2970.
- [4] Ahmed M Y, Biswajeet P, Abdallah M H. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, Southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(3):611-623.
- [5] Matthias K, Christian H, Juan M R. A risk analysis for floods and lahars: Case study in the Cordillera Central of Colombia[J]. Natural Hazards, 2012,64(1):767-796.
- [6] 方建,李梦婕,王静爱,等. 全球暴雨洪水灾害风险评估与制图[J]. 自然灾害学报,2015,24(1):1-8.
- [7] 赵庆良,王军,许世远,等. 沿海城市社区暴雨洪水风险