任洪玉，杜俊，丁文峰，等. 基于 GIS 的全国山洪灾害风险评估[J]. 灾害学，2018，33(4)：65 - 92. [REN Hongyu，DU Jun，DING Wengfeng，et al. Risk assessment of mountain torrent disaster based on GIS in China[J]. Journal of Catastrophology，2018，33(4)：86 - 92. doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2018. 04. 016.]

基于 GIS 的全国山洪灾害风险评估*

任洪玉，杜　俊，丁文峰，张平仓

（1. 长江水利委员会长江科学院，湖北 武汉 430010；2. 水利部山洪地质灾害防治工程技术研究中心，湖北 武汉 430010）

摘　要：针对我国山洪灾害空间分布特点，基于自然灾害风险理论，确定全国山洪灾害风险评估模型。在大尺度山洪灾害危险评估比较研究的基础上，从可能引起山洪灾害发生的外界触发因子和可能遭受潜在损失的承灾体两个角度出发，选取山洪灾害风险评估指标构建指标体系。采用主成分分析法提取危险性指标主成分，层次分析法确定各指标权重，在 GIS 技术支持下，制作各因子指标分布图，开展全国山洪灾害危险性及易损性定量分析，完成全国山洪灾害风险定量评估并得到风险分区图。最后将风险评估结果与全国山洪灾害防治类型区进行比较，结果表明，山洪灾害风险分区与防治类型区吻合较好，高风险区基本分布在我国的山洪灾害重点防治区，未来山洪灾害防控重点可从影响山洪灾害风险程度的危险性因子和易损性因子入手。

关键词：山洪灾害；风险评估；GIS 技术；全国

中图分类号：X43；TV87　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000 - 811X(2018)04 - 0086 - 07

doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2018. 04. 016

山洪灾害作为一种由自然条件和不合理的人类经济社会活动共同引起的灾害，给我国广大山丘区的人民生命安全和社会财产造成了巨大灾害和损失，是我国自然灾害造成人员伤亡的主要灾种之一[1]。2002 年水利部牵头编制全国山洪灾害防治规划，揭开了全国范围防治山洪灾害的序幕。经过十几年的建设，我国已经初步建成适合我国国情的山洪灾害防御体系，在减少人员死亡尤其是避免群死群伤方面取得突出成果[2-4]。与此同时，我国山洪灾害研究结合实践工作，在山洪灾害成因与特征分析、风险评估与制图、监测预警预报等方面取得了丰富的成果[5-12]。

山洪灾害风险评估作为自然灾害风险评估的延伸和发展，建立在灾害问题系统综合理解的基础上，通常是对风险区遭受不同强度灾害的可能性及其可能造成的后果进行定量分析和评估[13-14]，对于综合灾害风险管理有着重要的意义。21 世纪以来，随着我国山洪灾害实践工作的发展，山洪灾害风险评估工作取得丰富成果[7-11,15]。但评价对象多以小流域、县或省为主[7-11]。本文以自然灾害风险理论为基础，以 GIS 为工具，开展全国山洪灾害风险评估，以期为掌握全国尺度的山洪灾害风险情况、制定相应的宏观规划等提供一定的技术支撑。

1　数据方法

1.1　模型与指标选取

目前国内较有影响的区域自然灾害风险评估概念模型，主要有两种类型，一种是基于史培军灾害系统理论的“三元”风险评估模型[16]，此模型将灾害系统分为致灾因子、孕灾环境和承灾体脆弱性(或易损性)三个方面加以考量；另一种是基于联合国人道主义事务部给出的风险定义，认为自然灾害风险由自然过程危险性与承灾体易损性的乘积求得。两种模型虽然理念、形式不同，但考虑的要素大同小异，危险性、易损性、孕灾环境等单列因子亦是由具体的要素指标加权得到，而权重设置的依据主要来自学界共识或研究者自身的经验认知，因此，本文选择危险度与易损度相乘积的数学表达式来评估全国山洪灾害风险，即：

$$R = H \times V。 \tag{1}$$

式中：R 为风险度；H 为危险度；V 为易损度。三者的取值范围均为 0 ~ 1 或者 0 ~ 100%。此处风险度为归一化的值，反映的是风险的相对程度，而

* 收稿日期：2018 - 03 - 22　　修回日期：2018 - 05 - 23

基金项目：国家重点研发计划资助(2017YFC1502506)；国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAK10B04)；全国山洪灾害防治项目实施方案(2013 - 2015 年)

第一作者简介：任洪玉(1977 -)，女，汉族，重庆涪陵人，教授级高级工程师，主要从事土壤侵蚀与水土保持、山洪灾害防治方面的研究. E-mail：hongyuren@126. com

非绝对值，因此，当风险度为 0 时，表示风险程度很小，而非不存在风险。

大尺度尤其是全国尺度的山洪灾害风险评价工作，对于资料收集整理、评估指标选取及权重设置都是很大的挑战。如风险度 H 就涉及到降雨和地形地质、植被盖度、土地产汇流能力、岩性软弱程度等多种下垫面条件因素。其中降雨又包括多个时段最大降雨强度、暴雨日数、暴雨历时、暴雨变差系数等等多个指标。为提出切合实际情况且具有可操作性的风险评估体系，研究组前期基于“在分布格局上愈发逼近历史灾害资料的风险成果愈可靠”这一假设，将历史灾害数据作为基础验证资料，以长江流域为例进行了试验性风险评估，以比较不同指标组合及权重设定所得到的风险图与历史灾害资料差异，最后确定了可适用于大尺度山洪灾害风险评估的优选方案[12]。经过试验，最后确定以暴雨与地形两方面的因子乘积来表示危险度，具体指标包括多年暴雨极值年均雨量(H_1)、多年暴雨极值变异系数(H_2)和地形起伏度(H_3)。

易损性是指一定时空范围内面对某类致灾过程承灾体可能遭受的潜在损失，山洪灾害的易损性主要是从灾害风险的社会经济属性来考虑，反映一个地方遭遇山洪灾害并受到其损害的人口及资产等，因此一般从区域暴露人口和资产两个方面来考量。由于暴露人口和资产的绝对分布量和分布形式都与承灾体易损性密切相关，因此选用县域人口密度(V_1)、反城镇化率(V_2)、地均 GDP (V_3)和第一产业产值比重(V_4)等指标作为易损性指标。其中县域人口密度和地均 GDP 分别反映区域人口和资产的绝对分布情况，反城镇化率和第一产业产值比重分别反映区域人口和资产的分布状态(离散程度)。

1.2　数据来源

全国多年年最大 10 min、1 h、6 h 暴雨雨量均值及对应的变差系数 CV 等气象资料数据主要来源于水利部水文局和南京水利科学研究院编制的《中国暴雨统计参数图集》；全国山洪灾害历史灾害资料来自《全国山洪灾害防治规划》相关的调查数据，以溪河洪水灾害为主，兼顾降雨诱发的滑坡、泥石流灾害；人口资料来自于第六次全国人口普查数据，其它社会经济资料来自于全国 2011 年各省及地市、县级统计年鉴或公报；DEM 数据来自修正的 SRTM 90 m 资料；行政区划图等相关 shp 格式文件来自国家基础地理信息中心。所有图形矢量数据均配置统一投影，将矢量数据转化为栅格数据时，分辨率统一设置为 100 m。

由于资料来源限制，台湾、香港、澳门及海岛的易损性指标缺乏，其风险用危险性指标替代。

1.3　数学方法

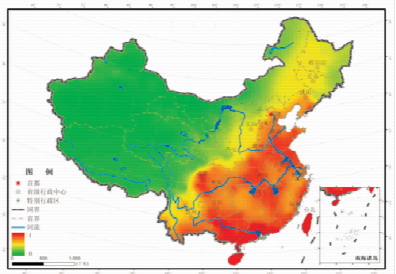
本研究涉及的数学方法主要有层次分析法、主成分分析法和空间相关性分析。这些方法在国内都有较普遍的应用，这里不再赘述。

2　全国山洪灾害危险性分析评价

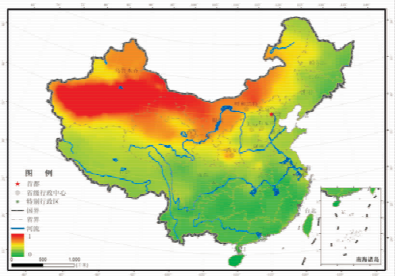
2.1　暴雨指标处理

(1)多年暴雨极值年均雨量(H_1)

将收集得到的全国多年年最大 10 min、1 h 和 6 h 暴雨雨量均值纸质分布图高分辨率扫描后，在 Arcmap 中描绘、赋值、补点、插值，并与原始图层比较分析，经多次反复确认后生成各时段电子图。由于全国多年年最大 10 min、1 h 和 6 h 暴雨雨量均值分布图在分布范围上存在较多相似，为避免叠加分析时重复考虑，需对得到的 3 种数字化图层进行降维处理，得到一个反映总体特征的综合指标。这里采用主成分分析法，提取一个主成分，并进行归一化处理，最终得到多年暴雨极值年均雨量图层(图 1a)。



(a) 全国多年暴雨极值年均雨量归一化图



(b) 全国多年暴雨极值变异系数归一化图

图 1　全国暴雨指标图

(2)多年暴雨极值变异系数(H_2)

变异系数(也叫变差系数，Coefficient of Variation，CV)是反映数据序列变化程度的指标之一，数值越大表示序列值变化越剧烈，稳定性越差。依据前面提到的方法，对收集得到的全国多年最大 10 min，1 h 和 6 h 暴雨雨量变异系数纸质分布图进行数字化，并对结果图层进行降维和归一化处理，得到全国多年暴雨极值变异系数图层，如图 1b 所示。

(3)暴雨综合指标(HZ_1)

暴雨综合指标(HZ_1)由多年暴雨极值年均雨量(H_1)与多年暴雨极值变异系数(H_2)而来，H_1 反映的是暴雨极值的绝对分布情况，数值越大表示年

暴雨极值量越大，越有利于山洪发生；H_2 反映的是长时间序列暴雨极值的年度变化特征，数值越大表示年暴雨极值年际变化幅度越大。两者对山洪过程分布的影响同等重要，作等权对待，故暴雨综合指标 HZ_1 计算公式为：

$$HZ_1 = H_1 \times 0.5 + H_2 \times 0.5。 \quad (2)$$

HZ_1 数值越大，表明由降雨诱发山洪的可能性越大(图 2)。

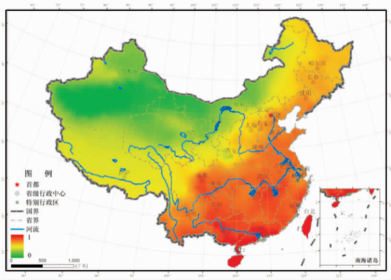


图 2 全国暴雨综合指标图归一化图

2.2 地形指标处理

地形指标选择地形起伏度(H_3)。地形起伏度也称地势起伏度、相对地势或相对高度，是某一确定面积内最高点与最低点的高差，可反映宏观区域地表起伏特征，是定量描述地貌形态、划分地貌类型的重要指标。地形起伏度指标反映地表形态的高低起伏情况，数值越大表示区域高差越大。

地形起伏度图层由全国 DEM 原始数据经填洼处理后，首先利用邻域统计分析法，在不同大小邻域窗口下对全国地形起伏度进行提取，然后运用均值变点分析法完成最佳统计单元的计算，结果显示最佳统计单元为 11 km × 11 km 网格大小。再通过邻域计算工具计算出统计单元的最大值和最小值并相减后取绝对值求得，经过归一化处理后得到最终的全国地形起伏度栅格图层(图 3)。

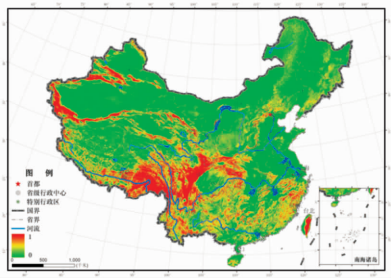


图 3 全国地形起伏度归一化图

2.3 全国山洪灾害危险性评价

按照一般认识，影响山洪过程的主要因素包括降雨及各种下垫面条件，其中暴雨作为最为重要的外营力条件，应赋予最高的权重。然而从我国自然地理条件来看，降雨(包括暴雨)分布是从东南向西北递减的，如果对降雨给予过高的考虑，可能会造成华东、华南地区山洪危险值严重失真。因此，全国山洪灾害危险性评估结果用区域暴雨综合指标(HZ_1)与地形起伏度(H_3)的乘积表示，其物理意义在于：区域暴雨与地形条件是影响山洪过程分布格局最为重要的 2 项因子，且只有 2 项因子均达到较高水平，才有可能发育规模 - 频率水平较高的山洪过程。

将暴雨综合指标分布图(HZ_1)与地形起伏度(H_3)图层以乘积形式叠加后得到的全国山洪灾害危险性分布如图 4 所示。由图 4 可知，我国山洪灾害高危险区主要分布在西南和华南两个大区，其中西南包括四川盆周山区、川西高原、横断山区以及西南山地，该区山高坡陡、断裂发育、气候垂直差异大，雨量丰沛且多暴雨，历来是我国山洪灾害重灾区；华南大区主要包括两广、两湖、福建以及浙西和皖南部分地区，该区地势起伏以低山丘陵为主，但暴雨条件有利于山洪发育，且人口资产暴露水平较高，也是我国山洪灾害、特别是山溪性洪水灾害发生较多的地区。华北、东北以及西藏、新疆局部地区也有高危险区分布，全国其它地区危险度较轻，特别是华北、华东和东北广大平原区、西北内陆地区山洪灾害危险度水平极低。

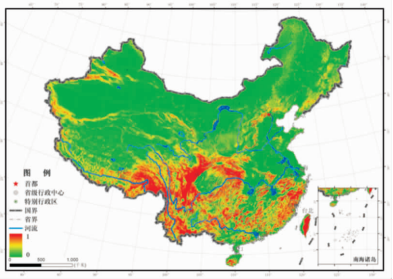


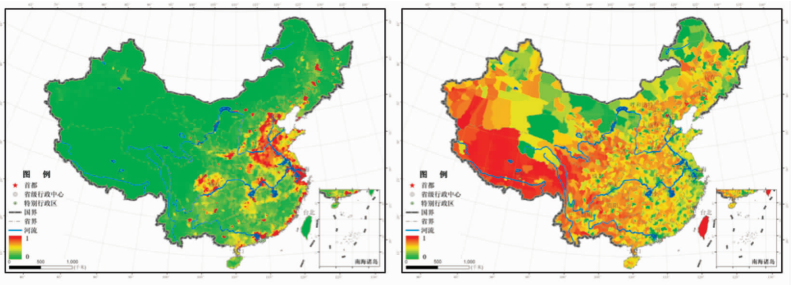
图 4 全国山洪灾害危险性归一化图

3 全国山洪灾害易损性分析评价

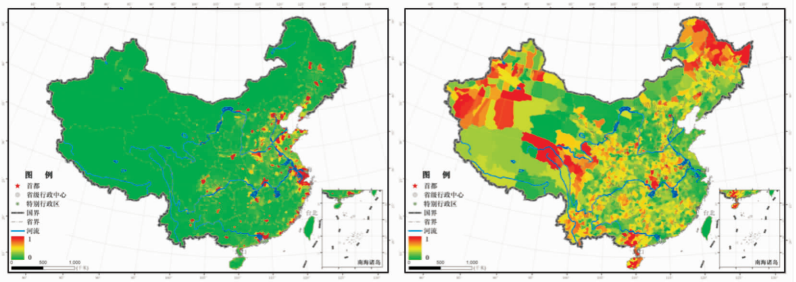
3.1 各易损性指标含义及制图

人口密度(V_1)能反映区域人口暴露量的绝对分布状况，是描述区域人口易损性的常用指标之一。一般来说，对于某种危险程度的山洪，如果发生在人口密度大的区域，造成的人口伤亡较大，如果发生在人口稀少的山区则造成的灾情损失相对较小。因此，人口密度指标数值越高，山洪灾害易损性越高。

城镇化率是一个国家或地区经济发展的重要标志，也是衡量一个国家或地区社会组织程度和管理水平的重要标志。城镇化水平较高的地区，人口分布相对集中，居民点设施标准也相对更高，抵御山洪的能力相对更强，故这里使用反城镇化率(V_2)来反映区域人口的离散程度，指标数值越高，区域人口分布的离散程度越高，易损性也越高。



(a) 全国人口密度归一化图　(b) 全国县域反城镇化率归一化图



(c) 全国县域地均GDP归一化图　(d) 全国县域第一产业产值比重归一化图

图 5　各易损性指标分布图

地均 GDP(V_3)是每平方公里土地创造的 GDP，它表征了单位国土面积上经济活动的效率和土地利用的密集程度。地均 GDP 是一个反映产值密度及经济发达水平的较好指标，它比人均 GDP 更能反映一个区域的发展程度和经济集中程度，本指标主要用于反映区域资产暴露量的绝对分布情况。

第一产业产值比重(V_4)是产品直接取自自然界的部门(包括种植业、林业、牧业和渔业)在这个清算周期(一般以年计)比上个清算周期的增长值占国民经济生产总值的比重。经济越发展，第一产业增加值占 GDP 比重越小，第二、三产业增加值占 GDP 比重越高。由于农业生产资料和生产方式决定了农业经济活动的分散特征，故本指标主要用于反映区域资产暴露量的离散程度。

以县域为单位，在统计年鉴中查找或计算得到各县域 4 个易损性指标，制作县域各指标 Excel 数据表格，然后利用 ArcMap 的连接功能与对应的行政区划图进行关联，将统计数据导入空间行政区划图，经归一化计算处理后，通过 ArcMap 空间分析模块工具把各易损性指标矢量数据转化为栅格数据，得到图 5。

3.2　指标权重确定

易损性分析涉及人口和资产 2 个方面 4 项指标(V_1 – V_4)，4 项指标从暴露量的角度又可分为 2 类，分别是反映暴露人口、资产绝对分布的 V_1 和 V_4，以及反映暴露人口、资产离散程度的 V_2 和 V_4。在指标赋权时，基于“人贵财轻”的价值理念，给予人口类指标(V_1，V_2)较高权重；绝对分布类指标(V_1，V_3)与分布形式类指标(V_2，V_4)采用等权处理，最后各二级指标图层依相应综合权重加权。易损性具体指标体系权重设定见表 1。

表 1　山洪灾害易损性分析指标及权重

一级指标	权重	二级指标	权重	综合权重
人口指标(VZ_1)	0.550	人口密度(V_1)	0.500	0.275
		反城镇化率(V_2)	0.500	0.275
资产指标(VZ_2)	0.450	地均 GDP(V_3)	0.500	0.225
		第一产业产值比重(V_4)	0.500	0.225

3.3　全国山洪灾害易损性评价

全国山洪灾害易损性计算基于加权综合叠加的思想，利用地图代数的规则及 ArcGIS 空间分析模块中的栅格计算功能将人口密度(V_1)、反城镇化率(V_2)、地均 GDP(V_3)、第一产业产值比重(V_4)等 4 项指标的栅格分布图，根据表 1 所示的综合权重进行地图代数叠加计算，得到初步的全国山洪灾害县域易损性分布图。由于离散程度概念和分布形式类指标的引入，初步易损性图的高值区多分布在经济相对不发达地区，如西部高于东部、农村高于城镇。这一结果总体符合我国山洪灾害现状，但对江源等人口极度稀少地区的易损性有明显夸大。为了避免这种情况，这里对初步易损性图做进一步处理。将人口密度低于 5 人/km^2 的区县强制赋予低易损性值，具体数值为初步易损性值后 5% 区县的最高值，最后得到修正以后的全国山洪灾害县域易损性分布图(图 6)。

4　全国山洪灾害风险分析结果

4.1　全国山洪灾害风险分析初步成果

山洪灾害风险是山洪灾害危险性、易损性的结合体，所以其评估是在山洪灾害危险性、易损

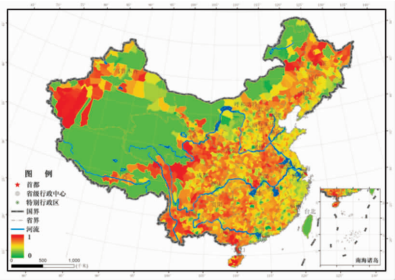


图 6 全国山洪灾害易损性归一化图

性等要素评估结果的基础上进行评价的。山洪灾害风险的大小用山洪灾害综合风险指数来表征。根据前面山洪灾害危险性评估、山洪灾害易损性评估结果的归一化栅格图，通过乘积叠加得到全国山洪灾害风险分布图(图 7)。从图 7 可以看出，我国山洪灾害高风险区主要分布在我国南方地区，尤其是西南盆周山区(岷山、邛崃山)、秦巴山地区和滇西横断山区风险值最高，长江中下游中低山区(大别山、南岭、幕府山、罗霄山、武陵山)、海南岛南部中山地区等区域风险值也都较高。北方地区除天山山地、西昆仑高山和晋东山地部分区域风险值较高外，大部分区域风险值较低。

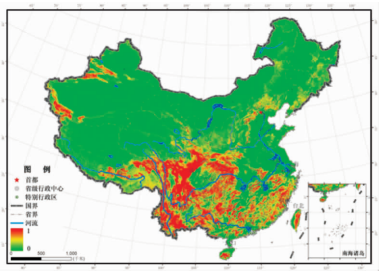


图 7 全国山洪灾害风险归一化图

4.2 全国山洪灾害风险强度分级

为更直观地显示全国山洪灾害风险程度并便于与其他相关研究结合，根据全国山洪灾害风险归一化结果，制定山洪灾害风险区间值(表 2)，分别用以表示极高、高度、中度和轻度 4 个风险强度等级。根据图 7 中各栅格的风险数值，将其归并到相应的风险区间，得到全国山洪灾害风险强度等级图(图 8)。统计不同风险等级内对应的栅格数量，计算各等级面积及占全国面积的比例(表 2)。

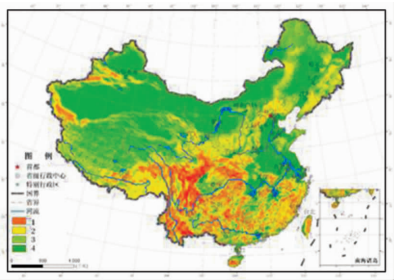


图 8 全国山洪灾害风险强度等级图

表 2 全国山洪灾害不同等级风险性面积及比重

风险性等级	对应风险值区间	面积/(万 km^2)	占全国面积的比重/%
1(极高)	> 0.6	127.9	13.3
2(高度)	0.30 ~ 0.60	225.5	23.5
3(中度)	0.15 ~ 0.30	178.6	18.6
4(轻度)	< 0.15	428.0	44.6

5 全国山洪灾害防治区划与风险强度比较

5.1 全国山洪灾害防治区划基本情况

为区分全国山洪灾害重点区域，编制全国山洪灾害防治规划时从影响山洪灾害发生的降雨、地形地质和经济社会等因素出发，将全国约 463 万 km^2 的山洪灾害防治区划分为一级重点防治区、二级重点防治区和一般防治区等三个山洪灾害类型。结果表明，全国山洪灾害重点防治区面积 96.93 万 km^2，占防治区总面积的 20.94%，其中一级重点防治区面积 40.36 万 km^2，占防治区总面积的 8.72%；二级重点防治区面积 56.57 万 km^2，占防治区总面积的 12.22%；一般防治区面积 365.96 万 km^2，占防治区总面积的 79.06%[1,17]。在山洪灾害防治类型区划分的基础上，进一步完成了全国山洪灾害防治区划，将全国划分为东部季风区、蒙新干旱区和青藏高寒区 3 个一级区，并进一步划分为 12 个二级区[1]。

5.2 各防治区划单元山洪灾害防治等级与风险强度情况分析

利用 GIS 的空间叠加分析功能，将全国山洪灾害防治一级区划图分别与全国山洪灾害风险强度等级图和全国山洪灾害重点防治区与一般防治区分布图进行空间叠加，统计分析各一级区内不同山洪灾害防治类型及不同风险强度的分布情况(表 3)。

从我国历史山洪灾害调查情况可以发现，我国山洪灾害存在点多面广、分布广泛等特点。山洪灾害风险特点与此对应。从三个一级区风险强度等级比例来看，受东部季风的影响，东部季风区是我国暴雨最为频繁的地区，雨区广、强度大、频次高，山地、丘陵、平原类型齐全，是我国山洪灾害发生的主要区域，也是我国山洪灾害风险强度等级最高的区域，区内极高和高度山洪灾害风险强度等级比例分别为 20.2% 和 29.40%，均大于全国平均水平。蒙新干旱区山洪灾害风险强度等级最低，区内近 80% 的区域为轻度风险区，极高和高度风险区比例只有 1.43% 和 6.61%。青藏高寒区 60% 左右的区域为轻度风险区。这个结果与重点防治区和一般防治区在各一级区的分布情况一致。

表 3　各一级内不同防治类型与风险强度占区域面积的比例　　%

	区域	东部季风区	蒙新干旱区	青藏高寒区	平均值
不同防治类型	一级重点区	7.15	1.54	1.32	4.2
	二级重点区	9.61	2.05	2.69	5.89
	一般防治区	50.9	17.23	34.19	38.12
	非防治区	32.34	79.18	61.8	51.7
不同风险强度	极高	20.2	1.43	11.78	13.3
	高度	29.4	6.61	28.21	23.5
	中度	16.32	12.22	28.51	18.6
	轻度	34.07	79.75	31.5	44.6

从空间叠加图和统计分析结果可以发现，不同山洪灾害防治类型与不同风险强度等级面积比例具有正相关关系，即一级重点防治区和二级重点防治区的面积占各区划单元面积的比例越大，极高、高度等高风险区占区域面积的比例也越大。如从三个一级区划单元来看，东部季风区中，极高和高度风险强度区占区域面积的比例大于全国平均水平，其一、二级重点防治区占区域面积的比例也均大于全国平均水平；蒙新干旱区极高和高度风险强度区占区域面积的比例最小，其一、二级重点防治区占区域面积的比例也最小。

空间叠加展示两图还能看出，重点防治区和高、极高风险区的空间重叠关系也很明显，极高、高度风险区主要分布在一、二级重点防治区。风险等级最低的轻度风险区，大部分分布在没有山洪灾害防治任务的平原区，只有少部分分布在山洪灾害一般防治区。

6　结语

本文以自然灾害风险理论为基础，选择目前较为通用的灾害风险度计算模型，层次分析法、主成分分析法相结合，在已有大空间尺度山洪灾害危险评估的基础上，利用 GIS 工具，完成了全国山洪灾害风险评估，得到的结果与前期研究成果及我国山洪灾害实际情况符合较好，说明选择的指标体系及研究方法能较为真实的反映我国山洪灾害现状规律，研究成果可为我国山洪灾害宏观决策提供一定的数据支撑。

从我国山洪灾害风险强度宏观分布情况来看，我国东部地区的丘陵、低山地区是我国山洪灾害风险强度较高的区域，应作为未来山洪灾害风险防控的重点区域。东部地区中，风险强度最高的是西南盆周山区及秦巴山地区等，这些区域由于降雨强度大、地形地质条件复杂等外部条件，发生山洪灾害的危险度高，因此在这些区域进行山洪灾害监测预警时，应重点关注对降雨、地形等外部危险性指标的监控；而对于风险强度也较高的长江中下游中低山区，由于人口稠密，经济社会发达，相较经济社会相对落后地区，同等规模的山洪在该地区造成的损失将更严重，因此该区域的山洪灾害风险防控应重点关注人口、产业等经济社会指标。

参考文献：

[1] 水利部长江水利委员会. 全国山洪灾害防治规划报告[R]. 武汉：水利部长江水利委员会，2006.

[2] 张志彤. 山洪灾害防治措施与成效[J]. 水利水电技术，2016，47(1)：1－5.

[3] 邱瑞田. 山洪灾害防治县级非工程措施项目建设进展及成效[J]. 中国水利，2012(23)：7－9.

[4] 黄先龙，褚明华，左吉昌，等. 2016 年全国山洪灾害防治工作回顾及项目建设建议[J]. 中国防汛抗旱，2017，27(1)：34－36.

[5] 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题[J]. 地理科学进展，2014，33(2)：145－152.

[6] 任洪玉，邹翔，张平仓. 我国山洪灾害成因分析[J]. 中国水利，2007(14)：18－20.

[7] 杜俊，任洪玉，张平仓，等. 大空间尺度山洪灾害危险评估的比较研究[J]. 灾害学，2016，31(3)：66－72.

[8] 赵瑜，喻块块，张建伟. 基于县域的山洪灾害风险区划研究[J]. 水电能源科学，2017，35(1)：61－64.

[9] 方秀琴，王凯，任立良，等. 基于 GIS 的江西省山洪灾害风险评价与分区[J]. 灾害学，2017，32(1)：111－116.

[10] 陈刚，李文静，林凯荣. 基于 GIS 的清远市山洪灾害风险评价[J]. 人民珠江，2017，38(10)：55－59.

[11] 李文静，林凯荣，刘玥，等. 基于 GIS－AHP 集成的无资料小流域山洪灾害风险评价[J]. 中国农村水利水电，2017，(8)：3－5.

[12] 刘志雨. 山洪预警预报技术研究与应用[J]. 中国防汛抗旱，2012，22(2)：41－45，50.

[13] 黄崇福，刘安林，王野. 灾害风险基本定义的探讨[J]. 自然灾害学报，2010，19(6)：8－16.

[14] 黄崇福. 综合风险评估的一个基本模式[J]. 应用基础与工程科学学报，2008，16(3)：371－381.

[15] 吉中会，吴先华. 山洪灾害风险评估的研究进展[J]. 灾害学，2018，33(1)：162－167.

[16] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报，1996，5(4)：6－17.

[17] 张平仓，任洪玉，胡维忠，等. 中国山洪灾害防治区划初探[J]. 长江科学院院报，2006，20(6)：196－200.

Risk Assessment of Mountain Torrents Disaster in China Based on GIS

Ren Hongyu, Du Jun, Ding Wenfeng and Zhang Pingcang
(1. *Yangtze River Academy of Sciences*, *Yangtze River Water Conservancy Commission*, *Wuhan* 430010, *China*; 2. *Engineering Research Center for Mountain Torrent Geological Disaster Prevention and Control*, *Ministry of Water Conservancy*, *Wuhan* 430010, *China*)

Abstract: According to the spatial distribution characteristics of mountain torrent disasters in China, the risk assessment model of mountain torrent disasters in China was established based on natural disaster risk theory. Based on the comparative study of large-scale mountain torrent disaster risk assessment, the risk assessment index system of mountain torrent disaster is selected from the two aspects of external trigger factors which may cause the occurrence of mountain torrent disaster and disaster-bearing bodies which may suffer potential losses. Principal component analysis is used to extract the principal component of the risk index, AHP is used to determine the weight of each index. With the support of GIS, the distribution map of each factor index is made, and the quantitative analysis of the risk and vulnerability of mountain torrents in China is carried out. Finally, the results of risk assessment are compared with those of mountain torrent disaster prevention and control zones in China. The results show that the risk zoning of mountain torrent disaster is in good agreement with that of control zones. The high risk zones are basically distributed in the key mountain torrent disaster prevention and control zones in China. The future focus of mountain torrent disaster prevention and control can be attributed to the risk factors affecting the risk degree of mountain torrent disaster. Children and vulnerability factors.

Key words: mountain torrents disaster; risk assessment; GIS technology; nationwide

(上接第 85 页)

[20] 刘传正. 重大地质灾害防治理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
[21] 刘传正, 陈红旗, 韩冰, 等. 重大地质灾害应急响应技术支撑体系研究[J]. 地质通报, 2010, 29(1): 147 - 156.
[22] 泥石流地质灾害防治工程勘查规范(DZ/T 0220—2006)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
[23] 谢剑明, 刘礼领, 殷坤龙, 等. 浙江省滑坡灾害预警预报的降雨阀值研究[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 101 - 105.
[24] 李长江, 麻土华, 朱兴盛, 等. 降雨型滑坡预报的理论、方法及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
[25] 衢州市统计局, 国家统计局衢州调查队. 2013 衢州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.

Dynamic Risk Assessment and Mergency Warning for Sudden Geological Disasters in Small Watershed of Southeastern Coastal Mountainous Area

XU Xinghua, TANG Xiaoming, YOU Shengyi and FENG Hangjian
(*Zhejiang Institute of Geology and Mineral Resource*, *Hangzhou* 310007, *China*)

Abstract: Dynamic risk assessment and emergency warning of sudden geological hazards in mountainous small watershed under rainfall are worthy of discussion. Based on the theory of risk assessment and fuzzy mathematics, a dynamic risk early warning model of sudden geological hazards in the small watershed of Tongshanyuan in the hilly and mountainous area of central Zhejiang Province was established. Taking typical typical rainfall events as an example, the dynamic risk level as the early warning criterion, the study area was developed. The dynamic risk assessment of geological disasters will guide the regional geological disaster emergency response. The case study shows that the dynamic risk level of geological hazards in the study area can be divided into very low, low and medium levels under the representative rainfall event of June 19, 2011, corresponding to the emergency early warning V, IV and III levels, so as to effectively guide the emergency disposal and prevention of geological hazards in the region; and the actual geological hazards have been checked. The test and verification show that the new occurrence point is located in the middle-level (emergency early warning III) area of the dynamic risk of geological hazards, which shows that the zoning evaluation of dynamic risk level is reasonable and reliable. It has positive guiding and practical significance.

Key words: Small Watershed in mountain area; geological hazard; dynamic risk; emergency warning; southeastern coast