



VU Research Portal

Flood Risk Zoning in China

Li, L.; Xu, Zongxue

published in

Journal of Hydraulic Engineering
2012

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Li, L., & Xu, Z. (2012). Flood Risk Zoning in China. *Journal of Hydraulic Engineering* , 22-30 .

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

文章编号:0559-9350(2011)01-0022-09

中国洪灾风险区划研究

李林涛, 徐宗学, 庞博, 刘浏

(北京师范大学 水科学研究院 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 考虑气候、地貌和流域水系作为洪水发生的影响因素, 分别选取特定频率下的三日降水量、中国气候分区图、坡度图、高程图和河湖缓冲区作为洪水发生的影响因子, 并兼顾历史洪水频次数据, 采用成因分析法和层次分析法确定各影响因子的权重, 在 ArcGIS 环境下制作了特定频率下的中国洪水风险区划图。分别以人口和 GDP 作为社会经济指标, 分析并制作了中国发生特定频率洪水时的受灾人口分布图和 GDP 损失分布图。区划图符合历史洪水资料的统计情况, 客观反映了中国洪水风险区域的空间分布情况。

关键词: 洪水风险; 洪灾风险; 风险区划

中图分类号: X820

文献标识码: A

1 研究背景

我国东、中部地区位于东亚季风气候区, 受太平洋和印度洋季风的影响, 冬春季雨量稀少, 气候干旱, 而夏秋季又湿热多雨, 洪涝灾害频繁^[1]。洪水一旦发生, 会对人民的生命财产和国民经济建设构成严重威胁, 影响社会、经济的稳定和发展。为了使决策者在总体上了解我国洪水灾害风险的空间分布, 对防洪规划和防洪投资提供参考意见, 对我国洪灾风险进行区划研究就显得尤为必要。

目前洪灾风险评价与区划的方法主要有地貌学方法^[2]、水文水力学模型与系统仿真模拟方法^[3]、基于历史灾情数据的方法^[4]、基于水灾史料和古洪水的方法^[5]、遥感与 GIS 方法^[6-7]、基于洪灾形成机制的系统分析方法等^[8]。然而以对洪水形成机理的分析为指导, 综合气候、地貌和河流水系等多种影响因子进行洪水风险分析, 并考虑历史洪水资料的研究工作却尚不多见。

在简要论述形成中国洪水自然地理背景的前提下, 采用成因分析方法分析洪水形成的影响因子并结合层次分析法确定各影响因子的权重, 然后基于 ArcGIS 平台, 采用栅格计算的方法将各影响因子叠加在同一图层, 从而制作特定频率下的中国洪水风险区划图。最后以人口和 GDP 作为社会经济指标, 分析洪水可能造成的社会经济损失的量级, 据此制作了南中国海以外中国特定频率洪水下的受灾人口分布图和 GDP 损失分布图。

2 洪水成因分析及所用数据

洪水是一种自然现象, 其形成的机理很复杂, 目前学术界认为其形成和特性主要取决于所在流域的气候、地貌和河流水系等自然地理条件^[9,11]。下面将从这三个方面简单阐述其对洪水形成的影响作用, 并挑选出在某种程度上可以量化的指标进行分析。

2.1 气候因素 中国位居欧亚大陆的东部, 太平洋西岸以及印度洋的东北部, 加上青藏高原的影

收稿日期: 2010-05-31

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目子课题(2006BAD20B03-09)

作者简介: 李林涛(1985-), 男, 湖北宜城人, 硕士生, 主要从事洪灾风险分析研究。E-mail: lintao6422@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 徐宗学(1962-), 男, 山东淄博人, 教授, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: zxxu@bnu.edu.cn

响,使得季风气候异常发达,这是中国气候的一个基本特点。季风的进退使得盛行的气团在不同的季节产生了各种天气现象,其中与洪水关系最为密切的是降水,尤其是暴雨和连续性降水^[9]。

历时短的暴雨虽然强度大,但是由于总雨量较小,一般难以形成大洪水^[8]。所以在研究可能构成洪水(尤其是流域性大洪水)的暴雨时,往往选取长历时的暴雨。

本文力求综合降水的高强度及连续性两个特征,选取全国738个国家气象站点自建站以来的年最大三日降水数据(其中664个站点的观测数据不少于30年)进行频率分析,通过P-Ⅲ型曲线拟合求出各气象站点5年、20年、50年和100年一遇条件下的年最大三日降水量作为气象因素的基本资料,气象站点数据来自中国气象科学数据共享服务网。首先利用VB编写程序算出各站点特定频率下的年最大三日降水量,再通过ArcGIS中的Kriging插值方法对最大三日降水数据进行空间插值,分别得到中国(不含南中国海,下同)5年、20年、50年和100年一遇条件下的年最大三日降水量空间分布图(如图1所示)。

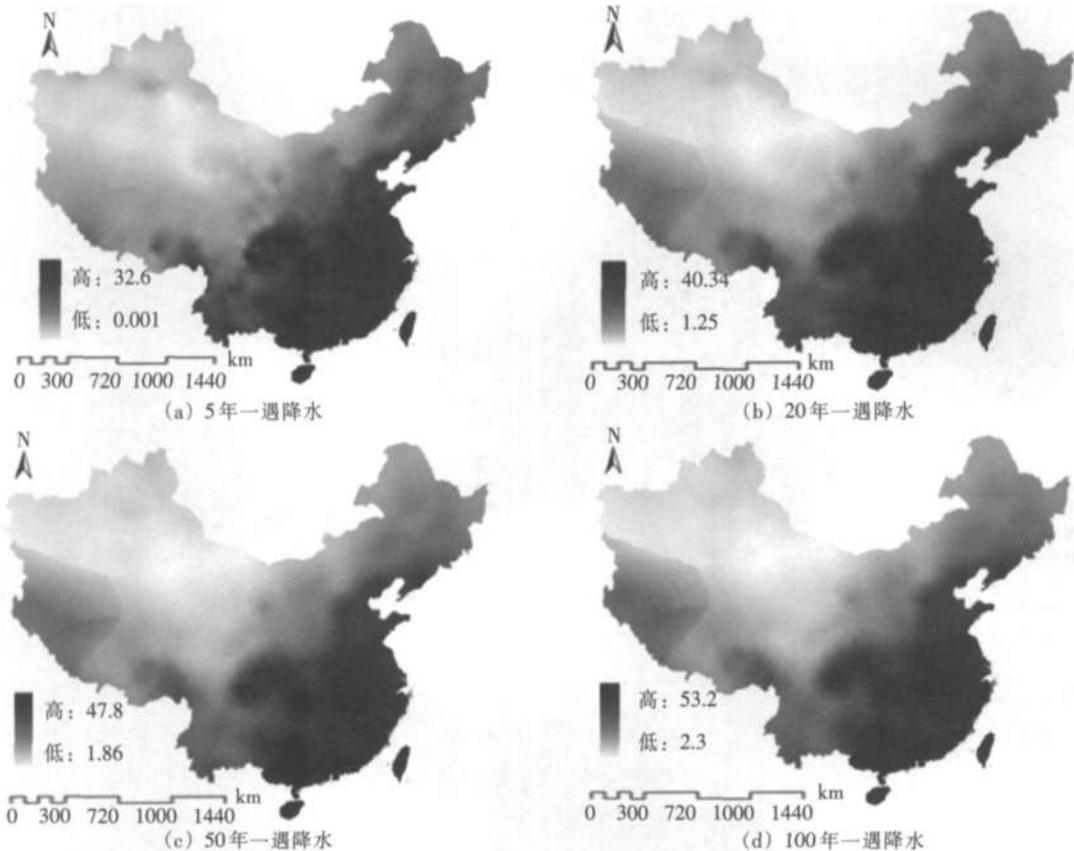


图1 最大三日降水量的空间分布(不含南中国海,下同)

根据中国气候的特点,可以将中国大致划分为东部季风区、西北干旱半干旱区及青藏高原高寒区3个气候区^[10](如图2所示)。其中西北干旱半干旱区多深居内陆,气候干燥少雨,洪水灾害相对较少;青藏高原高寒区的冰川径流是中国西部地区的一种宝贵水资源,偶尔会形成洪水;东部季风区降水量大且地势相对平坦,洪水问题比较突出。

2.2 地貌因素 我国大陆地势总体是西高东低,呈三级阶梯状分布。青藏高原是第一级阶梯,平均海拔在4 000m以上,南端的喜马拉雅山是来自印度洋暖湿气流的巨大障碍。青藏高原以北、以东至大兴安岭、太行山、巫山和雪峰山为第二级阶梯,其间高原与盆地相间分布,是我国众多河流的发源地。第二级阶梯东缘和云贵高原东缘以东至滨海为第三级阶梯,其间丘陵和平原由西向东交错分布,江河湖泊众多,是我国洪水泛滥致灾最为严重的

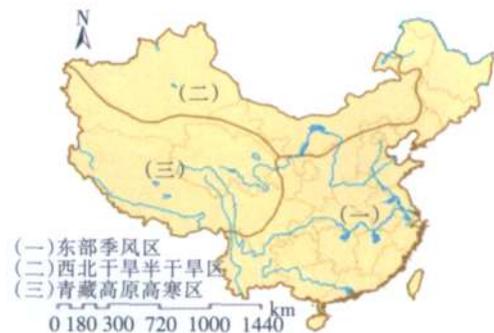


图2 中国气候分区

地区。

中国是一个多山的国家,山地面积约占全国面积的33%^[1]。众多的山脉影响了高空水汽的输送,使我国降水呈现大尺度带状分布的特点。如:东西走向的秦岭是长江与黄河的分水岭,也是我国南方暖湿气候与北方干冷气候的分界线;南北走向的贺兰山和六盘山阻碍夏季风西进,东侧降水明显多于西侧;鲁、浙、闽、粤沿海山脉一线,临近海洋,迎风坡使气流抬升,雨量增多,往往形成暴雨中心地区,成为暴雨洪水的易发地区。

总而言之,我国复杂的地貌,起伏多变的地势对我国的气候特点、河流发育以及江河洪水的形成过程有着深刻而复杂的影响^[9],且这种互相影响的机制具有随机性和必然性,目前还难于量化。一般认为,地貌对洪水形成的影响主要表现在两个方面:海拔高程和地形坡度。高程越低,地形变化越小,越容易发生洪水^[14]。

鉴于以上分析,本文选取中国1:25万DEM图作为地貌因素对洪水影响的基本资料,DEM数据来自美国太空总署官方网站。本文对数据的处理方法如下:(1)利用全国1:25万DEM图,运用ArcGIS空间分析模块中的Slope子模块分析各网格内地表的海拔高程变化率,从而得到中国坡度图(图3);(2)利用全国1:25万DEM图,在ArcGIS中,对各网格的高程进行分类,得到中国地形高程图(图4)。

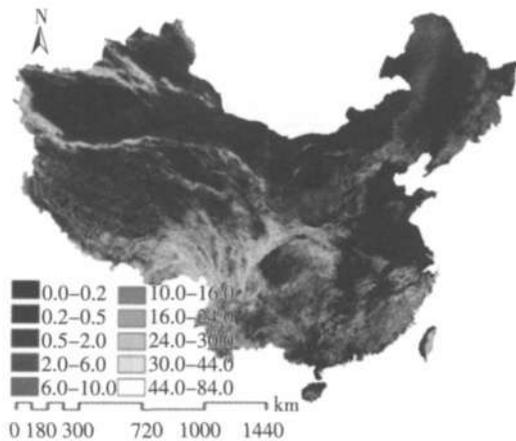


图3 中国坡度

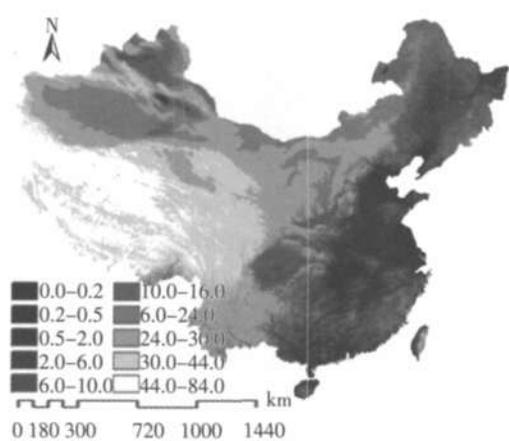


图4 中国高程

2.3 流域水系因素 洪水是按照流域水系形成的,水系的分布情况在一定程度上反映了我国洪水的地区分布特点^[9]。流域水系对洪水形成的影响主要表现在^[8,12-13]:大江大河的中下游地区和湖泊周围地区,除受到因本地降水而引起的洪涝威胁外,还受到过境洪水因下渗、漫堤和溃堤等形成的洪涝威胁。所以这部分地区的洪水危险程度较其它地方要大,本文称这部分地区为缓冲区。

本文利用ArcGIS中的缓冲区分析工具对河流、湖泊建立了缓冲区。为避免重复,缓冲区宽度不再考虑河流所处的地貌特征及其所处的气候区,而只考虑河流的级别:1级河流缓冲区宽度设为20km、2级为10km,为避免所得洪水风险图杂乱,更高级别的河流缓冲区不计。湖泊缓冲区设为



图5 河湖缓冲区

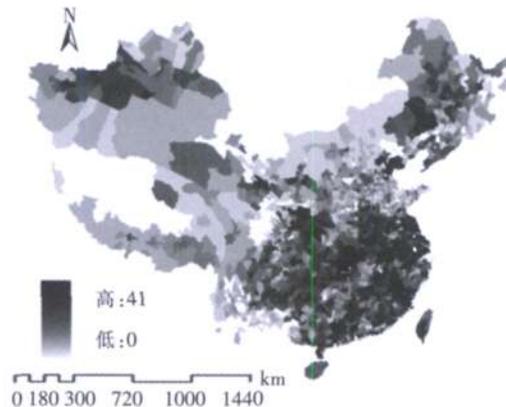


图6 中国1949—2000年间县级洪水频次

20km。得到河流、湖泊的缓冲区后，利用 ArcGIS 的数据转换功能将多边形数据转换为栅格数据，得到的缓冲区分布如图 5 所示。

2.4 历史洪水 由于水文学规律往往隐含于长序列历史资料里，所以长系列历史洪水资料中必然包含洪水发生的自然规律。在对洪水形成机理还没有完全掌握的前提下，将历史洪水资料作为现状条件下洪水风险的一个评价指标，有助于提高对洪水风险评估的准确性。

本文选取中国 1949—2000 年间县级洪水频次数据(见图 6)，作为洪水风险区划的一个评价指标。栅格数据各象元的值为 1949—2000 年间相应位置上总共发生洪水的次数。数据来源于《中国自然灾害系统地图集》编辑委员会。

3 方法介绍

3.1 指标分析模型 指标分析法是洪水风险区划方法的一种，它着重从洪水形成的机理上，通过对影响洪水形成的各种因子的分析，赋予各指标一定的权重，并通过指标分析模型将各影响指标综合在一起，以此来推求研究区总的洪水风险。本文建立的指标分析模型如下：

$$R=f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6) \quad (1)$$

式中： R 为洪水风险等级； X_1 为最大三日降水量； X_2 为栅格所处的气候分区； X_3 为地形坡度； X_4 为地形高程； X_5 为河湖缓冲区； X_6 为栅格处历史发生水灾的频次。

各影响因素及其评价指标见图 7。

3.2 数据的标准化处理 由于文中不同评价指标的量纲不同且取值范围变幅较大，因此需要对数据进行标准化处理，数据的标准化通过以下标准化公式法实现：

$$x'_i = 100 \left(\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \quad (2)$$

式中： x_i 为各格点原始数据系列； x_{\max} 和 x_{\min} 分别为其中的最大和最小值； x'_i 为标准化以后的值，介于 0 到 100 之间。

3.3 栅格数据的叠加分析 栅格数据是一种空间数据结构，将地面按照一定大小的网格进行划分，每个网格作为一个像元，并且每一个像元都有一定的属性值。栅格数据的叠加分析是指在统一空间参考系条件下，将同一地区、同一比例尺的两组或两组以上的栅格数据层叠加在一起，在图层的相应位置上产生新的属性值的分析方法。本文中主要利用 ArcGIS 中的 Raster calculator 进行栅格计算来实现栅格数据的叠加分析。

3.4 运用层次分析法确定因子权重 栅格计算的过程中，各影响因子权重的确定采用层次分析法。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是美国匹兹堡大学教授 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种系统分析方法^[15]。AHP 的理论核心是通过分析复杂系统的各相关要素及其相互关系，将系统简化为有序的递阶层次结构，使这些要素归并为不同的层次，在每一层次上把所有因素放在一起比较，而是用 1~9 比较尺度法两两相互比较并赋值，以构造多因子成对比较的判断矩阵。然后对于每一个成对比较矩阵计算最大特征根及对应特征向量，利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。最后计算组合权向量并做组合一致性检验，若检验通过，则可按照组合权向量表示的结果进行决策，否则需要重新考虑模型或重新构造那些一致性比率较大的成对比较矩阵。

本文将影响洪水发生的 5 个因子：最大三日降水量(X_1)、气候分区(X_2)、地形坡度(X_3)、地形高程(X_4)、河湖缓冲区(X_5)，以及历史洪水频次数据(X_6)用 1~9 标度法两两比较，建立如表 1 所示的判断矩阵，并利用一致性、随机一致性指标和一致性比率作一致性检验。最后用方根法求出 6 个评价指标的权重系数分别为：0.144 2、0.110 9、0.196 6、0.188 4 和 0.156 2，0.203 6，并通过一致性检验。

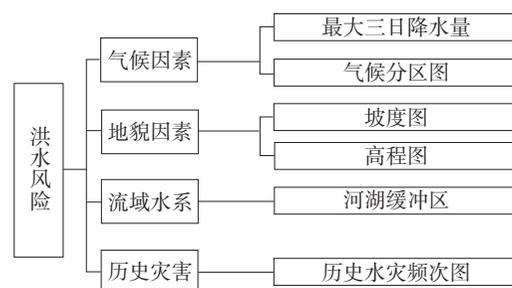


图 7 全国洪水风险评价指标体系

表1 中国洪水风险影响因子比较矩阵

	最大三日降水量	气候分区	坡度	高程	缓冲区	历史水灾频次
最大三日降水量	1	3	1/2	1/2	2	1/2
气候分区	1/3	1	1/6	1/6	1/2	1/6
坡度	2	6	1	1	1	1
高程	2	2	1	1	2	1
缓冲区	1/2	2	1	1/2	1	1/4
历史水灾频次	2	6	1	1	4	1

将权重系数代入式(1)得到洪水风险R的计算公式:

$$R = 0.1442X_1 + 0.1109X_2 + 0.1966X_3 + 0.1884X_4 + 0.1562X_5 + 0.2036X_6 \quad (3)$$

4 洪水风险区划

得到上述6个评价指标的图层之后,运用ArcGIS空间分析的栅格计算模块,将各影响因子及其权重带入式(3)进行栅格计算。将栅格计算结果由人工进行非线性分级,得到如图8所示的中国5年、20年、50年和100年一遇洪水风险区划图。图中危险程度值为相对值,数值越大,表示危险程度越高。

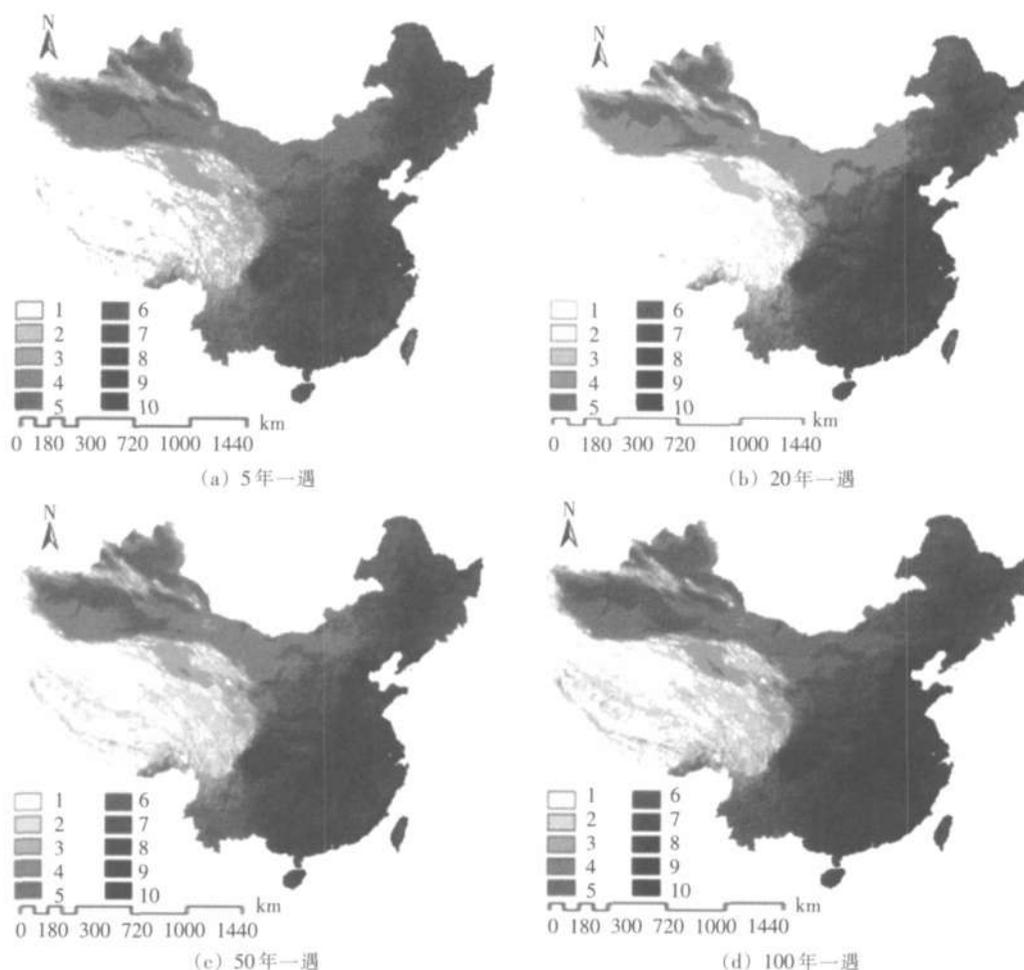


图8 洪水风险区划

从图8可以看出,中国洪水风险较高的几个地区为:辽河中下游地区、京津唐地区、淮河流域包括江苏及安徽北部、山东南部地区、长江中游(江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区以及沿江一带)、四

川盆地和广东广西南部沿海地区等。这些地区在地理特征上有共同点：(1)它们的海拔高度较低，容易同时遭受主水和客水的影响；(2)它们所处地形的坡度都很小，这会导致洪水排泄不畅；(3)这些地区要么靠近海岸，要么在大型湖泊附近，从而能有充足的水汽形成降水。四川盆地虽然深居内陆，但其西部背靠青藏高原，盆地边缘恰好是迎风坡，降水量同样很大。因此，本洪水风险区划图所确定的洪水发生高风险区在机理上是合理的。

根据1900—2010年的洪水资料记载，上述地区都发生过较为严重的洪水灾害。1915年6月下旬至7月上旬，华南地区出现大面积的大雨和暴雨，雨区范围包括广东、广西两省区以及福建、江西、湖南和云南等省部分地区，面积50余万 km^2 ，暴雨中心位于南岭山区和武夷山区。暴雨导致了珠江流域罕见的特大洪水，珠江三角洲所有堤圩几乎全部溃决，受淹农田43.2万 hm^2 ，受灾人口379万人，死伤10余万人，水淹广州市7d之久；1998年夏季，在长江中、下游地区已经发生过春涝的条件下，6月中旬起该地区出现持续性的强降水，致使鄱阳湖、洞庭湖、湘江和资水等流域洪涝严重。紧接着，由于夏季风降水先至，使得1998年夏季长江干流在从7月底到8月初已经出现高水位的情况下，长江中、上游流域在8月上旬和中旬又出现连续性暴雨，致使长江干流中、上游出现高水位，洪水在洞庭湖流域遭遇，形成特大洪涝；1954年长江、淮河发生百年不遇的全流域性特大洪水；海河北系1939年，南系1963、1996年发生了特大洪水；辽河中下游地区于1949、1951、1953、1954、1960、1962、1985、1986、1995、1998年等年份均发生过大范围的洪水；1975年8月，淮河上游洪灾，死亡26000余人，京广铁路冲毁102km。上述历史洪水的发生间接验证了洪水风险区划结果的合理性。

5 洪水灾害风险区划

防洪的主要目的是将洪水灾害损失减少到最低限度^[16]，洪灾损失评估是一个非常复杂的课题^[17-18]，

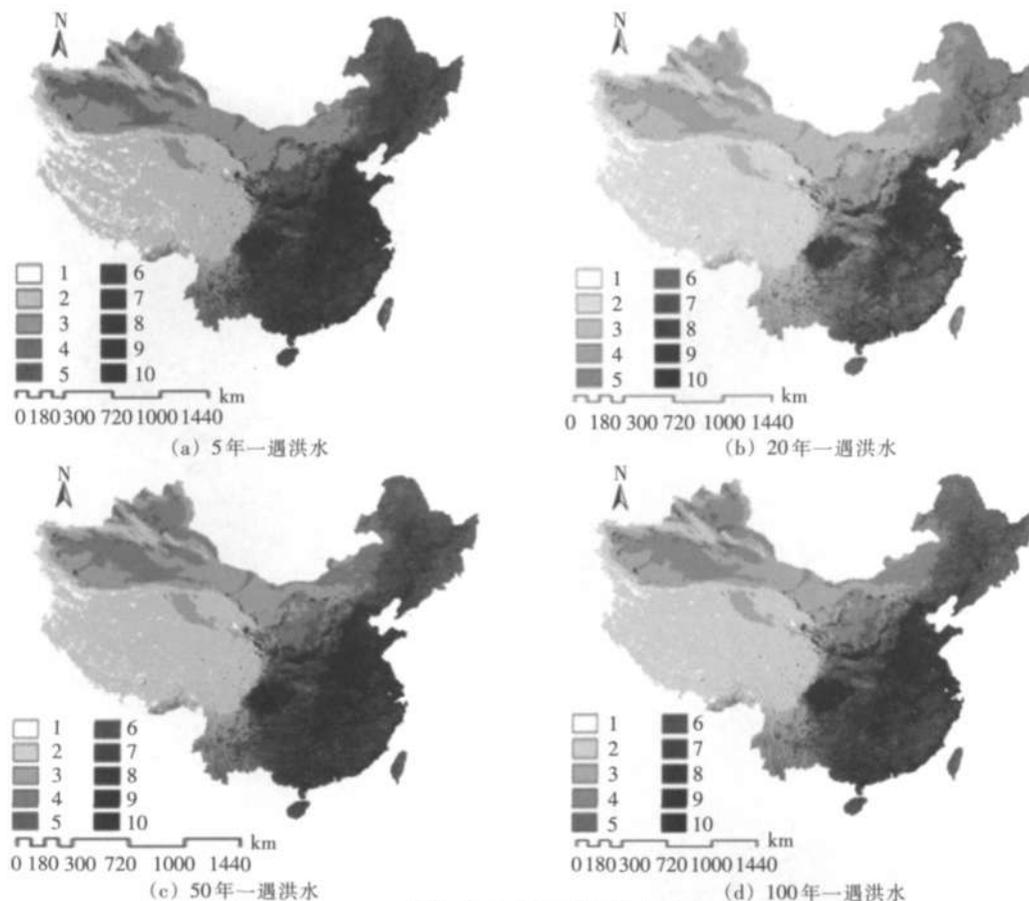


图9 洪水受灾人口空间分布

根据评估的目标、资料的完备性、实现算法的可能性以及研究区特点等因素，洪灾损失评估可以分为精细尺度、中尺度和大尺度3种评估模式。由于本文的研究区域较大，所以在精度上要求不宜过高，而只能在宏观上作总体的把握。

鉴于以上分析，本文选用受灾人口和受损GDP来反映发生洪水时将产生的社会经济损失，研制特定频率洪水条件下中国受灾人口和受损GDP的空间分布图。首先将各指标的属性值标准化，再利用ArcGIS空间分析的栅格计算模块将洪水风险图层和社会经济指标图层分别进行叠加分析。栅格计算按照式(4)进行，即：

$$H = R \times (1 + 0.3 \times S) \quad (4)$$

式中： R 为按照式(3)计算得到的特定频率下洪水风险程度值； S 分别为标准化后的中国人口分布图层和中国GDP分布图层； H 分别为发生特定频率洪水时受灾人口和受损GDP的数量值。

经栅格计算得到如图9所示的中国5年、20年、50年和100年一遇洪水受灾人口空间分布图以及如图10所示的中国5年、20年、50年和100年一遇洪水受损GDP空间分布图。图中危险程度值意义同图8。

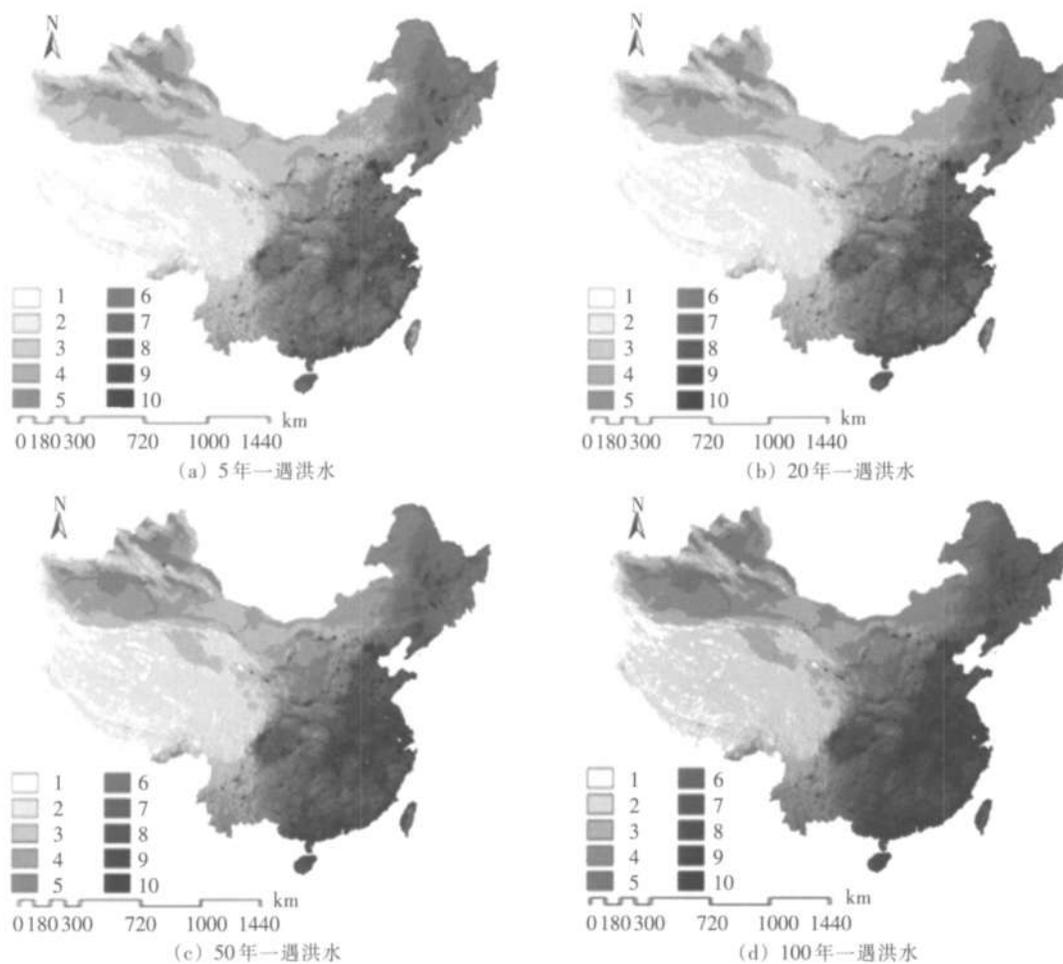


图10 洪水受损GDP空间分布

分析图9、图10可以看出，中国洪水灾害(受灾人口及受损GDP)风险较高的地区包括：辽河下游地区、京津唐地区、淮河流域、长江中游(江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区以及沿江一带)、四川盆地和广东广西南部沿海地区等。其空间分布特征与中国洪水风险的空间分布高度一致。为探其原因，特将中国人口和GDP分布情况独立出来并单独制图(如图11、图12)。

观察图11中国人口分布图可以看出，中国绝大部分的人口都集中分布在东部季风区。其中又以海河南系、淮河流域、四川盆地、两湖盆地、长江中下游以及珠江三角洲等地区分布最为密集。这些地区几乎具备洪水发生的一切条件：(1)从气候的角度来看，它们都位于东部季风区，年降水量

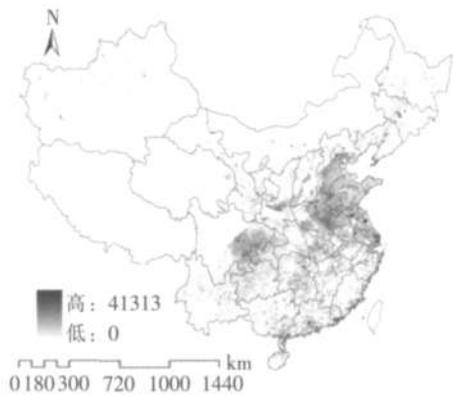


图 11 中国人口分布

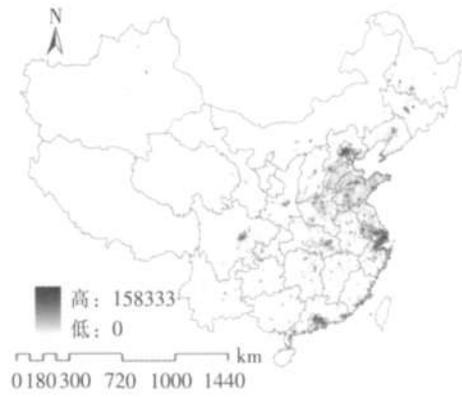


图 12 中国 GDP 分布

大，这样以来洪水的产生就具备了必要条件；(2)从地貌的角度来看，中国人口分布集中的地区要么是平原，要么是盆地，这类地区高程低、坡度小，容易同时遭受主水和客水的影响且行洪不畅；(3)从流域水系的角度来看，这些地区河网密集，坡降小，在汛期容易遭受槽蓄洪水因下渗、漫堤、溃堤而造成的洪涝威胁。可见，中国人口主要集中在洪水风险较高的地区。由图 12 中国 GDP 的分布可以发现：中国的 GDP 分布比人口分布更加集中，而且同样集中在洪水风险较高的地区。

比较图 9 与图 11 及图 10 与图 12 可以发现，中国受洪水灾害影响的人口分布与中国实际人口分布，中国因洪水灾害而损失的 GDP 分布与中国实际的 GDP 分布具有高度的空间一致性。这种现象主要决定于以下两个因素：首先，洪水灾害的形成不仅要有洪水的发生，还要有遭受洪水侵害的人员或资产存在，只有洪水发生而没有人员或资产的存在还不足以造成灾害；第二，人员或资产密集的地方，在中国往往也是洪水发生危险较高的地方。所以，在中国洪水风险、洪水灾害风险、人口及资产三者的分布具有空间一致性。

6 结论

本文在分析中国洪水形成的自然地理背景的前提下，采用成因分析方法探讨了洪水形成的影响因子并结合层次分析法确定各影响因子的权重，然后在 GIS 平台上制作了洪水风险区划图，最后以人口和 GDP 作为社会经济指标，分析洪水造成的社会经济损失，进而制作了中国洪灾风险区划图。区划结果表明：中国人口和 GDP 分布的特征决定了中国洪水风险和洪灾风险程度高的地区分布具有空间一致性特征：辽河中下游地区、京津唐地区、淮河流域、长江中游(江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区以及沿江一带)、四川盆地和广东广西南部沿海等地区是洪水和洪灾高风险区。由于洪水形成的机理复杂，影响因子众多，要准确地分析洪水风险目前还存在困难，本文所使用的成因分析法和指标模型法只是对此问题所做的初步探索。

另外，由于资料条件所限，本文所考虑的影响因子还比较单一，对于局部洪水如西部内陆河流流域的突发性洪水灾害等还不能客观地再现出来，这些都是今后继续深入研究和探讨的问题。

参 考 文 献：

- [1] 水利部水利水电规划设计总院. 中国防洪规划(送审稿)[R]. 北京: 水利部水利水电规划设计总院, 2005.
- [2] Haruyama, Shigeko, Ohokura, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data[J]. *Geo-Journal*, 1996, 38(3): 273-278.
- [3] 程晓陶, 杨磊, 陈喜军, 等. 分蓄洪区洪水演进数值模型[J]. *自然灾害学报*, 1996, 5(1): 34-40.
- [4] 谭徐明, 张伟兵, 马建明, 等. 全国区域洪水风险评价与区划图绘制研究[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2004, 2(1): 50-59.
- [5] Benito G, Sopena A, Sanchez-Moya Y, et al. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the

- Late Pleistocene and Holocene[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22: 1737-1756.
- [6] 丁志雄, 李纪人, 李琳. 基于GIS格网模型的洪水淹没分析方法[J]. *水利学报*, 2004(6): 56-60.
- [7] Joy Sanyal, Lu X X. Remote sensing and GIS based flood vulnerability assessment of human settlements: A case study of Gangetic West Bengal, India[J]. *Hydrological Process*, 2005, 19: 3699-3716.
- [8] 张行南, 罗建, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. *水利学报*, 2000(3): 1-7.
- [9] 李健生. 中国江河防洪丛书总论卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [10] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理·总论[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [11] Ellen E. Wohl主编. 内陆洪水灾害[M]. 何晓燕, 黄金池, 梁志勇, 等译. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [12] 钟晋阳. 基于GIS的浙江省洪水灾害风险区划[D]. 新疆: 新疆农业大学, 2009.
- [13] 田国珍, 刘新立, 王平, 等. 中国洪水灾害风险区划及其成因分析[J]. *灾害学*, 2006, 21(2): 1-6.
- [14] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于GIS的洪水灾害风险区划研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 15-23.
- [15] Saaty T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process[J]. *European Journal of Operational Research*, 1990, 48(1, 5): 9-26.
- [16] 阿瓦克扬 A B, 李艺军, 译. 关于洪灾损失评估的问题[J]. *水工建设*, 1991(10): 5-9.
- [17] 傅湘, 纪昌明. 洪灾损失评估指标的研究[J]. *水科学进展*, 2000, 11(4): 432-435.
- [18] 冯民权, 周孝德, 张根广. 洪灾损失评估的研究进展[J]. *西北水资源与水工程*, 2002, 13(1): 32-36.

Flood risk zoning in China

LI Lin-tao, XU Zhong-xue, PANG Bo, LIU Liu

(Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The occurrence of flood disaster is usually affected by climate, topography and river net system. Therefore, six factors including maximum 3-day precipitation, climate zoning, the magnitude of slope, Digital Elevation Model (DEM), buffer zones of river nets and lakes, and statistic data were selected to represent this kind of effect in this study. The weight for each factor was determined by the combination of cause analysis of flood formation and the analytic hierarchy process. The flood zoning map of China was obtained through overlay analysis by using Geographical Information System (GIS). Potential economic and social impacts of flooding were assessed using the distribution of population and Gross Domestic Product (GDP). The zoning map obtained is consistent with historically statistical flood zoning and it indicates that the technique used in this paper was suitable to analyze the spatial characteristics of flood risk in China.

Key words: flood risk; flood hazard; zoning

(责任编辑: 王成丽)