

文章编号: 1672-3031 (2004) 01-0050-11

全国区域洪水风险评价与区划图绘制研究

谭徐明, 张伟兵, 马建明, 苏志诚

(中国水利水电科学研究院 防洪减灾研究所, 北京 100038)

摘要: 利用近300年水灾资料序列及当前自然和社会经济基础数据, 采用统计学和模糊聚类的方法, 在数据库和GIS技术支持下, 完成了区域洪水风险分析及全国洪水风险区划图的绘制。本论文的主要进展是: 提出区域洪水风险评价的指标体系, 即自然特性(水文和地形)、社会经济(人口、GDP和土地面积)、洪水灾害(灾害场次和最大淹没面积)、减灾能力(防洪标准)4类特性指标; 以县为区域洪水风险分析的基本单元, 组成区域洪水灾害的10个影响因子和2400个县的分析样本, 从而取得了宏观定量的区域洪水风险评价及洪水风险分区成果; 采用历史水灾频率法界定了重点风险区边界, 从而完成了以县为边界的全国洪水风险区划图的绘制。

关键词: 洪水风险; 特性指标; 区划

中图分类号: TV122

文献标识码: A

洪水灾害的类型源于区域自然和社会环境的地域差异。洪水风险区划对于我们因地制宜、有的放矢地制定区域防洪减灾政策, 以及部署防洪减灾措施是必要的。1997年国家防汛抗旱总指挥部办公室主持制定了《洪水风险图绘制纲要》, 第一次提出了洪水风险图的编制步骤和分级。同一时期, 洪水风险区划图的研究开始起步。

2002年初提交讨论的《全国防洪规划》中, 针对区域自然和社会背景提出了全国防洪区划^[1]。随着防洪减灾工作的深入, 洪水风险区划内容应进一步丰富和细化。

1 问题的提出

我国的洪水风险区划研究和区划图绘制主要存在如下两方面的问题。

1.1 洪水灾害风险区划宏观定量分区问题 开始于1959年的水文区划, 在20世纪80年代和90年代进行过两次修改完善, 成为我国水利专业区划的基础。水文区划共分两级, 一级区依据年径流深度和多年降雨量, 共分为11个一级水文区; 在一级区基础上依据典型年的月和汛期径流总量, 分出56个二级区。各水文区的界限参考地形定性确定^[2]。

近年, 防洪区划和洪水风险区划工作主要依据水文区划, 结合区域社会经济背景, 从理论上进行了分区, 如防洪规划中的防洪区划, 依据多年降雨等值线定性地将全国划分为三区: 非防洪区、过渡区和防洪区。

洪水风险区划作为专业区划, 应该基于其实用性, 通过区域洪水风险分析, 提出宏观定量的分区和界限。这一工作受到了基础资料的制约而难以实现。

近年迅速发展的GIS和数据库技术, 为区域洪水风险定量分析提供了便利。如《中国洪水灾害危险程度区划》, 将全国分作5000多个多边形的图层, 通过单元网格划分, 依据地形、降雨和径流三项指标, 采用模糊聚类模型, 由每个单元格的隶属度属性生成洪水危险区划图; 依据每个多边形平均耕地和人口, 生成分县的社会经济隶属度图; 由洪水危险区划图和社会经济隶属度图叠置而生成洪水危险程度区划图^[3]。辽河流域洪水风险区划采用了类似的技术路线进行流域洪水风险区划^[4]。但是, 区域洪水风险分析的网格即基本单元, 划分过细不仅工作量大, 还与目前可以采集到的社会经济数据精

收稿日期: 2003-12-30

作者简介: 谭徐明(1954-), 女, 四川成都人, 教授级高级工程师, 主要研究方向为水利史及减灾。

E-mail: tan xm@iwhr.com

度两者不能匹配。据笔者对全国分县统计的耕地面积调查,有这类数据的县不足全国总县数的30%。如果区域洪水灾害分析基本单元的数据基础过于薄弱,区划分区的最终结果依然是定性的。

1.2 如何在现有的数据基础下建立区域洪水风险分析的指标体系 区域洪水问题复杂的自然和社会背景,使得单纯依靠数学模型进行区域洪水风险分析很困难。目前已有的与洪水有关的区划之所以难以实现二级区划分,主要原因是缺乏表达区域洪水灾害社会属性的基本数据,因此关键指标并不关键。

近年美国利用1975~1994年20年间自然灾害场次,以州为单位,主要依据灾害损失、人口和面积等原始数据进行自然灾害区域风险分析,最终得到了美国灾害风险分区图^[5]。这一从灾害研究灾害的简便实用的方法,有别于人们比较熟知的灾害风险分析数学模型法。

灾害的记载实际上是相应区域自然和社会灾害背景的综合反映。我国灾害记载历史悠久,长时序的历史洪水灾害原始资料为灾害研究提供了可靠的数据基础。区域社会经济指标的建立,必须考虑我国社会经济统计的现实,简单且系统性强的社会经济基本数据有利于指标体系的完整性和客观性。

基于以上的分析,笔者希望在风险分析基本单元、基本数据和指标体系、评价方法等方面有所突破,实现洪水风险宏观定量的分区,在GIS上绘制全国洪水风险区划图。

2 区划基本单元的设定和分区命名

2.1 区域风险分析的基本单元设定及其理由 洪水风险区划图有特定的应用功能,它集合区域内与洪水灾害有关的自然、社会和风险基础信息,服务于国家防洪减灾的宏观管理。无论是我国目前防洪管理的现行行政体制,还是今后不断深化的防洪减灾的工程措施和非工程措施的实施,都是通过各级行政体系来组织和实施的。基于这一认识,我们提出以“县”为区域洪水风险评价的基本单元。

以县为区域洪水风险评价的基本单元的理由还在于可以使原始数据与之匹配。县是我国比较稳定,行政组织完备的基层政区,是国家各项经济数据统计的基础,以县为单位建立自然、社会经济、历史水灾和工程数据库,满足评价指标基本数据的权威性和系统性。

2.2 洪水风险的命名 洪水风险分区的命名原则应该是体现出风险程度和地域特征。因此,全国洪水风险区划的一级区首先反映出区域风险程度,全国洪水风险一级区被划分为4区,分别命名为:重点风险区、一般风险区、低风险区、无风险区。在洪水风险区内,依据水灾频率法进行二级分区,即在洪水风险区内界定重点风险区。二级区命名则由流域名—地域名构成,反映出洪水灾害的区域特征。

3 指标体系建立、数据采集以及GIS基础图层的形成

1993年,有学者提出了自然灾害风险评价指标的6项基本原则:科学性、系统性、定量化、可操作性、兼容性和普适性^[6]。这些原则应该适用于区域洪水风险评价指标体系。但是,区域洪水风险评价有其自身的特点,针对其应用功能,起码应坚持两项原则:①自然与社会属性宏观概括性原则^[7];②评价单元资料序列完整性和系统性原则。

基于上述2条原则提出自然、社会经济、灾害和工程4个特性指标体系,并在此构架下的10个系列因子,以此来反映区域孕灾的自然和社会环境,反映区域的减灾能力。

3.1 自然特性指标 共分为两部分:水文指标和地形指标。

3.1.1 水文指标 主要采用反映区域洪水特征的3个指标:①连续4月最大径流量占全年比例;②最大月径流量占全年比例;③径流分配不均匀系数。

依据全国水文区划的水文分区,对应每个水文分区都可以得到区域3个水文指标。在地理信息平台上,将水文区划和全国分县图层叠加,得到每个县级行政区所属的水文区及分县水文指标值。

3.1.2 地形指标 地理环境中地形、地貌(包括植被)是构成洪水灾害孕灾环境的要素。在区域风险分析中以地形特征来概化地理环境的影响。对区域风险分析的基本单元(县)按地形分成山区、平

原、河网 3 种类型，针对不同的 3 种地形赋以量值。从全国 1: 25 万地形图中，划分出山区、平原和河网 (图 1); 按照全国水系图可以确定河网 (湖泊)，最后将全国地形和全国县界两图层进行叠加，于是便可以得到全国每个县级行政区域所属的地形和该种地形的属性值。

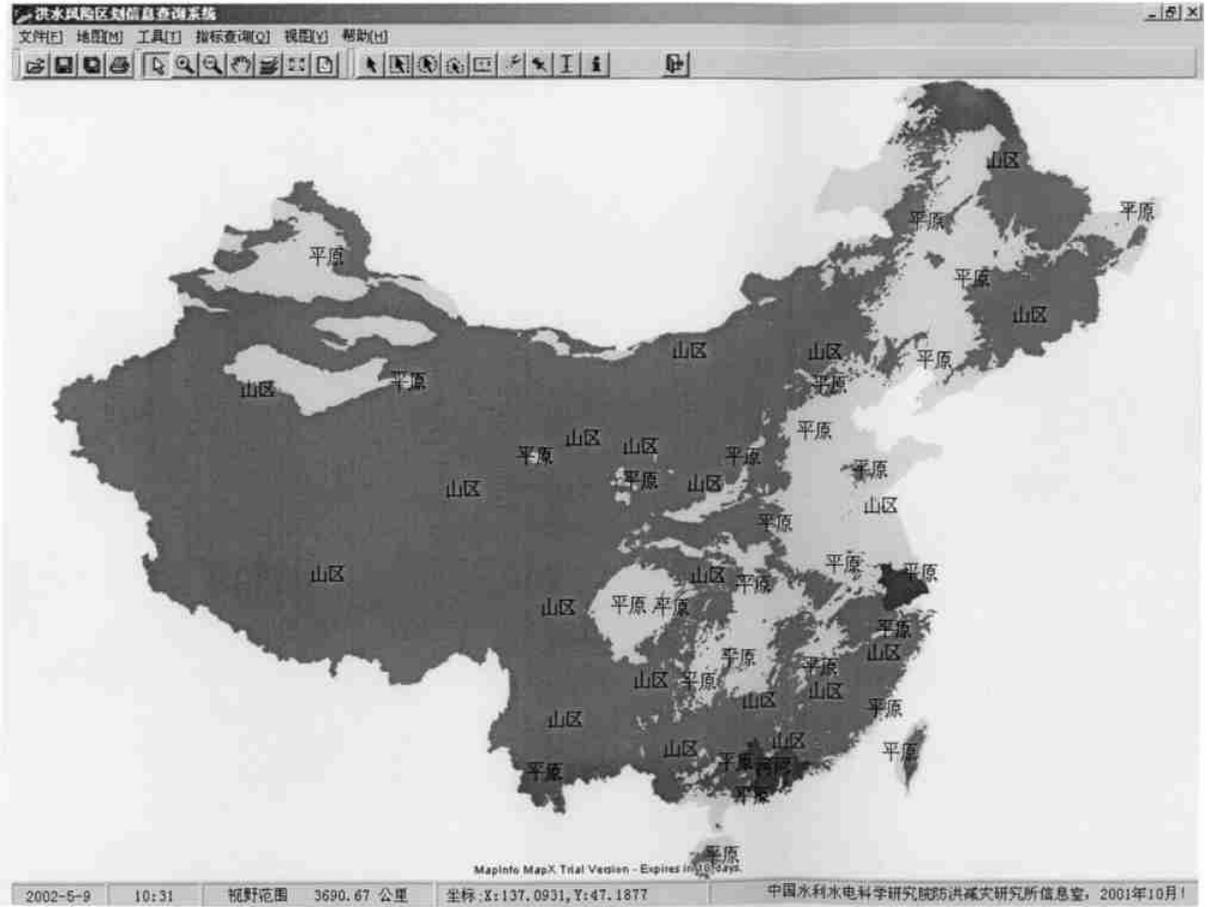


图1 中国大陆地区洪水自然孕灾环境 (地形)

3.2 社会经济特性指标 通过对全国分县统计年鉴社会经济数据分析，笔者发现各级行政区的社会经济统计详略差异很大。例如，目前洪水风险评估中常用的耕地面积缺损率达 74%；社会资产统计以家庭财产为主，统计项目和单位不统一；固定资产是缺项。为了建立完整、系统的指标。笔者选取了全国分县统计率超过 70% 的社会经济数据：人口、土地面积和 GDP 值，作为区域社会经济指标的原始数据，从而构成了比较能够反映区域社会经济特征的指标，即：①全国分县人口密度；②地均 GDP，这项指标称“资产密度”，并在 GIS 图上形成全国分县人口密度图和资产密度图 (图 2, 3)。

3.3 灾害特性指标 灾害特性是区域风险评价的重要指标。灾害特性指标的原始数据主要来源有：清代故宫洪涝档案 (已经建有专题数据库)、民国水利档案等；1949 年以后水利档案、水利年鉴，以及其他正式统计资料、《中国七大江河洪水灾害和防洪工程分布图》(1: 600 万)、近年中科院遥感资料图^[8]。原始数据构成灾害两项特性指标：①灾害频次；②灾害强度。

灾害频次是县历史洪水灾害在一定的时段内发生灾害的次数。本区划洪水灾害选取时段 1700-1999 年共 300 年，通过原始资料的整理，分析样本的同一性处理，建立以县为单位的洪水灾害数据库，在 MapinfoMapX 技术支持下，编制近 300 年全国分县洪水灾害频次图 (图 4)。

依据频次图得到各县的灾害频次指标。

灾害强度以历史洪水最大淹没大范围来反映，对应历史最大淹没范围图层，便可以确定全国每个县是否属于淹没或为淹没范围，由此便可以得到一个反映灾害强度的量值。考虑到七大江河流域孕灾环境的演变，以及现代防洪工程的效益，重点考虑了近 100 年最大洪水灾害的淹没范围。

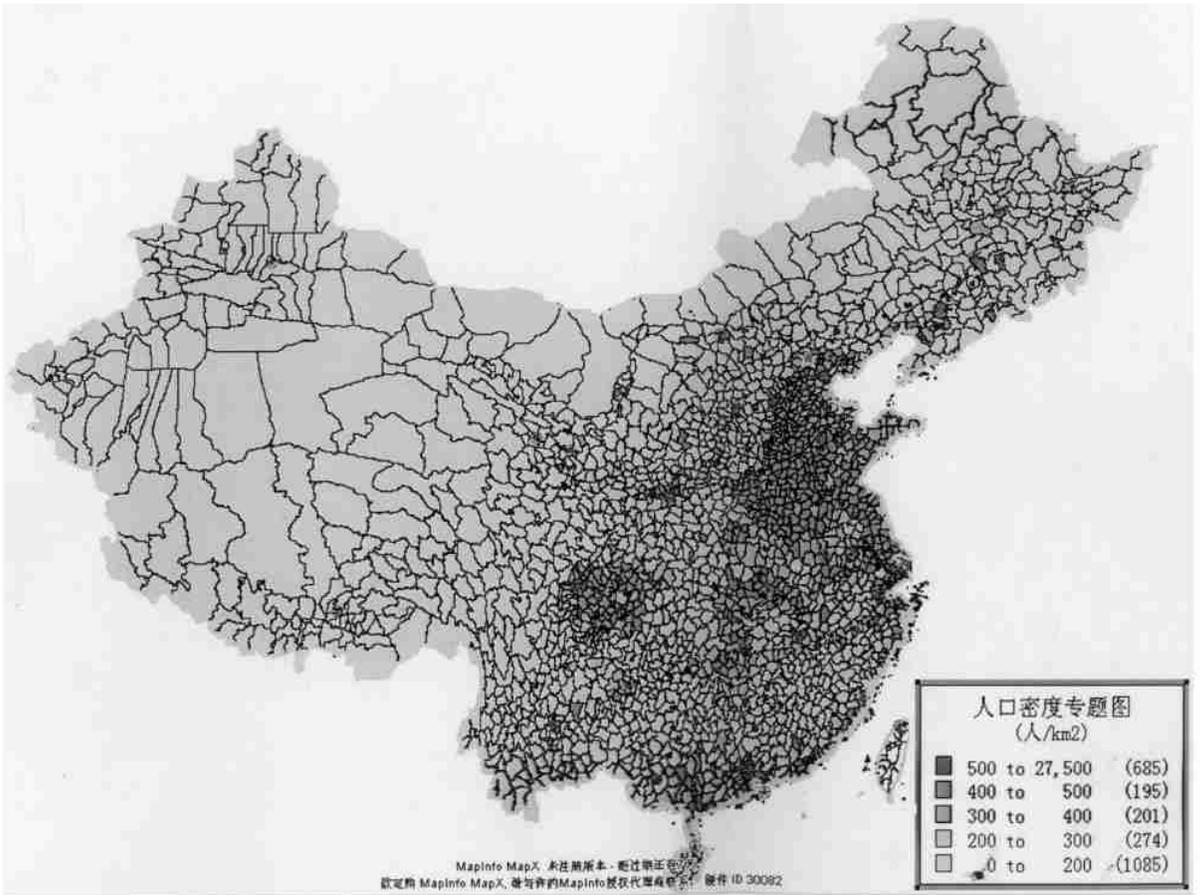


图 2 中国大陆地区人口密度

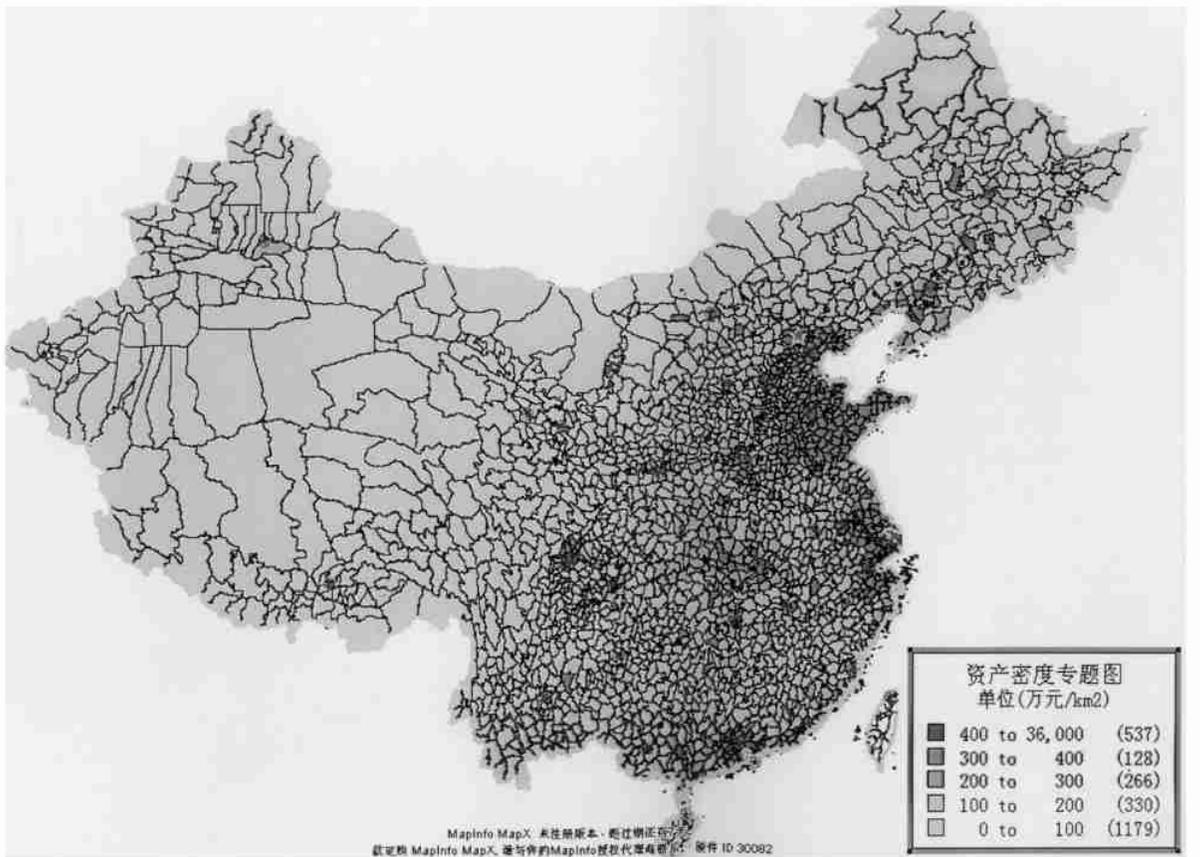


图 3 中国大陆地区资产密度

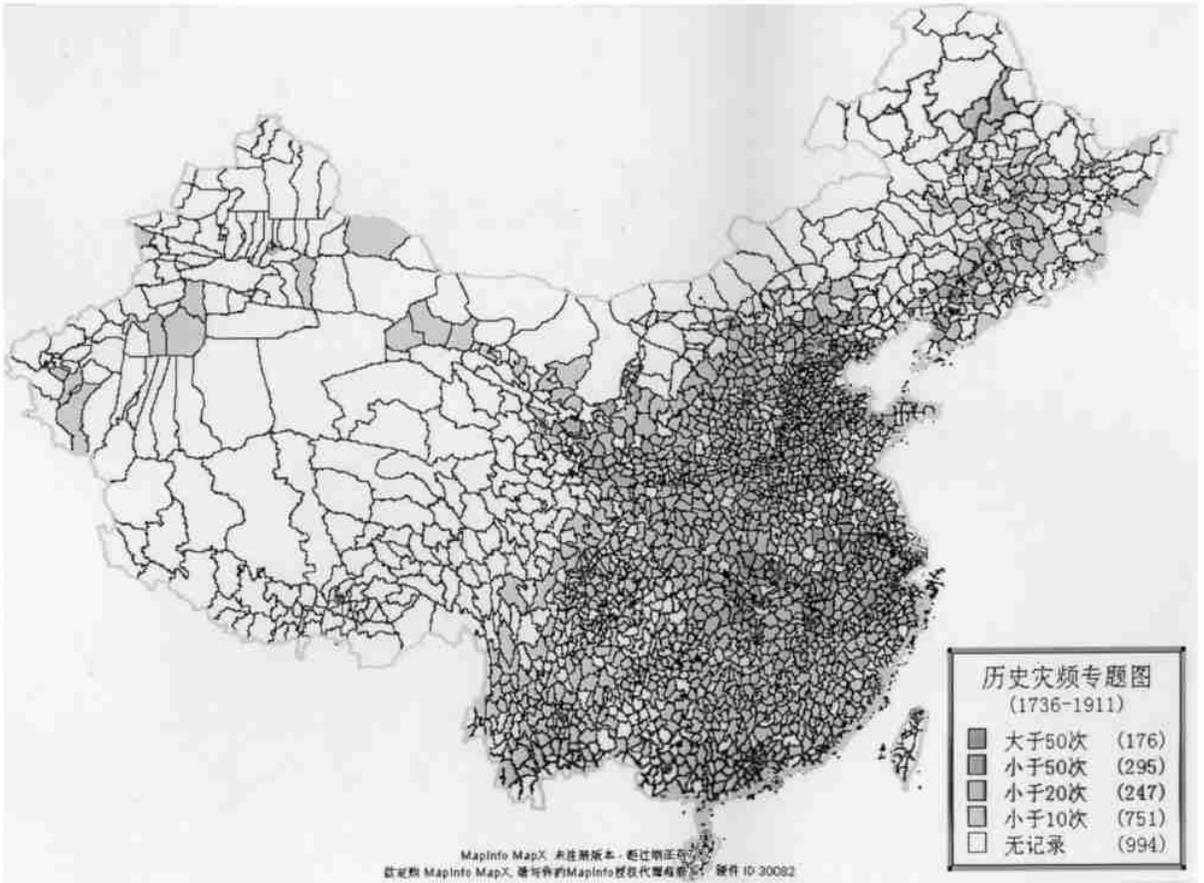


图4 中国大陆地区水灾频次分布

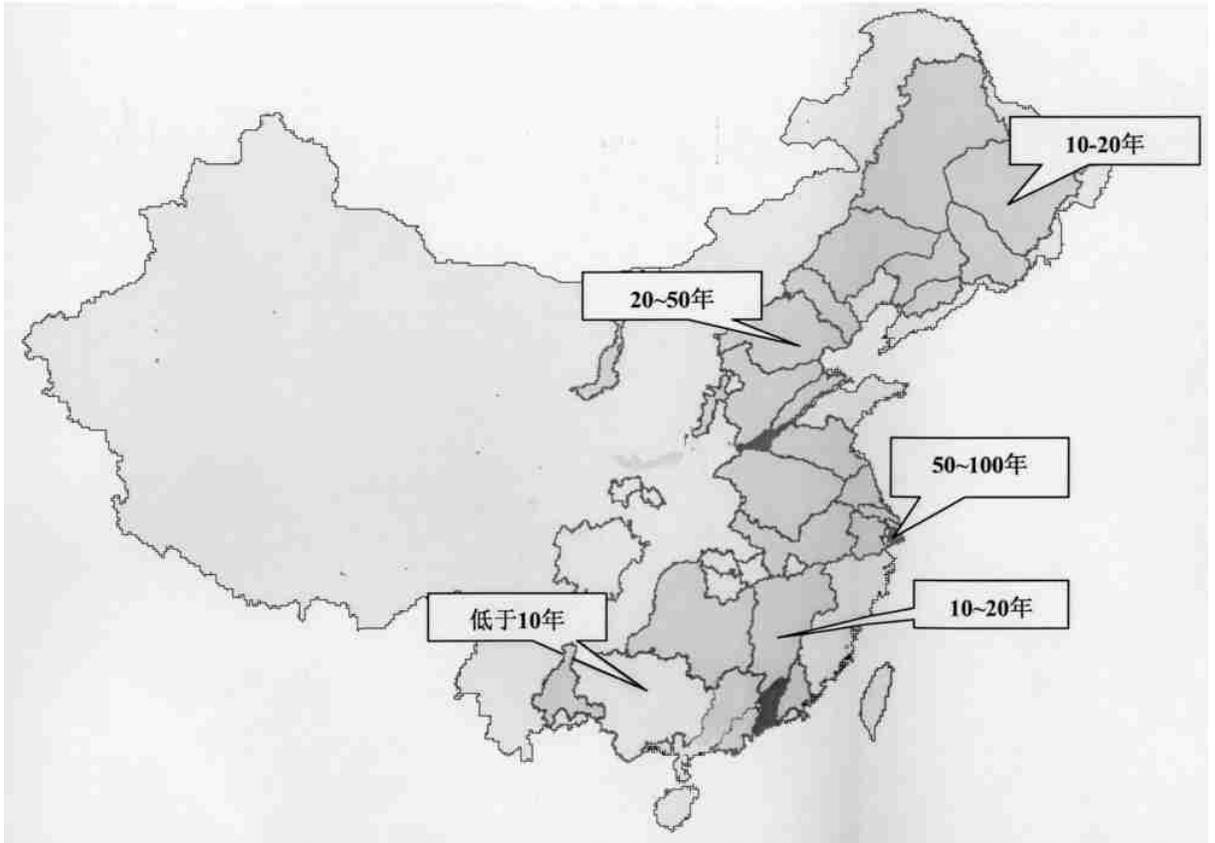


图5 防洪工程保护区范围 (限大陆地区)

3.4 减灾特性指标 以七大江河的堤防工程标准、资产密度作为减灾特性指标。依据《防洪规划》(2001年初稿)、《中国七大江河洪水灾害和防洪工程分布图》，得到各县所处的防洪工程标准(图5)。资产密度越大，洪水灾害造成的损失也越大；同时，在资产密度大的区域建筑结构质量较高，区域防洪等基础设施较好，因此在减灾特性中也引入了资产密度指标，但是在区域风险评价中赋值标准与社会经济特性指标不一样。

4 全国洪水风险区划图绘制

4.1 技术路线 图6反映了区域风险分析和区划图实现的技术路线，即建立自然、社会经济数据、工程防洪标准、历史洪水指标体系；在以县为单元的2400个分析样本基础上，以模糊类聚法建立区域洪水风险评价模型，实现以县为边界的一级区分界。全国共分为4区：重点风险区、一般风险区、低风险区和无风险区。一级区的划分，反映出各区河流洪水特性和地形的自然差异，反映出区域社会经济背景的差异。

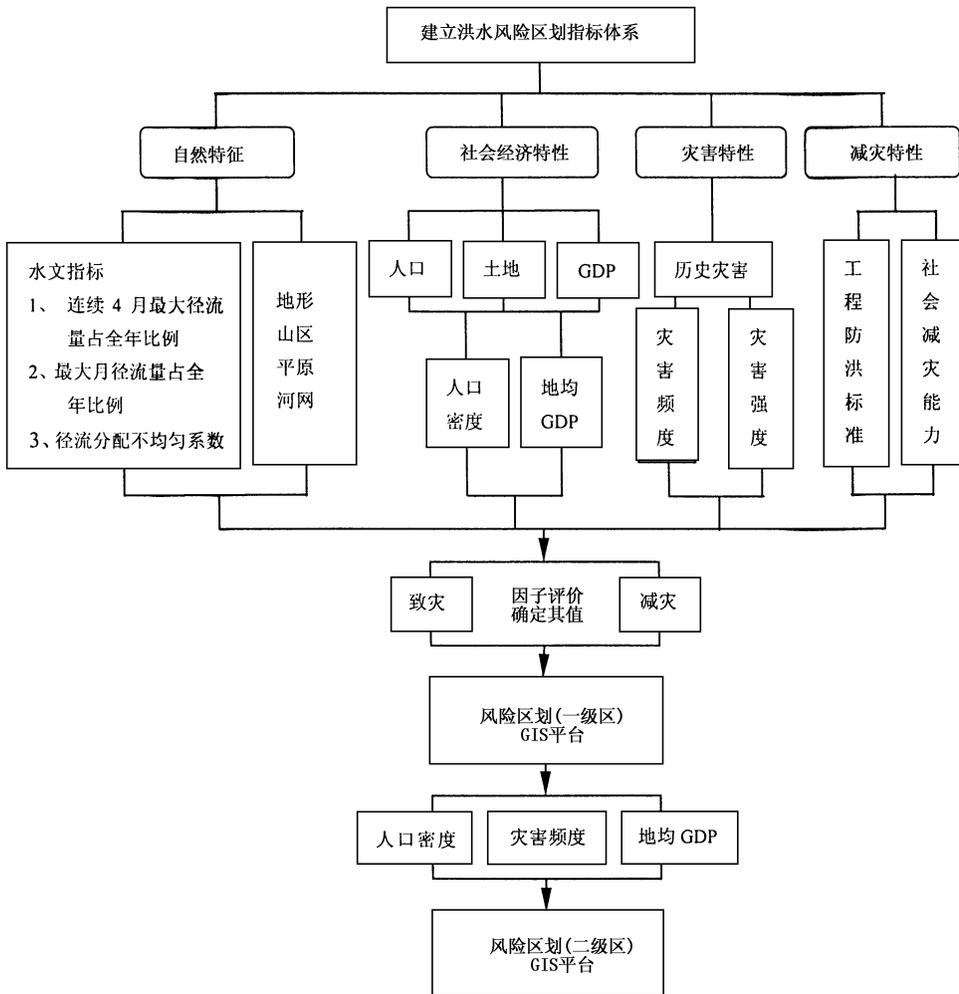


图6 全国洪水风险评价指标体系及风险区划图绘制技术路线框图

在一级区划的基础上，在风险区内利用历史水灾频次进行二级区分区，然后根据地形地貌和资产密度对区划边界进行修正。二级区划分源于长时序洪水灾害客观实际，着重表达了洪水灾害区域特征。在二级区划内，对历史水灾多发地区进行界定，圈出水灾风险的核心区。

4.2 区域洪水风险分析模型与一级分区 类聚分析法近年广泛用于多因素宏观定量研究中^[9]。笔者也选用了这一方法进行区域洪水风险程度分类。以县为单个样本 ($i-n$)，每个样本即为风险评价的基本单元，具有10个风险评价因子 ($j-m$)，由此组成评价样本矩阵 X 。矩阵 X 中每个元素 X_{ij} 的物

理意义即为第 i 个样本的第 j 个指标对最后洪水风险分区所造成影响的大小的反映。

评价样本矩阵 X 为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{n \times m}$$

式中: i 为区域水灾风险分析基本单元 (县), $i = 1, 2, \dots, 2400$ (县); j 为对应于基本单元各评价因子取值, $j = 1, 2, \dots, 10$ 。

为了便于分析, 在进行模糊识别时要对指标矩阵进行无量纲正规化, 以消除指标物理量性质与量纲的影响。根据

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$$

其中 \bar{x}_j 为各列数值平均值, σ_j 为各列数值的标准方差。

经过转化可得特征模糊矩阵 X' 为

$$X' = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \cdots & x'_{1m} \\ x'_{21} & x'_{22} & \cdots & x'_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x'_{n1} & x'_{n2} & \cdots & x'_{nm} \end{bmatrix} = (x'_{ij})_{n \times m}$$

依据变换后的数据, 标定样本间的相似系数 r_{ij} 。

$$r_{ij} = 1 - \frac{1}{M} d_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, m)$$

其中

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{n=1}^m (X'_{in} - X'_{jn})^2}$$

运用模糊等价关系原理和递闭包方法对模糊相似矩阵 $R_{n \times n}$ 改造成模糊等价矩阵 $R_{n \times n}^*$, 利用 λ 截模糊等价矩阵 $R_{n \times n}^*$ 对 n 个样本进行分类, 共有 n 种分类方式。依据计算结果, 利用 F-统计量的方法来确定最佳分类方法, 从而得到各单元 (县) 的归属类别, 在 GIS 图上全国各县分属 3 类。经过边界修正得到了全国洪水灾害风险一级分区 (重点风险区、一般风险区、低风险区和无风险区), 与全国防洪区划图的一级区相比, 定性范围基本一致; 与防洪区划中所分的三区 (防洪区、过渡区、非防洪区) 在面积上有一定的差别。

本风险区划图的绘制选取地理信息系统平台为 MapInfo/MapX4.5, 开发环境选取 VisualBasic6.0, 依据以上模糊识别模型的技术路线在全国 1:250000 和 1:4000000 的地图上完成第一级区划 (图 7)。

5 洪水风险的二级分区

洪水风险重点区域的划分只在一级区划中的重点风险区内进行。笔者选择了历史洪水灾害频次、人口密度、区域资产密度 (地均 GDP) 三类评价指标进行重点风险区划分。重点区的分区分 4 步实现:

①依据区域典型场次洪水, 确定历史洪水灾害强度 (主要历史洪水最大淹没范围); 考虑区域下垫面的影响, 采用近 100 年典型历史水灾淹没范围, 作为参考指标。近 100 年各流域选定的典型洪水灾害场次如下:

松花江水系: 1932 年 8 月松花江洪水; 1998 年 6~8 月松花江、嫩江洪水

辽河中下游水系: 1985 年辽河洪水

海河北系: 1939 年 7、8 月海河洪水

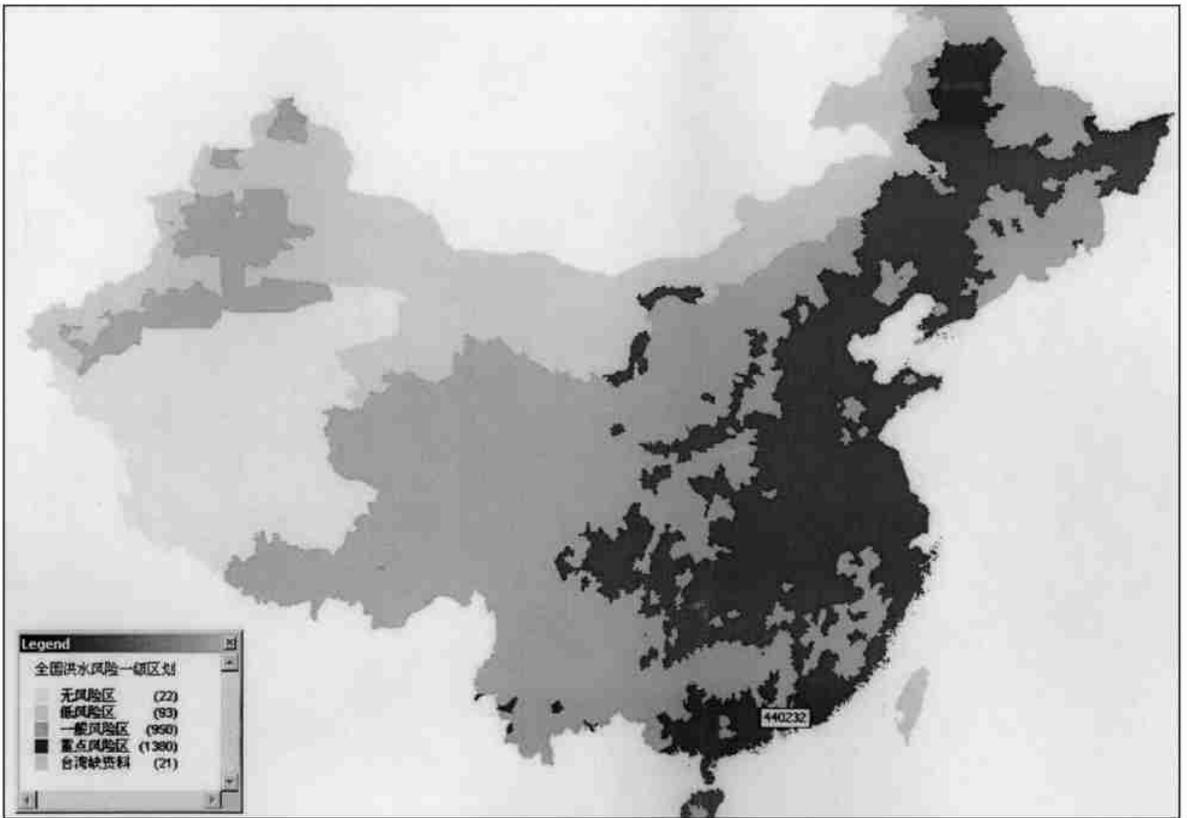


图7 中国大陆地区洪水风险一级区划

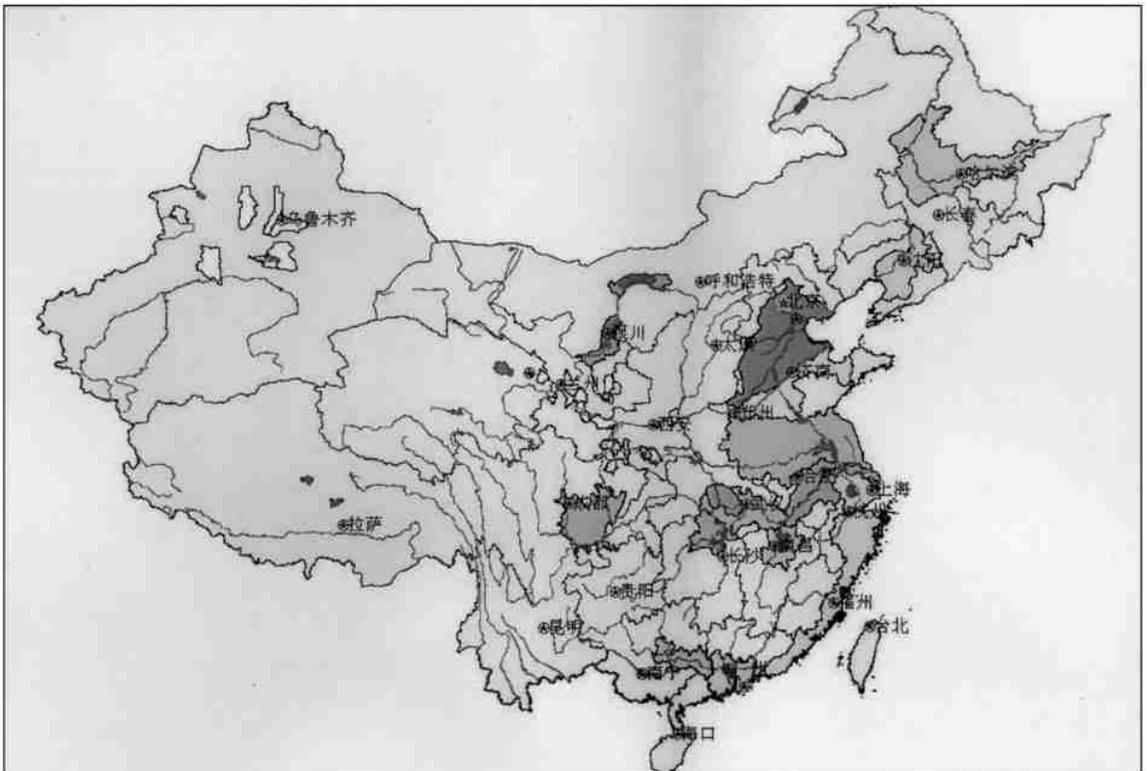


图8 中国大陆地区洪水风险二级区划

海河南系: 1963 年 8 月海河洪水

黄河下游: 1933 年 8 月黄河中游洪水; 1938 年 6 月黄河决口泛滥

淮河流域水系: 1931 年淮河洪水; 1954 年淮河洪水; 1975 年 8 月淮河流域洪汝河、沙颍河洪水; 1991 年淮河洪水

长江上游: 1981 年 7 月四川洪水

长江中游: 1931 年江淮洪水; 1935 年 7 月长江中游洪水; 1954 年江淮洪水; 1991 年江淮洪水; 1998 年长江洪水

长江下游: 1931 年江淮洪水; 1954 年江淮洪水, 1991 年江淮洪水, 1998 年长江大水

珠江流域水系: 1915 年 7 月珠江流域洪水

②考虑基础数据处理的便利, 以及满足区划精度的要求, 在处理重点区划的边界时维护县级行政区的完整性。边界地带, 其县城不在受灾范围内的, 予以剔除; 县城在淹没范围内的, 以县行政区的边界为历史最大洪水淹没范围边界。

③在历史洪水最大淹没范围基础上, 对重点区的边界进行修整。最后在重点洪水风险内划分二级区, 共 16 个 (图 8)。二级区以流域名~ 地域名构成, 概括区域洪水灾害的自然和社会背景。

国家的防洪减灾区域对策将主要针对重点风险区进行部署。依据区域洪水风险分析及区划的成果, 一级区及二级区的社会经济特性指标如表 1、表 2 所示。

表 1 全国洪水风险一级区社会经济指标统计

洪水风险区分类	各项指标值	政区数			人口/万人	土地面积/万 km ²	GDP/亿元	人口密度/(人/km ²)	人均 GDP/(元/人)	地均 GDP/(万元/km ²)
		涉及省份	省会及以上城市	县						
重点风险区	各项指标值	27	23	1114	86669.3	171	75365.4	506.9	8695.7	440.7
	占全国比例	81.8	69.7	45.6	62.8	18.1	73.9	347.6	117.8	409.5
一般风险区	各项指标值	29	10	1216	49214.7	482.5	24769.8	102	5033	51.3
	占全国比例	87.9	30.3	49.7	35.6	50.9	24.3	70	68.2	47.7
低风险区	各项指标值	4	0	93	2014.3	162.2	1758.4	12.4	8729.9	10.8
	占全国比例	12.1	—	3.8	1.5	17.1	1.7	8.5	118.3	10.1
无风险区	各项指标值	2	0	22	214.2	131.5	38.6	1.6	1800.2	0.3
	占全国比例	6.0	—	0.9	0.2	13.9	0.04	1.1	24.4	0.3
合计		33	33	2445	138112	947.1	101932	145.8	7380.4	107.6

注: 各项指标统计中不包括台湾诸岛屿。

6 结语

《全国洪水风险区划图》绘制工作中遇到的若干难点, 其实是目前洪水风险研究中的普遍性问题。针对全国区域洪水风险的两级分区, 主要研究内容包括 5 项: ①对全国分县社会经济数据基本情况的调研, 建立具有可行性的适合区域风险评价的分县人口、土地面积、GDP 值的社会经济数据库; ②在近 300 年全国历史水灾数据库的基础上, 建立分县历史水灾数据库; ③建立自然、社会经济、灾害和防洪能力 4 个特性指标体系, 构成 10 个因子和 2000 多个县的分析样本; ④通过聚类分析进行区域洪水风险评价, 在 GIS 支持下完成全国洪水区划图的绘制, 将全国分为重点风险区、一般风险区、低风险区和无风险区四大区域; ⑤依据水灾频次、资产密度和人口密度在洪水风险区内进行了二级区的划分, 划出重点风险区。

本课题的主要进步表现在历史水灾法从理论到应用的突破, 以及以原始数据为基础, 强调客观性、实用性的区域风险评价指标设计和建设方面。归纳如下:

表 2 全国洪水风险二级区社会经济指标统计

序号	二级区名称	GDP/ 亿元	人口/ 万人	土地面积/ km ²	人口密度/ (人/km ²)	资产密度/ (万元/km ²)
1	松嫩及三江平原区	2458.1	1979.3	13.01	152.1	188.9
2	辽河中下游平原区	2747.6	2099.5	5.16	406.7	532.3
3	海河河北平原区	9080.5	10114.9	15.87	637.2	572.0
4	黄河上游河套平原区	302.2	615.0	3.85	159.7	78.5
5	黄河下游及山东半岛诸河区	4998.3	5360.1	7.70	695.9	648.9
6	淮河流域平原区	6249.7	12151.1	19.68	617.4	317.5
7	洞庭湖平原区	792.4	1370.8	3.17	431.8	249.6
8	汉江下游平原区	716.5	1029.0	2.10	490.5	341.6
9	长江中游平原区	2875.7	3757.3	4.89	768.2	588.0
10	鄱阳湖平原区	705.9	1339.3	3.39	395.1	208.3
11	长江下游平原区	4446.5	3655.6	6.64	550.7	669.8
12	太湖流域水网区	9891.1	3473.3	3.46	1004.0	2859.3
13	四川盆地	2851.8	5887.5	7.27	809.4	392.1
14	浙闽粤沿海区	8727.7	6935.6	11.66	594.7	748.4
15	西江中下游平原区	612.6	1139.0	3.88	293.3	157.7
16	珠江三角洲水网区	5797.6	2442.8	4.07	600.9	1426.1
	合计	63254.2	63350.1	115.80	8607.6	9637.4
	平均	3953.4	3959.4	7.24	538.00	602.3

(1) 利用历史水灾频次和灾害强度来划分重点区，理论上的进步可以概括为“从水灾事实研究区划”，避开了从洪水研究区划的迂回，而且符合洪水灾害风险的特点；

(2) 提出了区域自然、社会经济、水灾特性、减灾能力四类特性指标构成区域洪水风险评价的指标体系。由于综合了区域社会经济和防洪工程对区域致灾和减灾的综合影响，使得风险评价指标比较客观；

(3) 全国洪水风险区划图主要以两个数据库为基础：社会经济数据库和近 300 年历史洪水灾害数据库。全国 2000 多个县的数据基础，使得专题数据库具有系统性和完整性的特点；

(4) 提出县为区域洪水风险评价的基本单元，从而使得计算分析成果可以成为以县为边界的区划依据。以县为风险区划的分界既符合区划图的功能，也符合我国以县为统计基础的国情，提高了区划图的实用性。

参 考 文 献:

[1] 水利部规划设计总院. 全国防洪规划 (初稿) [R]. 北京: 水利部规划设计总院, 2002.
 [2] 熊怡, 张家楨. 中国水文区划 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
 [3] 张行南, 等. 中国洪水灾害危险程度区划 [J]. 水利学报, 2000, (3): 1-7.
 [4] 万庆, 等. 洪水灾害系统分析与评估 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
 [5] Dennis S Milet. Disasters by Design [M]. Joseph Henry Press, New York, 1999.
 [6] 马宗晋, 等. 自然灾害损失评估体系的研究 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2 (3): 11-14.
 [7] 周魁一. 历史模型与灾害研究 [J]. 自然灾害学报. 2002, 11 (1): 10-14.
 [8] 中国水利水电科学研究院水利史室编. 近 300 年洪涝档案 [Z]. 北京: 中国水利水电科学研究院水利史研究室存. 1982.
 [9] 孙才志, 等. 自然灾害的模糊识别模型及其利用 [J]. 自然灾害学报, 2001, 10 (4): 16-19.

Research on regional assessment of flood risk and regionalization mapping in China

TAN Xu-ming, ZHANG Wei-bin, MA Jian-ming, SU Zhi-cheng
(Department of Water Hazard Research, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: Based on 300 years' (1700 to 1999 A. D.) historical records of floods and the data-base of present natural and socio-economica situations, the authors conducted regional flood risk analysis and established a characteristic indicator system for flood risk regionalization mapping by applying the methods of statistics and fuzzy classification. The proposed characteristic indicator systems included 4 kinds of indices: natural characters (hydrological data and geomorphologic element); social and economical characters (population, GDP and land area); flood disasters characters (disaster events and largest inundation areas over 300 years' period) and disaster mitigation character (flood control criteria). In the analysis, county was taken as the basic element and the whole mapping system involved 2400 counties and 10 influencing factors. The historical flood frequency method was employed for defining the major risk zones and ranking hazardousness of the 2400 counties.

Key words: flood risk; characteristic indicator; regionalization mapping

(责任编辑: 李福田)

(上接第 49 页)

Analysis of "2003" Weihe River flood and its disaster mitigation measures

FENG Pei-lin, SHI Chang-wei, ZHANG Guang-lin
(Sanmenxia Reservoir Management Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710016, China)

Abstract: Based on the analysis of observed data of "2003" flood on Weihe River, the causes of flood disaster were discussed. The mechanism of the flood disaster was expounded from various aspects, such as flood propagation, siltation and scouring of river channel, variations of river bed elevation at Tongguan station, engineering facilities for flood control and so on. Some structural and non-structural measures to mitigate flood disaster were proposed on the basis of analyzing present situation of the lower Weihe River.

Key words: flood disaster; disaster mitigation measures; suspended river; Tongguan bed elevation; lower Weihe River

(责任编辑: 王成丽)