中国科技论文在线 www.paper.edu.cn

水 利 学 报

2000 年 3 月 SHUILI XUEBAO 第 3 期

文章编号：0559-9350（2000）03-0001-07

中国洪水灾害危险程度区划 *

张行南[1]，罗 健[1]，陈 雷[1]，李 红[1]

（1. 河海大学 水资源开发利用国家专业实验室，江苏 南京 210098）

摘 要：洪灾的含义包括洪水和灾害两个方面．本文从气象、径流和地形三因素考虑，采用成因分析的方法，制成了洪水危险程度区划图．以耕地和人口为经济因素指标，考虑洪水造成的灾害，制作成洪灾危险程度区划图．本文制作的区划图是客观的，已得到了一些领域专家的认可，可以作为防洪规划等宏观决策的依据．

关键词：洪水，洪灾，区划图．

中图号：TV122 **文献标识码**：A

中国地域辽阔，自然地理、气候条件复杂，决定了中国是一个自然灾害频繁发生的国家，在世界上属洪涝灾害最严重的国家之一[1]．洪涝灾害在我国各地灾害中占有很大的比重．

防洪是一项庞大的系统工程，涉及到自然、社会、经济、人文等各个方面．千百年来，人们在防洪治洪中积累了不少宝贵的经验．随着科学技术的发展，对于洪水本身的规律性研究、汛情迅速地采集与传输、正确的洪水预报和计算、科学的优化调度方法等，都已经有了一些有效方法和手段．但在制订防洪规划和调度方案时，决策者不易对我国洪水灾害危险程度空间分布得到全面的了解，对问题的认识常停留在经验性判断阶段，这对于当前的防洪决策来说，是非常不适应的．为了客观地了解我国洪水危险程度的总体分布情况，结合洪水可能引起的灾害，对洪灾损失进行宏观和定性预评估，并对防洪规划和防洪投资提出指导性意见，非常有必要对我国洪灾危险程度进行区划研究．本文在分析我国洪水灾害孕育环境的前提下，采用洪灾成因分析的方法，研究洪灾的影响因素，以及这些因素与洪灾危险程度间的相关关系，求出危险程度隶属度．在地理信息系统平台上，采用多边形叠置分析和聚类分析等手段，研究洪水危害危险程度区划的方法，进而绘制成区划图．

就洪水灾害而言，包括两个方面的含义，一是要发生洪水，二是要形成灾害．造成洪水的影响因素很多，本文归纳为三个方面，天气因素、径流因素和下垫面地形因素．洪水所造成的损失主要取决于经济因素．根据洪灾的含义，本文的区划研究分两步，洪水危险程度区划和洪灾危险程度区划．

1 气象因素

我国绝大多数河流的洪水都是由暴雨产生的．暴雨不但地区分布不均匀，季节和年际变化也很大．由于我国降雨变化过程的复杂性，使得洪水的发生和发展过程也变得非常复杂．但就洪水而言，我们最关心的是一定时段内的降雨总量，也就是说能构成洪水的暴雨．这里的时段，可以是几分钟、几小时或几天．几小时的暴雨，不管强度有多大，由于总量较小，一般难于形成大洪水．降雨过程的时间长度总是有限的，超过七天的比较少见．所以，分析致洪暴雨时，一般考虑一天、三天和七天最大降雨量．其中三天暴雨对洪水形成的影响最具代表性．为此，本文采用全国年最大三天降雨量等值线图，作为天气因素的基本资料．

收稿日期：1999-11-17

基金项目：“九五”国家科技攻关项目 96-B02-02-04-04

作者简介：张行南，男，河海大学教授，博士，主要从事水资源水文、遥感、地理信息系统领域的研究

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

1.1 降雨因素隶属度 从暴雨洪水的历史资料[2]可以看出，一般情况下，三天降雨量（p）小于 30mm 时不大可能引发洪水，而大于 200mm 时基本上都会引发洪水. 因此，本文采用如图 1 所示的阶梯状隶属函数，求出降雨因素隶属度（u）. 由 ARC/INFO 的 Tin 和 Grid 模块，计算出 2 ×2km^2 的网格降雨量，再由图 1 所示的隶属度函数推求各网格的隶属度.

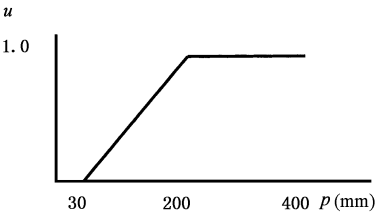


图 1 降雨隶属度函数

1.2 台风因素隶属度 在相同的降雨条件下，有没有风对造成洪水的可能性影响非常大，尤其是大江大湖，水面比较开阔的地区，影响尤为明显. 在我国东南沿海地区，由于台风而引发的洪水占很大的比例. 因此，本文在考虑气象因素时，除降雨外考虑了台风这一影响因素.

本文选用了 81—85 年的台风暴雨资料. 累计每一网格中次台风雨量超过 50mm 的次数，除以 5 得到平均每年的影响次数 m. 计算结果最多的为 20 次. 本文采用式 (1) 用 m 对网格的降雨隶属度 u 进行修正.

$$u' = u \times e^{\left[1/2\left(1-\frac{1}{m+1}\right)\right]} \tag{1}$$

u 表示修正后的隶属度，最多的 20 次台风修正后的隶属度是原来的 1.5 倍左右. 经式 (2) 归一化后得到新的网格隶属度层面 (u_1).

$$u_1 = u'\left[\frac{u' - u'_{\min}}{u'_{\max} - u'_{\min}}\right] \tag{2}$$

1.3 气象因素隶属度图层 根据网格隶属度，采用人工非线性分级的方法，分成 12 级，制作成降雨因素对洪水形成的可能性大小的隶属度分级层面. 分级的原则是各级图斑大小分布相对均匀.

2 径流因素

径流是降水因素和下垫面产流影响共同作用的产物. 径流与降雨虽然不是完全独立的，但也不是完全的线性相关关系. 相同的降雨，在不同的地区，产生的径流量也不同，因而洪水形成的可能性大小也不同. 考虑径流因素，主要是反应下垫面产流条件不同的问题.

从原理上来讲，径流因素也应该采用最大三天径流量分布图，由于资料条件的制约，本文采用 56—79 年多年平均径流深等值线图来描述径流因素. 与降雨等值线图进行对比分析可看出，在降雨量相等或接近的区域，径流深的差别还是很明显的. 所以，多年平均径流深在一定程度上可以反映出下垫面产流条件的空间变化.

由径流等值线图可以看出，我国年径流深总的趋势是由东南向西北递减. 按 800、200、50 和 10 毫米径流深等值线可将全国划分为五个带[3]：丰水带、多水带、平水带、少水带和干涸带. 由中国历史大洪水[2]可看出，我国的洪水主要发生在丰水带和多水带.

采用与降雨处理相同的方法，由 ARC/INFO 的 Tin 和 Grid 模块将整个图层做成 2 ×2km^2 的网格，求出各网格的径流值. 由于采用的是多年平均径流深，而且数据源的比例尺相对较小，故采用先分级，后求隶属度的方法. 即先对各网格的径流值分级，小于 100mm 为 1 级，大于 1200mm 为 12 级，1000 到 1200mm 为 11 级，其余每隔 100mm 为 1 级，共分成 12 级，分级后对同级网格聚类，制作成多边形层面. 按照这 12 个级别（r），采用式 (3) 所示的线性隶属度函数，转换成径流因素对洪水形成可能性大小隶属度 (u_2).

$$u_2 = \frac{r - 1.0}{11.0} \tag{3}$$

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

3 地形因素

从径流形成原理上来说，下垫面对洪水过程的影响可分成两个部分，产流和汇流．产流影响因素在径流分布中得到了反映．而汇流影响因素，主要取决于地形．如陡峻的地形易于快速汇集径流形成山洪，平坦的地形不易于洪水的排泄而易于形成涝灾，河道汇集洪水易于洪水在空间上的转移等．

中国是个多山的国家、山地、高原和丘陵占国土面积的 65 %，山脉体系有各种走向．总体上西高东低呈三级阶梯的独特地势．第一级地形阶梯是青藏高原．第二级在大兴安岭、太行山和巫山一线，西部由广阔的高原和大盆地组成，其间也有不少高大的山地．第三级阶梯是我国东部宽广的平原和丘陵，其中包括东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原以及江南海拔普遍不超过 500m 的广大丘陵地区．错综复杂的地形使得下垫面汇流机制表现为变化多端，进而使洪水在时间和空间上的变化以及水文情势的变化等变得非常复杂．

三大地形阶梯的结合部都是地理单元的过渡区，是洪涝灾害的主要地区．尤其是喇叭口谷地，山高坡陡地区形成的径流，以极快的速度汇集到河谷中，在阶梯结合部遇相对平坦的区域，极易形成洪水．山高坡陡地区，水流湍急，河道狭窄，洪水的影响范围小，而到了平原地区，水流渐缓，河道开阔，洪水的影响范围变大．尤其是在一些大江大河的下游地区，由于洪水排泄不畅，极易形成洪灾．

根据上述洪水的成因分析，本文在考虑地理影响因素时，利用了下述四种数据源．即全国 1 比 100 万等高线、等高点、河网、湖泊和全国水文分区图．

3.1 水文区划 中国水文区划[4]采用径流与降雨量的分布，以及它们的年内分布等作为指标，根据综合分析、相似性与差异性分析、成因分析等原则，将我国分为 11 个水文区：1、东北温带水文区；2、华北水文区；3、秦、巴、大别水文区，4、东南水文区；5、西南水文区；6、滇西、藏东南水文区；7、内蒙古水文区；8、西北山地水文区；9、西北盆地水文区；10、青藏高原东部和西南部水文区；11、羌塘高原水文区．每个水文区又分成若干个子区．

3.2 地形划分 根据形成洪水的自然条件，结合水文分区图，本文根据地形将全国粗略地分成 5 类地区．首先分为西部和东部区．组成这一线的山脉，是我国东西部很多自然地理特征的分界线，由北向南从贺兰山、六盘山，穿过秦岭山脉和大巴山，沿青藏高原东缘到达南端．西部区进一步分为西部平原区和西部山区．东部区进一步分为三种：1、东部山区；2、七大江河的中下游平原区；3、除七大江河中下游平原外的其它平原地区．

七大江河中下游平原区从北向南包括东北平原、松花江、辽河中下游平原、黄河出禹门口后的中下游平原（含渭河、径河流域）、珠江流域平原地区、长江中下游宜昌以下洞庭湖地区、鄱阳湖地区以及江南大部及淮河流域．构成该地区的边界大体上和 100m 等高线一致，是我国地形阶梯的第三级，是开阔的平原地区，这一区域河道比降小，上游来水和下泄能力矛盾突出，是我国洪水的重灾区．所以该地区历来是我国的防洪重点地区．

除七大洪河平原外的其它东部平原地区包括内蒙古高原、四川盆地以及黑龙江、广西和湖南等地的一些山间盆地．该类地区发生洪水的可能性较大．其中有内蒙古的河套平原，这里是黄河出青铜峡后，第一个洪水容易泛滥的地区；四川盆地也是我国洪水的多发区，由于盆地四周都是高山，西部又有青藏高原这一高大屏障，使得四川盆地多阴雨天气，容易形成内涝．

东部山区包括东北的大兴安岭、长白山地区，以及冀晋山地、山西高原、黄土高原、秦岭、大巴山、三峡山地和云贵高原的大部．这一地区都是山区，发生的洪水以山地丘陵地洪水为主，大多由短历时暴雨所致，不易造成大洪水．

西部山区及高原包括青藏高原、新疆的一系列山地，如阿尔泰山、准噶尔西部山地、帕米尔高原及喀喇昆仑山、昆仑山及阿尔金山、横亘于新疆中部的天山山脉以及祁连山脉等．这类地区大多位于我国梯级地形的最高一级，拥有许多 6000 —7000 米的高峰．总体上讲，该类地区发生洪水的可能性不是很大，但也有部分地区可能因融雪和暴雨发生山地洪水．

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

西部平原地区处于阿尔泰山、天山、昆仑山、阿尔金山、祁连山以及贺兰山等群山包围之中. 包括新疆的准噶尔盆地、塔里木盆地、青海的柴达木盆地、甘肃的河西走廊. 该区是我国最干旱的水文区. 由于深居欧亚内陆腹地, 距海洋遥远, 四周又为高山、高原所环绕, 湿润的海洋气流很难进入, 降水十分稀少, 蒸发强烈, 河网缺乏, 基本上不产生径流, 不发生洪水.

根据这五类地区的自然地理特性及地形因素, 结合历史洪水资料, 可以分析得出这五类地区隶属度由大到小的排序: 第 1 类地区, 七大江河中下游平原; 第 2 类地区, 除七大江河平原外的其它东部平原地区; 第 3 类地区, 东部山区; 第 4 类地区, 西部山地高原区; 第 5 类地区, 西部平原.

3.3 河流湖泊缓冲区 从地貌角度看, 洪水最容易泛滥的地区无疑是大江大河的中下游地区和湖泊的周围地区. 本文称这类区域为缓冲区. 缓冲区除受到因本地降雨而引起的涝的威胁外, 还受到客水因破堤而形成的洪水的威胁. 因此, 洪水的危险程度较其它地方要大. 本文利用 ARC/ INFO 中制作缓冲区的功能绘制出缓冲区.

对于河流, 以河流中心线为缓冲区中心线, 缓冲区的宽度除考虑河流大小级别外, 还考虑河流所处的地形. 流量大地形平缓的河段, 缓冲区宽; 流量小地形较陡的河段, 缓冲区窄. 具体的宽度由河流的干、支流和河流的大小级别来确定. 本文采用的我国 1 比 100 万河流图层上, 只考虑在大小级别小于 6 级的河流上设置缓冲区 (级别值越小, 河流越大). 在平原区, 干支流级别为 1 级时宽度设为 18 公里、2 级为 14 公里、3 到 10 级为 8 公里、11 级到 30 级为 4 公里、大于 30 级为 2 公里. 在山区, 干支流级别为 1 级时宽度设为 4 公里、2 级为 2 公里, 大于 2 级不设缓冲区. 湖泊缓冲区设为湖泊周围 5 公里的区域.

3.4 综合地理因子图层 将上述划分的 5 类地形与河流湖泊缓冲区进行叠置分析, 生成了 10 种地形类型, 构成了综合地理因子图层, 表 1 列出了各种地形类型发生洪水这一事件的隶属度 (u_3), 表中行表示由地形划分的 5 种类型, 列表示缓冲区类型, 1 为缓冲区内, 0 为缓冲区外. 表中隶属度值的确定方法与模型参数的调试类似, 根据专家意见进行调试. 取值的原则是按照地形类型的洪水危险程度排序, 最大的是七大江河的中下游平原区, 最小的是西部平原地区, 缓冲区内比缓冲区外大.

表 1 综合地理因子图层隶属度 (u_3)

缓冲区类型	地形类型				
	1	2	3	4	5
1	0.94	0.90	0.84	0.70	0.65
0	0.76	0.73	0.52	0.40	0.30

4 洪水危险程度区划

区划的本质是对多种层面的隶属度进行聚类. 本文尝试过模糊聚类等多种聚类方法, 根据聚类结果的对比分析, 本文提出的排序法得出的区划图得到了领域专家的认可. 排序法首先将气象、径流和综合地理因素图层作叠置分析, 生成由近五千个小多边形构成的图层, 每个小多边形带有三个因素的隶属度属性. 对各小多边形的隶属度属性由 (4) 式求出一个综合隶属度 $u_{4,i}$.

$$u_{4,i} = \left[0.4 + 0.6\left(\frac{u_{1,i} - u_{1,\min}}{u_{1,\max} - u_{1,\min}}\right)\right] \times \left[0.5 + 0.5\left(\frac{u_{2,i} - u_{2,\min}}{u_{2,\max} - u_{2,\min}}\right)\right] \times u_{3,i}^2 \qquad (4)$$

式中 i 表示小多边形的序号. 式 (4) 由三部分组成, 第一部分将降雨隶属度压缩到 $[0.4, 1.0]$ 区间, 第二部分将径流隶属度压缩到 $[0.5, 1.0]$ 区间, 第三部分将地形因素隶属度自乘, 然后将三部分相乘得到综合隶属度 $u_{4,i}$. 这一函数的构造, 主要是为了区分三种因素隶属度的变化对 $u_{4,i}$的贡献. 地形因素的隶属度由于是自乘, 其变化对 $u_{4,i}$的贡献最大, 降雨因素次之, 径流因素最小.

将 $u_{4,i}$按大小由人工作非线性分级, 得到如图 2 所示的中国洪水危险程度区划图. 分级的原则是使得区划图中各级别的图斑大小和谐、分布匀称. 图中危险程度级别为相对值, 级别值越低, 危险程度越高.

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

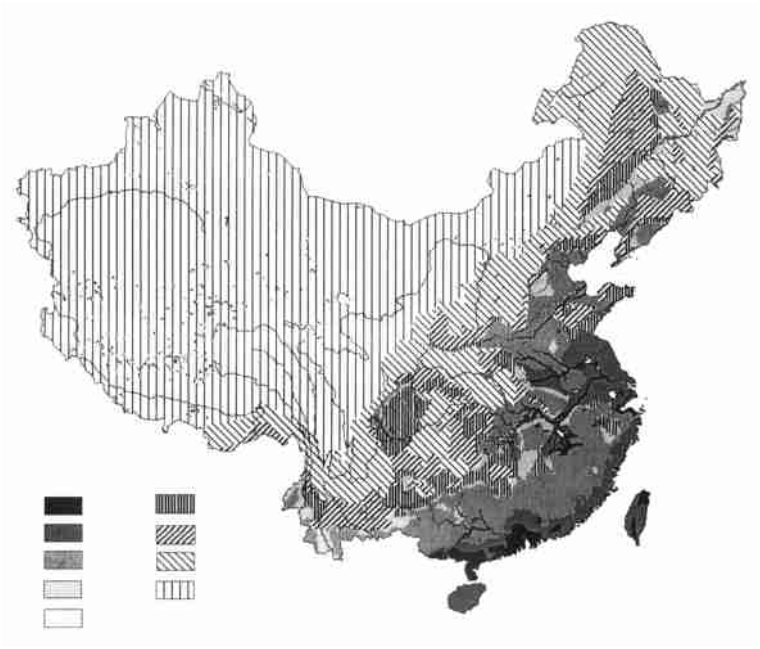


图 2 中国洪水危险程度区划图

5 洪灾危险程度区划

如上所述，发生洪水而没有形成损失不能称为洪灾．灾害取决于经济因素．经济损失的确定是一个非常复杂的课题．多年以来，许多专家学者致力于建立经济损失估算模型．但到目前为止，还没有见到很成熟的模型．洪灾造成的损失有许多方面，概括起来可分为农业、工业和居民的生活财产等方面．农业主要与耕地面积大小有关．通常情况下，工业比较发达的地区，人口密度也相应较大，发生洪水时居民的财产损失也大．为此，本文选用分县的面平均耕地和人口[5]来定量表示发生洪水时将造成的经济损失，研制洪灾危险程度的区划图．对于洪水灾害来说，受淹损失和灾害之间是很直接的对应关系．因此，采用线性隶属度函数，对人口和耕地面平均值求出隶属度，制作成分县的隶属度图层．

将人口和耕地隶属度图层与洪水危险程度隶属度图层进行叠置分析，生成由多边形构成的层面．每个多边形都带有洪水危险程度隶属度（$u_{4,i}$）、面平均耕地隶属度（$u_{5,i}$）、面平均人口隶属度（$u_{6,i}$）．由式（5）求出各多边形洪灾危险程度隶属度（$u_{7,i}$），进而进行聚类．

$$u_{7,i} = (0.1 + 0.9 \times u_{4,i}) \times (0.7 + 0.3 \times u_{5,i}) \times (0.7 - 0.3 \times u^{6,i}) \qquad (5)$$

与式（4）相似，式（5）中将 $u_{4,i}$ 压缩到 $[0.1, 1.0]$ 区间，$u_{5,i}$ 和 $u_{6,i}$ 压缩到 $[0.7, 1.0]$ 区间，主要是为了调整各因素隶属度间的权重．式中 $u_{4,i}$ 权重最大，其余两个次之．将洪水灾害危险程度隶属度 $u_{4,i}$ 采用人工非线性分级，制作成洪水灾害危险程度区划图（图 3）．图中级别值的意义同图 2.

6 区划图成果分析

由区划图可看出，危险程度的分级和我国各地洪水情况大体上是相符合的．

洪水危险程度高的地区主要分布在东部平原区．在东部常发生洪水的区域中，洪水危险程度的差别也很大．其中七个高危险区从北向南依次为：辽河中下游、海河北部平原、鲁北徒骇马颊河地区、

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

鲁西及卫河下游、淮北及里下河地区、长江中游（江汉平原、洞庭湖区、鄱阳湖区以及沿江一带）、珠江三角洲．这些地区在地理上都有一个共同的特点，它们都位于湖泊周围低洼地和江河两岸及入海口地区．根据 1950 年至 1991 年的洪水资料统计，上述地区都发生过严重或比较严重的水灾．如 1954 年长江、淮河流域出现过百年来罕见的全流域性特大洪水．由于修建了荆江分洪工程，加上军民全力抗洪抢险，保住了荆江大堤和武汉市的主要市区，但仍然造成了巨大的经济损失和社会影响．长江干堤和汉江下游堤防溃口 61 处．全流域受洪涝灾害农田面积 317 余万 km^2，受灾人口 1888 余万；1975 年 8 月，淮河上游洪灾，死亡 26000 余人，京广铁路冲毁 102km；1958 年黄河洪水，受灾人口 74.08 万；1963 年海河洪灾，5000 人死亡，水利工程遭到严重破坏；1957 年松花江洪水，黑龙江全省受灾人口 370 万，直接经济损失 2.4 亿元；辽河流域出现过 7 次大范围的洪水，计有 1951、1953、1954、1960、1962 及 1964 年等；珠江流域 1982 年发生特大洪水；钱塘江 1955 年 6 月暴雨洪水；闽江 1968 年 6 月的暴雨洪水和 1992 年 7 月发生相当于 50 年一遇的大洪水；1998 年长江流域和松花江流域又都发生了特大洪水．

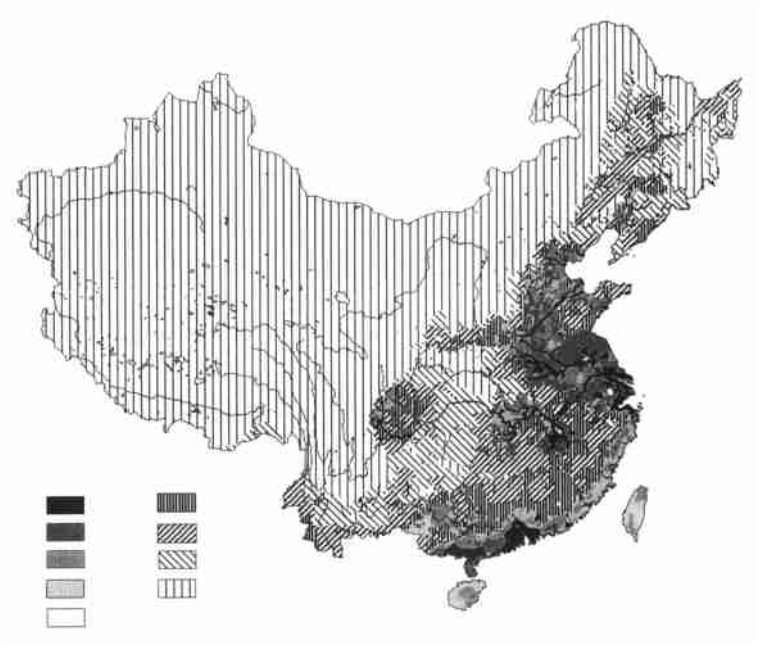


图 3　中国洪灾危险程度区划图

洪水较危险的地区主要分布在辽河流域、黄河流域下游、四川盆地广大地区、东南沿海山区、中印、中越边境等地区中除河道两岸缓冲区以外的地区．这部分地区在流域发生中小洪水时，可能不会被淹，但遇到大洪水和多年不遇的特大洪水，就很难保证不发生洪灾了．另外，东南沿海一些山区和滨海平原的接合部，也属于洪水危险程度较大的区域．而且沿海地区还常遭受台风暴雨的袭击．此外，四川盆地的边缘区也处于这一区域．四川盆地由于处于群山包围之中，西部又背靠青藏高原，盆地边缘恰好是迎风坡，降雨量大，是一个暴雨极值区．1981 年 7 月，沱江、涪江、嘉陵江等流域普降暴雨，相继出现洪水．喜马拉雅山北坡雅鲁藏布江地区也是洪水多发地区．

中部高原地区除若干山间盆地洪水危险程度比较高外，大部分地区属于洪水低发区或少发区，只有少数暴雨中心发生洪水的可能性略高些．这是因为该地区洪水主要是由局部暴雨形成的．此类洪水对整个高原地区而言几乎年年都会遇到，甚至一年内可以出现多次，但其影响范围小，对于某一特定的地区，遭遇的机会并不太多．

我国广大的西部地区、云贵高原、内蒙古高原、长白山地区以及中部一系列的山地都属于洪水危险程度较小的地区．

洪灾区划图与洪水区划图相比较可看出，由于广大的西部地区与东部相比经济发展速度相对较

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

慢，故洪灾的危险程度相对来说明显比洪水的危险程度要低.

7 结语

本课题研制的洪水和洪灾危险程度区划图是客观的，与各区域洪水的实际发生情况基本吻合，已得到了一些领域专家的认可，可以作为防洪规划等宏观决策的依据. 区划图上的危险程度等级只是相对值，没有绝对量的概念. 地理信息系统强大的空间分析功能是宏观区划研究的有力工具. 本课题采用的技术手段和方法可供类似区划课题参考.

参 考 文 献:

[1] 吴炳方，陈述彭. 中国自然灾害灾情分析与减灾对策 [M]，北京：时代科学技术出版社，1992.
[2] 胡明思，骆承政. 中国历史大洪水 [M]. 北京：中国书店. 1992.
[3] 水利部水文司. 中国水资源评价 [M]. 北京：水利电力出版社. 1987.
[4] 熊怡，张家桢. 中国水文区划 [M]. 北京：科学出版社. 1995.
[5] 中国农业发展银行. 中国农业发展银行统计年鉴 [J]. 北京：中国统计出版社，1996.

Zoning of Chinese flood hazard risk

ZHANG Xingnan[1], LUO Jian[1], CHEN Lei[1], LI Hong[1]

(1. *Hohai University, Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: The definition of flood hazard includes two aspects: flood and hazard. In this paper, the flood risk is zoned by means of reason analysis in consideration of meteorology, runoff and topography. The distributions of tillable field and population are used as the economics index to zone the hazard risk caused by flood. The zoning maps of flood and flood hazard have been ratified by experts and provide the basis for macroscopic decision making in the planning of flood control.

Key words: flood; hazard; risk; zoning.

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.