

文章编号: 0375-5444 (2000) 01-00015-10

# 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究

周成虎, 万 庆, 黄诗峰, 陈德清

(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 洪水灾害风险区划是洪灾评估与管理的重要内容, 本文在分析洪灾形成的各主要因子的基础上, 提出了基于地理信息系统的洪灾风险区划指标模型, 并结合辽河流域具体情况, 以降雨、地形和区域社会经济易损为主要指标, 得出辽河流域洪灾风险综合区划。

**关键词:** 地理信息系统; 洪水灾害; 风险区划

**中图分类号:** X915.5      **文献标识码:** A

## 1 洪水灾害风险估算与风险区划

### 1.1 洪水灾害风险估算

洪水灾害风险研究涉及到自然与社会经济系统诸多方面, 如洪水的形成与发展、下垫面的土地利用状况等。洪水灾害风险估算是分析不同强度的洪水发生的概率及其可能造成的损失, 主要包括危险性分析、易损性分析和洪灾损失评估等 3 方面。洪水危险性分析研究受洪水威胁地区可能遭受洪水影响的强度和频度, 强度可用淹没范围、深度等指标来表示, 而频度可用洪水的重现期来表达。洪灾易损性是指承灾体遭受不同强度洪水可能损失程度, 常采用损失率来表示。洪灾易损性分析是研究区域承灾体易于受到洪水的破坏、伤害损伤的特征。洪灾损失评估是指在不同的危险性和易损性条件下, 洪水可能造成的损失大小的计算。

### 1.2 洪灾风险区划

在实际分析应用中, 洪水灾害风险分析主要是确定洪灾风险的相对大小, 多是定性、半定量, 其中风险区划是一种常用的分析方法。洪灾风险区划指根据研究区洪水危险性特征, 参考区域承灾能力及社会经济状况, 把研究区划分为不同风险等级的区域。

对洪水灾害区划的研究已有很多工作, 并提出了许多方法。李吉顺等根据历史暴雨洪涝灾害分省灾情资料, 通过构建“综合危险度”和“相对危险度”两种无量纲量, 对全国暴雨洪涝灾害的危险性进行评估, 并进行了全国暴雨洪涝灾害区划, 这是一种基于历史灾情数据的区划方法<sup>[1]</sup>; 赵士鹏根据综合分析的原则(考虑孕灾环境、致灾因子、承灾体)、发

收稿日期: 1999-10-07; 修订日期: 1999-11-20

基金项目: 国家“九五”攻关项目(96B02-02-02) [Foundation Item: The key project of National Ninth Five Year Plan, No. 96B02-02-02]

作者简介: 周成虎(1964-), 男, 江苏海安人, 博士, 研究员。主要从事地理信息系统的基础与应用示范研究, 负责和参加国家九五攻关课题: 重大自然灾害遥感监测与评估业务运行系统、国家 863 海洋领域项目: 海洋渔业服务地理信息系统研究、国家 863 航天领域项目: 香港城市环境遥感综合研究、中日国际合作: 土地利用/土地覆盖全球系统建设——青藏高原示范区研究等 7 个项目。出版学术专著 7 卷(册), 发表论文 60 多篇。E-mail: zhouch@lreis.ac.cn

生学原则(区分山洪的类型,如暴雨山洪与冰雪融水山洪等)和为减灾服务的原则,将全国划分为6个山洪灾害特征一致区域,即西北区、内蒙区、青藏区、中部区、东部平原区、东南区,该区划方法是一种宏观、定性的区划方法;汤奇成根据洪灾形成的自然因素(主要采用标准面积最大洪峰流量)和社会因素(分层国民生产总值),编制了以县(市)为单位的全国洪灾危险程度图,并根据危险程度,把全国分为3个一级区:洪灾危险的东部地区、洪灾比较危险的西北干旱半干旱地区和洪灾不太危险的青藏高原地区,对于每个一级区又根据洪灾所属流域和地区进行了二级划分,共9个二级区<sup>[2]</sup>。

### 1.3 地理信息系统与洪水灾害评估

洪水灾害评估涉及到区域环境因子(如地形、坡度、土地利用)、洪水特征(如流量、水位、重现期)和区域社会经济发展状况(如人口、工农业产值等)<sup>[3,4]</sup>。其中土地利用类型分布、洪水淹没水深、历时、范围以及防御措施应作为估算损失的重要因子<sup>[5]</sup>,而这些因子均具有较强区域差异性,表现为空间数据,而地理信息系统作为空间数据管理与分析的重要技术方法,对洪水灾害评估有着极大的支持与辅助作用。

(1) 集成化的空间数据。地理信息系统为洪水灾害评估提供了各种可利用的基础数据。陈丙成在曹娥江流域利用了11个专题要素分析小流域的洪水<sup>[6]</sup>;Sorensen 给出7大类流域背景数据的框架和各自的空间数据结构及表达方式<sup>[7]</sup>;周成虎在设计的黄河下游洪灾数据集中包括了数字地形方程、土地利用等11个专题要素,并采用分层、分区的管理方式<sup>[8]</sup>。

另一方面,地理信息系统提供了对数据层内部及相互间的操作能力,如根据数字高程模型生成坡度、坡向、水系等<sup>[7]</sup>。Badji 将 SAR 淹没信息与土壤信息复合,分析排水性质<sup>[8]</sup>;Sorensen 通过比较河流水面与洪泛平原的地面高程,再与其它图层复合进行洪水影响评价<sup>[7]</sup>;Chen 等通过本底水体与洪水期体复合获取淹没范围,以及洪水淹没的时空演变<sup>[9]</sup>。

(2) 构造分析单元的工具。地理信息系统的空间拓扑叠加方法为构造性质均一的分析单元提供了强有力的工具。Jonge 等考虑到邮政编码分区对保险公司财产损失评估的重要性,采用地形、土地利用和邮政编码分区构造分区单元<sup>[10]</sup>;Profetig 认为土壤信息,对评价农业损失很重要,则利用洪水范围图、土壤图和土地利用图构建单元。尽管有GIS支持,允许评估模型有多个空间输入变量,但将所有专题信息都叠加在一起构成分析单元有一定困难,因此需要将部分信息作为分析单元的属性单独存贮与管理<sup>[10]</sup>。

(3) 构建集成系统的基础。目前有很多有关洪水灾害管理与评估系统是以GIS为基础而集成起来的。如英国河流管理部建立的海岸带管理系统(SMS)的防洪子系统则以MGE为集成平台<sup>[11]</sup>;加拿大紧急事务管理部门建立的洪水应急遥感信息系统(FERSIT)则以ArcView为集成环境。其它方面,如洪水预报、预警系统也把GIS集成作为今后发展方向。

## 2 洪水灾害风险评估的指标模型

### 2.1 洪灾风险评估指标的选择与表达

洪水灾害的形成与发展受约于多种自然与社会经济因素,并因洪水类型的不同而不同。根据其作用机理与变化速度,可将影响洪灾风险评估的因子归结分为以下3类:

(1) 触发因子, 为引起洪灾的动力因子。对于不同的类型的洪灾, 其因子不同。在复杂的情况下, 可能是多种因子的组成。对于暴雨洪灾, 则持续的暴雨是主导因子; 而对于风暴潮灾而言, 则是强风暴。一般而言, 触发因子多可以用定量指标对其空间特征和时间过程进行描述。

(2) 下垫面自然条件, 主要是在对洪水进行再分配的过程中起作用, 具有相对的稳定性。例如地形与地貌条件下在一定程度上控制区域汇流与排水条件。对于这类因子更是利用各种专题要素图进行描述, 着重于其空间特征的分析。

(3) 区域社会经济状况, 主要是描述受灾区社会经济发展水平, 反映区域承灾能力和损失率。一般可利用各种统计资料进行描述, 并具有极大的区域差异性, 在时间过程上具有波动性。

## 2.2 指标模型方法

洪水灾害风险区划分析的方法有很多种, 指标模型是其中一种, 着重从洪灾形成的背景与机理, 通过对影响洪水形成的各种因子的分析, 赋予每种指标一定权重, 借助指标模型进行综合, 以求得综合分区, 因此属于一种确定性模型。

$$P(\text{洪水灾害}) = f(\text{触发因子, 下垫面因子, 社会经济发展水平因子})$$

在这个方程中, 所有右边独立因子可通过一定方法赋于一定分类码。各因子间组合关系可以是线性的, 也可以是非线性。考虑到  $P$  的空间特征和地理信息系统的能力, 可以将各种因子在统一的空间框架中, 借助于空间叠加分析功能, 综合各影响因子, 从而可得到综合影响因子图。在常规的计算中多采用均匀格网作为空间框架, 从而达到对每一格网点(象元点)进行分析, 其空间综合则转化为多维矩阵的地图代数运算。

# 3 辽河流域洪灾风险评价分析

## 3.1 研究区概况

(1) 自然概况。辽河发源于河北省七老图山脉之光头山, 流经河北、内蒙、吉林和辽宁四省(区)。西侧的东辽河、西辽河汇合流入辽河, 后再汇入饶阳河, 经双台子河至盘锦入海, 流域面积  $19.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 河长 1 345 km; 东侧的浑河、太子河汇流, 经大辽河在营口市入海, 流域面积  $2.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 河长 521 km。流域多年平均降水量 300~950 mm。在空间分布上, 东部山区年降水量达 800~950 mm, 西辽河干流地区仅 300~350 mm; 在年内分配上, 降水多集中于 7、8 两月, 约占全年降水的 50%, 又多以暴雨形式出现。降水的年际变化也较大, 最大与最小年降水量之比有的达 3 倍以上。

(2) 社会经济概况。辽河流域覆盖河北、内蒙、吉林、辽宁四省(区) 19 个市(地、盟) 的 65 个县(旗)。据 1990 年统计, 总人口为 3 396.78 万人, 其中农业人口为 2 031.4 万人。工农业总产值为 558 亿元, 其中工业产值 473.2 亿元, 占工农业总产值的 84.8%。辽河流域是我国工业基地、能源基地, 也是重要的商品粮基地。流域内工业比较发达, 特别是浑河、太子河水系工业极为集中, 如沈阳的机械工业、国防工业、冶金工业等, 抚顺的煤炭工业、鞍山的钢铁工业、本溪的钢铁和煤炭工业、辽阳的化纤工业、营口的纺织、轻工业等。辽河流域还是重要的商品粮基地。辽河流域现有耕地  $453.9 \text{ km}^2$  (1990 年), 约占总土地面积 20% 左右。其农业以种植业为主, 主要是粮食作物, 其它是油料作物。西辽河

地区是内蒙古自治区的粮食、油料和甜菜的主要产区，畜牧业占有较大比重，科尔沁草原是国家肉牛生产基地。东辽河流域属半湿润地区，土壤肥沃，适合农作物生长，是吉林省主要产粮区。粮食以玉米为主，占 75%，其次是高粱和谷子。辽河中下游地区绝大部分属半湿润地区，土质较好，是辽宁省的主要产粮区。

(3) 历史灾情。辽河流域的洪涝灾害频繁，根据资料统计，在最近的 100 多年时间里，共发生洪灾 50 多次，平均 2~ 3 年就有一次。

3.2 洪灾风险区划指标因子分析

(1) 暴雨与洪水危险程度。辽河流域的暴雨多集中在夏季 7~ 8 月份，一次暴雨持续约为 3~ 4 天，暴雨中心雨量大部分小于 200 mm，且空间分异明显：浑、太河上游地区多年平均最大三日降雨量达 130 mm，而西辽河上游仅 50 mm。根据历史洪灾资料分析，最大三日降雨对洪灾形成影响最大，故选多年平均最大三日降雨作为反映对洪灾影响的降水指标。为了定量地反映其关系，采用以下线性公式将最大三日暴雨量分布转换为洪水危险程度的影响度：

$$P \text{ (洪水危险程度)} = \begin{cases} 0 & \text{当最大三日暴雨量 } P \leq 30 \text{ mm} \\ P / (200 - 300) & \text{当 } 30 \text{ mm} < P < 200 \text{ mm} \\ 1 & \text{当 } P \geq 200 \text{ mm} \end{cases}$$

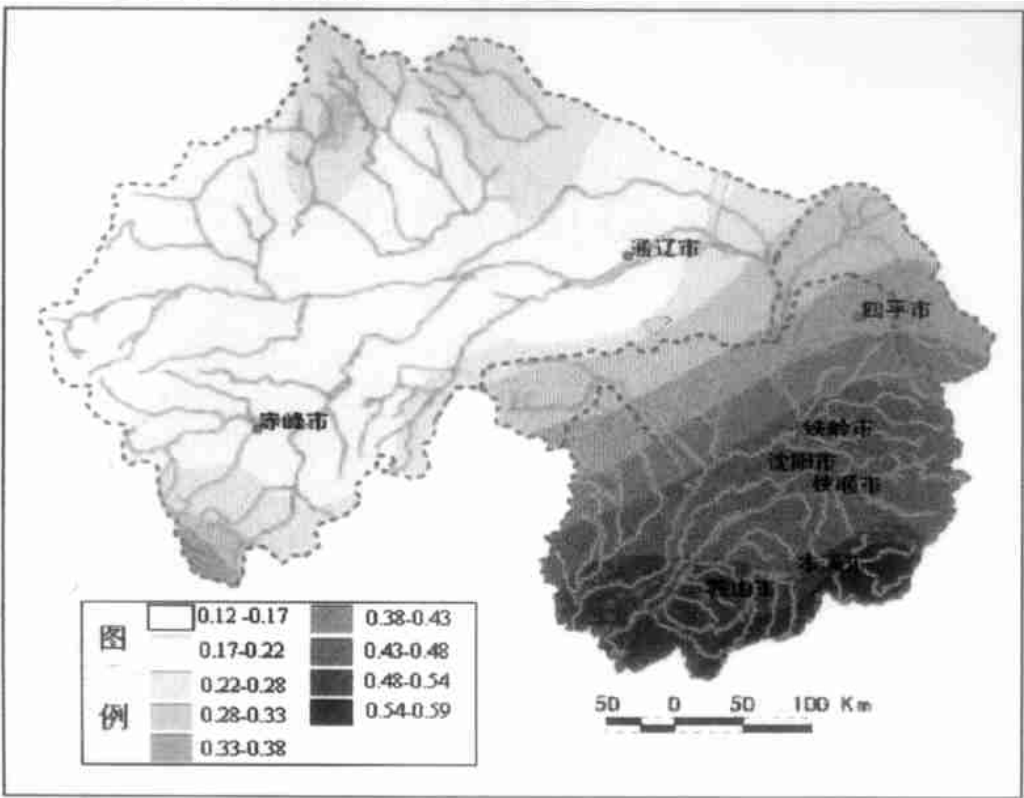


图 1 辽河流域降雨因子影响度分布图

Fig. 1 Influence index of rainfall on flooding in Liaohe basin

在空间上, 根据最大 3 日平均暴雨量分布, 利用 250 × 250 m 格网, 以 Arc/Info 软件为平台, 进行空间内插离散化<sup>[11]</sup>, 通过指标转换, 得到辽河流域降水因子影响度分布 (图 1)。

(2) 地形与洪水危险程度。地形与洪水危险程度密切相关。一般认为, 地形对形成洪水的影响主要表现在两个方面: 地形高程及地形变化程度, 地形高程越低, 地形变化越小, 越容易发生洪水。在 GIS 中绝对高程可用数字高程模型来表达, 而地形变化程度常用坡度表示。但坡度仅考虑了相邻栅格的高程变化程度, 而影响洪水危险程度大小的是一定范围内的地形变化。本文采用计算栅格周围 5 × 5 邻域内 25 个栅格 (包括其自身) 高程的标准差作为表征该处地形变化程度的定量指标。并把高程标准差分成三级: 高程标准差 0~ 1 为第一级, 1~ 10 为第二级, 大于 10 为第三级。

根据地形因子中, 绝对高程越高, 相对高程标准差越小, 洪水危险程度越高的原则, 确定如表 1 所描述的综合地形因子与洪水危险程度关系。通过空间叠加分析, 进行属性项合并, 从而计算出每一格网点地形综合影响因子 (图 2)。

表 1 综合地形因子影响度关系表

Tab. 1 Relationship between topographic setting and flood susceptibility

地形高程/m	地形标准差		
	一级	二级	三级
	( 1)	(1~ 10)	( 10)
一级 ( 100)	0.9	0.8	0.7
二级 (100~ 300)	0.8	0.7	0.6
三级 (300~ 700)	0.7	0.6	0.5
四级 ( 700)	0.6	0.5	0.4

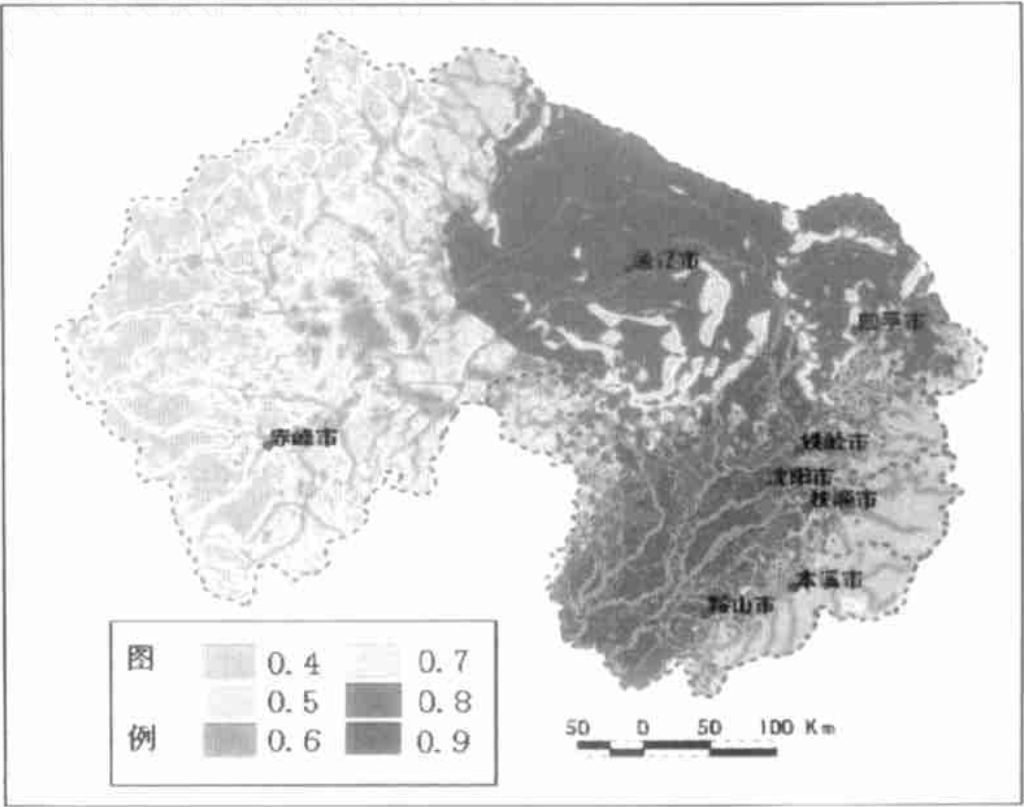


图 2 辽河流域地形因子影响度分布图

Fig. 2 Influence index of topography on flooding in Liaohe Basin

(3) 社会经济易损性指标。基于洪灾损失率的易损性分析主要有以下几方面的困难: 调查承灾体的分布及估算其价值极其困难而且耗资巨大; 不同类别的承灾体易损性特征难以得到, 目前仅对农作物、房屋等很少几类承灾体的易损性特征研究较为成熟; 难以定量分析社会承灾能力。

一般认为社会经济条件可以定性反映区域的灾损敏度, 即易损性的高低。社会经济发达的地区, 人口、城镇密集, 产业活动频繁, 承灾体的数量多, 密度大, 价值高, 遭受洪水灾害时人员伤亡和经济损失就大。值得注意的是, 社会经济条件较好的地区, 区域承灾能力相对较强, 相对损失率较低, 但区域绝对损失率和损失密度都不会因此而降低。同样等级的洪水, 发生在经济发达、人口密集的地区可能造成的损失往往要比发生在荒无人烟的经济落后的地区大得多。社会经济易损性分析一般以一定行政单元为基础, 从而可直接利用各类统计报表与年鉴。关于采用何种社会经济指标来反映区域社会经济易损性大小, 目前尚无统一标准, 并因区域的不同而不同。根据辽河区域特点, 我们选取流域内各市、县、旗单位面积人口数和耕地占总土地面积的百分比作为特征指标<sup>[12]</sup>, 并通过各县的标识码建立与统计数据的关联, 从而将统计数据空间化, 并得出相应的空间分布图。

问题的核心是如何将人口密度图和耕地百分比图转换成各自对洪灾的影响度分布图。这里从统计特征分析出发, 选取均值和标准差作为指标, 分别将基础要素图分为 5 类, 并赋予相应的影响度 (表 2, 表 3)。再通过组合计算, 并得到如图 3 所示的社会经济易损性影响度分布图。该图反映出: 辽河流域中部是洪灾危险程度最高的地区。

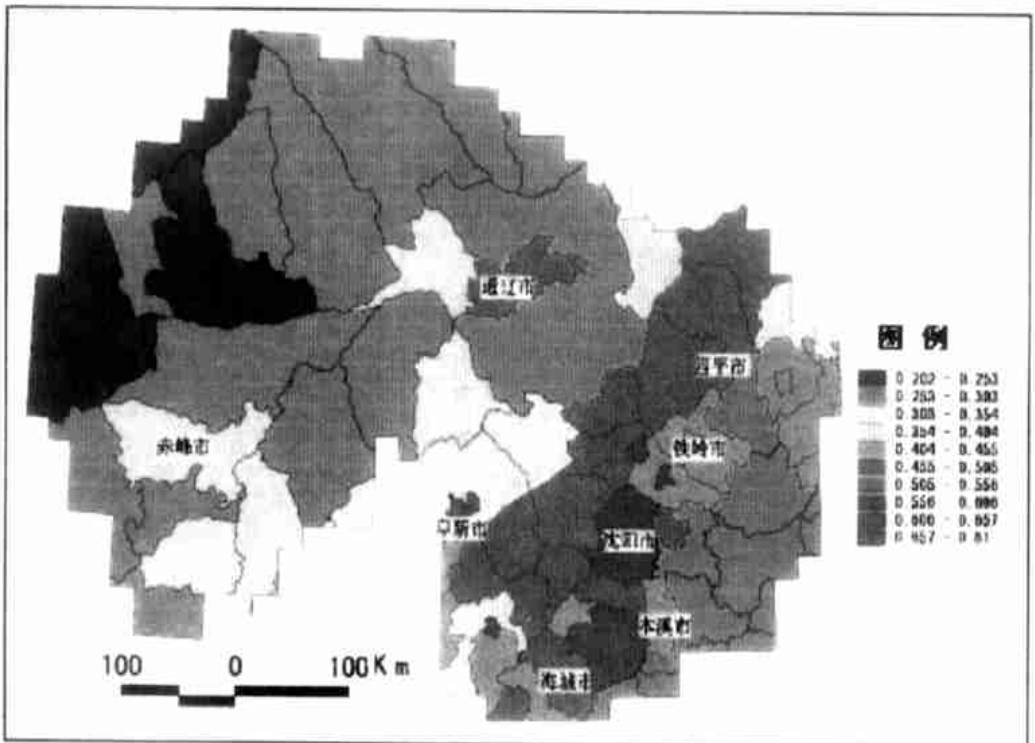


图 3 辽河流域社会经济易损性影响度

Fig. 3 Vulnerability of Socio-econom ic propertis to flooding in L iaohe Basin

表 2 人口密度分类表

Tab. 2 Population density and influence index

分类号	分类范围/(万人/km <sup>2</sup> )	影响度
1	0~ 148. 57	0. 5
2	148. 57~ 438. 82	0. 6
3	438. 82~ 729. 08	0. 7
4	729. 08~ 1019. 33	0. 8
5	1019. 33~ 2299. 04	0. 9

\* 均值: 148. 573, 标准差: 290. 251。

表 3 耕地百分比分类表

Tab. 3 Cultivated land ratio and influence index

分类号	分类范围/%	影响度
1	0~ 3. 91	0. 5
2	3. 91~ 18. 04	0. 6
3	18. 04~ 32. 16	0. 7
4	32. 16~ 46. 29	0. 8
5	46. 29~ 60. 42	0. 9

\* 均值: 18. 04, 标准差: 14. 13。

3. 3 洪水灾害风险综合区划

根据各因子影响度的分析, 利用 Arc/Info 系统的地图代数功能, 将各因子图进行叠加分析, 得到综合区划图。这里我们分两步进行, 首先综合考虑暴雨和地形因子, 形成洪水危险性区划 (图 4); 其次将危险性区划图再与社会经济易损性分布图叠加, 从而得到如图所示的辽河洪灾风险区划图。

从洪水危险性分区图中可以发现辽河流域东部地区洪水危险性明显较西部为高, 这与东部地区降雨量大、地势相对较为低平, 而西部地区 (西辽河) 降雨量少, 地势相对较高

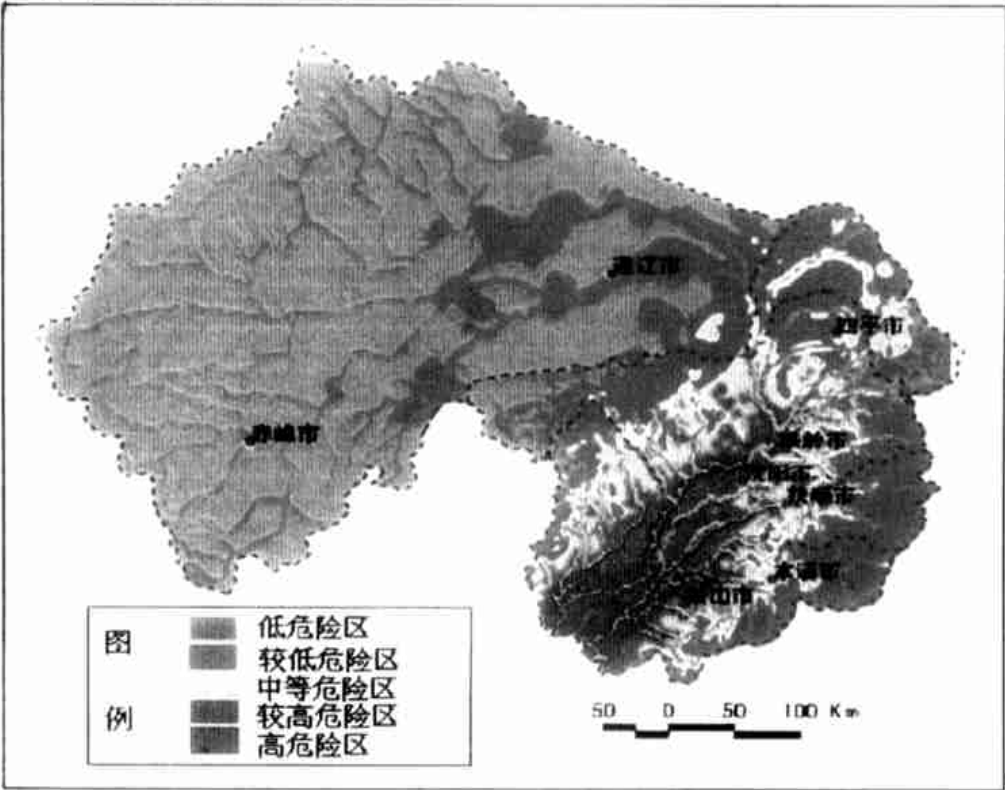


图 4 辽河流域洪水危险性分区图

Fig. 4 Zonation of flood risk in Liaohe Basin

密切相关。对于东部地区，浑河和太子河的上游等，由于地势高、坡度大，遭受洪水的危险程度相对较低；对于西部地区，洪水危险程度较高的地区主要分布在河流两侧，尤其是西辽河干流及新开河附近。

在洪水灾害风险区划图上，辽河中下游平原地区由于洪水危险性高，社会经济易损性大，故洪灾风险较高，而西辽河流域和辽河流域东部丘陵山区则由于洪水危险性较低，社会经济较不发达，洪灾风险相对较低。值得注意的是沈阳市由于处于地势较为低平的辽河下游，降雨量较高，尤其是经济发达，人口众多，属风险较高的地区，但本文没有考虑区域承灾能力，沈阳市防洪标准较高，抗灾能力强，实际风险值要较图 5 为低。

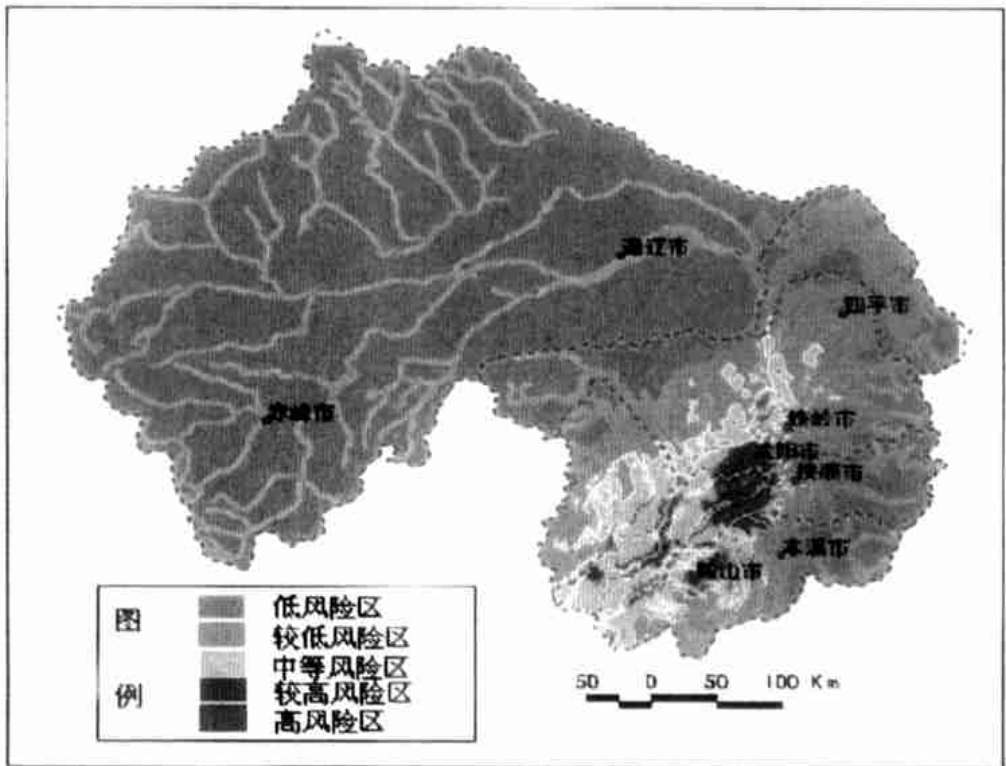


图 5 辽河流域洪水灾害风险区划图

Fig. 5 Zonation of flood disaster risk in Liaohe Basin

## 4 讨论

(1) 由于洪水灾害形成的复杂性，影响因子众多，要完全定量地分析洪灾风险有一定困难，本文所提出的指标模型法只是这方面作了一定探索。

(2) 指标模型是一种确定性模型，其实现可与地理信息系统有机结合，本文利用 Arc/Info 的 Grid 子系统的地图代数功能，实现各种指标的定量描述和综合。

(3) 为了便于规划使用，指标模型需进一步改进，以便对每一种发生的概率进行描述，从而达到时空分析评价的目的。



感谢陈述彭先生十多年来的教诲与指导。早在 1986 年先生就领导一研究组开展江河洪水险情预报与对策信息系统研究, 并系统地论述了研究框架与技术路线。十余载, 经“八五”和“九五”国家攻关等大型项目研究, 在关键技术、分析模型和系统建设等方面都取得重大研究成果, 洪水灾害评估信息系统也已投入试运行。

## 参考文献 (References)

- [1] Li Jishuen, Fong Qiang, Wang Angsheng Study on Climate Monitoring, prediction[M]. Beijing, Meteorological Press, 1996 (In Chinese) [李吉顺, 冯强, 王昂生 我国暴雨洪涝灾害的危险性评估: 台风、暴雨灾害性天气监测、预报技术研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996.]
- [2] Tang Qichen, Li Xueyun Preliminary Study on Flood and Waterlogging in China[M]. Beijing: Science Press, 1997. 22~ 26 (In Chinese) [汤奇成, 李秀云 中国洪涝灾害的初步研究 见: 刘昌明 主编 第六次全国水文学会议论文集[M]. 科学出版社, 1997. 22~ 26.]
- [3] Chen Shupeng, Huang Xuan Flood Monitoring and Evaluation Information System[J]. *Natural Science Progress*, 1991, 11(2): 91~ 101. (In Chinese) [陈述彭, 黄绚 洪水灾情遥感监测与评估信息系统[J]. 自然科学进展, 1991, 11(2): 91~ 101.]
- [4] Chen Shupeng Probe to Earth Science[M]. Beijing: Science Press, 1992 (In Chinese) [陈述彭 1991 年淮河、太湖流域的洪涝灾情[M]. 见: 地学的探索(第 4 卷)——地理信息系统 北京: 科学出版社, 1992. 100~ 117.]
- [5] Zhou Chenghu Flood Damage Evaluation Information System[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993 (In Chinese) [周成虎 洪水灾害评估信息系统研究 北京: 中国科学技术出版社, 1993.]
- [6] Chen Bianxian, Yang Wu, Huang Xianyuan Study on the Basin numerical modelling and flood damage evaluation[J]. *Environmental Remote Sensing*, 1996, 11(4). (In Chinese) [陈丙咸, 杨成, 黄杏元 等 基于 GIS 的流域洪涝数字模拟和灾情损失评估的研究[J]. 环境遥感, 1996, 11(4): 309~ 314.]
- [7] Sorensen H R et al Application of GIS in hydrological and hydraulic modeling: DLIS and M IKEIF GIS in HydroGIS 96: Application of Geographical information systems in Hydrology and water resource manager[J]. *I A H S Pub*, 1996, 235: 149~ 156
- [8] Badjim S, Dautrebande Characterization of flood inundated areas and delineation of poor drainage soil using ERS-1 SAR Imagery[J]. *Hydrological Process*, 1997, 11: 1441~ 1450
- [9] Chen Deqing, Huang Shifeng, Yang Cunjan Construction of watershed flood disaster management and its application to the catastrophic flood of the Yangtze River in 1998[J]. *The Journal of Chinese Geography*, 1999, 9(2): 163~ 168
- [10] Pan Yaozhong, Shi Peijun Basic units analysis of regional natural disaster system —— I: Fundamental[J]. *Natural Disaster*, 1997, 6(4). [潘耀忠, 史培军 区域自然灾害系统基本单元研究—— I: 理论部分[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 1~ 9.]
- [11] Leggett D J, Jones A. The application of GIS for flood defense in the Anglican region: developing for the future[J]. *International of Geographical Information Systems*, 1996, 10(1): 103~ 116
- [12] Lianing Provincial Annual Statistics[M]. Beijing: China Statistics Press, 1996 (In Chinese) [辽宁省统计年鉴(1995)[M]. 中国统计出版社, 1996.]

## A GIS-based Approach to Flood Risk Zonation

ZHOU Cheng-hu, WAN Q ing, HUANG Shi-feng, CHEN De-qing

*(State Key Laboratory of Resources and Environment Information System,*

*China Academy of Sciences, Beijing 100101)*

**Abstract** Flood risk can, in general terms, be defined as probability time consequence. It consists of flood hazard analysis, vulnerability analysis and damage evaluation. A variety of methods have been developed and applied. Among them, Quantitative Risk Analysis (QRA) is a method of quantifying risk through systematic examination of the factors contributing to the flood hazard and affecting the severity of flood consequence, their interaction and relative contribution to the occurrence of the flood. The QRA technique is well established in many fields such as chemical engineering and hazardous materials processing. The application of QRA to flood risk is relatively new and still under development. While the basic risk assessment concepts and tools can be used, the methodologies need to be adapted. Category-based model for flood risk analysis is used to assign a value to each driven-factor such as triggering factor of rainfall, dam break, ground surface conditions of topography, land cover, and others. The keys to the model are to synthesis the spatial-referenced data and create the risk zone.

The diffusion of Geographical Information Systems (GIS) technology opens up a range of new possibilities for hazard mitigation and disaster management. Microzonation is greatly facilitated by the kind of automation that GIS offers, especially as it involves comparison, indices and overlays in much the same way that GIS does. In this article, ArcInfo GIS has been chosen to quantitatively represent the influencing factors, spatialize the data into the uniform grid system, and transfer all the data item into the effect degrees on the probability of flooding. At last, with the support of Arc/Info GRID model, a categorical model for flood risk zonation has been put forward. The approach has been applied to the Liaohe river basin, the north-eastern of China, flood disaster risk zonation. The results show that the flood risk of the lower reaches of the Liaohe river is more serious than other places, which accord with the fact. The case study shows that the GIS-based category model is effective in flood risk zonation.

**Key words:** Geographical Information System; Flood hazard; Risk zonation