

文章编号 :1004-4574( 2006 )06-0045-05

## 基于河网水系变化的水灾危险性评价 ——以永定河流域京津段为例

周洪建<sup>1,2</sup>, 王静爱<sup>1,2</sup>, 岳耀杰<sup>1</sup>, 王志强<sup>3</sup>, 刘珍<sup>1</sup>, 万金红<sup>1</sup>

( 1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院 ,北京 100875 ;2. 北京师范大学 区域地理研究实验室 ,北京 100875 ;  
3. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室 ,北京 100875 )

**摘要** 城市化过程中不合理的土地利用导致河道填塞、河网缩减现象普遍,城市水灾增加。基于灾害系统思想,构建了基于河网水系变化的水灾危险性评价体系,并以永定河京津段为例进行了实证分析。结果表明:( 1 )近 40 年来研究区水系结构简单化趋势明显,河道长度减少了 20.5% ,条数减少了 36.4% ,水系调蓄能力下降,在同样的致灾强度下水灾危险性加大;( 2 )在假设暴雨重现期为 50 年的条件下,经济密度差异决定了水灾潜在危险区的空间格局,居民用地将成为水灾重度危险区;平原段水灾重度危险区占 5.7% ,中度危险区占 33.1% ,滨海段重度危险区占 13.9% ,中度危险区占 26.8% 。研究结果可为区域综合减灾、水灾预报提供依据。

**关键词** 河网水系变化;水灾危险性;永定河京津段

中图分类号 :X4 ,TV82 文献标识码 :A

## Assessment of flood hazard based on river network change taking the Beijing-Tianjin segment of Yongding River watershed as an example

ZHOU Hong-jian<sup>1,2</sup>, WANG Jing-ai<sup>1,2</sup>, YUE Yao-jie<sup>1</sup>, WANG Zhi-qiang<sup>3</sup>, LIU Zhen<sup>1</sup>, WAN Jin-hong<sup>1</sup>

( 1. School of Geography and Remote Sensing Science ,Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China ;2. Key Laboratory of Regional Geography ,Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China ;3. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster ,Ministry of Education of China/Beijing Normal University ,Beijing 100875 ,China )

**Abstract** The unreasonable land use in the process of urbanization results in the frequent urban flood. According to the disaster system theory, this paper established the flood risk assessment system based on the river network change, and took the example of Beijing-Tianjin segment of Yongding River to make a case analysis. The results show that:( 1 ) the river network structure appears as a trend from comprehension to simplicity. The length of rivers shortened 20.5% of that in 1968 ,and the river numbers decreased 79 ,accounting for 36.4% . This intensified urban flood risk in some degree. ( 2 ) Under the condition that the heavy rain return period is 50 years ,economic density differences decided the spatial pattern of potential flood risk area. Resident land will become the severe flood risk area; potentially severe flood risk area in the plain region will account for 5.7% ,moderate risk area will account for 33.4% ;and potentially severe risk area in the coast will account for 13.9% ,moderate risk area will account for 26.8% . The research can give reference to regional disaster reduction and flood prediction.

**Key words** river network change ;flood hazard ;Beijing-Tianjin segment of Yongding River

收稿日期 2006-08-25 ; 修订日期 2006-10-18

基金项目 国家重点基础研究发展计划项目( 2006CB400505 )国家“985 工程”北京师范大学公共安全政策项目

作者简介 周洪建( 1980- )男,山东新泰人,博士研究生,主要从事土地利用与自然灾害研究。

万方数据 ( 通讯作者:王静爱,女,教授,Email:szq@bnu.edu.cn )

城市化过程导致的大规模的土地利用/覆盖变化( LUCC )及其对生态环境过程的影响成为区域 LUCC 研究中最为引人注目的部分<sup>[1]</sup>。城市化进程中不合理的土地利用 ,使得全球 60% 的河道发生了从河流资源向土地资源的变化 ,城市化已成为改变水系发育演变的重要因素<sup>[2-4]</sup>。一些学者的研究表明城市化是改变水系结构的重要因素 ,高度城市化地区河网结构趋于简单化、非主干河道减少<sup>[5]</sup> ,城市化不同发展程度对水系有不同的影响规律 水系缩减的主体部分同城市扩展同步<sup>[6]</sup> ;此外 ,对上海的研究表明 ,城市化对河网调蓄能力的影响大于对河流结构的影响 ,且随着城市化水平的提高 ,河网调蓄能力下降<sup>[7]</sup>。

不少学者对城市化与水灾的关系进行了研究。Goudie<sup>[8]</sup>研究表明 ,城市化已明显地影响到区域的水循环过程 ,包括下渗的减少、汇流时间的缩短以及洪峰流量的增加等。史培军<sup>[9]</sup>等以深圳为例 ,探讨了城市下垫面条件对流域径流过程的影响 ,认为随人类活动的加剧 ,土地利用变化使径流量趋于增大 ,严重影响着洪涝灾害的致灾过程。关于水系变化对水灾危险性影响的研究较少。

水灾危险性主要取决于天气和下垫面因素 ,不同学者对水灾危险性的认识不同。高吉喜<sup>[10]</sup>等建立了包括致灾因子、孕灾环境、承灾体属性和社会救灾能力在内的洪水灾害易损性评价指标体系 ,其中危险性通过致灾因子和孕灾环境来表达 ;王静爱<sup>[11]</sup>等从灾害系统角度构建了水灾孕灾环境、承灾体和致灾因子的危险性评价指标体系 ,采用成因分析法提出危险性评价模型 ,然而评价模型中对水系变化因素的考虑较少。本文基于灾害系统思想<sup>[12]</sup> 提出基于河网水系变化的水灾危险性评价方法 ,并以永定河流域京津段为例进行了实证分析。

## 1 研究方法

### 1.1 评价单元

网格化数据特别适合空间模型的构建、实现和表达 ,同时数据的网格化也是许多图形绘制和空间模型实现的基础工作<sup>[13]</sup>。在 GIS 支持下 ,经过网格化处理及其派生结果 ,在时间上可形成以网格为基础的数据序列 ,便于动态规律的分析 ,在空间上可形成网格间数据梯度 ,便于空间分异规律研究。为保证 1:5 万地形图方里网数据的完备性 ,本文构建了与整个研究区相匹配的 1km × 1km 的标准网格作为水灾危险性的评价单元。

### 1.2 评价指标与模型

河网水系缩减导致蓄水空间变小 ,调蓄功能降低 ,同样的降水规模和强度下水灾危险性提高。同时 ,降雨强度、地形特征和承灾体经济密度也对水灾危险性产生影响。选取日最大暴雨量(  $M$  )、潜在淹没范围(  $S$  )、数字地形高程(  $D$  )、河网水系变化率(  $C$  )和承灾体经济密度指数(  $E$  )作为基本指标 ,计算得到潜在淹没指数(  $P$  )、河网变化指数(  $N$  )和易损指数(  $L$  )作为评价指标。

$P$  值的确定是基于  $M$  值和  $D$  值 ,在 GIS 支持下计算得到暴雨的淹没范围 ,然后给  $P$  赋值 1 或 0 ,1 为淹没区 0 为非淹没区。 $M$  值的计算据北京近郊短历时暴雨强度计算公式<sup>[14]</sup>得到重现期为 50 a 的日最大暴雨量 ,同时参考北京市气象台 1900 – 2000 年历年降水资料、永定河历史洪水灾害资料<sup>[15]</sup>对日最大暴雨量进行了修正。

$N$  值依据同一区域内河网缩减越大 水灾危险性越高的原则 ,采用专家打分的方法确定。其中河网消失(  $C=100\%$  )的区域  $N$  值为 0.9 ,河网缩减大(  $50\% \leq C < 100\%$  )的区域  $N$  值为 0.8 ,河网缩小(  $0 < C < 50\%$  )的区域  $N$  值 0.7 。

$L$  值的确定依据土地利用类型的经济密度差异 遭受水灾后经济密度高损失大的原则 ,参考徐勇等的研究结果<sup>[16]</sup> ,定义城镇用地、农村居民用地、工矿用地、养殖水面、园地、耕地和林地的  $L$  值分别为 0.9 ,0.8 ,0.7 ,0.6 ,0.5 ,0.4 和 0.3 。

根据灾害系统思想和评价指标体系 ,建立了水灾危险性评价模型 :

$$R_k = P_k \cdot N_k \cdot L_k$$

式中  $R_k$  为评价单元  $k$  的水灾危险度(  $k = 1, 2, 3, \dots, 5210$  )。

万方数据

## 2 永定河京津段案例分析

## 2.1 研究区概况

永定河京津段介于  $115.42^{\circ} \sim 117.81^{\circ}\text{E}$  ,  $38.96^{\circ} \sim 40.18^{\circ}\text{N}$  ,面积  $4730\text{ km}^2$  ,流域覆盖北京、天津和河北的14个县(市、区)。区内主要的河流为永定河、永定新河、龙河、天堂河、海河等。依据地形、土地覆盖类型差异,以卢沟桥、屈家店为界点分为3段,即山地段、平原段、滨海段。本研究主要集中于后两段。

研究数据主要包括 1968 年 1:5 万地形图数据、2002 年 SPOT 数据(分辨率 10m)、野外 GPS 数据、1:5 万 DEM 数据、历史水灾数据和 2002 年 1:10 万土地利用数据。河网水系变化数据是基于以上资料,在 GIS 支持下完成,精度在 90% 以上,其中河道分级参考类似 Strahler 水系分级方案<sup>[17]</sup>,研究区河道共分为 6 级。

## 2.2 河网水系变化分析

1968–2002年河网水系缩减显著,河网构成层次主干化、简单化趋势明显。河道总长度减少了435.3 km,占1968年总长度的20.5%,其中1级河道长度减少了267 km,占1968年同级河道长度的57.1% 2级河道减少了164.2 km,占47.3% 河道条数减少79条,占1968年总数的36.4%。据杨凯等的研究<sup>[5]</sup>本区低等级河道的锐减,降低了河网水系的调蓄作用,在同样的水灾致灾强度下,水灾危险性增加。

人类活动对河网水系的影响因河道等级差异而不同,主要表现为对低等级河道的填埋,对高等级河道的保护。1~2级河道表现出明显的负向发展,分别降低0.63和0.35,占1968年同级水道发展系数的48.9%和37.3%。相反,3~5级河道正向发展,增加量分别为24.4%、35.3%和14.4%。

从河网水系的空间变化(图1)可以看出,近40 a来,河网密度的变化存在明显的区域差异:平原段,河网消失面积大,占总变化面积的28.1%,分布于大兴和廊坊的交界处和泛区,其中廊坊市区西部,建设用地的增加导致河流减少和河道平直化现象明显。河网缩减的区域面积为 $258 \text{ km}^2$ ,占总面积的19.2%,城市扩展区和主要道路周围成为河网水系变化的主要区域。滨海段,河网消失区集中在中部,面积为 $262 \text{ km}^2$ ,占总面积的33.2%,河网缩减区面积 $168 \text{ km}^2$ ,占20.4%。塘沽区周围河网水系缩减明显。

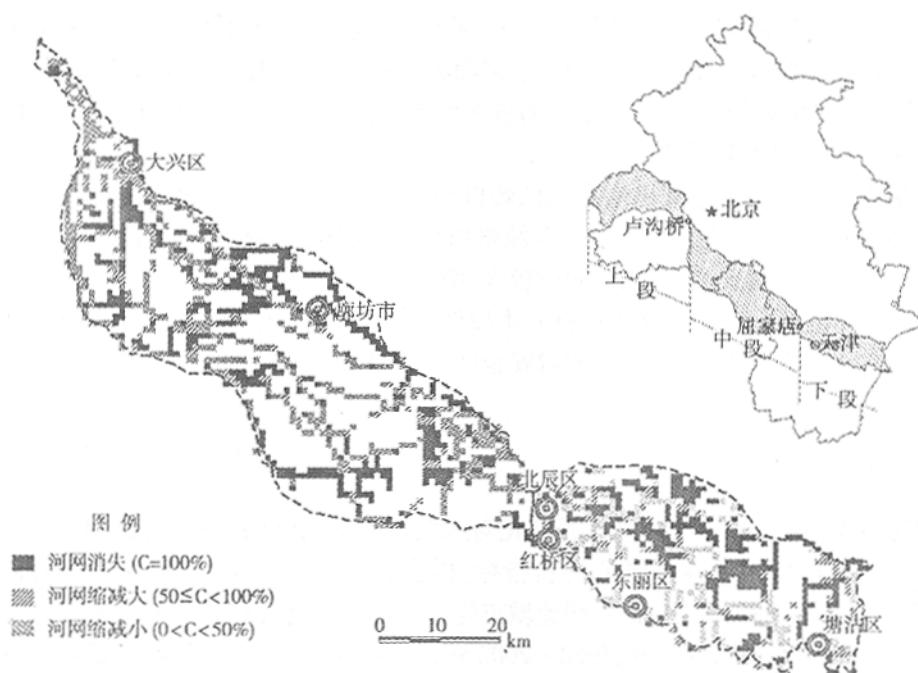


图 1 永定河京津段河网密度变化(1968-2002年)

Fig. 1 Density change of network of waterways in Beijing-Tianjin segment of Yongding River( 1968 – 2002 )

## 2.3 水灾危险性评价分析

根据各指标计算方法,假设暴雨重现期50 a情景下,研究区各段水灾潜在危险性呈现出不同的空间格局和规律(图2)。

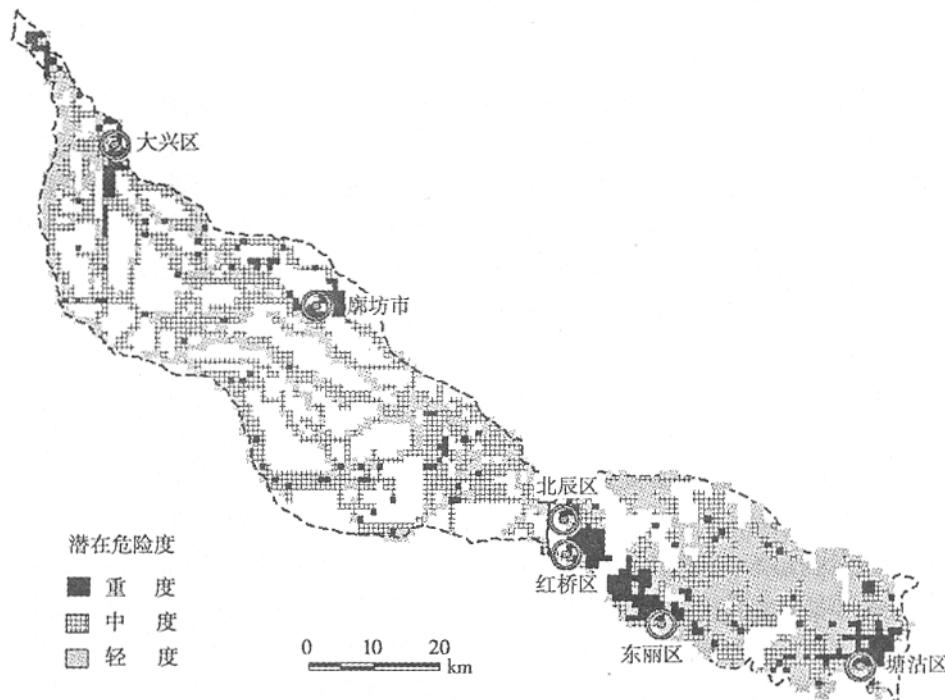


图2 永定河京津段水灾潜在危险性评价

Fig. 2 Potential flood risk assessment of Beijing-Tianjin segment of Yongding River

平原段,水灾潜在危险性的空间格局与河网水系空间格局有较大的相似性,水灾潜在重度危险区与居民地的相关性较好。潜在重度危险区面积占总面积的5.7%,主要分布于大兴区和廊坊市城镇用地处,经济密度的差异决定了潜在重度危险区的空间格局;潜在中度危险区约占33.1%,空间分布格局与河网水系变化,尤其是河网消失区的空间分布相似,主要位于大兴和廊坊的交界处、廊坊市区西部和永定河泛区;潜在轻度危险区面积较小,占13.8%,散布于各支流,相对安全区面积占47.4%,说明在暴雨重现期为50 a的情况下,地形起伏对水灾的控制作用较明显。

滨海段,水灾潜在危险性总体呈现出南高北低的格局。潜在重度危险区面积占13.9%,分布于城镇居民区;潜在中度危险区占26.8%,与河网变化的区域格局相似,分布于中部和东部沿海区,新城规划和发展,影响到河网发育,同时经济密度升高,水灾危险度较大;潜在轻度危险区占33.8%,分布于塘沽区西北部,新增水域发展水面养殖,单位面积的经济密度提高。本段地势低,平均海拔5 m以下,地形起伏小,相对平原段而言,同样的暴雨条件下潜在淹没区范围大,相对安全区占25.5%。

### 3 结论与讨论

(1) 基于灾害系统思想,充分考虑河网水系变化对水灾潜在危险性的作用,提出用潜在淹没指数、河网变化指数和承灾体易损指数作为水灾危险性评价指标,构建了基于河网水系变化的水灾危险性评价模型。本文所提出的评价方法和模型可应用于研究快速城市化区域河网变化与水灾危险性评价。

(2) 对永定河流域京津段的研究表明,1968–2002年,河网水系特征变化显著,结构简单化趋势明显,水道总长度减少20.5%,总条数减少36.4%,城市扩展区和主要道路周围成为河网水系缩减的重点区。河网水系成为制定合理的城市发展规划过程中需考虑的重要因素。

(3) 假设暴雨重现期为50 a条件下,平原段水灾危险性空间格局与河网水系变化的空间格局十分相似,潜在重度危险区与居民地的相关性较好,经济密度的差异决定了潜在重度危险区的空间格局。滨海区水灾危险性空间格局南高北低,潜在重度危险区面积占13.9%,主要分布于城镇居民区;潜在中度危险区占26.8%,与河流水网变化的区域格局相似,分布于中部和东部沿海区,城市扩展对河网产生影响,加之经济密度高,水灾危险度较大。这在制定城市水灾减灾规划,有效规避水灾高危险区中发挥重要作用。

随着社会经济的发展,城市化水平不断提高,高密度的城市土地利用使水灾的社会和经济危害更大,如何协调城市发展和流域河网水系的关系,正确引导城市化过程和土地开发过程,对于降低区域水灾危险性,保障区域安全至关重要。此外,影响水灾危险性的因素很多,如何在评价过程中加入防洪设施等因素对水灾危险性的影响是进一步研究的重点。

## 参考文献:

- [1] 陈述彭. 城市化与城市地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] David Allan J. Stream Ecology-structure and function of running waters[M]. Published by Chapman & Hall, Printed in Great Britain by Alden Press, Oxford, 1995.
- [3] Surian Nicola, Rinaldi Massimo. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy[J]. Geomorphology, 2003, 50(4): 307–326.
- [4] Aear D A, Mewson M D. Environmental change in river channel: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring[J]. The Science of Total Environment, 2003, 310: 17–23.
- [5] 杨凯, 袁雯, 赵军, 等. 感潮河网地区水系结构特征及城市化响应[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 557–564.
- [6] 孟飞, 刘敏, 吴健平, 等. 高强度人类活动下河网水系时空变化分析——以浦东新区为例[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 156–161.
- [7] 袁雯, 杨凯, 唐敏, 等. 平原河网地区河流结构特征及其对调蓄能力的影响[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 717–724.
- [8] Goudie A. The Human Impact on the Natural Environment[M]. 3rd Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1990.
- [9] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1041–1050.
- [10] 高吉喜, 潘英姿, 刘海鹰, 等. 区域洪水灾害易损性评价[J]. 环境科学研究, 2004, 17(6): 30–34.
- [11] 王静爱, 王珏, 叶涛. 中国城市水灾危险性与可持续发展[J]. 北京师范大学学报(人文社会科学版), 2004, (3): 169–175.
- [12] 史培军. 四论灾害研究的理论和实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1–7.
- [13] 范一大, 史培军, 廉智慧, 等. 行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 105–108.
- [14] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究[J]. 水文, 1994, (3): 1–7.
- [15] 彭国用主编. 永定河水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [16] 徐勇, 沈洪泉. 人文要素数据与土地利用单元匹配方法——以北京丰台区为例[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 560–566.
- [17] Strahler A N. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography[J]. Geol. Soc. Amer. Bull., 1952, 63: 1117–1142.