

文章编号: 1004 - 4574(2011)04 - 0102 - 05

# 基于 GIS 空间信息格网的溃坝损失评估模型

王志军<sup>1</sup>, 宋文婷<sup>2</sup>, 周 敏<sup>3</sup>,

(1. 河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 河南理工大学 物理化学学院, 河南 焦作 454003;  
3. 山东省徐庄生建煤矿, 山东 济宁 277521)

**摘 要:** 为实现溃坝损失的快速评估, 在建立溃坝损失评估方法的基础上, 引入 GIS 空间信息格网来组织和管理空间数据, 研究了 GIS 空间信息格网的实现方法, 建立了基于 GIS 空间信息格网的溃坝生命损失计算方法及经济损失计算方法。构建了溃坝损失评估系统的框架结构, 结合数据库技术、GIS 技术、溃坝水力学、计算机图形学等方法 and 理论开发了 GIS 支持下的溃坝损失快速评估系统。

**关键词:** 溃坝; 地理信息系统; 空间信息格网; 损失评估

中图分类号: X43

文献标志码: A

## Model of evaluating loss caused by dam breach based on GIS spatial information grid

WANG Zhi-jun<sup>1</sup>, SONG Wen-ting<sup>2</sup>, ZHOU Min<sup>3</sup>

(1. School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China; 2. School of Physics and Chemistry, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China; 3. Xuzhuang Colliery of Shandong, Jining 277521, China)

**Abstract:** An evaluation method of loss caused by dam breach was proposed in this paper. The calculation models estimating life and economic losses caused by dam breach were established based on GIS spatial information grid. Combining with database technology, dam breach hydraulics and computer's graphics the GIS-supported rapid estimating system of dam breach was developed. The design principle and system structure were discussed. Main performances and characteristics of the system were interpreted in detail.

**Key words:** dam breach; geographic information system (GIS); spatial information grid; loss evaluation

大坝溃决一般会引起重大的灾难性事故, 并造成严重的生命、财产损失, 给环境与社会带来很大的灾难。溃坝损失评估是大坝风险分析的重要组成部分, 是认识大坝溃决后对下游造成的危险程度的重要方法。水库大坝管理部门及防洪救灾中心通过溃坝损失评估了解大坝一旦溃决可能造成的严重后果及损失程度, 根据水库最大水位、正常蓄水位等典型工况, 制定不同的应急救援方案<sup>[1-2]</sup>。

溃坝损失评估十分复杂, 评估过程中涉及大量的地理空间数据, 包括溃坝洪水分布特征(水深与流速)、人口空间分布以及财产空间分布等。一方面要解决空间信息的匹配与定位问题, 另外, 溃坝洪水淹没范围的边界与行政界线是不重合的, 还要解决由于边界不重合带来的评估指标的不合理问题。

为解决上述两方面问题, 实现溃坝损失的快速评估, 在作者已建立的溃坝损失评估方法的基础上<sup>[3]</sup>, 引入一种能够同时表达洪水特征、经济分布、人口分布等信息的 GIS 空间信息格网来组织和管理空间数据<sup>[4]</sup>, 建立便于计算机实现的溃坝损失评估计算模型, 并结合数据库技术、GIS 技术、溃坝水力学、计算机图形学等

收稿日期: 2010 - 06 - 23; 修回日期: 2011 - 04 - 13

基金项目: 河南理工大学博士基金 (B2010 - 69, B2011 - 056); 中国煤炭工业协会科技研究计划 (MTKJ2010 - 383)

作者简介: 王志军 (1979 -), 男, 博士, 讲师, 主要从事风险分析及安全监控研究。E-mail: wzj0537@163.com

方法和理论构建溃坝损失评估系统。

### 1 GIS 空间信息格网

对具有空间信息的状态变量进行栅格化处理是处理现实世界中一些问题的有效方法和手段<sup>[4]</sup>, GIS 空间信息格网正是基于此, 类似于数值计算中进行离散的区域网格。通过溃坝洪水演进模拟获得淹没范围, 将洪水演进模拟计算网格作为洪水特性网格, 从而得到洪水特性格网, 在每一个洪水特性网格单元内, 近似认为洪水特性(如水深、流速等)是均一的; 对每个行政单元内的人口及经济数据, 可以利用文献<sup>[5]</sup>提出的人口与经济的空间展布方法得到人口及经济数据空间展布格网, 将洪水特性格网与人口及经济格网叠加得到可以进行溃坝损失计算的 GIS 空间信息格网, 如图 1 所示。GIS 空间信息格网可有效解决溃坝损失计算中的各种数据之间的空间匹配问题, 同时可消除以行政单元作为评估单元带来的不合理性。

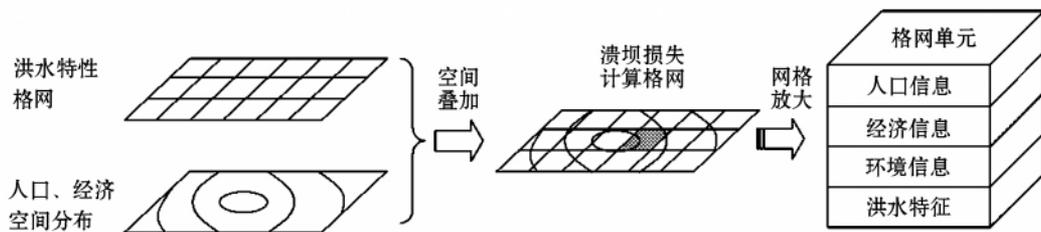


图 1 GIS 空间信息格网叠加图

Fig. 1 Superimposed map of GIS spatial information grid

GIS 空间信息格网是溃坝损失评估计算的基础, 它建立在 GIS 技术之上, 具有空间拓扑关系和属性信息以及时间特性, 集合了人口、经济、环境以及洪水特性信息。根据需要及精度要求, 采用规则的正方形网格。网格大小可以根据精度要求以及调查数据的精度进行调整, 可粗可细, 可以很好的满足用户要求。用户可通过 GIS 图层及关系型数据库进行数据的存储、管理及维护。图 2 为某水库大坝溃决生命损失计算的 GIS 空间信息格网的属性信息, 包含的信息有洪水单元代码、风险人口、建筑物类型、避难场所、撤离以及区划代码等。图 3 为某水库大坝溃决经济损失计算的 GIS 空间信息格网的属性信息, 包含的信息有洪水单元代码、面积、土地类型、经济及其数量等。

FID	Shape*	LA	PAN	STRUCTURE	SHELTER	EVACUATION	REGION
70	Polygon	455	0 null		0	0	2
71	Polygon	139	0 null		2	0	1
75	Polygon	521	0 null		0	0	1
76	Polygon	624	0 null		0	0	2
77	Polygon	584	438 brick1		3	3	1
78	Polygon	570	0 null		0	0	1
79	Polygon	603	675 brick2		3	6	2
80	Polygon	512	0 null		0	0	2
81	Polygon	538	0 null		0	0	2
82	Polygon	561	321 earth		1	1	2
83	Polygon	555	0 null		0	0	2
84	Polygon	497	1357 concrete1		3	6	2
85	Polygon	508	0 null		0	0	2
86	Polygon	569	0 null		0	0	1
87	Polygon	532	0 null		0	0	0

图 2 GIS 空间信息格网的属性信息(生命损失)

Fig. 2 Attribute information of GIS spatial information grid (loss of life)

### 2 基于 GIS 空间信息格网的溃坝损失计算方法

人口空间分布一般为离散的, 而财产空间分布一般为连续的, 因此在采用 GIS 空间信息格网进行溃坝损失评估计算时, 生命损失评估与经济损失评估要采用不同的计算方法。

FID	Shape	Id	AREA	LAND	ECONOY1	CROSS1	ECONOY2	CROSS2
59 Polygon		712	4000	2	24	94500	2	9620
60 Polygon		713	4000	2	27	74000	2	9200
61 Polygon		714	4000	2	27	74000	2	9200
62 Polygon		715	4000	2	27	74000	2	9200
63 Polygon		764	40000	1	13	8500	23	54200
64 Polygon		745	40000	1	11	42000	21	6400
65 Polygon		731	40000	1	12	3100	34	34000
66 Polygon		729	40000	2	32	25410	23	2100
67 Polygon		594	40000	3	31	5100	12	5300
68 Polygon		590	40000	2	24	67400	21	8700
69 Polygon		673	40000	2	15	4200	21	3400
70 Polygon		710	40000	2	14	6900	23	6200
71 Polygon		702	40000	1	14	9450	32	2400
72 Polygon		709	40000	3	22	14500	13	3500
73 Polygon		682	40000	4	22	23100	13	3400

图 3 GIS 空间信息格网的属性信息( 经济损失)

Fig. 3 Attribute information of GIS spatial information grid ( economic loss)

( 1) 溃坝生命损失评估计算模型

首先将人口信息展布到洪水计算格网上 , 形成人口信息格网 , 并与洪水特性格网叠加得到生命损失评估空间信息格网 , 然后利用作者已建立的溃坝生命损失评估方法来计算溃坝生命损失<sup>[3]</sup> , 计算公式为:

$$LOL = \sum_{i=1}^N (( 1 - F_{Ei} ) ( 1 - F_{Si} ) PAR_i - RES_i) . \tag{1}$$

式中: LOL 为溃坝生命总损失 , 人;  $i$  表示第  $i$  个 GIS 空间信息格网单元号;  $N$  为 GIS 空间信息格网的总单元数;  $PAR_i$  为第  $i$  个单元的风险人口数量 , 人;  $F_{Ei}$  为第  $i$  个单元横向撤离成功的人口比例;  $F_{Si}$  为第  $i$  个单元竖向撤离成功的人口比例;  $RES_i$  为第  $i$  个单元被营救人数 , 人。

基于 GIS 空间信息格网的溃坝生命损失评估计算过程如图 4 所示 , 限于篇幅 , 图中警报时间、避难场所、撤离条件、到达时间及流速、水深等信息 , 以及暴露人口与死亡率的计算方法参见文献 [3] 中的“溃坝生命损失评估方法”部分。

( 2) 溃坝经济损失评估计算模型

首先将经济信息展布到洪水计算格网上 , 形成经济信息格网 , 并与洪水特性格网叠加得到经济损失评估空间信息格网 , 然后根据作者已建立的溃坝经济损失评估方法来计算每个单元的经济损失<sup>[3]</sup> , 最后通过累加计算得到整个淹没区的溃坝经济损失 , 计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^N ( W_{1i}\beta_{1i} + W_{2i}\beta_{2i} + L_iM_i + T_iV_i) . \tag{2}$$

式中:  $S$  为溃坝经济总损失 , 元;  $i$  表示第  $i$  个 GIS 空间信息格网单元号;  $N$  为 GIS 空间信息格网的总单元数;  $W_{1i}$  ,  $\beta_{1i}$  分别为第  $i$  个单元按损失率计算的第 1 类财产价值及其损失率;  $W_{2i}$  ,  $\beta_{2i}$  分别为第  $i$  个单元按损失率计算的第 2 类财产价值及其损失率;  $L_i$  ,  $M_i$  分别为第  $i$  个单元按毁坏长度、面积等指标计算的设施毁坏长度或面积及其单位长度或面积修复费用;  $T_i$  ,  $V_i$  分别为第  $i$  个单元经济活动中断时间以及单位时间损失值。

基于 GIS 空间信息格网的溃坝经济损失评估计算过程如图 5 所示 , 限于篇幅 , 图中经济类型、经济价值及水深、流速、历时等信息以及财产损失率的计算方法参见文献 [3] 中的“溃坝经济损失评估方法”部分。

### 3 溃坝损失评估系统设计及实现

在基于 GIS 空间信息格网的溃坝损失评估方法的基础上 , 考虑到溃坝损失评估的功能需求 , 建立如图 6 所示的溃坝损失评估系统的结构框架。

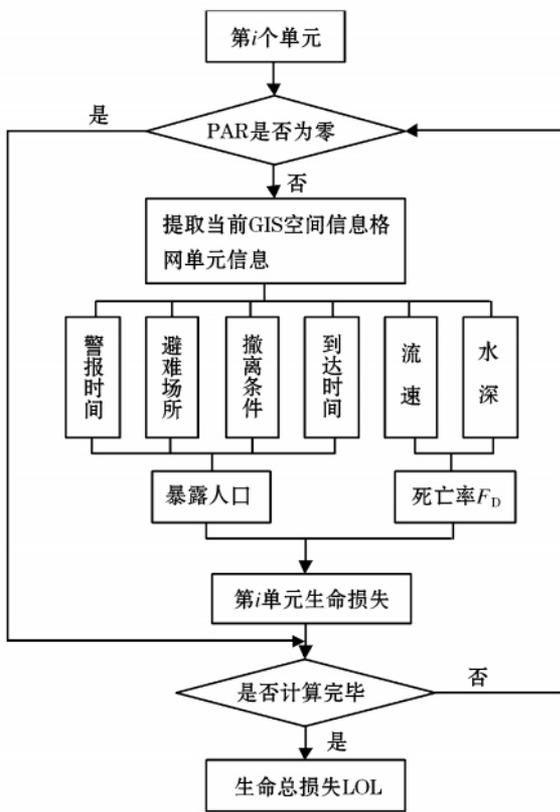


图 4 溃坝生命损失评估计算流程

Fig. 4 Calculation flow of dam breach loss-of-life estimation

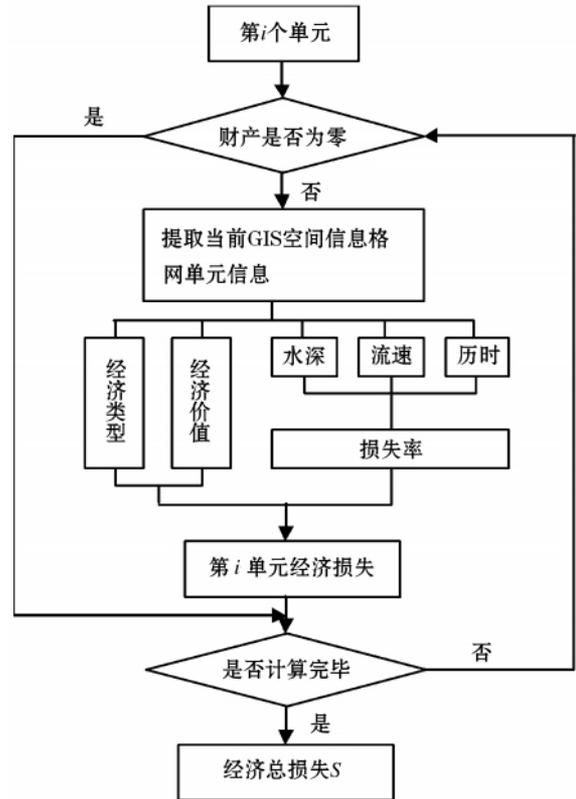


图 5 溃坝经济损失评估计算流程

Fig. 5 Calculation flow of dam breach economic loss estimation

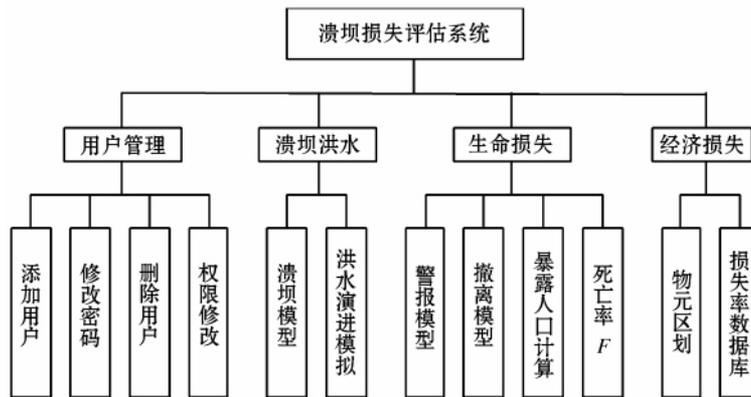


图 6 溃坝损失评估系统结构图

Fig. 6 Structure of dam break loss estimation system

溃坝损失评估系统是以 Delphi 为基础开发语言, 结合 COMGIS ( Component Object Model Geography Information System) - MapObjects 组件进行开发的, 并综合应用了 ArcGIS, Visual Fortran, 以及 FastReport, Flat-style, TeeChart 等第三方程序和控件, 底层数据库使用 SQL Serv 等<sup>[6,7]</sup>。溃坝生命损失快速评估系统界面见图 7。



图 7 溃坝生命损失评估系统

Fig. 7 Interface of estimation system of Loss-of-life caused by dam breach

### 4 结 语

为便于计算机组织与管理大量空间信息数据,引入 GIS 空间信息格网,提出了基于 GIS 空间信息格网的溃坝损失评估计算模型,分析了计算流程。探讨了溃坝损失评估系统的总体结构;分析了系统集成方法,开发了 GIS 支持下的溃坝损失评估系统。评估结果可以为水库大坝风险分析及评价提供技术支持,同时也可作为水库大坝管理部门及防洪救灾中心进行水库大坝管理以及防灾减灾、救援决策提供参考。

### 参 考 文 献:

[1] 李雷,周克发. 大坝溃决导致的生命损失估算方法研究现状[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(2): 76-80.

[2] 宋敬衡,何鲜峰. 我国溃坝生命风险分析方法探讨[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 628-633.

[3] 王志军. 溃坝后果评估方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2009.

[4] 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.

[5] 李纪人,丁志雄,黄诗峰,胡亚林. 基于空间展布式社经数据库的洪涝灾害损失评估模型研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1(2): 104-110.

[6] Jonkman S N, Gelder P H A J M, Vrijling J K. An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, A99: 1-30.

[7] 王志军,顾冲时,张治军. GIS 支持下基于遗传优化神经网络的溃坝生命损失评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(1): 64-68.

[8] 谭钦文,尹光志,何友芳. GIS 及模糊优选理论在尾矿坝选址中的应用[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 110-114.