

城市与工程减灾 基础研究论文集

(1995)

《城市与工程减灾基础研究论文集》编辑委员会 编

中国科学技术出版社

TU998-53

1

(按年出版)

95

国家自然科学基金“八五”重大项目

TU998-53

1

95

城市与工程减灾 基础研究论文集 (1995)

《城市与工程减灾基础研究论文集》编辑委员会 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国科学技术出版社
北京

图书在版编目(CTP)数据

城市与工程减灾基础研究论文集(1995)/

《城市与工程减灾基础研究论文集》编辑委员会编.

—北京:中国科学技术出版社,1996.9

ISBN 7-5046-2277-X

I. 城…

II. 城…

III. 市政工程-自然灾害-防治-研究-科技成果-中国

IV. TU998

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15364 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区白石桥路 32 号 邮政编码:100081

东北林业大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:400

1996 年 9 月第 1 版 1996 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—700 定价:30.00 元

内 容 提 要

本书为国家自然科学基金“八五”重大项目“城市与工程减灾基础研究”第二阶段的成果论文集,包括城市与重大工程场地灾害危险性分析与损伤评估理论研究、灾害荷载作用下工程结构的可靠度与优化设计理论、典型中等城市综合防灾对策示范研究、铁路工程示范路段综合防灾对策研究及城市洪涝灾害对策研究等方面的论文 39 篇。本书适于从事防灾减灾工作的研究人员、高等院校师生、工程技术人员和管理人员等阅读。

编 辑 委 员 会

主 任	胡聿贤
副 主 任	谢礼立
委 员	(以姓氏笔划为序)
	王光远 刘树坤 那向谦
	周宏业 周雍年 徐植信
	赵振东
执行编辑	周雍年 黄 宾

责任编辑	刘云菁
封面设计	赵一东

目 录

I. 城市与重大工程场地灾害危险性分析与损伤评估理论研究

城市多种自然灾害损失评估的一般期望值方法·····	王海滋	肖光先	(1)
基于地理信息系统(GIS)和人工智能(AI)的地震危险性分析			
和信息系统——1995 年度进展报告 ·····	谢礼立	陶夏新	左惠强 (7)
GIS 与地震危险性分析模型的结合 ·····	左惠强	陶夏新	谢礼立 (15)
空间相关地震动场的确定方法 ·····	李小军	赵凤新	胡聿贤 (21)
空间小尺度情况下地震动相位差谱变化规律 ·····	李小军	胡聿贤	(28)
风危险性分析 ·····	章在墉		(37)
城市燃爆灾害分析中的拓扑理论应用浅析 ·····	邓正贤	崔京浩	熊志坤 (47)
建筑物烟气控制系统的计算 ·····	李引擎	段日强	季广其等 (52)
火灾燃烧的毒气效应 ·····	李引擎	季广其	李淑惠等 (58)
建筑装饰材料防火分级的试验研究 ·····	李引擎	季广其	李淑惠等 (64)
LPG 贮配站危险性模糊综合评价 ·····	熊志坤	崔京浩	(70)

II. 灾害荷载作用下工程结构的可靠度与优化设计理论

抗灾结构最优设防水平决策的实用方法 ·····	王光远	顾 平	(75)
地理生命线网络工程的抗震优化布局 ·····	陈艳艳	王东炜	王光远 (82)
灾害荷载下结构设计理论的若干问题 ·····	程耿东	蔡文学	蔡 悦等 (88)
工程抗震设防标准的若干问题 ·····	高小旺	李 荷	邵卓民等 (95)
房屋建筑的抗震分类与设防标准·····	邵卓民	龚思礼	(101)
拱坝非均匀多点输入的抗震可靠度分析·····	陈厚群	梁爱虎	杜修力 (107)
强地震动和地震动场研究及其在高拱坝抗震可靠度			
分析中的应用·····	杜修力	陈厚群	(116)

III. 典型中等城市综合防灾对策示范研究

GIS 系统用于城市综合防灾减灾研究·····	赵晓华	陈志远	刘金伟等 (123)
-------------------------	-----	-----	------------

风灾出现概率模型及在汕头抗风减灾上的应用·····	张相庭	(128)
房屋震害预测图形智能系统的结构模块设计和在鞍山市 示范小区中的实现·····	王治山 杨雅玲 杨玉成	(131)
城市综合防灾的结合点和在鞍山市的示范研究·····	杨玉成 王治山 杨雅玲等	(135)
溶洞塌陷的一种计算方法·····	杨升田 李 森 王金喜	(141)
唐山市震后新建房屋的特点和抗灾能力的评定方法····· ·····	张维岳 李 荷 高小旺等	(148)
唐山市岩溶塌陷概率预测模型·····	苏经宇 周锡元 樊水荣等	(155)
镇江市综合防灾分析仿真系统·····	化 彬 江见鲸	(161)
镇江市消防指挥决策辅助系统的研制·····	王红林 任爱珠 季俊贤	(167)
镇江市城市燃气状况及安全性分析·····	熊志坤 崔京浩	(173)

IV. 铁路工程示范路段综合防灾对策研究

铁路线段灾势区划方法的研究·····	姚令侃	(179)
平原铁路洪水灾害风险分析初探·····	王 群 张佰战 胡敏良	(184)
铁路示范路段滑坡特征及其与环境背景的映射分析····· ·····	潘卫东 王恭先 郑明新等	(191)
铁路滑坡破坏时间预报示范研究·····	廖小平 徐峻龄 李荷生等	(195)
铁路泥石流泄洪工程风险分析·····	王 韦 陈正林 沈寿长	(203)
斜拉桥地震反应的频响特性·····	陈幼平 周宏业	(209)

V. 城市洪涝灾害对策研究

城市洪水仿真模型实用化的研究进展·····	程晓陶 陈喜军	(217)
城市防洪除涝新设施规划设计方法研究·····	铁灵芝 丁龙江 廖文根	(223)
广州市洪水灾害评估概要·····	向立云 陈 浩	(232)
广州城市防洪减灾专家系统的设计与开发·····	刘 斌 翁文斌	(237)
广州城市洪涝预报调度模型的研究·····	张建新 惠士博 翁文斌	(247)

城市多种自然灾害损失评估的一般期望值方法

王海滋

(同济大学经济管理学院, 上海 200092)

肖光先

(同济大学结构理论研究所, 上海 200092)

摘 要

考虑到自然灾害的随机性特点, 本文提出了城市多种自然灾害(以地震灾害为例)灾害损失期望值和方差计算的一般数学模型, 该模型使地震等自然灾害损失的评估工作简便易行, 而且为计算机模拟、可靠性分析、定性和定量分析的充分结合等等提供了可能性。

关键词: 灾害损失评估 地震灾害 灾害经济学

城市是一定区域范围内政治、经济、文化的中心。城市具有空间的集中性, 人口的密集性, 经济的多样性、聚集性、开放性和高效性, 社会活动的广泛性等特点。随着社会经济的发展, 一方面城市的数量将会越来越多, 规模越来越大; 另一方面, 就城市的性质来说, 上述特点将会越来越突出。根据联合国公布的统计资料, 从1900年到1976年的76年间, 全世界有450万人死于地震、火山喷发、洪水、滑坡、雪、台风、暴雨和龙卷风等自然灾害, 3.22亿人因之受伤或失去了自己的家园, 损失上千亿美元, 其中城市占82%。我国的城市还具有如下特点:

一是城市人口密度大, 建筑物密度大, 人均占地面积小。如上海市的人口密度是发达国家人口密度最大的日本东京的2.6倍, 其市中心人口密度达5万人/平方公里。

二是老、旧城市多。由于大多数城市历史悠久、建城史长, 城市建设缺乏统一规划, 遭到地震时城市建筑物破坏更严重, 在混合功能区更易发生火灾等次生灾害, 而且救灾困难。

三是城市基础设施薄弱。一方面存在着基础设施布局不合理, 规格不统一, 技术设备落后, 施工质量差等特点; 另一方面, 基础设施多系网络系统, 本身就存在着薄弱性, 致使基础设施抗震能力差, 极易受损。

从发展的角度来看, 城市地震灾害并不一定随城市文明和科技进步而同步减少, 这一点已被国内外多次城市地震灾害所表明; 相反, 随着现代文明的发展, 城市地震灾害严重程度也可能呈递增趋势。如据美国科学家预测(日美减轻城市地震灾害讨论会文集, 1985), 由于人口密度的大大增加, 如再次发生1906年旧金山那样的大地震, 旧金山和洛杉矶的死亡人数将分别是1.1万人和1.4万人, 受伤人数将分别达4.4万人和5.5万人。其财产损失北加州为380亿美元, 南加州为170亿美元。其综合损失可能是1906年地震的数十倍(1906年旧金山地震死亡700余人, 经济损失4亿美元)。

另外由于严重的地震灾害往往要几十年甚至上百才能遇到一次, 而不像风灾、水灾、火灾等几乎年年都遇到, 因而提起地震灾害往往被人们忽略, 而不像其它灾害那样容易引起人们的高度重视。

1 一般数学模型

1.1 基本假设

1. 某工程项目使用寿命为 H , 根据一般防灾工程的特点, 假设 H 是比较长的, 至少为十几年到几十年。针对第 K 种自然灾害, 已采取第 j 种防灾工程措施。

2. 第 K 种自然灾害灾害强度 I 是一个随机变量, 其概率密度函数记为 $f_1(I, t)$, $t \in [0, H]$ 。有时将 I 离散成 $I_1, I_2, \dots, I_n$ (如地震烈度 VI、VII、VIII、IX 等等), 其各自的概率密度函数分别为 $f_{11}(I_1, t), f_{12}(I_2, t), \dots, f_{1n}(I_n, t)$, 并且进一步假定 $I_1, I_2, \dots, I_n$ 是相互独立的。

3. 在第 K 种自然灾害的作用下, 工程结构的破坏程度 D 是服从概率密度函数为 $f_2(D|I_i, t) \{D \in [0, H]\}$ 的随机变量 (D_u 为结构破坏上限)。

4. 一旦工程结构遭受到第 K 种自然灾害 D 程度的破坏, 则将造成一定程度的经济损失, 它是服从概率密度函数为 $f_3(S|D, t) \{S \in [0, S_u], t \in [0, H]\}$ 的随机变量 (S_u 为经济损失上限)。

上述四项假设, 一是关于研究对象即受灾体的界定; 二是灾害危险性分析; 三是易损性分析; 四是经济效果评价, 即灾害损失分析。

1.2 在单一灾害强度 I_i 作用下, 灾害损失的折现期望值

假设灾害发生的间隔时间是一个随机变量, 并且服从一定的概率分布。在工程项目的整个使用寿命期间, 投资过程是一个随机的时间序列。其投资活动的目的就在于对工程结构 (或其它防灾工程措施) “始终” 保持维护修理 (针对灾害破坏), 从而使工程结构 “始终” 处于完好状态。很显然, 一次性投资越大, 即防灾工程措施水平越高, 则在长期使用过程中的受灾程度越小, 所需长期维护性投资就越小; 反之, 一次性投资越小, 则需长期维护性投资就越大。为了理解方便起见, 我们仍称这种投资为灾害损失 (但本质上, 它是针对某种防灾工程措施 j , 在整个工程项目使用寿命期间所需支付的一种维护成本)。设 T 表示灾害强度为 I_i 的自然灾害第一次发生的时间, L'_i 表示 T 时刻以后 (即 $t \in [T, H]$) 由 I_i 造成的所有灾害损失 (直接经济损失) 的折现值 (折现到 T 时刻), L_i 表示整个随机过程 (即 $t \in [0, H]$) 由 I_i 造成的所有灾害损失的折现值 (折现到目前 0 时刻), 则有以下式:

$$L_i = \left(\int_0^{S_u} \int_0^{D_u} f_3(S|D, T) f_2(D|I_i, T) dD dS \right) \exp(-rT) + L'_i \exp(-rT) \quad (1)$$

式中, r 为名义折现率。

显然, L_i 是一个随机变量。假设 L'_i 与 T 是相互独立的, L_i 与 L'_i 服从相同的概率分布, $E(L_i) = E(L'_i)$, 又假设随机变量 T 的概率分布函数为 $F_i(I_i, t)$, 对上式两边求均值, 则有

$$L_i = \int_0^H \delta_i \exp(-rt) dF_i(I_i, t) + L_i \int_0^H \exp(-rt) dF_i(I_i, t)$$

$$L_i = \frac{\int_0^H \delta_i \exp(-rt) dF_i(I_i, t)}{\int_0^H (1 - \exp(-rt)) dF_i(I_i, t)} \quad (2)$$

L_i 表示在整个工程项目使用寿命期间, 由灾害强度为 I_i 的第 K 种自然灾害所造成的全部直接经济损失折现期望值。

式中, δ_i 为

$$\delta_i = \int_0^{S_u} \int_0^{D_u} f_3(S|D, t) f_2(D|I_i, t) dD dS$$

δ_i 表示在 t 时刻发生一次灾害强度为 I_i 的第 K 种自然灾害时所造成的平均直接经济损失。

1.3 在单一灾害强度 I_i 作用下, 灾害损失的方差分析

在(1)式中, 对随机变量 L_i 求方差 $\sigma_i^2(L_i)$, 其大小反映了灾害损失的离散程度。由于假设 L_i 和 L'_i 服从相同的概率分布, L'_i 与 T 是相互独立的, 则有: $\sigma_i^2(L_i) = \sigma_i^2(L'_i) = E(L_i^2) - l_i^2$, 令 $\beta_i = E(L_i^2) = E(L'^2_i)$, 则由(1)式可得

$$\begin{aligned} \beta_i &= E[\delta_i \exp(-rT) + L'_i \exp(-rT)]^2 \\ &= E\{[\delta_i \exp(-rT)]^2 + 2\delta_i \exp(-rT) L'_i \exp(-rT) + [L'_i \exp(-rT)]^2\} \\ &= E\{[\delta_i \exp(-rT)]^2\} + 2l_i E[\delta_i \exp(-2rT)] + \beta_i E[\exp(-2rT)] \end{aligned}$$

则有

$$\beta_i = \frac{E\{[\delta_i \exp(-rT)]^2\} + 2l_i E[\delta_i \exp(-2rT)]}{1 - E[\exp(-2rT)]} \quad (3)$$

因而可计算出随机变量 L_i 的方差为: $\sigma_i^2(L_i) = \beta_i - l_i^2$ 。

1.4 在各灾害强度 $I_i (i=1, 2, \dots, n)$ 综合作用下, 灾害损失折现期望值及其方差

如果在(1)式中, 综合考虑第 K 种自然灾害各种灾害强度 $(I_1, I_2, \dots, I_n)$ 在整个使用寿命期间对工程结构的破坏作用, 则可得到第 K 种自然灾害造成的全部直接经济损失折现期望值如下式:

$$l(K) = \sum l_i = \sum \frac{\int_0^H \delta_i \exp(-rt) dF_i(I_i, t)}{\int_0^H [1 - \exp(-rt)] dF_i(I_i, t)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

而方差为

$$\sigma^2(K) = \sum \sum \sigma_i \sigma_h \gamma_{ih} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

由于假设 $I_1, I_2, \dots, I_n$ 各灾害强度变量之间是相互独立的, 则有

$$\gamma_{ih} = 1 (\text{当 } i = h), \gamma_{ih} = 0 (\text{当 } i \neq h), i, h = 1, 2, \dots, n$$

所以有

$$\sigma^2(K) = \sum \sigma_i^2 \quad (6)$$

在式(4)、(5)、(6)中, $l(K)$ 和 $\sigma^2(K)$ 分别表示整个工程项目使用寿命期间, 在第 K 种自然灾害各灾害强度的综合作用下, 全部灾害损失(直接经济损失)的折现期望值和方差。

1.5 第 K 种自然灾害防灾工程投资的效益评价

以补偿准则为例进行评价, 即使防灾工程投资额小于等于因防灾工程实施所达到的灾害损失减少额。

对第 K 种自然灾害来说, 假设实施第 j 种 ($j=0, 1, \dots, m; j=0$ 表示不设防) 防灾工程措施所需一次性投资额为 $C_j(K)$, 则可计算出其相应的灾害损失折现期望值 $l_j(K)$ 。由下式即可求得防灾工程投资益本比:

$$BE_j/CO_j = [l_j(K) - l_0(K)]/[C_j(K) - C_0(K)]$$

式中, $C_0(K)$ 、 $I_0(K)$ 分别表示不设防时的投资额及相应的灾害损失折现期望值。益本比 BE_j/CO_j 应大于 1, 不同方案比较时, 以益本比最大者所对应的方案为最优方案。

如果设内部收益率 r 为未知参数, 则由下式可求得 r :

$$NPV_j(r) = [I_j(K) - I_0(K)] - [C_j(K) - C_0(K)] = 0$$

这里 $NPV_j(r)$ 表示净现值。由上式所求得的内收益率 r 应大于行业的基准收益率或设定的折现率。

1.6 城市多灾种防灾工程投资效益的综合评价

对于某一城市、某一个区域、甚至一个国家范围内的减灾工程来说, 必须综合考虑各灾种对经济社会的危害性, 将有限的资金用在刀刃上, 从而使综合减灾工程效益 B 达到最大化, 其数学模式如下:

$$B = \max \sum \{[I_j(K) - I_0(K)] - [C_j(K) - C_0(K)]\}$$

约束条件:

$$\sum C_j(K) \leq C^u$$

式中, $C_j(K)$ 表示用于第 K 种自然灾害第 j 种防灾工程措施的工程投资额; C^u 为资金资源约束上限。

2 地震灾害损失评估

对某工程项目来说, 假设在一定地震烈度 I_i 作用下, 工程结构的破坏程度及与一定破坏程度相对应的灾害损失均不随时间而变化, 即概率密度函数 $f_2(D|I, t)$ 和 $f_3(S|D, t)$ 均不随时间而变化, 则在(2)式中 δ_i 为

$$\delta_i = \int_0^{S_u} \int_0^{D_u} f_3(S|D, t) f_2(D|I_i, t) dD dS = \hat{S}_i \hat{D}_i$$

式中, $\hat{D}_i$ 表示在 I_i 作用下工程结构的平均破坏程度; $\hat{S}_i$ 表示平均灾害损失(对应于 $\hat{D}_i$)。对于地震烈度 I_i 来说, 假设其概率分布函数为 $F_i(I_i, t) = 1 - \exp(-\lambda_i t)$, 其中 λ_i 表示强度为 I_i 的地震烈度年平均发生可能性。由(2)式可算得 l_i 为

$$\begin{aligned} l_i &= \frac{\int_0^H \delta_i \exp(-rt) dF_i(I_i, t)}{\int_0^H [1 - \exp(-rt)] dF_i(I_i, t)} \\ &= \frac{\hat{S}_i \hat{D}_i \int_0^H \exp(-rt) \lambda_i \exp(-\lambda_i t) dt}{\int_0^H [1 - \exp(-rt)] \lambda_i \exp(-\lambda_i t) dt} \\ &= \frac{\lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i \{1 - \exp[-(\lambda_i + r)H]\}}{r + \lambda_i \exp[-(\lambda_i + r)H] - (\lambda_i + r) \exp(-\lambda_i H)} \end{aligned} \quad (7)$$

由(4)式可算得在各地震烈度 I_i 的综合作用下, 工程项目在使用寿命期 H 内的地震灾害总损失的折现期望值为

$$l = \sum l_i = \sum \frac{\lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i \{1 - \exp[-(\lambda_i + r)H]\}}{r + \lambda_i \exp[-(\lambda_i + r)H] - (\lambda_i + r) \exp(-\lambda_i H)} \quad (8)$$

在(7)、(8)式中, 如果假设工程项目的使用寿命期 $H \rightarrow \infty$, 则可算得

$$l_i = \lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i / r$$

$$l = \sum \lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i / r$$

即:如果假设工程项目的使用寿命期是无限长的,则在单一烈度 I_i 作用下及各种地震烈度($i=VI, VII, VIII, IX$ 等)综合作用下的平均损失额约为 $\lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i$ 和 $\sum \lambda_i \hat{S}_i \hat{D}_i$ (其中 λ_i 表示地震烈度 I_i 的年平均发生率)。

同样,由(3)式可计算出 β_i 和方差 σ_i^2 :

$$\beta_i = \frac{\hat{S}_i \hat{D}_i \{1 - \exp[-(\lambda_i + 2r)H]\} (2l_i + \hat{S}_i \hat{D}_i) \lambda_i}{(\lambda_i + 2r) - \{1 - \exp[-(\lambda_i + 2r)H]\} \lambda_i}$$

$$\sigma_i^2 = \beta_i - l_i^2$$

而全部地震灾害损失折现期望值的方差 σ^2 为(假设各地震烈度变量 I_i 是相互独立的)

$$\sigma^2 = \sum \sigma_i^2$$

如果假设工程项目的使用寿命期 $H \rightarrow \infty$, 则可算得

$$\beta_i = \frac{\lambda_i (2\lambda_i + r) (\hat{S}_i \hat{D}_i)^2}{2r^2}$$

$$\sigma_i^2 = \beta_i - l_i^2 = \lambda_i (\hat{S}_i \hat{D}_i)^2 / 2r$$

$$\sigma^2 = \sum \sigma_i^2 = \sum \lambda_i [(\hat{S}_i \hat{D}_i)^2 / 2r]$$

3 结语

在上述一般数学模型推导过程中,以及在地震灾害损失评估的应用中,有几个问题仍有待进一步探讨。一是地震序列,特别是强余震的破坏作用;其次是同一灾种各灾害强度之间的相关关系问题。限于地震、工程等相关学科的发展水平,作者认为目前亦宜以计算机模拟对这两个问题加以考虑,并附加以定性分析。另外,在上述地震灾害损失评估时,为了简便而忽略了地震破坏作用和同等地震造成的经济损失(如室内财产损失等)。一般是随时间加大和递增这一客观现实,在实际评估工作中则必须予以考虑。

参 考 文 献

- 1 国家地震局震害防御司未来地震灾害损失预测研究组. 中国地震灾害损失预测研究. 见: 中国地震灾害损失预测研究专辑(一). 北京: 地震出版社, 1990
- 2 肖光先. 现有建筑物抗震可靠度和加固经济评价. 地震工程与工程振动, 1991; 11(2)
- 3 郭增建, 陈鑫连主编. 城市地震对策. 北京: 地震出版社, 1991
- 4 章在墉编著. 地震危险性分析及其应用. 上海: 同济大学出版社, 1995
- 5 胡聿贤等主编. 重要工程中的地震问题. 北京: 地震出版社, 1987
- 6 陈寿梁等主编. 抗震防灾对策. 郑州: 河南科学技术出版社, 1988
- 7 胡聿贤著. 地震工程学. 北京: 地震出版社, 1988
- 8 Washburn Alan. Present Values with Renewals. Management Science, 1992, 38(6): 846~850
- 9 Young D. and Conireras L. Expected Present Worths of Cash Flows under Uncertain Timing. The Engineering Economist, 1975, 20: 257~268

THE GENERAL EXPECTED VALUE METHOD OF URBAN MULTIPLE DISASTERS LOSS EVALUATION

Wang Haizi

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai)

Xiao Guangxian

(Institute of Structural Theory, Tongji University, Shanghai)

ABSTRACT

Considered the stochastic characteristics of natural disasters, in this paper, the general evaluation method about expected value and variance of urban multiple natural disasters losses (take seismic disaster loss evaluation as an example) are presented. The application of this method in seismic disaster loss evaluation is simple and convenient, which supplies a feasibility for computer simulation, reliability analysis and qualitative analysis added to it.

KEY WORDS: Disaster loss evaluation Seismic disaster Disaster economy

基于地理信息系统(GIS)和人工智能(AI) 的地震危险性分析和信息系统 ——1995 年度进展报告

· 谢礼立 陶夏新 左惠强

(国家地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080)

摘 要

本文介绍了子课题 1995 年的进展情况: (1) 空间数据库增加了历史地震等震线数据; (2) 实现了 GIS 与地震危险性分析模型的结合, 在不同环境下进行数据交流、功能模块调用和系统集成; 建立了“基于 GIS 和 AI 的地震危险性分析系统(GIS-SHA)”; (3) 完善了在 GIS 支持下识别潜在震源区和调整潜源区地震活动性参数加权分配系数的方法, 改进了地震危险性分析计算方法, 形成了一套在 GIS 支持下进行地震区划的方法; (4) 用建立的 GIS-SHA 系统对太原-临汾地区试做了地震动区划, 给出了由 GIS 管理的地震动区划图, 为我国新一代地震动区划图的编制做了技术上的准备。

关键词: 地理信息系统 人工智能 地震危险性分析

1 前言

鉴于以 GIS 为代表的计算机信息技术在城市与工程减灾研究中的广阔应用前景, 今年 3 月份大课题曾在清华大学举办过“城市与工程减灾中计算机新技术应用研讨会”。不同领域的与会代表一致认为: 本课题中有关应用程序的研制开发, 一定要以 GIS 为基础, 才能使研究水平上一个新台阶。在大课题中, GIS 的研究与应用已形成一大热点, 成为联结各子课题的纽带。

GIS 作为一种空间分析工具, 具有空间实体定义、空间查询和空间分析能力, 这是 GIS 区别于其它计算机系统的重要标志。城市与工程减灾是对自然灾害进行预测、预防和对策的过程, 空间性是其重要的一面。大课题中各个研究领域都需要对空间信息进行管理和分析的工具, 以 GIS 为代表的空间信息技术(GIS、RS、GPS)正好担当了这样的使命。

现已普遍认为, 空间分析功能是 GIS 的中心。以前各专业领域建立了大量的分析模型, 大多难以进行完善的空间描述, 没有直观的图形信息, 不便指导实践, 也就是经常提到的“可操作性差”的问题。GIS 将定量分析和空间分析结合起来, 给区域分析提供了有力的新型思维工具。

GIS 软件工具和 GIS 应用系统具有不同的侧面。前者将通用的功能集成在一起, 后者则是 GIS 在某一领域的具体应用, 面向任务和目标。对于子课题而言, GIS 应用系统是努力的目标, 研究工作的重点是将 GIS 与地震危险性分析模型的结合。

本子课题今年的工作进展有下列几方面:

1. 对研究的工作区增加了历史地震等震线数据, 选择了有代表性的历史等震线图 41 幅建

库,实现了借助 GIS 的功能交互式量取地震烈度衰减参数和自动编制综合等震线图,使编图效率大大提高。这些等震线图既可表现历史上地震灾害的分布,也可用作估计设定地震(Scenario Earthquake)影响场的基础。

2. 研究了 GIS 与地震危险性分析模型的结合,实现了不同环境下进行数据交流、功能模型调用和系统集成。在此基础上建立了“基于 GIS 和 AI 的地震危险性分析的系统(GIS-SHA)”。

3. 完善了 GIS 支持下划分识别潜在震源区的方法,以及根据潜源方案的改变而自动调整潜在震源区地震活动性参数加权分配系数的方法。

4. 运用建立的系统 GIS-SHA 对太原-临汾地区进行了试验性地震动区划,给出了不同超越概率下的基岩 PGA、基岩 $S_{a0.3}$ 和 $S_{a1.0}$ 的区划图,提供的基岩设计反应谱可与现行规范的结果进行比较;提供了设定地震的影响;检验了 GIS-SHA 的运行情况,为我国地震动区划图的编制做了技术准备。

2 基于 GIS 和 AI 的地震危险性分析系统(GIS-SHA)

GIS-SHA 是一个在 Windows 和 PC ARC/INFO 环境下运行的地震危险性分析系统。系统将 GIS、AI、DBMS 统计分析和地震危险性计算等集成于一体。系统集成于 Windows 平台,用户界面具有 Windows 风格,实现多任务操作,提高了用户的工作效率,分析结果具有良好的可视性。图 1 表示了系统的基本框架。

2.1 系统 GIS-SHA 的组成结构

系统主要由四个部分组成(其组成结构如图 2 所示):

(1) 地理信息系统 用于获取、存贮、更新、查询、操作分析和显示输出空间相关信息,主要由空间数据和工具软件 PC ARC/INFO 组成。它为其它分析计算模块提供数据基础,经分析计算得到的结果做为空间数据库的一部分进行管理,它要经常与其它模型进行数据交流。

(2) 人工智能 主要采用了人工神经网络技术,用于估计一个地震区带未来某一时段的地震活动趋势和识别潜在震源区。

(3) 数值计算 指与地震危险性分析相关的数值计算分析,如地震危险性计算,重现关系、衰减关系的统计等。

2.2 GIS-SHA 的运行环境

系统在 Windows 和 PC ARC/INFO 环境下运行。PC ARC/INFO 是一种命令式地理信息系统,它的操作和运行通过一

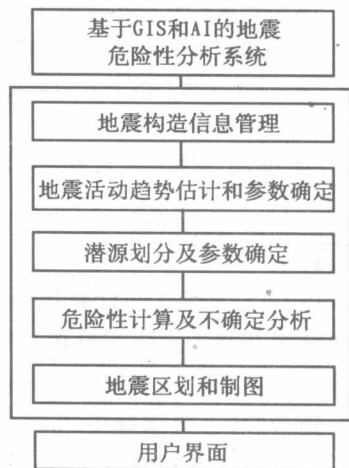


图1 系统的基本框架

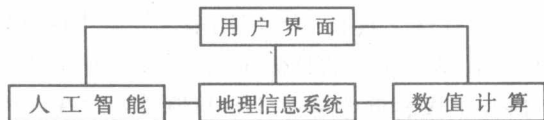


图2 系统的组成结构

系列简单的指令来完成。对于开发者来说,使用这些命令进行功能组合显得十分灵活方便。PC ARC/INFO 本身有一种简化的宏语言(Simplified Macro Language(SML)用来对指令进行各种组合,另外还提供一些简单的制作菜单的工具。

人工神经网络模块和数值计算模块是在 DOS 环境下运行的。用户界面由 SML 语言和 Visual Basic 语言编写。

目前系统已实现了在不同环境下数据交流、功能模块调用和系统集成。

2.3 系统的功能

系统具有五个方面的主要功能,下面分别予以介绍。

2.3.1 地震构造信息管理

由 GIS 管理地震及构造和其它危险性分析相关信息。

(1) 空间数据库的组成 建库的空间范围大约为 $109^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 。目前,系统中包括的数据信息有:活动断裂、破坏性地震、仪器记录地震、历史地震等震线、地震带、潜在震源区、区域网格、行政区划、城市、烈度区划图(1990)等。

(2) 地震构造信息的管理 地震构造信息的管理,如更新、增删、存贮、查询、显示、空间指标量算、不同比例尺的转换、投影转换、地图设计和出版等工作更加迅速且能保持精度,使不同信息源的数据与图形坐标的精确自动配准成为可能,为进一步的分析工作提供了有力的支持。

(3) 空间操作和分析 系统提供了丰富的空间操作与分析的功能,如产生 Buffer,空间叠合、抽取、替换、选择、表分析等,用以研究空间特征的相关性并产生新的数据集合。

(4) 综合等震线图的编制 综合等震线图是将历次地震的等震线综合在一张图上,显示各地区遭遇过的最大地震烈度,即强震造成破坏的空间分布。它是编制地震区划图的一张基础图件,为认识强烈地震的空间分布特征、地震活动强度与地质构造条件的关系和各地区地震影响特征等提供重要信息。由于历史地震等震线图具有不同的投影、比例和精度,以前编制综合等震线图要花费大量的人力物力。借助于 GIS,编制工作就容易得多。将不同来源的等震线图转换成相同的投影方式和比例,然后将它们叠合(Overlay)在一起,按“取大舍小”的原则确定最大烈度的外包线,就可以完成这项工作,实现综合等震线图的自动生成。图 3 表示了经验综合等震线图(按衰减规律),图 4 表示了利用 41 幅实际等震线图得到的综合等震线图。

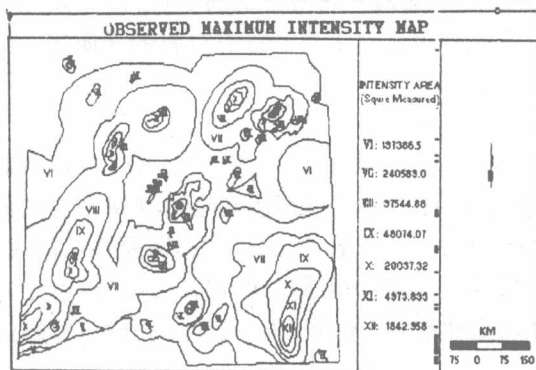


图 3 综合等震线图(实际资料)

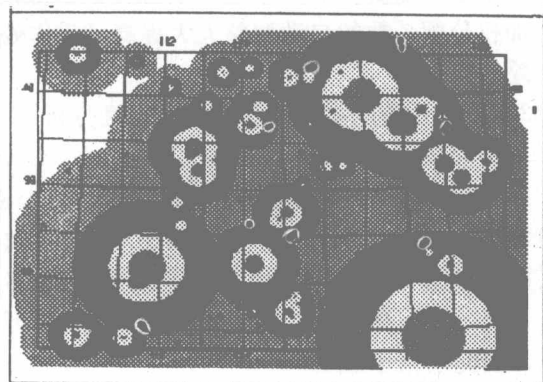


图 4 综合等震线图(根据衰减规律)

(5) 网格空间特征参数的提取 研究区域被划分成相同大小(10 km×10 km 或 20 km×20 km)的网格。网格空间特征参数用以描述网格内空间特征的性质,如网格内断层的条数,是否有交叉等。这些特征参数可以通过 STIS 的空间操作功能自动被提取,提取的结果做为人工神经网络、模糊综合评判以及模式识别方法识别在震源区的输入。图 5 表示了断层交叉识别结果,图 6 表示了用 ANN 方法识别的潜源震级上限。

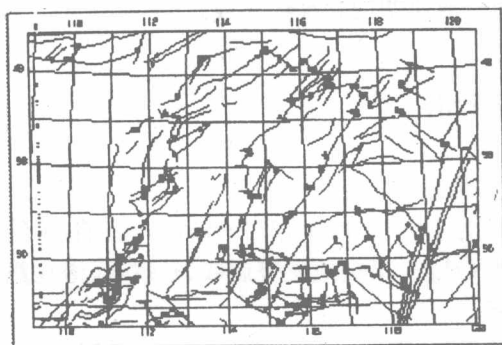


图 5 活动断层交叉识别结果

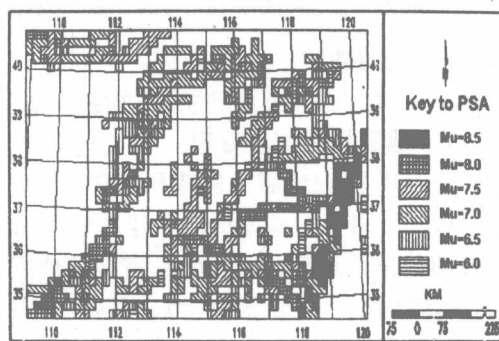


图 6 人工神经网络方法识别的震级上限

2.3.2 地震活动性趋势估计和参数确定

以图形方式显示破坏性地震的空间分布,选择某一空间范围(一般为地震带)进行时序分析,绘制 M—T 图, E—T 图和 N—T 图,挑选合适的时间段,构成人工神经网络的训练样本,并训练网络,用实际的数据内检网络的可靠性。然后将其用于估计未来 50 年地震活动的趋势(活跃、平静、能量释放阶段),进而在统计地震活动性参数时考虑这些因素予以适当调整。

2.3.3 潜在震源区划分及确定参数

以图形方式显示活动断裂和破坏性地震的分布,可以在计算机屏幕上直接勾划潜在震源区,或者利用已有的潜源划分方案,或者利用本文提出的人工神经网络方法识别潜在震源区。可对潜在震源区的边界进行交互式修改,统计破坏性地震落在相应潜源中的数目并挑选最大震级,对潜在震源区的参数进行调整,对潜源的年平均发生率加权分配系数进行自动归一。由于每个潜源边界的修改和加权分配系数的调整都会影响到其它潜源的参数,潜源年发生率加权分配系数的自动调整大大提高了工作效率。系统可挑选对工程场址有贡献的潜源用于危险性计算。

2.3.4 地震危险性计算和不确定性分析

参数输入:(a)选择地震动参数(A_a 、 A_v 、 PGA 、 PGV 、 $S_{a0.3}$ 、 $S_{a0.1}$ 、 S_{max} 、 T_g 、 I);(b)场地参数(工程场点或空间网格);(c)地震动值;(d)超越概率水平;(e)选择地震动衰减规律并绘图显示;(f)选择危险性分析计算模型。以上参数在系统中均有缺省值,用户可根据需要进行修改。系统提供 10 个超越概率的地震动值,可对多种方案(输入参数、衰减规律、潜源方案)进行分析计算,并用逻辑树方法分析不确定性。系统可计算确定性地震影响场,显示其空间分布,绘制地震动超越概率曲线。

2.3.5 区划和制图

将危险性分析结果作为网格空间特征的属性,可以给出任意超越概率水平的地震动区划