

地理信息系统在地震破坏和 损失评估中的应用^{*}

陈 颢 李革平 陈棋福 陈 凌 李闽峰

(中国北京 100036 中国地震局分析预报中心)

摘要 首先简要介绍了地理信息系统(GIS)的有关内容;接着对近年来 GIS 在地震损失评估方面的应用进行了综述,着重讨论了基于 GIS 进行区域地震破坏和损失分析的各种步骤;最后对近期编制完成的全球地震危险和损失评估的 GIS 应用软件——WorldRisk 做了系统介绍。

关键词 地理信息系统 地震破坏 损失估计

引言

区域的灾害减轻、资源分配、应急响应规划和保险决策等等许多重要方面,需要基于地震潜在破坏和损失的评估结果来实现;而综合性的地震破坏和损失研究所涉及的几类空间分布信息:潜在震源、局部场地条件、建筑和生命线等的易损清单,以及人口和经济分布的数据等,是地理信息系统(GIS)这一极好的计算机工具软件进行存储、维护和处理的数据库。同时, GIS 也是区域地震破坏和损失研究结果的良好展示工具。

1 地理信息系统 GIS

地理信息系统 GIS 是一种计算机化的以地理空间数据为基础资料的信息系统,即以计算机为应用平台,对已有的数据资料进行分析和成图的工具。顾名思义, GIS 处理分析的是与地理、位置或空间信息相关的数据,如地球上发生的地震事件等。 GIS 有别于一般信息系统的是它的特殊分析和模块处理能力(Gitis, 1997; Legashov, 1997)。

1.1 分析和模块处理能力

GIS 以图层的方式来管理地理和空间要素信息。如图 1 所示,它将世界或地区的信息用一系列与地理要素相关联的图层来链接表述,以方便其本身的分析和模块处理:叠加、空间关联、测量、空间数学分析和统计处理、信息查询报告和专业制图等。

GIS 的基本功能可以很好地与外部的专业应用软件相连接,例如:地震危险性计算程序(McGuire, 1976, 1993a)、数据库(RGCER, 1995)、专家系统(Sasorova, 1997)和卫星影像处理等。

^{*} 1998-03-16 收到初稿, 1998-07-14 收到修改稿并决定采用。

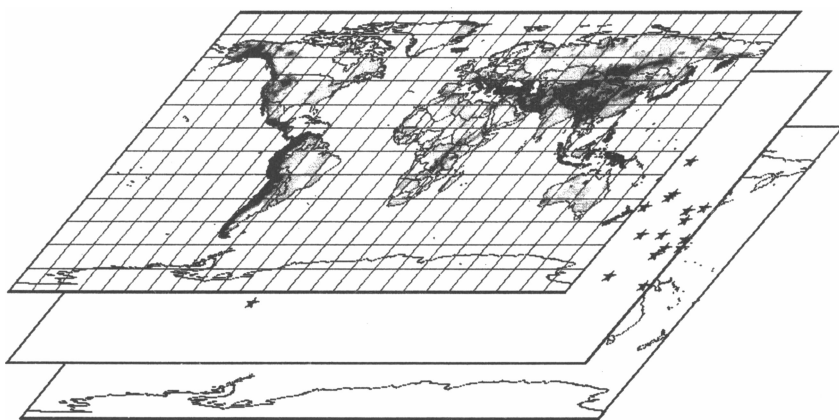


图1 地理信息系统的图层表示示例. 图中自底向上3层分别为:
大陆边界、震中分布和全球地震危险图层

1.2 数据及其管理

GIS中的数据大体可分为两类:一类是与地理图相关的基础数据或信息,包括点、线、面及其注释;另一类是与一些特定的需求相关的数据或信息,如在地震危险性分析和地震危害性分析中的地震目录、衰减关系等与描绘空间位置的地理坐标密切相关的数据,这类数据需经专业部门进行搜集.

目前,GIS使用的大量数据是来源于早已制作出版的纸图,通过数字化仪或扫描仪将纸图输入GIS,即完成纸图到合适的数据存储格式的转化,该过程称之为数字化.现代GIS技术发展具有了通过扫描自动处理大量数字化工作的能力,而这种功能的完成仅需进行一些小的手工数字化处理.目前,已有许多地理方面的数据以GIS可读的格式存储,这类数据得到后,可以直接进入GIS中使用.

本文将列举两个例子来说明GIS在地震破坏和损失估计中的应用.

2 区域地震破坏和损失估计

已有许多学者(Cornell, Merz, 1975; Rogers *et al.*, 1976; Steinbrugge *et al.*, 1981; RMS, 1995a, b, c)开展了区域尺度的地震破坏和损失估计研究,即通过4种基本步骤进行区域分析:地震动估计、次生灾害评估、易损性清单分类、破坏和损失分析.

2.1 地震动估计

广泛使用的地震动估计方法是确定性分析(Reiter, 1990; TERA Corporation, 1980)和概率性分析(Cornell, 1968; McGuire, 1993b).确定性分析由设定的控制地震选取、区域的基岩地震动衰减(Campbell, 1981)和局部地质条件下的基岩震动修正3步完成;概率性分析由可能的潜在震源识别(WGCEP, 1990)、地震事件发生模型(Vere-Jones, 1992; 高孟潭, 1996)、区域的基岩地震动衰减(Jin, 1992)和所有潜源的综合分析(胡聿贤, 1990)等4步构成.无论是确定性还是概率性分析方法,地震动的计算都可以在地理信息系统下分成4种步骤来实现(图2),即首先根据震中目录和断层方位数据确定潜在震源,也就是给出震级 M 和每一潜在震源的平均回归周期;第2步是使用衰减关系计算距潜在震源 d 处的基

岩峰值加速度(PGA, 图 2 中的图层 1); 第 3 步则是考虑场地土壤条件对地震动的影响, 即土壤的放大效应(图 2 中的图层 2); 最后, 综合上述 3 步给出场点的地震动参数(图 2 中的图层 3).

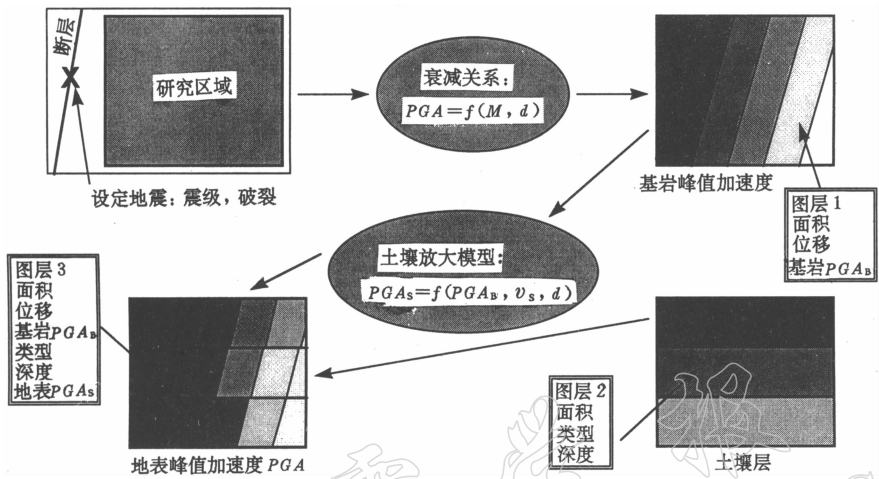


图 2 基于 GIS 的地震动估计. 图中 M 为潜在地震的震级, d 为场-源距离, v_s 为土壤层中 S 波速度

2.2 次生灾害评估

次生灾害指的是因地震发生的灾害, 包括: 液化、滑坡、地表裂缝水患、地震导致的火灾等等. 分析次生灾害的方法有两种: 一种是被广泛使用的经济简便的方法, 即利用以高、中、低分档的已有图件或灾害区划结果; 另一种则是根据土壤条件、湿度数据、先前发生的地表破裂、地震动大小、坡度和基岩深度等资料建立的经验性或解析模型(胡聿贤, 1990)的分析计算. 图 3 给出了 GIS 下的液化和滑坡灾害分析的示例, 即利用地表 PGA_s 和地下水位深度数据 D_w 评估液化(LI)灾害, 以及利用地表 PGA_s 和坡度 S 评估滑坡灾害(SI)的地表峰值位移(PGD).

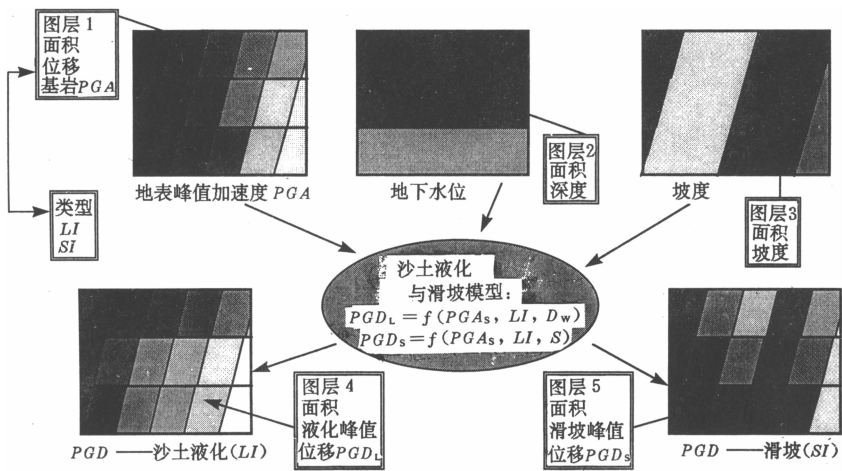


图 3 GIS 下的次生灾害评估: 沙土液化和滑坡分析

2.3 易损性清单分类

在地震破坏和损失评估的易损性分析中(ATC, 1985), 所有的易损性设施依据结构类型或使用目的进行分类, 得到所需的位置、功能和结构类型等信息, 并获得所需的局域社会和经济信息数据. 根据已有的结构和功能类型, 对搜集到的设施结构进行分类和分配, 或基于启发式的规则, 推断遗失的信息和结构分类, 由此, 这类相关信息的大部分就可以从公共或私有渠道的现存数据库(PELEM, 1989; Chen *et al.*, 1992, 1996)中获取.

2.4 破坏和损失评估

影响地震破坏和损失的主要因素(或现象)是(ATC, 1985): 地震动严重程度或烈度、结构物或设施的类型和工程特性、次生灾害、结构物或设施的占用率和使用情况、总财富(人口、社会经济环境、生命线工程等等). 在这些因素中, 第 1 个是由地震危险性分析得到的直接结果, 其它则与地震损失的易损性相关. 易损性是地震的发生在当地造成的期望损失程度, 以 0(无破坏)至 1(完全破坏)的数值表示.

最常用的也是最直接的地震破坏的表述是美元损失比率(损失率)和被破坏的建筑物的比率(破坏率). 对任何设施或设备, 可以由上述表达方式导出几乎任何类型的地震损失. 这里, 损失率(Damage Factor)和破坏率(Damage Ratio)定义为

$$\text{损失率}(DF) = \frac{\text{地震损失}}{\text{重置价值}} \quad (1)$$

$$\text{破坏率}(DR) = \frac{\text{破坏的建筑物数}}{\text{建筑物总数}} \quad (2)$$

在同一地震烈度下, 一组类似的结构, 其平均损失率定义为

$$\text{平均损失率}(MDF) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\text{损失})_i}{(\text{重置价值})_i} \quad (3)$$

式中, n 为样本中结构物的数目. 从给定的地理区域内的统计样本数据, 可以计算破坏率和平均损失率. 表征这些参数与地震动烈度关系的曲线被称为地震动-破坏关系曲线(Steinbrugge *et al.*, 1969).

类似地, 地震造成的损失可作为结构和生命线与社会经济数据破坏的函数进行计算. 一般情况下, 损失由修复和重置价值、商业收入损失、人员伤亡、无家可归者等表述. 图 4 展示了 GIS 下的破坏和损失估计的基本步骤. 图 4 中图层 1 各圆点代表了各类建筑物的地理分布; 图层 2 代表了地表峰值加速度的地理分布. 根据各类建筑物的破坏与峰值加速度、破坏因子与损失的关系, 可以得到建筑物的破坏和损失分布, 如图 4 中图层 3 所示.

总之, GIS 为大区域的地震破坏和损失研究的实施提供了理想的平台, 在 GIS 下能方便地评估大震发生导致的社会经济影响. 假如给定了地震参数和平均损失率(MDF), 则利用 GIS 平台下的分析方法, 可以得到设定地震引起的直接损失及其分布. 在 GIS 平台下进行区域地震破坏和损失估计的必要数据是: 震中目录、地表地质资料、断层位置分布、基岩深度、钻孔数据、地下水深分布、结构物清单、经济数据和人口分布.

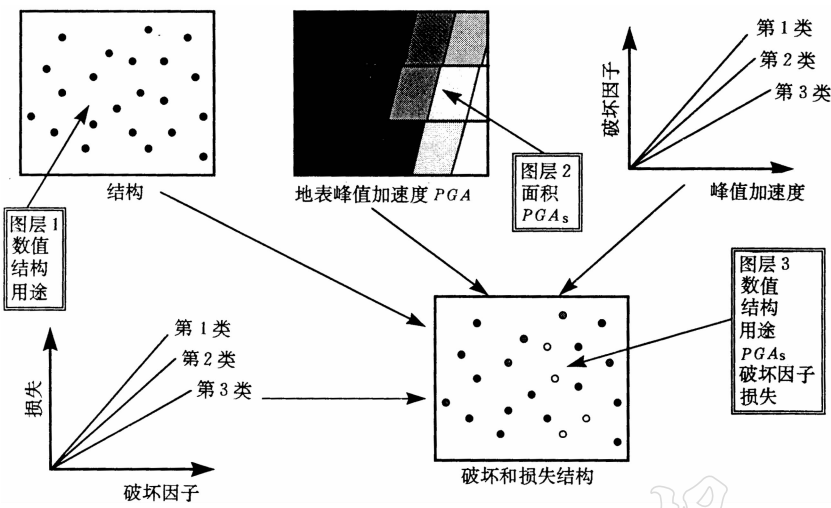


图 4 GIS 下的地震破坏和损失估计

3 全球地震损失估计

本研究的第 2 个 GIS 应用示例是全球地震损失估计。大多数地震损失研究采取易损性清单方法，即通过评估研究区内各类建筑结构和设施的预期损失，并将分类损失累加得到总损失估计。这类方法需要建立详细的社会财富分类系统及其数据资料，但在世界上许多地区并没有容易搜集使用的这种资料。因此，陈棋福等(1998)提出了基于宏观经济指标(如 GDP 和人口资料)进行地震损失预测评估的方法，并对搜集到的 1980~1995 年间全球震灾资料进行分析，以地震的破坏烈度为基础得到了地震损失与 GDP 间的经验关系式。通过将全球的陆地以 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 为单元划分网格，并根据网格格点的人口和所属区域的人均 GDP 值，计算得到单元格点的 GDP 值，进而使用地震损失和 GDP 的经验关系，与地震危险性分析给出的地震概率得出预期的地震损失，得到地震烈度 VI 及 VI 以上的全球地震损失分布图。采用易于更新获取的社会经济数据作为地震易损性分析的基础。该方法可方便地用于在没有详细建筑设施分类数据的区域进行地震损失评估；对于世界上经济发展快速的地区，该方法很容易通过社会经济数据的及时搜集和更新，得到新的地震损失估计结果。

3.1 全球地震损失 WorldRisk

WorldRisk 是由陈棋福等(1998)开发的进行地震损失估计的软件包，它是根据上述简便分析方法设计的、用于分析和展示全球地震损失评估的 GIS 应用程序。该程序运行在 Windows 平台下，极易于具有 Windows 使用经验的人学习使用。

根据良好设计的规划和准则而完成的成功的 GIS 应用，应能包含模块实现使用者的独特操作实践。WorldRisk 应用程序，包含了新提出的采用面源模型的地震危险性分析(刘杰等，1998)和利用 GDP 与人口数据的地震损失分析(陈棋福等，1998)方法，使 WorldRisk 建立在科学的 GIS 模型基础上，其地震危险性分析和损失评估的过程可简要地表示成如下

3.2 数据资料

WorldRisk 应用程序中包含下列全球范围的数据资料：

- (1) 历史地震目录 (1800BC ~ AD1990, 美国地质调查局出版)；
- (2) 现代仪器记录的地震目录 (1964~1996 年, $M_{min}=4.5$)；
- (3) 1994 年人口数据 ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点精度)；
- (4) 地震烈度或峰值加速度 (PGA) 平均衰减关系；
- (5) 各国的国内生产总值 (GDP, 1994)；
- (6) 全球地震损失数据 (1980~1995).

3.3 WorldRisk 的产出

WorldRisk 的特色在于，提供了在有限资料下进行全球及区域性的地震危险和灾害合理评估的简便方法. 十分重要的是，WorldRisk 产出的一系列全球及区域的地震危险和灾害 (损失评估) 图可以随着新的精细资料进行定期更新. WorldRisk 已具有的地震危险和灾害的定量结果和信息包括：

- (1) 世界任何地点 (大陆或海洋) 在任意时间尺度不超越一定阈值的宏观地震烈度或地震动参数 (即质点加速度、速度或位移) 的概率；
- (2) 世界任何地点在任意时间尺度下的地震期望损失；
- (3) 评估全球或指定地区设定地震的地震危险和损失影响；
- (4) GIS 下特定分析结果的输出制图.

GIS 下的 WorldRisk 同时提供了进行实际地震损失快速评估和设定地震分析的功能.

4 结语

与以前传统的分析方法和制图过程相比，GIS 下的数据易于更新并能保证数据资料，尤其是易损性财富数据的实时性，仅需极少的工作时间和少量预算来维护和更新 GIS 下的数据.

应用 GIS 可以方便地生成用户特殊需要的报告和图件，基于 GIS 的 WorldRisk 能够以任意图层组合编制全球各地任何时间长度的各种超越概率条件下的地震危害评估结果，而且由于 GIS 能够同时显示相关图层的信息，减少了传统方法在不同图表间的频繁转换.

GIS 的应用可以方便地进行地震灾害分析，大大减少了原来因缺乏统一匹配的数据格式和计算机软件而需要的大量分析时间. 例如，在地震灾害分析基础上标识易损性地区，在 GIS 下已成为十分简单的操作.

集成在包括 PC 机上 GIS 软件中的用户界面良好的计算机技术，GIS 下地震危险和灾害评估方法的模块式应用设计，便于随着地震损失评估研究的进展进行应用模块改进，因而，GIS 的应用高度体现了方法的技术含量.

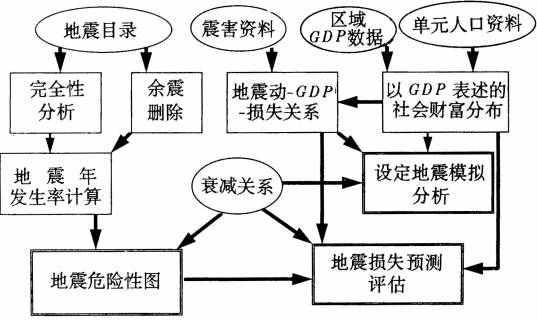


图 5 新的地震危险和损失分析方法的工作流程示意图

报

震害学

SEISMOLOGY

震害学

震害学

震害学

震害学

震害学

最后, 本文讨论的基于 GIS 的分析方法, 可以推广应用于其它自然灾害, 例如飓风和洪水. 其应用前景是十分广阔的.

参 考 文 献

- 陈棋福, 陈颢, 陈凌, 等, 1998. 全球地震灾害预测. 科学通报, 待发表
- 高孟潭, 1996. 基于泊松分布的地震烈度发生概率模型. 中国地震, **12**(2): 195~200
- 胡聿贤, 1990. 地震危险性分析中的综合概率法. 北京: 地震出版社. 185
- 刘杰, 陈颢, 陈凌, 等, 1998. 全球地震危险性评估的简化方法. 科学通报, 待发表
- ATC (Applied Technology Council), 1985. *Earthquake Damage Evaluation Data for California (ATC-13)*. Redwood City, California; Applied Technology Commission. 280
- Campbell K W, 1981. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bull Seism Soc Amer*, **71**: 2 039~2 070
- Chen Y, Chen X L, Fu Z X, *et al*, 1992. *Estimating Losses from Earthquakes in China in the Forthcoming 50 Years*. Beijing: Seismological Press. 60
- Chen Y, Chen X L, Fu Z X, *et al*, 1996. Estimating losses from future earthquakes in China. In: Schenck V(ed), *Earthquake Hazard and Risk*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 212~220
- Cornell C A, 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull Seism Soc Amer*, **58**(5): 1 583~1 606
- Cornell C A, Merz F A, 1975. Seismic risk analysis of Boston. *Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers*, **101**(ST10): 2 027~2 043
- Gitis V G, 1997. Information environment to study geotectonic process. *IASPEI 1997, Abstract*. IASPEI Meeting, Greece. 371
- Jin Y, 1992. Attenuation relation of intensity in China. *Earthquake Research in China*, **8**(4): 121~134
- Legashov M A, 1997. Applying GIS-technologies and AI-methods to forecast rock burst. *IASPEI 1997, Abstract*. IASPEI Meeting, Greece. 375
- McGuire R K, 1976. FORTRAN computer program for seismic risk analysis. *U S Geol Surv Open File Rept*, 76-67
- McGuire R K, 1993a. Computation of seismic hazard. *Annali di Geophysica*, **36**(3~4): 181~200
- McGuire R K(ed), 1993b. *The Practice of Earthquake Hazard Assessment*. Denver, Colorado, USA: International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. 284
- PELEM (Panel on Earthquake Loss Estimation Methodology), 1989. *Estimating Losses From Future Earthquakes*. Washington, D C: National Academy Press. 86
- Reiter L, 1990. *Earthquake Hazard Analysis*. New York: Columbia University Press. 254
- RG CER (Research Group of Chinese Earthquake Risk Prediction in Ten Years), 1995. *Atlas of Earthquake Risk Prediction in China*. Beijing: Science Press. 46
- RMS (Risk Management Solution), 1995a. *What if the 1923 Earthquake Strikes Again? A Five Prefecture Tokyo Region Scenario*. San Francisco: Risk Management Solution, Inc. 97
- RMS (Risk Management Solution), 1995b. *What if a Major Earthquake Strikes the Los Angeles Area?* San Francisco: Risk Management Solution, Inc. 85
- RMS (Risk Management Solution), 1995c. *What if the 1906 Earthquake Strikes Again? A San Francisco Bay Scenario*. San Francisco: Risk Management Solution, Inc. 81
- Rogers A M, Algermissen S T, Hayes W W, *et al*, 1976. A study of earthquakes losses in the Salt Lake City, Utah Area, *U S Geological Survey Open-File Report*, 76-89
- Sasorova E V, 1997. The interdisciplinary expert system structure for creating regional real time subsystem for seismic monitoring. *IASPEI 1997, Abstract*. IASPEI Meeting, Greece. 375
- Steinbrugge K V, Algermissen S T, Lagorio H J, *et al*, 1981. Metropolitan San Francisco and Los Angeles earthquake loss studies: 1980 assessment. *U S Geological Survey Open-File Report*, 81-113
- Steinbrugge K V, McGuire F E, Snow A J, 1969. *Studies in Seismicity and Earthquake Damage Statistics*. Appendix A, Washington, D C: U S department of Commerce, Coast and Geodetic Survey.
- TERA Corporation, 1980. *Seismic Hazard Analysis, A Methodology for the Eastern United States*. U S Nuclear Regulatory Commission. NUREG/CR-1582.2
- Vere-Jones D, 1992. Statistical methods for the description and display of earthquake catalogs, statistics in the environment and earth sciences. In: Walden A T, Guttorp P (Eds), *Statistics in the Environmental and Earth Sciences*. London: Edward Arnold. 220~246
- WGCEP (Working Group on California Earthquake Probabilities), 1990. Probabilities of large earthquakes in the San Francisco Bay Region, California. *U S Geological Survey, Open-File Report*, 1 053-51