

云南地震应急快速评估模型本地化集成研究*

曹彦波¹, 李兆隆¹, 李永强¹, 李敏¹, 张方浩¹, 赵恒¹, 吴艳梅¹, 杨昆², 张韶华²

(1. 云南省地震局, 云南昆明 650224; 2. 云南师范大学, 云南昆明 650500)

摘要: 通过评估模型库建立, 对策建议模板设计, 利用 COM 技术将模型库与 GIS 系统进行无缝集成, 研发了云南地震应急快速评估软件系统, 实现震后地震影响场速判, 人员伤亡、经济损失评估、专题图输出、对策建议生成等功能。经过 2012~2014 年云南 6 次 5.0 级以上破坏性地震检验, 系统评估结果满足灾情速判和应急辅助决策需求。

关键词: 地震应急; 人员伤亡; 经济损失; 评估模型

中图分类号: P315-39

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0148-07

0 引言

汶川、玉树地震应急实践表明, 震后 0~2 小时的黑箱期内, 如何快速获取灾情、快速判定救灾重点区域、合理部署救援队伍、调度救援部队、分配救灾任务等成为抗震救灾工作面临的首要问题(徐德诗, 黄建发, 2006; 侯建盛, 李民, 2008)。21 世纪初, 在国家“十五”项目“数字观测网络”建设推动下, 云南地震应急指挥技术系统建设完成并投入使用, 系统建成后, 填补了云南省地震应急科技保障技术平台的空白, 为云南省 20 余次 5.0 级以上破坏性地震应急处置工作提供了科技保障服务, 在提高破坏性地震应急响应服务能力方面发挥了积极作用(聂高众等, 2002; 姜立新等, 2003; 李永强等, 2006)。但是, 由于云南地处我国第一级阶梯向第二级阶梯过渡地带, 地貌复杂多样, 地形高差悬殊, 特殊多元化的地形地貌环境导致区域人口和经济分布很不均匀, 目前在线运行的地震应急快速评估系统具有一定的普适性, 系统中核心的评估模型(如烈度衰减模型、人员伤亡模型、房屋破坏模型、经济损失模型等)参数基本上还是全国或大区域的模拟参数, 未进行云南本地化处理, 计算结果与云南地震应急实践存在较大差异, 无法满足现阶段云南地震应急处置工作需求。

因此, 面对云南省严峻的地震形势和应急救援的实际需求, 结合地震行业专项研究成果, 笔者总结了云南地区的地震影响场模型、人员伤亡评估模型、经济损失评估模型、地震滑坡风险评估模型, 设计了应急专题图模板和对策建议模板, 基于 GIS 技术将模型进行本地化集成研发, 为应急救援投入、部署和行动提供可信的灾情服务, 提高了地震灾情紧急处置效率和评估精度(苗崇刚, 聂高众, 2004; 聂高众等, 2012)。

1 模型研究综述

地震灾害损失评估模型是进行震害评估的数学基础, 涉及到烈度衰减模型、人员伤亡评估模型、经济损失评估模型以及次生灾害评估模型等, 本文重点分析总结了云南地区烈度衰减、人员伤亡、经济损失 3 个主要的评估模型。

1.1 烈度衰减模型

烈度衰减模型是震后快速评估阶段各类模型计算的基础, 包括点源和线源模型。点源模型研究相对比较成熟, 目前用于云南地区进行震后影响场速判的模型有汪素云等(2000)、李世成等(2003)、李西等(2012)以及云南省地震局地震行业科研专项项目课题研究组^①提出的烈度衰减模型。

汪素云等(2000)选用中国西部 190 次 5.0 级

* 收稿日期: 2014-11-03.

基金项目: 地震行业科研专项(201108013)与地震应急青年基金项目(CEA_EDEM-201411)联合资助.

① 地震行业科研专项项目课题研究组. 2013. 西南地震应急对策新模式与关键技术研究报告.

以上地震回归得出的中国西部烈度衰减关系:

$$I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164 \lg(R_a + 26),$$

$$\sigma = 0.632. \quad (1)$$

$$I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943 \lg(R_b + 8),$$

$$\sigma = 0.632. \quad (2)$$

式中, I_a 、 I_b 分别为长、短轴烈度, M 为震级, R_a 、 R_b 分别为烈度为 I 时长、短半轴的长度, σ 为标准差。

李西(2012)选用1913~2008年在云南省境内及周边发生的140个破坏性地震,用140个地震的烈度等震线资料进行了回归分析,得到了云南地区的烈度衰减关系:

$$I_a = 5.4154 + 1.2792M - 3.8738 \lg(R_a + 21),$$

$$\sigma = 0.5204. \quad (3)$$

$$I_b = 3.3421 + 1.1719M - 2.8268 \lg(R_b + 7),$$

$$\sigma = 0.4931. \quad (4)$$

张方浩^①选用1900~2014年云南地区的146次 $M \geq 5.0$ 地震的影响场数据,按照周光全等(2011)研究成果将云南分为滇西和川滇、川滇东部3个构造分区,将各分区内的烈度等震线作为样本,对这些数据进行统计回归分析,拟合出各分区的烈度衰减关系:

滇西区域:

$$I_a = 6.8053 + 1.3067M - 4.7952 \lg(R_a + 22),$$

$$\sigma = 0.5621. \quad (5)$$

$$I_b = 5.3315 + 1.1762M - 4.0829 \lg(R_b + 10),$$

$$\sigma = 0.4786. \quad (6)$$

川滇区域:

$$I_a = 4.2456 + 1.4025M - 3.8238 \lg(R_a + 11),$$

$$\sigma = 0.5018. \quad (7)$$

$$I_b = 3.5915 + 1.1432M - 2.8546 \lg(R_b + 5),$$

$$\sigma = 0.4426. \quad (8)$$

川滇东部区域:

$$I_a = 6.9753 + 1.3067M - 4.7952 \lg(R_a + 23),$$

$$\sigma = 0.4891. \quad (9)$$

$$I_b = 5.5615 + 1.1762M - 4.0829 \lg(R_b + 12),$$

$$\sigma = 0.4632. \quad (10)$$

上述3套模型在云南地区震后多次地震影响场速判应用中,模拟得到的地震影响场能够满足应急快速评估需求,但具有一定的特点和适用范围,汪素云模型选用全国震例, $M \geq 7.0$ 地震样本多,在云南地区 $M \geq 7.0$ 地震计算结果与实际拟合度高,李西模型选用云南地震 $M \leq 6.0$ 地震样本数较多, $M \leq 6.0$ 地震影响场计算结果与实际拟合度高,张方浩根据云南不同的分区特点做了3套分区模型,区域适用性好。总之,在云南地区实际地震快速评估应用中,将3套模型都集成于在软件系统,根据震级大小、震中所在区域特点选用不同的模型进行计算,结合专家经验和历史地震影响场参数对生成结果进行调整评估,产出结果。

线源模型是对在地表破裂带上具有相同烈度的椭圆等震线做包络线,形成的包络线即为最终生成的线源模型等震线。破裂长度利用地震震级—破裂尺度经验关系式算出,本文采用两个模型来组成云南地震破裂长度与震级的经验关系,震级在 $M_{6.5} \sim 7.7$ 地震使用李忠华等(1999)提出的地表破裂长度模型, $M \geq 7.7$ 地震使用秦嘉政等(1997)等提出地表破裂长度模型,将2个模型合并,模型算法如下:

$$\lg L = \begin{cases} 0.39M_s - 1.24 & 6.5 \leq M_s \leq 7.7, \\ M_s - 5.9 & M_s > 7.7. \end{cases} \quad (11)$$

式中, L 表示震源破裂长, M_s 为震级。

对于烈度等震线长轴方向的判定,目前国家统一研发的评估系统采用的是以离微观震中最近的断层走向作为影响场展布方向,与实际有偏差。因此,在烈度等震线长轴方向确定上,基于地震行业专项研究成果,赵恒^①对云南地区进行了构造分级分区研究,按地质构造的发震能力、活动性、历史地震的对应性进行了等级划分,提出了基于区域块体和基于地质构造(断层)两种方法进行影响场方向的快速预判。在实际地震应急快速评估应用中,除了考虑断层走向以外,应结合余震序列分布、震源机制解、地震破裂过程等资料来确定烈度等震线的长轴方向。

1.2 人员伤亡评估模型

(1) 死亡人员估算模型

① 地震行业科研专项项目课题研究组. 2013. 西南地震应急对策新模式与关键技术研究报告.

对于云南地区人员死亡评估方法,王景来(2001)、晏凤桐(2003)、周光全等(2004)、施伟华等(2005, 2012)从不同视角出发,选取影响因子建立了云南地区的人员死亡评估模型。李永强(2012)提出云南震亡多因子回归模型,把震级、极震区烈度、发震时刻、人口密度、烈度区面积、当地GDP、农民纯收入、财政收入作为地震人员死亡的主要影响因子,采用泊松分布统计方法进行多因子回归,模拟得出云南地区人员死亡评估模型,算法如下:

$$Y = \exp(-1.109e + 02 + 8.489e + 01x - 2.032e + 01x^2 + 1.499e + 00x^3 + 9.826e - 04v - 6.833e - 08v^2 + 8.963e - 01z - 3.175e - 03ns + 1.148e - 06ns^2 - 2.914e - 02cs + 6.502e - 05cs^2 + 2.772e - 03GDP - 4.768e - 07GDP^2 + 9.801e - 01T + 3.910e - 04s + 9.414e - 05x * GDP). \quad (12)$$

式中, Y 为震亡人数, x 为震级, T 为地震时刻 ($T=1$ 表示地震发生在夜间, $T=0$ 表示地震发生在白天), z 为地震烈度, s 为人口密度, v 为烈度区面积 (取该次地震的 VI 度区及以上烈度区面积之和), ns 为农民人均纯收入, cs 为人均财政收入, GDP 为人均 GDP, 笔者选取该模型进行云南地区死亡人员估算。

(2) 人员受伤估算模型

对于云南地区地震造成的重伤、轻伤估算,施伟华等(2012)给出各烈度地震伤亡人数及比率(表1),本文采用该研究结果进行模型系统集成,作为估算地震造成的人员受伤人数的算法。

表1 云南地震死亡与重伤、轻伤的比例

Tab. 1 Ratios of deaths and serious injuries、earthquake minor injuries in Yunnan

| 烈度 | VI | VII | VIII | IX | X |
|----------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 死亡与重伤的比例 | 1:1.7 | 1:8.3 | 1:14.7 | 1:2.7 | 1:1.2 |
| 死亡与轻伤的比例 | 1:12.5 | 1:11.1 | 1:7.9 | 1:4.1 | 1:1.8 |

(3) 失去住所人数预测模型

失去住所人数是指因地震失去住所而在室外避难的人数。采用国家标准《地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估》(GB/T18208.4—2011)算法:

$$T = \frac{c+d+e/2}{a} \times b - f. \quad (13)$$

式中, a 为户均居住面积, b 为户均人口, c 为所有住宅房屋的毁坏面积, d 为非简易房屋的严重破坏面积, e 为非简易房屋中等破坏面积与简易房屋破坏面积之和, f 为死亡人数。

1.3 经济损失评估模型

震后总的经济损失主要由房屋直接经济和其他直接经济损失组成,可用下式计算得到:

$$L = L_h + L_h \times R_a. \quad (14)$$

式中, L 为总经济损失, R_a 为其他经济损失与房屋直接经济损失比例(表2), L_h 为房屋直接经济损失,采用国家标准《地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2011)算法:

$$L_h = S_h \times R_h \times D_h \times P_h. \quad (15)$$

式中, L_h 表示房屋直接经济损失, S_h 为灾区房屋建筑总面积, R_h 为破坏比, D_h 为损失比, P_h 为重置单价。根据灾区历史地震的震害矩阵、重置单价以及基础资料数据库快速统计计算得出灾区范围内各类房屋总面积,计算各评估子区各类房屋损失,将所有评估子区的房屋损失相加,得出整个灾区的房屋建筑破坏损失(周光全等, 2006, 2011)。

表2 云南地区破坏性地震其他经济损失占房屋总损失的比例(1992~2013)

Tab. 2 The ratio of other economic loss to total loss of houses of destructive earthquake in Yunnan (1992~2013)

| 震级区间 | 统计个数 | 房屋损失 占总损失 比例 | 其他经济 损失占总 损失比例 | 其他经济损 失占房屋总 损失比例 |
|----------|------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 4.9级 | 1 | 0.77 | 0.23 | 0.30 |
| 5.0~5.4级 | 35 | 0.76 | 0.24 | 0.29 |
| 5.5~5.9级 | 17 | 0.69 | 0.31 | 0.39 |
| 6.0~6.4级 | 8 | 0.74 | 0.26 | 0.36 |
| 6.5~6.9级 | 3 | 0.69 | 0.31 | 0.45 |
| 7.0~7.9级 | 2 | 0.78 | 0.22 | 0.28 |

注:表中用于计算的房屋直接经济损失数据来源于云南省地震局1992~2013年地震灾害损失评估报告。

2 模型集成方法

2.1 集成思路

本文以云南地震应急基础数据库、云南历史

地震应急处置案例资料为基础，首先，针对云南地区烈度衰减模型、人员伤亡评估模型、房屋破坏模型、经济损失评估模型、滑坡风险评估模型等分层分级建立模型库，构建模型设计规范，设计统一的模型组件接口；其次，建立模型字典和模型索引，包括模型的输入参数、数量和类型，输出参数、数量和类型等；再次，根据模型应用需求设计专题图模板、对策建议模板等作为模型输出表达；最后，采用 COM 技术在模型库支持下与 GIS 实现无缝集成，形成完整运行的快速评估系统，产出各类专题图件、评估报告及对策建议报告（杨昆等，2006）。技术路线如图 1 所示。

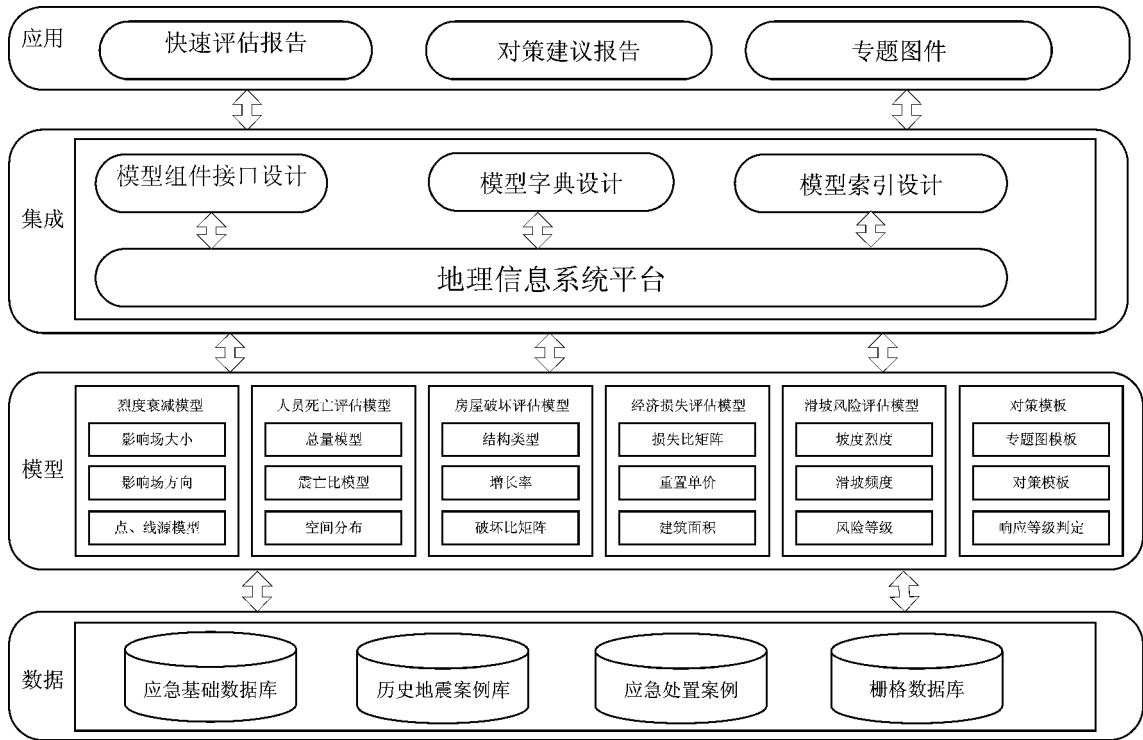


图 1 系统模型集成设计

Fig. 1 Integration and design of the system model

2.2 集成流程

震后数十分钟内，基于行政区划、人口、经济、房屋等基础数据，从模型库中选取各类评估模型，通过 GIS 的空间分析、空间统计等功能，人工或自动触发地震三要素信息，快速生成烈度影响场，提取各类评估模型参数进行人员伤亡、经济损失、次生灾害等计算，快速判定应急预案响应启动等级，生成各类震害专题地图、统计表以及对策建议文档。模型与 GIS 集成流程如图 2 所示。

2.3 输出设计

依据不同时段、不同震级、不同应急预案等级，确定对应的不同应急处置过程，形成对应的系列应急对策模板，软件输出基本模板分为文档模板和专题图模板两类，文档模板包括灾情简报、震区基本信息、快速评估报告、对策建议报告（表 3），专题图模板包括基本专题图和评估专题图模板（表 4）。

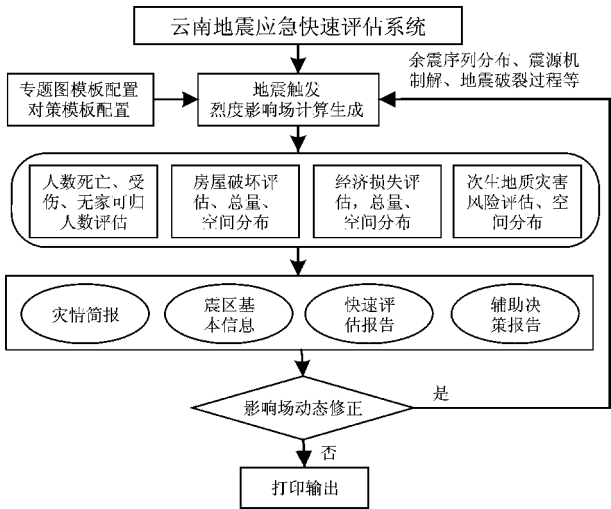


图 2 模型与 GIS 集成计算流程

Fig. 2 Calculation process of integration of the model with GIS

表 3 文档模板设计

Tab. 3 Design of the documents templates

| 序号 | 模板分类 | 时间 | 格式 | 内容 |
|----|--------|-------------|----------|---------------------------------------|
| 1 | 灾情简报 | 0 ~ 3 min | word/pdf | 灾区基本情况、地震三要素、快速评估结果、烈度评估分布图、响应等级快速判定等 |
| 2 | 震区基本信息 | 3 ~ 5 min | word/pdf | 震区基本专题图件及相关文档统计说明等 |
| 3 | 快速评估报告 | 5 ~ 15 min | word/pdf | 专业模型评估产出成果：专题图、统计表及文档说明等 |
| 4 | 对策建议报告 | 15 ~ 20 min | word/pdf | 应急响应等级判定、应急预案启动、响应措施等 |

表 4 评估专题图模板设计

Tab. 4 Templates design of the assessment map

| 序号 | 模版名称 | 输出格式 | 输出内容 |
|----|-------|----------------------------|---|
| 1 | 烈度影响场 | . shp, . jpg, . xls, . doc | 地震影响估计范围分布图，文档说明（各评估烈度区面积，长、短轴长度方向等） |
| 2 | 余震序列 | . shp, . jpg, . xls | 余震空间分布图，文档说明（余震总数量、分不同震级区间的余震数量）。 |
| 3 | 人员伤亡 | . jpg, . xls, . doc | 人员伤亡空间分布图，统计表（按行政区划分级统计），文档说明（伤亡总数量等） |
| 4 | 经济损失 | . jpg, . xls, . doc | 经济损失空间分布图，统计表（按行政区划分级统计），文档说明（经济损失总数量等） |
| 5 | 房屋破坏 | . jpg, . xls, . doc | 房屋破坏空间分布图，统计图表（按行政区划、破坏程度、按房屋结构类型分级统计），文档说明（房屋破坏总数量等） |
| 6 | 次生灾害 | . jpg, . xls, . doc | 次生灾害空间分布图，文档说明（次生灾害破坏情况描述等） |

3 系统实现

3.1 技术实现

云南地震应急快速评估系统是评估模型库与 GIS 的集成系统，考虑到系统的兼容性、稳定性和响应速度，在开发模式上采用了当前较为稳定和成熟的 C/S 系统构架，将外部数据库、模型库及 Office 办公软件与 GIS 平台系统无缝集成，具体的技术方法如表 5（李西等，2009；曹彦波等，2013）。

表 5 系统实现技术方法

Tab. 5 Technology method of the system realization

| 技术形式 | 技术方法 | 说明 |
|-------|---|-------------|
| 开发模式 | C/S | 系统总体构架模式 |
| 开发方式 | COM, ActiveX, C# | 系统开发的技术实现方法 |
| 开发工具 | Visual Studio 2010 | 系统开发与集成 |
| 开发平台 | ArcEngine 10.0 | GIS 应用服务 |
| 运行平台 | ArcGIS 10.0, Microsoft Office2007 及以上, Windows XP 及以上 | 客户端运行时，操作系统 |
| 数据库平台 | Oracle 10g + ArcSDE 10.0 | 空间数据库服务 |

3.2 系统功能

云南地震应急快速评估系统由权限管理、震害评估、动态修正、模板管理等 7 个功能模块组成。

地震发生后 30 min 内，通过人工或自动输入地震三要素进行触发计算，评估地震影响范围、人员伤亡、经济损失、房屋破坏、次生灾害等情况，给出应急预案响应等级启动建议，快速产出评估文档和专题图。系统各功能模块如表 6、图 3 所示。



图 3 系统功能界面

Fig. 3 Interface of the system function

4 应用分析

云南地震快速评估系统经过反复调试和测试，达到了系统设计的各项性能指标，在 2012 ~ 2013 年云南 6 次地震应急快速评估中，启动该系统开展了烈度影响场、人员伤亡、经济损失、次生灾害

风险等评估工作，为地震应急预案启动、救援力量部署等提供了依据。笔者将“十五”软件估算结果，本地化软件估算结果和实际灾害调查结果进行了对比，如表 7 所示。

表 6 系统各功能模块描述
Tab. 6 Discription of each functions module of the system

| 序号 | 功能模块 | 功能描述 |
|----|------|--|
| 1 | 权限管理 | 根据操作权限不同分为高级用户和普通用户。高级用户可操作系统所有功能，包括权限设置、地震触发、专题图模板管理、文档管理等模块；普通用户仅可操作地震触发及成果查询等模块 |
| 2 | 数据管理 | 实现对数据的添加、删除、可见性、要素的显示样式、感兴趣区域的标注等操作，系统空间及属性数据导入、导出、更新维护等功能 |
| 3 | 地震触发 | 通过自动或手动触发机制，获取地震三要素，选择衰减模型，计算地震影响场 |
| 4 | 震害评估 | 评估地震造成的人员伤亡、经济损失、建筑物破坏、次生灾害等情况，生成统计表、专题图等 |
| 5 | 动态修正 | 人工修正：通过鼠标拖拽和旋转，手动修正等震线大小和方向，或通过导入余震序列来修正震裂方向，生成线源、点源的选择，生成影响场进行二次评估； 模型参数修正：可修改烈度衰减模型参数、不同结构房屋震害矩阵，房屋重置单价，人员伤亡模型等参数进行二次评估 |
| 6 | 模板管理 | 专题图模板管理：提供对专题图模板的分类、设置、查询、修改、删除等功能。在灾情评估过程中将按照输出机制自动根据定义的模板生成相应的专题图，还可导入、导出已经配置好的 MXD 文件； 文档模板管理：提供统一的文档管理界面，可显示文档的生成时间等属性信息，实现对灾情简报、震区基本信息、快速评估报告、对策建议报告等模板的查询、修改、删除等功能。同时还可导入、导出已配置好的文档模板 |
| 7 | 成果查询 | 浏览查询烈度影响场评估矢量图，灾情简报、震区基本信息、快速评估报告、对策建议报告文档，震区人口、经济、房屋空间分布图以及人员伤亡、经济损失等评估图 |

表 7 2012 ~ 2013 年两种评估方法结果与实际灾评结果对比
Tab. 7 Comparison of disaster survey results between two assessment methods and the actual from 2012 to 2013

| 时间/年 - 月 - 日 | 震例 | 原有软件评估结果 | | 本地化软件评估结果 | | 实际灾害调查结果 | |
|----------------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | 死亡人数 /人 | 经济损失 /亿元 | 死亡人数 /人 | 经济损失 /亿元 | 死亡人数 /人 | 经济损失 /亿元 |
| 2012 - 06 - 24 | 宁蒗 5.7 级地震 | 0 | 0.609 8 | 6 | 4.95 | 3 | 5.073 |
| 2012 - 09 - 07 | 彝良 5.7、5.6 级地震 | 3 | 5.443 8 | 30 | 50.01 | 81 | 43.039 |
| 2013 - 03 - 03 | 洱源 5.5 级地震 | 5 | 1.268 6 | 4 | 7.19 | 0 | 7.08 |
| 2013 - 04 - 17 | 洱源 5.0 级地震 | 0 | 0.488 9 | 0 | 2.32 | 0 | 2.087 8 |
| 2013 - 08 - 28 | 香格里拉 5.1、5.9 级地震 | 0 | 0.269 6 | 5 | 7.32 | 3 | 14.55 |
| 2013 - 08 - 31 | | | | | | | |

注：实际灾害调查结果数据来源于云南省地震局 2012 ~ 2013 年地震灾害损失评估报告。

从估算结果来看，原有地震快速评估软件死亡人数和经济损失估算值与实际相比差距较大，基于本地化评估模型软件估算值与实际结果数量级上基本一致，符合实际的地震灾情，评估结果满足灾情速判和应急决策要求。

5 结束语

笔者在前人研究的基础上开展了云南地区快

速评估模型本地化集成研究工作，通过云南地区评估模型和对策模型的本地化集成应用，实现了模型库与 GIS 平台无缝集成，开发完成了云南地震应急快速评估软件。经过实际震例检验，与“十五”软件相比较，系统模型、成果产出、空间可视化表达方面得到了进一步的优化和完善，提高了评估精度，为政府指导抗震救灾工作提供了基础参考信息。该系统是以云南地区评估模型为基础进行研发，应用范围有一定的局限性，有待于后续的

进一步研究和完善数据和模型计算方法,配置高性能硬件设备,提高系统稳定性和运行效率。

参考文献:

- 曹彦波,李敏,李永强,等. 2013. 基于 ArcEngine 的应急三维可视化系统设计与实现[J]. 地震地磁观测与研究, 34(3/4): 217-222.
- 侯建盛,李民. 2008. 地震应急管理进展[J]. 国际地震动态, (1): 14-20.
- 姜立新,聂高众,帅向华,等. 2003. 我国地震应急指挥技术体系初探[J]. 自然灾害学报, 12(2): 1-6.
- 李世成,崔建文,韩新明. 2003. 云南地区地震烈度衰减特征研究[J]. 中国地震, 19(3): 287-294.
- 李西,郭君,陈坤华,等. 2012. 基于 GIS 的初评估方法在盈江 5.8 级及缅甸 7.2 级地震后的应用[J]. 地震研究, 35(1): 104-109.
- 李西,周光全,郭君,等. 2009. 地震灾害损失评估软件开发[J]. 地震研究, 32(1): 84-88.
- 李永强,聂高众,姜立新,等. 2006. 意大利地震紧急事务处置与应急响应系统简介[J]. 国际地震动态, (10): 33-38.
- 李永强. 2012. 云南地震人员死亡研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 李忠华,苏有锦,蔡明军,等. 1999. 云南地区震源破裂长度与震级的经验关系[J]. 西北地震学报, 21(3): 331-333.
- 苗崇刚,聂高众. 2004. 地震应急指挥模式探讨[J]. 自然灾害学报, 13(5): 48-54.
- 聂高众,安基文,邓砚. 2012. 地震应急灾情服务进展[J]. 地震地质, 34(4): 783-791.
- 聂高众,陈建英,李志强,等. 2002. 地震应急基础数据库建设[J]. 地震, 22(3): 105-112.
- 秦嘉政,刘祖荫,张俊伟. 1997. 用地震标定律研究丽江 7.0 级地震的破裂过程[J]. 地震研究, 20(1): 47-57.
- 施伟华,陈坤华,谢英情,等. 2012. 云南地震灾害人员伤亡预测方法研究[J]. 地震研究, 35(3): 387-392.
- 施伟华,周光全,卢永坤. 2005. 云南地震人员灾情预估方法初探[J]. 地震研究, 28(3): 294-297.
- 汪素云,俞言祥,高阿甲,等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 16(2): 99-106.
- 王景来. 2001. 地震灾害快速评估模型[J]. 地震研究, 24(2): 162-167.
- 徐德诗,黄建发. 2006. 我国地震应急与救援发展的思考[J]. 国际地震动态, (10): 1-8.
- 晏凤桐. 2003. 地震灾情的快速评估[J]. 地震研究, 4(26): 382-287.
- 杨昆,李永强,许泉立,等. 2006. 基于 ArcGIS 的地震灾害应急决策支持系统的设计与实现[J]. 地震研究, 29(2): 204-208.
- 周光全,非明伦,施伟华. 2006. 1992~2005 年云南地震灾害损失与主要经济指标研究[J]. 地震研究, 29(4): 88-95.
- 周光全,毛燕,施伟华. 2004. 云南地区地震灾害人口与经济损失评估[J]. 地震研究, 27(1): 88-93.
- 周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究, 34(1): 88-95.
- 周光全,非明伦,毛燕,等. 2011. 云南地震灾害特征及经济损失评估技术研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 4-29.
- GB/T 18208.4—2011,地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估[S].

Research on the Localization Integration of Yunnan Earthquake Emergency Rapid Assessment Model

CAO Yan-bo¹, LI Zhao-long¹, LI Yong-qiang¹, LI Min¹, ZHANG Fang-hao¹, ZHAO Heng¹,
WU Yan-mei¹, YANG Kun², ZHANG Shao-hua²

(1. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China)

Abstract

Through the establishment of assessment model, the templates design of countermeasure and suggestion, and the seamless integration of model libraries and GIS system by using COM technology, we develop the Yunnan Earthquake Emergency Rapid Assessment Software, whose functions include the rapid judgment of the influence field of intensity, the assessment of casualties and economic losses, the inputting of thematic maps and outputting of countermeasure and suggestion after the earthquake. After the tests of 6 $M > 5.0$ earthquakes occurred in Yunnan from 2012 to 2014, the Yunnan Earthquake Emergency Rapid Assessment Software meet the application requirements about assessment of disaster and emergency aided decision.

Key words: earthquake emergency; casualties; economic loss; assessment model