

基于 GIS 技术的地震应急异地疏散 接受能力判断模型研究^{*}

曹彦波, 李永强, 曹 刻, 余庆坤, 赵 恒, 龚 强, 白仙富

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 在破坏性地震发生后, 如何快速疏散高密集人群, 转移救治危重伤员是应急指挥人员面临的首要问题。通过构建异地疏散专题模型和地震应急空间信息库, 分析了伤员和灾民空间分布特点、异地疏散最佳路线和医疗机构空间分布情况。并以 2007 年宁洱 6.4 级地震为例进行了模型的模拟计算和分析, 为地震应急指挥决策者确定应急疏散的最优方案提供了科学依据。

关键词: 应急疏散; GIS 模型; 宁洱地震

中图分类号: TP311.132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0623-06

0 前言

地震是一种严重危害人类生存安全、阻碍社会经济发展、破坏社会稳定的自然灾害, 由于其突发性和瞬时破坏性特点地震已成为全球严重的公共安全问题, 社会问题、甚至是政治问题。据《中国大陆地震灾害损失评估汇编》统计, 1992~2005 年, 全国共发生 5 级以上破坏性地震 179 次, 受伤 62 190 人, 死亡 917 人 (周光全等, 2006)。从统计结果我们不难发现, 我国发生的地震具有频次高、强度大、人员伤亡巨大的特点。尤其是 2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川汶川发生的 8.0 级强震, 据国务院新闻办公室根据国务院抗震救灾总指挥部授权发布: 截止到 7 月 1 日 12 时, 汶川地震已造成 69 195 人遇难, 374 177 人受伤, 失踪 18 392 人 (国务院新闻办公室, 2008)。这是继 1976 年唐山 7.8 级地震以来人员伤亡和经济损失最大的一次地震。因此, 在破坏性地震发生后, 抢救生命和救治伤员是地震灾害应急管理的首要目标 (王晓青等, 2002)。在短时间内安全地大范围疏散、转移高密集人群, 疏散救治危重伤员, 实施科学的应急救灾策略, 是减少灾害后果严重性的重要措施之一 (邹亮等, 2006)。

重大地震发生后, 地震应急管理部门主要面临以下问题: 面对震后灾区出现的大量无家可归的灾

民和伤员, 如何合理快速地确定伤员类型、数量、空间分布和异地疏散路线及地点; 如何制定科学的疏散计划预案; 如何充分利用现有的交通网络与人防设施; 如何实施有效的交通管理策略将大量伤员疏散到安全地带救治等 (卢兆明等, 2005)。

自 20 世纪 90 年代以来, 针对以上问题, 欧美许多发达国家, 如美国、日本、意大利、法国等, 均已建成多层次、多级别、多部门和多功能的灾害紧急救援指挥决策系统。许多著名的研究机构 and 大学: 国际大地测量与地球物理学联合会 (IUGG)、全球地震台网 (GSN)、美国地球物理联合会 (AGU)、日本东京大学地震学研究所和德国地球物理科学研究中心 (GFZ) 等都开展了一些地理信息系统在地震应急领域的基础和应用研究, 如地震传播数学模型、空间分布分析模型以及趋势预测、地震灾害应急救援、预警等 (滕五晓, 2004; 李永强等, 2006), 并且有一些将模型通过 GIS 空间分析来进行实现和表达的应用案例。在分析模型与 GIS 集成、地震应急空间数据库的设计和数据库资源建设、灾害紧急救援指挥决策系统建设方面也有较成熟的应用, 欧美发达国家在这方面的研究和应用给世界其他国家的地震应急研究提供了经验和成果借鉴。在国内, 自 1966 年邢台地震发生后, 地震应急救援的研究工作受到广泛重视。20 世纪 80 年代开始, 北京大学、中国科技大学和云南大学等一些综合大学的地球物理系以及中国地震局下属的地质所、工程力学研究

^{*} 收稿日期: 2008-07-16.

所等科研机构开始应用空间信息技术来进行地震应急救援系统的研究和开发。但是相对于发达国家的状况而言，国内在地震应急救援领域的研究要落后和迟缓一些。

笔者针对以上问题，提出了大震伤员异地应急疏散模型，通过建立地震应急空间信息库和异地疏散专题模型，帮助地震应急救援部门准确把握伤员时空分布规律，了解异地疏散最佳路线和医疗机构空间分布，挖掘震害伤情与地理空间环境以及人口、经济、健康等相关因素的关系，以达到利用空间信息技术为地震应急救援决策者提供科学的决策依据，发挥出大震伤员应急救援力量的最大效能的目的(谢旭阳，2007；徐德诗等，2006)。

1 模型设计

1.1 设计思路

在破坏性地震发生后，快速有计划地进行伤员疏散救治和灾民转移安置是地震应急救援一项重要工作。Hedia Chakraborty等（2000）利用GIS空间分析技术来输入、存贮和处理伤员异地疏散所需的基础地理数据、地震专题数据、社会经济数据和医疗机构信息等，对数据的空间特性和疏散数学模型进行空间表达，并进行空间分析，定性 with 定量分析相结合，从而得到理想的分析结果。模型具体研究思路和分析方法如图1所示。

从图1可以看出，破坏性地震发生后，根据地震破坏程度大小采用缓冲分析、网络分析、空间查询和空间统计等方法和技术手段，设置疏散时可选择的最佳路线，快速分析得出疏散的人员类型、数量、疏散的范围及异地接受能力评估，最后将分析结果以图形、文档报告的方式提供给决策者。

1.2 模型接口设计

异地疏散接受能力判断模型接口设计的目的主要是解决模型数据输入、处理和输出等数据流动过程，以地震应急基础数据库系统为基础，通过地震灾害快速评估模型绘制等震线，评估伤亡人数和无家可归人数，利用异地疏散接受能力判断模型，评估伤员和灾民异地接受能力，同时根据现场反馈的信息对接受能力进行动态修正。所有产出的结果能够进入数据库管理系统进行存储和管理，安装标准化接口，使其他软件或模型能够调用。例如大屏幕集成管理软件能够调用快速判断的结果并在大屏幕指定的位置上显示。模型接口设计如图2所示。

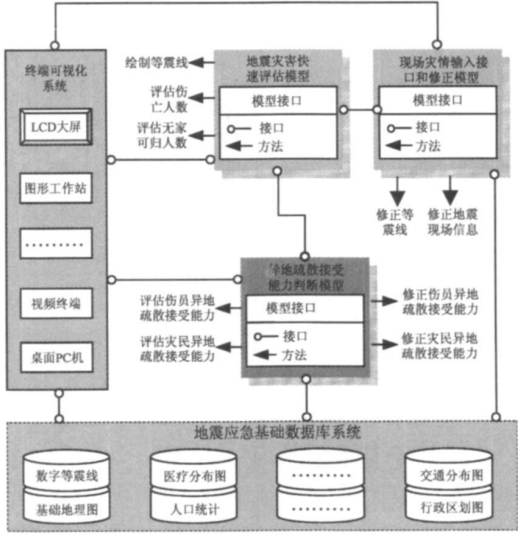
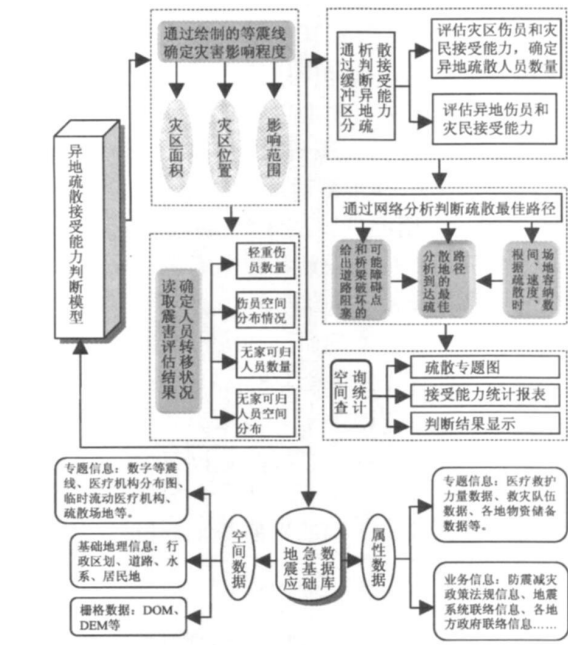


图2 异地疏散接受能力快速判断模型接口图

1.3 模型数据结构设计

对于异地疏散模型来说，我们最为关心的数据应该是各类参与模型计算的参数及与其相关联的各种属性，这些参数是模型进行空间可视化分析的数据基础，至于哪些要素需要设计成空间数据，哪些要素需要设计成属性信息，则要根据模型特点以及GIS软件存储数据的具体方式来决定(杨昆等，2006)。对异地疏散模型而言，模型参数的输入与输出的几个关系数据表及其数据库结构的设计如表1~3所示。

图1 异地疏散接受能力快速判断模型逻辑结构图

表 1 模型输入参数

序号	英文字段	中文含义	参数类型	备注
1	preiso seismic	等震线	Shape	空间数据
2	injury	伤亡人数	整型 (10)	快速评估模型产出结果
3	homeless	无家可归人数	整型 (10)	快速评估模型产出结果

表 2 模型输出参数

序号	英文字段	中文含义	参数类型	备注
1	local injury	评估本地伤员接受数	整型 (10)	异地疏散模型产出结果
2	other injury	评估异地伤员接受数	整型 (10)	异地疏散模型产出结果
3	local tin	评估本地灾民接受数	整型 (10)	异地疏散模型产出结果
	other victim	评估异地灾民接受数	整型 (10)	异地疏散模型产出结果
	medical unit	异地疏散区医疗机构空间分布	Shape	空间数据

表 3 模型计算结果表结构设计

序号	英文字段	中文含义	数据类型	字段长度	备注
1	ID	行政区编码	char	14	必须编码
2	name	区域名称	varchar2	40	
3	local injury	本地伤员接受数	Number	10	人
4	other injury	异地伤员接受数	Number	10	人
5	local tin	本地灾民接受数	Number	10	人
6	other victim	异地灾民接受数	Number	10	人

注：数据库表名： Result 决策成果信息，按照事先的数据库结构设计进行命名）；数据类型：属性数据。

2 模型与 GIS集成

自 20 世纪 80 年代 GIS 与应用模型的集成就成为了 GIS 开发领域的研究热点之一。目前，从模型与 GIS 的集成手段上讲，组件集成是当前较为流行和实用的模型集成方案。GIS 与应用模型的集成涉及模型数据的管理（包括采集、处理、存储和组织）、模型运行（应用分析）以及模型输出（主要指模拟结果的显示和表达等）三方面的问题（闫国年等，2003）。

异地疏散模型的基本思路是发生破坏性地震后，根据快速评估结果，确定最佳疏散策略及疏散路线，整个模型的分析涉及到大量与地理空间相关的数据，包括人口分布、避难场所分布、医疗机构分布和交通网络等。对于地理数据信息管理、分析及可视化，GIS 组件集成与空间分析技术具有明显的技术优势。地理信息系统是近几十年发展起来的一门综合应用系统，它是集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘科学。本文提出的异地疏散模型的实现就是以

GIS 作为平台，利用组件集成方式，将异地疏散分析模型集成到 GIS 平台中，能较好解决该模型在模型数据管理、模型运行和模型输出三方面的问题。同时，GIS 丰富的用户交互功能及快速响应功能也使得异地疏散模型用于灾时应急管理指挥成为可能（曹彦波等，2007）。

2.1 模型计算流程

该模型主要考虑两个阶段的评估，分别为初评估和动态修正。

（1）初评估阶段

异地疏散模型初评估阶段主要是根据快速评估模型提供的等震线模型、人员伤亡人数和无家可归数量判断结果，基于区域地震应急基础数据库，利用空间分析技术对模型计算涉及的各种数据进行分析，从而计算出不同疏散区内对伤员和灾民的接受能力。该阶段首先通过对大震震例进行综合统计和分析来确定模型输入及计算过程所需的相关参数，然后基于等震线、灾区人口、经济和基础地理信息（居民点分布、交通、人员分布、行政区划、医疗分布和地形等因素）进行叠加分析、缓冲分析和空间统计，得出适合区域尺度的异地疏散接受能力快速判断模型，并对模型

计算结果以图形、文字报告的形式显示。

(2) 动态修正阶段

动态修正阶段主要是根据地震参数修正信息、烈度修正信息、现场调查信息和各种现场反馈信息对模型初评估结果进行动态计算和修正。

在模型整个计算流程中，考虑在数据缺失状态下的宏观估计，即根据地震参数和区域历史地震信息对地震进行宏观估计和判断。具体模型计算流程如图 3 所示。

针对灾区临时派驻医疗队接受能力，结合以往震例中灾区派驻医疗机构信息，模拟计算临时派驻医疗队接受能力。

(4) 异地疏散区医院接受能力判断

确定需要转移的伤员数量后，首先采用空间缓冲分析方法计算Ⅷ度区以外伤员接受数量，如果本地医疗机构接受完毕，就不存在异地疏散；如果本地医疗机构接受不了，就进行异地疏散。然后以Ⅷ度区的边界为缓冲区的边界，以 5 km 10 km 20 km 等作为缓冲区半径，分别计算各个医院对伤员的接受能力和该区域总体的接受能力。

(5) 异地疏散最佳路线制定

根据可通行交通线的选择和紧急抢修需求判断软件模型，给出道路阻塞、桥梁破坏的可能障碍点，分析到达疏散地的最佳路径。

(6) 异地疏散模型动态修正

根据现场灾情信息输入接口和修正软件模型提供的地震参数修正信息、烈度修正信息、现场调查信息和各种现场反馈信息对模型初评估结果进行动态计算和修正。如确定的重伤人员数、修正后的等震线等。

3 模拟分析

模型设计完成后，由中国地震局统一组织实施，将所有地震业务模型统一集成至地震应急辅助决策支持系统平台中，经过模型设计人员和软件开发人员多次修改完善后，使软件模型功能合理，输出结果完整，达到设计要求。在云南省地震局系统试运行期间，系统运行稳定，模型输出完整（图 4、5）。

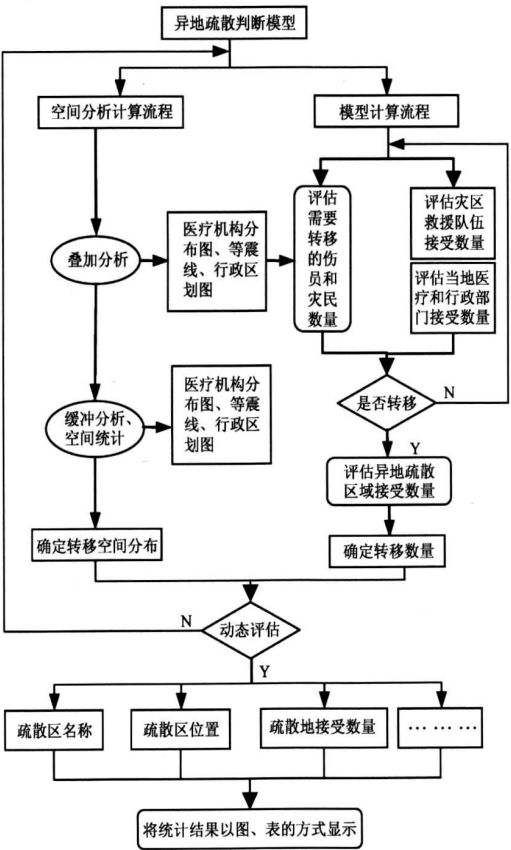


图 3 异地疏散模型计算流程图

2.2 模型计算步骤

(1) 评估需要转移的伤员数量

根据地震快速评估系统提供的伤员数量和空间分布位置，参考以往震例，确定需要异地疏散救助的伤员人数。

(2) 灾区医院接受能力判断

根据灾区医院房屋损失评估结果确定医院能否使用，统计灾区医院的数量，并根据医院的等级、病床数量、医院人数等确定灾区医院接受伤员数量。

(3) 灾区临时派驻医疗队接受能力判断

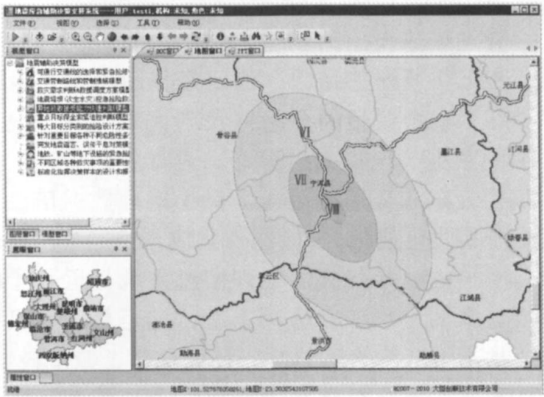


图 4 异地疏散模型软件集成界面

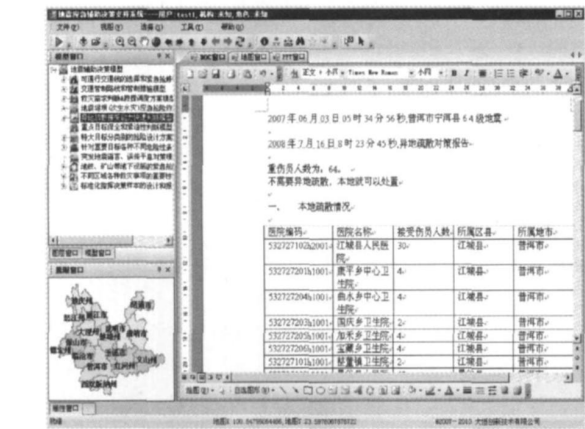


图 5 异地疏散成果界面

以 2007 年云南宁洱 6.4 级地震为例进行模型的模拟计算和分析：2007 年 6 月 3 日 5 时 34 分 56

秒，普洱市宁洱县发生 6.4 级地震。笔者在云南地震应急辅助决策支持系统平台中输入地震三要素进行了模型模拟测试，测试结果如表 4 所示。

表 4 模型计算结果

测试时间	重伤员人数	疏散对策	备注
2008 年 7 月 16 日 8 时 23 分 45 秒	121	不需要异地疏散， 本地就可以处置	

根据模型计算结果，本次地震需要异地疏散救助的重伤员人数为 121 人，灾区范围内的江城、景谷、翠云、宁洱和墨江等 5 个县区内就可以处置本地地震的重伤员，不需要进行异地疏散。本地医疗机构伤员疏散情况见表 5 本地交通可通行性状况见表 6。

表 5 本地疏散情况

医院编码	医院名称	可接受 伤员人数	所属 区县	所属 地市
53272710212001	江城县人民医院	30	江城县	普洱市
53272510212001	景谷县人民医院	48	景谷县	普洱市
53272520312001	景谷县中医院	18	景谷县	普洱市
53270110312001	普洱市人民医院	83	翠云区	普洱市
53270110312001	普洱市中医院	39	翠云区	普洱市
53270110312002	普洱市精神病院	63	翠云区	普洱市
53272310112001	墨江县人民医院	63	墨江县	普洱市
53272310112002	墨江县中医院	18	墨江县	普洱市
53272210212001	宁洱县人民医院	72	宁洱县	普洱市
53272210212002	宁洱县中医院	21	宁洱县	普洱市
53272710212001	江城县人民医院	30	江城县	普洱市

医院编码	医院名称	可接受 伤员人数	所属 区县	所属 地市
53272510212001	景谷县人民医院	48	景谷县	普洱市
53272520312001	景谷县中医院	18	景谷县	普洱市
53270110312001	普洱市人民医院	83	翠云区	普洱市
53270110312001	普洱市中医院	39	翠云区	普洱市
53270110312002	普洱市精神病院	63	翠云区	普洱市
53272310112001	墨江县人民医院	63	墨江县	普洱市
53272310112002	墨江县中医院	18	墨江县	普洱市
53272210212001	宁洱县人民医院	72	宁洱县	普洱市
53272210212002	宁洱县中医院	21	宁洱县	普洱市
.....

表 6 可通行性交通状况

道路名称	可通行性
昆洛公路	可通行
普洱孟连公路	可通行
昆洛公路	可通行
普洱孟连公路	可通行
昆洛公路	可通行
双江普洱公路	可通行
通海思茅公路	可通行
昆洛公路	可通行
普洱孟连公路	可通行
昆洛公路	可通行
双江普洱公路	可通行

实际灾评调查结果显示，此次地震灾区涉及普洱市的宁洱、思茅、景谷、墨江和江城 5 个县区，地震造成 3 人死亡、28 人重伤、391 人轻伤^①。伤员在地震发生后及时送往灾区各医院进行救治，无需异地疏散。模型计算结果为应急管理决策者提供了一定科学依据。

4 结语

GIS 技术应用于大震应急异地疏散分析是我国地震应急救援数字化建设的重要内容，实践表明，GIS 在应急疏散工作中能发挥其他计算机辅助系统

① 云南省地震局. 2007. 2007 年 6 月 3 日宁洱 6.4 级地震灾害直接损失评估报告

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

所不能替代的作用，提升地震应急救援部门工作的实际效率。本文中笔者阐述了基于 GIS 技术大震应急异地疏散的一般理论和实现方法，并且以实例说明其可行性和可用性。由于目前 GIS 空间分析技术应用于地震应急疏散的案例还不是很多，我们也深刻地感觉到地震应急救援业务模型研究的不足和滞后，但是相信随着 GIS 技术的不断发展和更广泛的应用，GIS 在地震应急救援业务的辅助决策作用一定会越来越明显和重要。

参考文献:

曹彦波, 李永强, 曹刻. 2007. 基于 GIS 空间分析技术的测震台网选址研究 [J]. 地震研究 30 (3): 285—290.
国务院新闻办公室. 四川汶川地震造成 69195 人遇难 18392 人失踪 [EB/OL]. 2008—07—01 <http://news.sina.com.cn/c/2008-07-01/161115851462.shtml>
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.
卢兆明, 林鹏, 黄河潮. 2005. 基于 GIS 的都市应急疏散系统 [J].

中国公共安全 (学术版), (2): 35—40.
阎国年, 张书亮, 龚敏霞, 等. 2003. 地理信息系统集成原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社.
滕五晓. 2004. 日美地震灾害紧急应对对中国灾害应急体制建立的启示 [J]. 防灾减灾工程学报, 24 (3): 323—328.
王晓青, 丁香. 2002. 地震现场灾害损失评估地理信息系统 [M]. 北京: 地震出版社.
谢旭阳. 2007. 基于 GIS 的重大事故应急疏散决策研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 3 (2): 32—35.
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.
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 (2): 198—202.
邹亮, 任爱珠, 张新. 2006. 基于 GIS 的灾害疏散模拟及救援调度 [J]. 自然灾害学报, 15 (6): 141—145.
Hedia Chakraborty, Coze B, Benje Norman T, O'Neill Jacques Desjardets. 2000. Spatial analysis weighting algorithm using voronoi diagrams [J]. Geographical Information Science 14 (4): 319—336.

GIS-based Earthquake Emergency Evacuation Model

CAO Yan-bo, LI Yong-qiang, CAO Ke, YU Qing-kun, ZHAO Heng, GONG Qiang, BAIXian-fu
(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

After an earthquake occurs, quick evacuation of people and the cure of injured people are chief problems in earthquake emergency. We propose the model and spatial database of people evacuation according to the spatial distribution characteristics of earthquake-stricken people, optimal evacuation route and the sites of medical care services. And taking the 2007 Ning'er Yunnan earthquake as an example, we give simulation and calculation result based on the model. The results show that the model is helpful for the earthquake emergency commander to make best evacuation scheme.

Key words: emergency evacuation; GIS; model; Ning'er earthquake