

# GIS技术和神经网络模型在地震地质灾害小区划中的应用研究

张苏平, 王兰民, 马尔曼

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**在前人对地震地质灾害小区划研究的基础上,以甘肃省景泰县城为实例,综合地震地质、地形地貌、活动断裂和场地条件等资料,利用地理信息系统技术和神经网络模型进行地震地质灾害小区划分类。结果表明该方法使以前定性的各类指标尽可能量化,实现了计算机自动成图,提高了工作效率,结果更加准确直观。

**关键词:**神经网络模型;地理信息系统;地震地质灾害小区划;景泰

中图分类号:P315.9 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2003)04-0331-07

## 0 引言

地震对建筑物的破坏不仅与地震的震级和震中距有关,而且与建筑物的场地条件有着密切的关系,因此需进行地震小区划工作。地震小区划要解决三个主要问题:(1)研究区场地类型区划;(2)研究区场地地震地质灾害区划;(3)研究区场地地震动参数区划。其中第一和第三个问题通过工程人员的现场勘探、测试和分析计算,可以直接得到区划结果。而在第二个问题的研究中,主要以经验的宏观方法为主,这样难免带有较强的主观意识。本文引进神经网络模式识别方法,试图对第二个问题的判别尽可能量化、合理化。

在地震地质灾害小区划工作中涉及到收集、整理和分析工程地质、水文地质、地形地貌、地层结构和地表区域划分等多种与地理信息有关的资料和图件。为了使这些信息数据的存储、管理和操作更有效,本文利用GIS这一集信息存储、管理、操作和图形的可视化处理于一体的计算机技术,实现数据可视化、信息地图化。

## 1 GIS技术和神经网络模型原理

### 1.1 GIS技术在地震地质灾害小区划中应用的理论基础和结构分析

地理信息系统是以地理空间数据库为基础的计算机软硬件系统,不仅可以高效地处理空间数据,而且还可以处理有拓扑结构的图形数据,并建立两者之间的关系。人们可以在地理信息系统的支持下,提取地理系统不同侧面、不同层次的空间和时间特征信息,并快速地模拟自然过程的演变和思维过程,取得预测结果,为研究和决策服务。

地震地质灾害是地震力作用下建筑物和场地遭到的破坏,主要包括粉土和砂土液化、软土震陷、地裂缝、地面沉陷、崩塌、滑坡、地震断层、海啸、湖涌、地面和矿坑涌水等,与场地条件关系密切,反映了场地的抗震性能。地震地质灾害预测目前尚没有统一的定量指标,大多是根据工作区内的具体情况,采用宏观或经验的方法进行。把地理信息系统引入到地震地质灾害小区划中,一方面可以利用现场勘探和实测的与地理信息有关的数据;另一方面针对宏观定性的资料,根据经验对其定量化取值,然后建立空间数据库,选取

数学模型,进行综合分析,最后实现计算机自动图像识别,使地震地质灾害小区划尽可能量化、精确化,其预测结果可为抗震防灾规划的编制及建筑场地的选择提供依据。

GIS 图像识别的结构(技术路线)如图 1 所示:

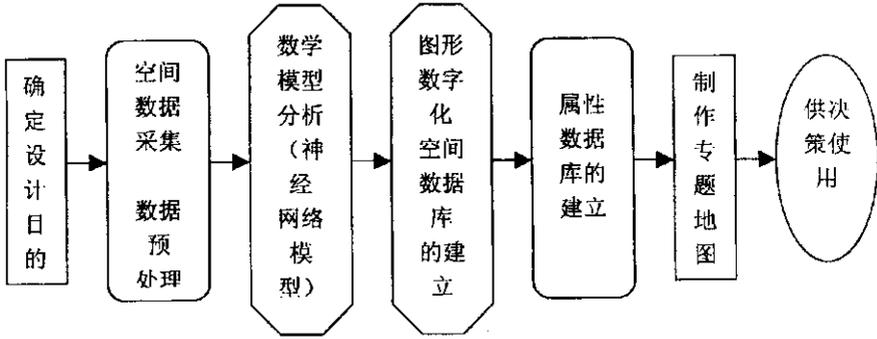


图 1 GIS 图像识别的流程图

Fig. 1 Flowchart of image identification of GIS.

## 1.2 神经网络原理和方法

神经网络是由大量简单神经元广泛连接而成的复杂网络,具有并行分布的信息处理结构,通过对非线性函数的复合来逼近输入和输出之间的映射.它不需要设计任何数学模型,只靠过去的经验来学习.通过神经元的模拟、记忆和联想,处理各种模糊的非线性的数据,采用自适应的模式识别方法来进行判别、计算和分析。

目前,神经网络有多种模型,包括前向网络、反向网络、自组织网络、随机网络和模糊神经网络等各种模型.我们采用前向网络的 BP 算法即误差反传训练算法(Error Back Propagation).它实现了多层网络的设想,通常由输入层、输出层和若干隐含层(亦称中间层)组成. BP 算法的基本过程是:将数据(指标)输入至输入层的各个节点,由输入信号向前传播到隐含层各个节点,经过转换函数(Sigmoid 函数  $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ )作用,再把各隐含节点的输出信号传播到输出节点,最后传到输出层输出结果.如果在输出层不能得到期望的输出信号,那么输出信号的误差由输出层经隐含层至输入层反向传播,调整各神经元之间的连接权值和各神经元转换函数的阈值,以使模型输出与期望输出之间的偏差位于规定的范围内.这种过程是一种自学习的过程.其中第  $k$  层中第  $j$  个神经元具有下列输入输出关系:

$$Y_j^{(k)} = f_j^{(k)} \left[ \sum_{i=1}^{N_{k-1}} W_{ij}^{(k)} y_i^{(k-1)} - \theta_j^{(k)} \right] \quad j = 1, 2, \dots, N_k; \quad k = 1, 2, \dots, M$$

式中  $W$  为第  $k-1$  层中第  $i$  个神经元到第  $k$  层的第  $j$  个神经元的连接权值,  $\theta$  为对应神经元的阈值,  $N$  为第  $k$  层神经元的节点数,  $M$  表示总层数,  $f_j^{(k)}$  为神经元的传递函数,表示为  $f_j^{(k)}(x) = 1/(1 + e^{-x})$ .

## 2 GIS 技术和神经网络模型在景泰县城地震地质灾害小区划中的应用

### 2.1 区域地震地质环境

景泰县城位于景泰—海原断块区的景泰盆地内.该断块大地构造上位于祁连山褶皱系北祁连山褶皱带的东段,属于青藏高原北部地震亚区西海固地震带.区内主要构造为一系列北西西向的褶皱和断裂,其中断块南北缘的古浪—中卫活断层及老虎山—海原活断层新生代以来活动性最强,构成了纺锤状的景泰—海原断块的活动边界(图 2).

### 2.2 场地条件

景泰县城东西宽 3.4 km,南北长 3.55 km,面积 12.24 km<sup>2</sup>.以 50 m × 50 m 为单位,把该区分成 4 828 个样品,分别以构造因素、场地土因素、水文地质条件和地形地貌因素等方面对场地特征进行识别。

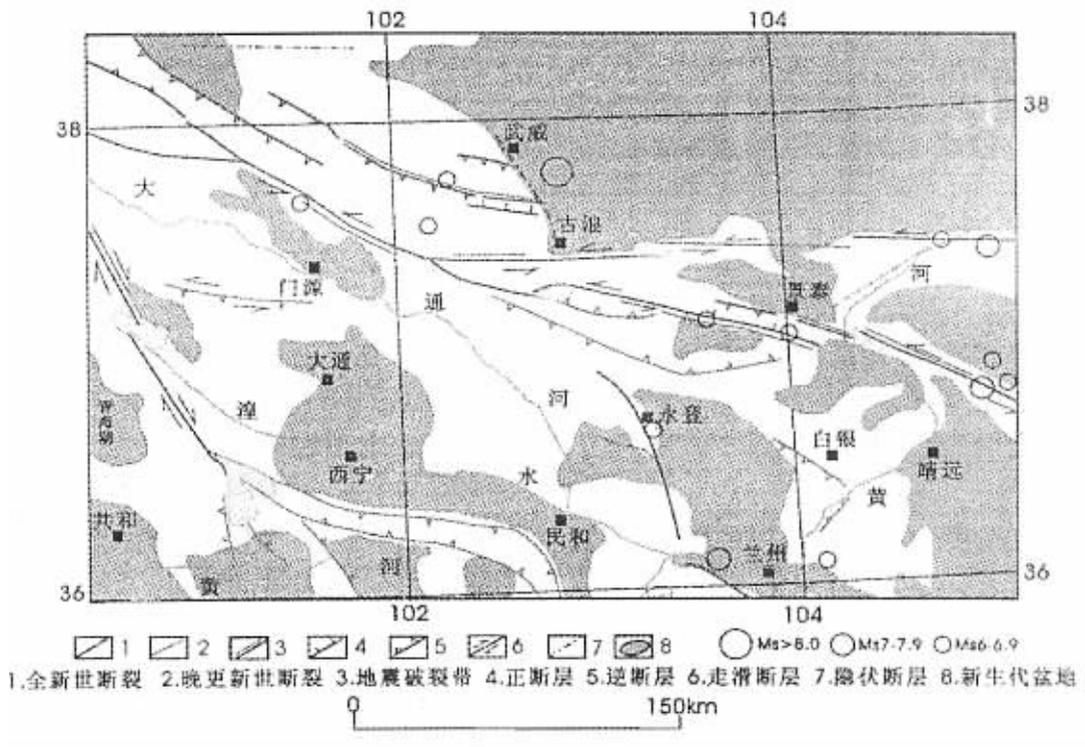


图 2 区域地震地质图

Fig. 2 Sketch of regional seismic geology.

### 2.2.1 构造因素

景泰县城邻近地区(半径 25 km 范围内)发育有 37 条断层,对景泰县城影响主要来自于三条全新世活断层和三条晚更新世活断层。

### 2.2.2 场地土因素

(1) 地层和岩性:景泰县城的主体位于冲积平原地区,为第四纪松散沉积物所覆盖,县城周边有基岩山梁分布。冲洪积砂砾石层厚度由几米至几十米不等,从城中向四周逐渐变薄。顶部为全新世黄土状粉质粘土,大部分地区厚度在 2~4 m 之间。近代人工填土分布在县城各处,主要由粘性土、碎石以及近期垃圾等组成。

(2) 砂土液化:县城地层结构从上到下为较薄的人工填土层(或耕土层),冲—洪积层、残积层,三叠纪基岩。在冲—洪积层内夹有较薄的细砂层(厚度小于 50 cm)。地下水位在 18~26 m 之间,综合考虑上覆非液化土层厚度和地下水位埋深,在 18 m 以内县城区不会发生液化。

(3) 黄土震陷:根据钻孔、探井及收集的有关资料,景泰县城的黄土状粉土的厚度最大为 5 m 左右。根据黄土的震陷实验资料,按厚度 5 m 计算,震陷量仅为 4 cm 左右,因此可不考虑震陷灾害的影响。

(4) 水文地质条件:县城地下水埋深在县城中部冲洪积平原地区为 18~26 m,分布不均匀,基岩埋深小于 18 m 的地方基本没有地下水分布。地下水水质较差。周边残山丘陵隆起区基本无地下水分布。

### 2.2.3 地形地貌特征(图 3)

城区地壳相对稳定,所见小断裂均为全新世以前断裂。本地区新构造运动以整体沉降为主要特征。城区地貌自东北—西南可分为剥蚀、堆积两种类型,三个单元:

(1) 东北部残丘区:主要分布在东环路、石城巷以东地区,以连续起伏的残丘为主,坡度较大,大多 NE 走向,出露地层以三叠纪砂岩为主,属城市绿化用地区。

(2) 中部冲洪积平原地区:主要为冲洪积物堆积而成,地势平坦,构成县城的主体,为城市用地和农业



冲洪积平原 丘陵地区

图 3 景泰县城地貌分区图

Fig. 3 Geomorphological map of Jingtai town.

选取恰当的隐层神经元个数,可以达到分类精度和学习时间的平衡.在实际工作中,我们选取与输入层神经元相同个数的隐层节点.输出层节点选取 1. 其模型结构如图 4.

### 2.3.2 样品和特征值的选取

样品特征值的取值范围分三种情况,一是直接来自工程场地勘探、测量的数据,这种信息有不同的特征种类,数量级别和数据所反映的内涵差异较大,所以需要按对每一种信息特征值按同一性质、同一量级进行相应的转换才能类比;二是只能凭经验取值的宏观信息,所取值的性质和量级与实测数据的性质和量级相同;三是对所有样品都一样的某种信息特征,则按其性质的权重在上述相同量级范围内取值.表 1 为综合了场地条件选取的 11 个识别特征.

用地区.

(3) 西南及西北部一条山残丘隆起区,山体总体走向为北西走向,西北部转为北东走向,山体较小,相对高差仅有 26 m,属城市绿化用地区.

## 2.3 神经网络模型的应用

### 2.3.1 神经网络模型的建立

1989 年 Robert Hecht - Nielson 证明:在一定条件下,对于任意给定的  $\epsilon > 0$ ,存在一个 3 层神经网络,它能以  $\epsilon$  均方误差的精度逼近任意非线性函数.因此采用 3 层的 BP 网络可以完成任意的  $n$  维特征空间到  $m$  维特征空间的映射.根据城区具体情况和针对场地类型识别分类,我们采用 3 层 BP 神经网络.

输入样品的个数从理论上讲应与样品的实际个数相符,但在实际当中因县城面积较大,按  $50\text{ m} \times 50\text{ m}$  采样,共有  $68 \times 71 = 4828$  个样品.考虑到其中很多样品指标可能相同,在每个样品取 11 种特征值后比较分类,最后筛选出 7 种不同样品种类的基本数据集,并将其归一化处理.因此样品数为 7,输入层神经元个数为 11.

从模式识别角度看,隐层神经元个数多少与解决的实际问题有关,隐层神经元个数越多、分类越精确,但学习时间也越长.根据需要

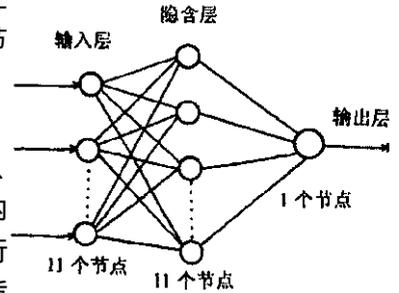


图 4 神经网络模型结构

Fig. 4 Model structure of the neural network.

表 1 场地指标识别标志

场地条件	特征代号	特征内容(识别标志)	类型
构造因素	1	是否有 $M > 6$ 级地震震断层通过	二值
	2	基岩埋深	连续分档
	3	人工填土	
4	地下水埋深		
场地土因素	5	黄土厚度	二值
	6	是否有淤泥质土分布	
	7	是否有液化层分布	
地形地貌	8	是山区还是平原	连续分档
	9	是否邻近有可能发生小规模崩塌的斜坡	二值
	10	是否有大规模滑坡、崩塌发育	
	11	山坡上有没有地下水露出或浸润	

### 2.3.3 数据归一化

在确定了 BP 网络模型的具体拓扑结构( 11、11、1 )和识别指标后 ,为了加快收敛速度 ,需对原始数据进行归一化处理 ,即

$$X_i' = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$$

$X_i'$  位于 [ 0 , 1 ] 之内. 学习数据和预期结果的选取根据以往地震地质灾害小区划的经验. 把这 11 个特征值应用于各个样品中 ,最终筛选出 7 种不同类型的样品 ,其归一化数据见表 2( 特征值代号与表 1 一致 ).

表 2 预测数据归一化结果

样品类型	特征代号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.25	0.30	0.25	0.40	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
2	0.25	0.50	0.25	0.40	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
3	0.25	0.70	0.25	0.40	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
4	0.25	1.00	0.25	0.40	0.50	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
5	0.25	0.70	0.25	0.40	1.00	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
6	0.25	1.00	0.25	0.40	1.00	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
7	0.25	0.00	0.25	0.40	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25

### 2.3.4 学习和预测结果

经过归一化处理的学习数据和预测数据加载到 BP 网络后 ,选取一定的训练参数 ,对其进行训练和学习. 学习数据输出结果如表 3 ;根据学习结果所确定的权值 ,得预测结果如表 4. 这里选取学习率为 0.7 动量因子为 0.9 ,系统最大误差为 0.000 1 ,学习次数为 3 517 次.

鉴于景泰县城地貌单一、场地条件较为简单 ,且无大面积严重的地震地质灾害存在 ,将景泰县城区划分为山区、抗震有利区( I、II )和抗震不利区. 县城内无危险区.

表 3 学习数据输出结果

样品	输出值	预期值
0	0.113 002	0.1
1	0.236 252	0.2
2	0.275 303	0.3
3	0.312 969	0.3
4	0.408 320	0.4
5	0.488 584	0.5
6	0.005 531	0.0

表 4 预测数据输出结果

样品	输出值	目标值
0	0.085 172	0.1
1	0.184 317	0.2
2	0.258 241	0.3
3	0.281 810	0.3
4	0.431 536	0.4
5	0.500 347	0.5
6	0.005 335	0.0

山区 :不能进行工程建设.

抗震有利区 :I 区是指地震时不会产生场地地震害而损坏建( 构 )筑物. 一般为坚硬土或开阔平坦、密实均匀的中硬土等. II 区的抗震性能仅次于 I 区 ,没有大的区别.

抗震不利区 :是指地震时场地会产生变形和破坏 ,但在目前的经济和技术条件下能通过工程措施得以克服或减轻. 一般指软弱土 ,液化土 ,条状突出的山嘴 ,高耸孤立的丘 ,非岩质的陡坡 ,河岸和边坡边缘 ,平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层( 如古河道 ,断层破碎带及半填挖地基 )等.

我们规定预期值和地震地质灾害的分类对应关系如表 5.

表 5 预期值和地震地质灾害类型的对应关系

预期值	地震地质灾害类型
0.0	山区
0.1	抗震不利区
0.2	抗震不利区
0.3	抗震有利区 II
0.4	抗震有利区 I
0.5	抗震有利区 I

### 2.3.5 GIS 技术的应用

在 GIS 技术中 ,应用模型起着十分重要的作用 ,本文采用 GIS 外

部空间模型分析法. 这种方法是将 GIS 当作一个空间数据库来用, 空间模型分析的功能则利用其他软件或程序(如神经网络程序), 不与空间数据库共享数据, 而是将 GIS 的空间数据输出作为一个中介文件构成数据源, 然后仍以此中间文件作为媒体, 将空间分析结果返回到 GIS 的空间数据库中. 尽管这种方法的时间和空间效率均不高, 但由于它可以利用现有的空间分析软件, 无需在 GIS 环境中重编这些分析模型, 比较容易实现, 因此 GIS 外部空间模型分析方法是目前 GIS 各个应用领域中常用的方法之一.

### (1) 空间数据库建立

为了尽可能精确地反映每个区域的地震地质灾害的综合特性, 本文将县城平面规划示意图划分为  $50\text{ m} \times 50\text{ m}$  的矩形区域样品, 共计 4 828 个样品. 每个样品除有构造因素、场地土因素和地形地貌等 11 项指标特征外, 还具有空间地理分布特征. 因此对每个区域建立相应的特征指标数据库(表). 首先用扫描仪将示范区底图扫描成栅格图像, 然后以栅格图像为基础新建一个表, 表的字段应包含 11 项指标字段和综合分析结果字段, 利用 MapBasic 语言编程在 MapInfo 系统支持下, 把每个矩形区域数字化, 确定新图层的坐标. 栅格图共生成 4 828 个矢量对象, 相应地空间数据库也就有 4 828 条空间记录, 包括 12 个字段. 为了使信息在相应的地理位置上可视化, 我们还必须采集空间数据. 地图数字化是最基本的数据采集方法, 这里以示范区的栅格图像为底图, 屏幕数字化为两层图, 即基础底图层和网格图层.

### (2) 属性数据库建立

属性数据对各图层要素的显示、查询、空间分析等所有操作起着至关重要的作用. 其输入方式有很多, 可以通过地图窗口的 Browse 直接输入每条记录相应的属性数据, 也可以把属性数据形成文件名. dbf 或文件名. txt 文件格式, 通过系统传送到 MapInfo 属性表中以供使用. 我们采用文件名. txt 文件传送到属性表中.

### (3) 制作专题地图供决策使用

根据前述每个数字化矩形区域综合分析结果的属性数据, 按范围值的不同, 用不同的颜色表达, 创建示范区地震地质灾害的专题地图. 根据 GIS 的空间叠加原理, 形成综合区划图(见图 5).

## 3 分析、评价结果

地震地质灾害小区划目的在于为工程项目的选址和城区规划提供可靠的依据, 达到以最小的社会经济投入获得最佳的社会经济环境与经济效益, 它需要综合考虑地形地貌、地下水埋深、基岩埋深等影响场地条件的各种因素.

在以往的地震地质灾害小区划工作中, 人们主要依据经验的宏观方法, 粗略估计区划类型的地理分布和范围, 手工进行画图、填图, 这样不仅地震地质灾害小区划的信度较低, 而且制图工作量大. 本文引入的 GIS 应用模型和神经网络模型, 是在前人对地震地质灾害的研究经验总结基础上, 结合示范区的构造因素、场地因素和地形地貌等指标进行综合分析识别, 最后得出区划结果, 利用 GIS 技术实现区划结果可视化.

图像识别的结果与以往经验的宏观结果相比, 有如下特点:

(1) 识别结果与宏观的、经验的结果基本一致.

(2) 选定合理的阈值, 能将识别结果划分的更为精确, 而各档次之间的差别又能较好地反映场地条件的差异, 能使小区化工作更细.

(3) 识别过程程序化、直观化, 避免以前繁杂的人工绘图填图工作, 提高地震小区划的工作效率.

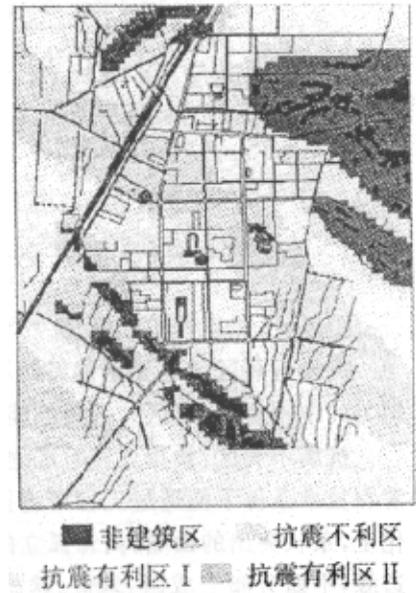


图 5 景泰县城综合区划图

Fig. 5 Comprehensive microzonation map of Jingtai town.

[ 参考资料 ]

[ 1 ] 刘仁义,刘南. 基于 GIS 技术的水利防灾信息系统研究 [ J ]. 自然灾害学报, 2002, 11( 1 ) 62—67.  
 [ 2 ] 冯利华. 基于人工神经网络的地震活动性研究 [ J ]. 西北地震学报, 2000, 22( 4 ) 402—405.  
 [ 3 ] 刘海涛,周志华,尹旭日,等. 神经网络在测井资料岩性识别中的应用研究 [ J ]. 模式识别与人工智能, 2000, 13( 2 ) 227—230.  
 [ 4 ] 皇甫冉,陈维斌. 通用 BP 神经网络训练系统的实现 [ J ]. 微计算机应用, 2000, 21( 6 ) 321—324.  
 [ 5 ] 姚娜. GIS、MapInfo 与 MapBasic 学习教程 [ M ]. 北京: 北京大学出版社, 2000.

# RESEARCH ON GIS AND NEURAL NETWORK APPLING IN MICROZONATION OF SEISMIC GEOLOGICAL DISASTER

ZHANG Su-ping , WANG Lan-min , MA Er-man

( Lanzhou Institute of Seismology , CSB , Gansu Lanzhou 730000 ,China )

**Abstract** :On the bases of predecessors’s research work and comprehensively analyzing the seismic geology ,topographic features ,active faults and site factors , the microzonation of seismic geological disaster for Jingtai town , Gansu province is down by using the technique of GIS and neural network model. The result shows that the method turns previous qualitative indexes into quantitative one ,and realizes computer drawing figure automatically. The work outcome can be showed accurately and directly.

**Key word** Neural network model ; Geographical information system ; Microzonation of seismic geological disaster ; Jingtai

\*\*\*\*\*  
( 上接 330 页 )

# EVOLVEMENT CHARACTERS OF AMBIENT STRESS FIELD BEFORE AND AFTER MODERATE-STRONG EARTHQUAKES IN GUANGXI AREA

YANG Shi-sheng<sup>1, 2</sup> , LI Liu-ying<sup>1</sup> , MO Jing-ye<sup>1</sup>

AN Lin<sup>1</sup> , LI Geng-ming<sup>1</sup> , WU Shi-ping<sup>1</sup> , WANG Ling<sup>1</sup>

( 1. Seismologocal Bureau of Guangxi Autonomous Region , Guangxi Nanning 530022 ,China ;

2. Guangxi University Architectural and Civil Engineering Institute , Guangxi Nanning 530004 ,China )

**Abstract** :Based on the earthquake record data of Guangxi seismic network in more than 30 years ,the ambient shear stress values around many middle and small earthquake sources in Guangxi and adjacent regions are determined by using the method of half period in P wave first impulse and magnitude. Evolvment characters of the ambient stress values before and after 8 moderate-strong earthquakes in Guangxi is studied.

**Key words** : Stress field ; Ambient shear stress ; Moderate-strong earthquake ; Evolvment character