

云南中东部地区 $M \geq 6$ 地震潜在震源区的综合图像识别

毛燕, 俞维贤, 王彬

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘要:利用云南中东部地区多年来有关的地震地质、地球物理、地壳形变等方面的研究成果, 分析选定了15个与强震较为相关的特征标志, 并通过图像识别方法最终筛选出12个标志作为特征参数。通过综合图像识别在100个研究对象中得到了47个 $M \geq 6$ 地震的潜在震源区, 再在确定出的有可能发生及原已发生过6级地震的49个研究区中识别出27个 $M \geq 7$ 地震的潜在震源区, 给出了云南中东部地区中强震潜在震源区预测图。

关键词: 图像识别; 潜在震源区; 云南中东部地区

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)01-0066-05

Synthetic Pattern Distinction of Potential Seismic Focus Areas for the $M \geq 6$ Earthquakes in Central and Eastern Yunnan Province

MAO Yan, YU Wei-xian, WANG Bin

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650041, China)

Abstract: Based on the data of seismogeology, geophysics and crustal deformation in central and eastern Yunnan province in recent years, the 15 characteristic parameters which are closely correlated to strong earthquakes are analysed and selected. Among the 15 parameters, 12 are chosen by sieving method of pattern distinction as the final parameters. Using the means of synthetic pattern distinction, 47 potential seismic focus areas for $M \geq 6$ earthquake from 100 studying areas are determined. Then, 27 potential seismic focus areas for $M \geq 7$ earthquake are obtained from 49 studying areas in which the $M 6$ earthquakes have occurred or will occur possibly. On this foundation, a predictive map of potential seismic source areas for moderate—strong earthquake in Central and eastern Yunnan province is put forward.

Key words: Potential seismic focal area; Central and eastern Yunnan province

0 前言

图像识别是上个世纪中后期发展起来的一门新兴学科, 可以应用于多个研究领域。国内外学者的研究^[1-9]表明, 虽然他们所用的方法各具特色, 但方法和思路都较相似, 且研究结果都比较令人满意。

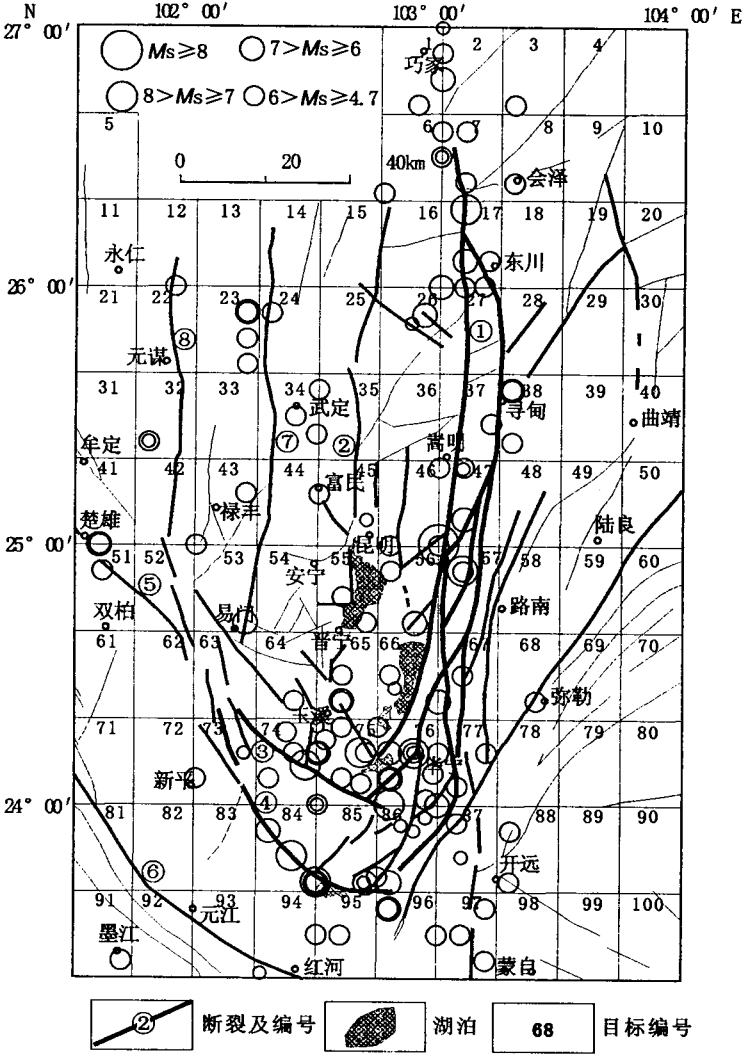
昆明是云南省的经济、文化、工业中心, 而昆明中东部地区的小江、曲江、石屏—建水等断裂带是历

史地震强度大、频度高的地震构造带, 因此是地震工作者重点关注的地区。地震工作者在该区已进行了大量的地震地质、地球物理及地壳形变等方面的研究工作, 积累了丰富的基础资料, 给进一步的研究工作创造了条件^[10-15]。本文是综合应用这些宝贵资料利用图像识别方法对该区内的强震潜在震源区进行了判定。

收稿日期: 2004-05-17

基金项目: 云南省十五重点项目, 云计地区[2002]54号—02—02

作者简介: 毛燕(1976—), 女(汉族), 云南昆明人, 在读硕士, 现主要从事地球物理研究工作。



① 小江断裂; ② 普渡河断裂; ③ 曲江断裂; ④ 石屏—建水断裂;
⑤ 楚雄—南华断裂; ⑥ 红河断裂; ⑦ 绿汁江断裂; ⑧ 罗茨—易门断裂

图 1 云南中东部地区地震构造及识别目标划分简图

Fig. 1 Sketch of earthquake tectonics and identified objection plotting in the middle and eastern area of Yunnan province.

1 地震地质概况

本文选定研究区的范围为 $101^{\circ}30' \sim 104^{\circ}00' E$, $23^{\circ}20' \sim 27^{\circ}00' N$ 间。区内历史地震多、强度大,地质构造复杂。多组活动断裂交切穿插,控制着本区的地震活动。主要活动断裂有:小江断裂、曲江断裂、石屏—建水断裂、楚雄—南华断裂、罗茨—易门断裂、普渡河断裂、绿汁江断裂及红河断裂等(图 1)。

2 图像识别标志的选取、目标的确定及识别过程

本研究中,把研究区分为均匀的 100 个长方形

识别目标(图 1),根据所选特征参数逐个对目标进行扫描,确定所选特征的是与否(是表示为 1,否为表示为 0),作为强震潜在震源区判定的依据。

2.1 以 6 级地震为基础的图像识别

综合图像识别是根据已有的资料进行的判定强震潜在震源区的过程。虽然已有的程序设计各不相同,但其思路是一致的。所出现的误识情况不是由于程序设计,而是在于所选特征参数的可靠性。

2.1.1 基本资料及特征问题的选取

前人对该研究区范围已进行了地震地质、地球物理及地形变测量等多方面的调查、监测、研究工作,积累了比较丰富的资料。本研究中收集了该区的地震地质、航卫片解释、地震活动性、地球物理及

表 1 选定的特征参数表

编号	初选特征参数内容	试验选定参数
1	是否有 4.7—5.9 级的地震	
2	是否有超壳深大断裂通过	是否有超壳深大断裂通过
3	是否有北东向断裂通过	是否有北东向断裂通过
4	是否有北西向断裂通过	是否有北西向断裂通过
5	是否位于断裂带的特殊部位(拐点、交叉部位、端部)	是否位于断裂带的特殊部位(拐点、交叉部位、端部)
6	是否有 1 条以上的活动断裂通过	
7	是否有第四纪盆地	是否有第四纪盆地
8	是否位于现今垂直形变隆起区	
9	是否有全新世活动断裂通过	是否有全新世活动断裂通过
10	是否存在晚更新世以来的活动断裂与其它断裂的交叉点	是否存在晚更新世活动断裂与其它断裂的交叉点
11	是否有晚更新世以来的活动断裂通过	是否位于现今垂直形变隆起区
12	是否位于航磁异常高异常区	是否位于现今航磁高异常区
13	是否位于航磁异常低异常区	是否属于航磁低异常区
14	是否位于剩余重力异常高异常区	是否为剩余重力异常的高异常区
15	是否位于剩余重力异常低异常区	是否为剩余重力异常的低异常区

地形变测量等方面的资料,经过分析,选取了 15 个认为与强震关系较为密切的参数(表 1)^{[10,16-19],①-⑥}。

2.1.2 识别目标的确定

我们把图 1 中的 100 个长方形研究区域,从西到东编号。把识别目标中历史有上 $M \geq 6$ 地震记载的目标作为 I 类目标;反之作为 II 类目标。其中 II 类目标包括两种情况:一是现在与将来一定时间内不会有中强震发生的地区;二是现在与将来一定时间内可能发生强震的地区。但这两种情况只有通过图像识别来进行,所以我们将它们统称为 II 类目标。

2.1.3 图像识别过程

本文中使用的图像识别程序是修改的 CORA—3 方法。程序设计的基本思路是:根据所选定的特征参数,组合成 1 次,2 次,3 次候选特征,根据给出的阈值 $K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}$ 来确定其是否作为 I 类或 II 类特征。确定 I 类或 II 类特征的标准是:某个特征在 I 类特征中出现的概率 $\geq K_{11}$,而在 II 类特征中出现的概率 $\leq K_{12}$,该特征就作为 I 类特征;如果某特征在 II 类特征中出现的概率 $\geq K_{21}$,在 I 类特征中出现的概率 $\leq K_{22}$,此特征就作为 II 类特征。然后再通过投票确定每个待识别的目标中 I 类或 II 类特征的数量,把所要识别的目标分为 D 类和 N 类。

最初选定的 15 个特征中可能有的与地震关系不太密切,或在研究区内资料不够完整,这样的特征会影响判别的准确性。辨别试验结果好坏的条件是:在识别出的危险(D)目标中,对原已确定有 6 级以上地震记载的目标要基本不存在误判(判对率应在 90%以上)为标准,新判别的地震危险(D)目标应占 II 类目标的 30%~40%为好。试验中采用了 10

组阈值(表 2),经过数十上百次的控制试验,最终在 15 个初选特征中有 12 个构造标志分类效果达到预期标准,作为特征参数(表 1)。^①

表 2 试验阈值取值表

组号	K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}
1	0.8	0.4	0.4	0.8
2	0.7	0.3	0.3	0.7
3	0.7	0.4	0.4	0.7
4	0.7	0.2	0.2	0.7
5	0.7	0.5	0.5	0.7
6	0.6	0.4	0.4	0.6
7	0.6	0.3	0.3	0.6
8	0.6	0.5	0.5	0.6
9	0.9	0.1	0.1	0.9
10	0.5	0.4	0.3	0.7

2.2 以 7 级地震为基础的图像识别

用上面所介绍的方法,在分为 100 个长方形的分区上,挑选出历史上已发生过 7 级地震的 9 个研究区作为 I 类目标,把确定出的有可能发生及原已发生过 6 级地震的 49 个研究区作为 II 类目标。识别方法也如上面计算 6 级地震时一样。选定的特征参数不变(表 1)。

3 中强地震潜在震源区的综合图像识别结果

① 云南省地质局.云南地质构造图(1:50 万).1979.
② 云南省地质局区调队地质力学研究组.云南省构造体系图(1:75 万).1979.
③ 云南省地震局测量队.云贵地区形变等值线图.1982.
④ 云南省地矿局物探大队.云南省剩余重力异常图.1987.
⑤ 云南省地矿局物探大队.云南省布格重力异常图(1:100 万).1987.
⑥ 云南省地矿局物探大队.云南省航空磁测 ΔT 平面图(1:50 万).1985.

3.1 以 6 级地震为基础的识别结果

由以上所确定的 12 个特征参数为基础,经 10 组阈值进行试验,有 4 组阈值(表 3)的计算结果较为一致。判定得到 47 个 D 类目标,占全区的 47%,其中有 18 个目标为原有 6 级以上地震记录的目标,29 个为新判定的中强地震潜在震源区,有 2 个误判目标,识别准确率为 90%,达到预期要求。

表 3 6 级震源区阈值取值表

组号	K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}
1	0.7	0.4	0.4	0.7
2	0.7	0.2	0.2	0.7
3	0.7	0.5	0.5	0.7
4	0.6	0.4	0.4	0.6
5	0.6	0.3	0.3	0.6

3.2 以 7 级地震为基础的识别结果

由以上所确定的 12 个特征参数为基础,经 8 组阈值进行试验,有 4 组阈值(表 4)的计算结果较为一致,判定得到 27 个 D 类目标,占全区的 55%,其中有 7 个目标为原有 7 级以上历史地震的目标,20 个为新判定的 7 级地震潜在震源区。

表 4 7 级震源区阈值取值表

组号	K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}
1	0.8	0.4	0.4	0.8
2	0.8	0.3	0.4	0.7
3	0.7	0.3	0.2	0.8
4	0.6	0.5	0.4	0.7

3.3 昆明中东部地区 6 级、7 级以上级地震潜在震源区判定结果

通过上述计算机综合图像识别的分级判定,最终得出昆明中东部地区强震潜在震源区的综合预测图(图 2)。从图中可看出 7 级地震的潜在震源区覆盖了研究区内小江断裂带、通海—石屏建水断裂带及绿汁江断裂和楚雄—南华断裂的部分地段;6 级地震的潜在震源区覆盖了研究区内晚更世以来仍明显活动的断裂的主要地段。

4 结果与讨论

(1) 在整个判定过程中,对于历史上没有 6 级以上地震记载地区的类别划分是很重要的,因为识别历史上没有 6 级以上地震记载,而存在将来可能发生 6 级以上地震的潜在震源区才是图像识别的目的所在。因此用图像识别判定潜在震源区的思路是:以原已有 6 级以上地震记载的确定震源区为基础,判别中调整删除各参数进行试验,要使得已确定潜在震源区的判对率在 90% 以上,适当地扩大 D 类目标的覆盖范围,使之达到较为理想的效果。而以

7 级地震为基础,判对率为 78%,这更加强了研究区中强地震潜在震源区的识别结果。

(2) 由云南中东部地区中强地震潜在震源区的综合图像识别结果(图 2)可看出,云南中东部地区 $M \geq 6$ 地震潜在震源区覆盖了研究区内所有现今仍继续活动的断裂构造区段,且判断出的潜在震源区更密集于多组断裂的交叉、转折及斜列部位,表明判定结果是成功的。

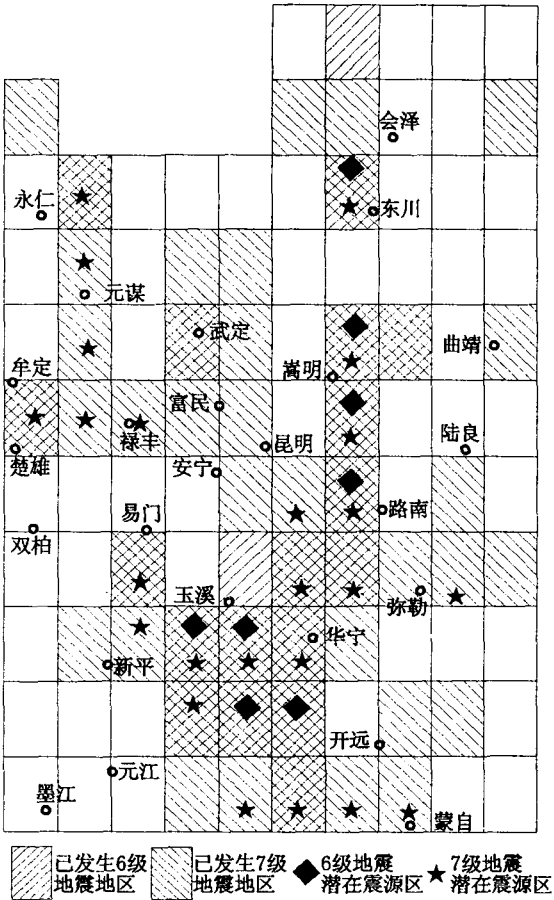


图 2 云南中东部地区 $M \geq 6$ 地震潜在震源区的综合预测图

Fig. 2 Comprehensively forecasting map of $M \geq 6$ earthquakes potential focus areas in Middle and eastern Yunnan province.

(3) 本文在云南中东部地区识别出 27 个未来具有 $M \geq 7$ 地震的危险目标和 47 个未来具有 $M \geq 6$ 地震的危险目标,对区内中长期地震预报、城市建设有一定的参考价值。

[参考文献]

[1] Gelfand I M, sh A Guberman, M L Lzvekoua, et al. . Cria of High Seismicity. Determined by Pattarm Raognition[J]. Te-

- honophysics, 1977, **13**: 415—422.
- [2] 王碧泉, 杨锦英, 王春珍. 大震前地震活动的图像识别[J]. 地震学报, 1982, **4**(2): 105—115.
- [3] 王碧泉, 王春珍. 对连续 Hamming 方法的改进及其在潜在震源判定中的应用[J]. 地震学报, 1988, **10**(2): 113—123.
- [4] 吕宏伯, 聂金宗, 陈祖荫, 等. Hamming 分类方法的改进及其在地震区划中的应用[J]. 地震学报, 1986, **8**(增刊): 143—153.
- [5] 马秀芳, 王春珍, 王碧泉. 用模式识别方法确定北京及其临区易发生地震的地点[J]. 地震学报, 1985, **7**(4): 374—384.
- [6] 王玉秀, 杨锦英, 马淑田, 等. 用 Fisher 方法划分地震活动期[J]. 地震学刊, 1988, **2**: 7—12.
- [7] 张郅珍, 粟生平, 李革平. 华北近期地震危险区的确定要素和综合图像识别[J]. 中国地震, 1985, **1**(4): 18—26.
- [8] 丁福玉, 杜兴信, 易学发, 等. 应用模式识别定量划分潜在震源区[J]. 地震研究, 1990, **13**(2): 122—130.
- [9] 黄德瑜, 梅世蓉, 刘蒲雄, 等. 华北地震潜在危险区图像识别的空间扫描[J]. 中国地震, 1988, **4**(3): 71—75.
- [10] 宋方敏, 汪一鹏, 俞维贤, 等. 小江活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [11] 李坪主编. 鲜水河—小江断裂带[M]. 北京: 地震出版社.
- [12] 何宏林, 李坪, 方仲景. 滇东南楔形构造区发震构造背景探讨[J]. 地震地质, 1992, **14**(4): 217—226.
- [13] 朱成男. 小江断裂全新世运动速率测定与地震危险性评价[A]. 见: 史前地震与第四纪地质文集[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982.
- [14] 韩慕康, 柴天俊, 董兴权. 云南南部橘麓湖的全新世变迁及其通海震区新构造运动的关系[J]. 地质评论, 1981, **6**: 491—495.
- [15] 俞维贤, 王晋南, 毛玉平. 滇西地震重点监视防御区中强地震潜在震源区的综合图像识别[J]. 地震研究, 1993, **16**(4): 350—358.
- [16] 顾功叙主编. 中国地震目录[M]. 北京: 地震出版社, 1983.
- [17] 姜朝松, 樊友心, 邵德晟, 等. 昆明市地面沉降[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1999.

(上接 51 页)

[参考文献]

- [1] 伍致中, 郭富贤, 等. 再论博格达推覆盖构造与油气[J]. 新疆地质, 1991.
- [2] 柏美祥, 范芳琴, 等. 博格达山北麓活动构造[J]. 内陆地震, 1997, **11**(1).
- [3] 冯先岳. 新疆古地震[J]. 乌鲁木齐: 新疆卫生出版社, 1997.
- [4] 沈军. 准噶尔盆地南北两侧新构造运动特征对比研究[D]. 中国地震局地质研究所, 1998.
- [5] 邓起东, 等. 天山活动构造[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [6] 赵成斌, 孙振国, 顾梦林, 等. 玛纳斯地震区地壳浅部构造特征探测研究[J]. 地球物理学报, 2001, **44**(1): 54—63.
- [7] 新疆维吾尔自治区地方志编纂委员会. 新疆通志. 第 11 卷地震志[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2002.
- [8] 尤惠川, 任利生, 陈国星, 等. 东天山阜康断裂的变形方式与全新世滑动速率[J]. 中国地震, 2002, **18**(3): 239—248.
- [9] 尤惠川, 任利生, 张玉梅. 新疆阜康—吉木萨尔断裂带的几何特征与活动性研究[J]. 地震地质, 2003, **25**(3): 375—384.
- [10] 沈军, 李莹甄, 汪一鹏. 地震构造的能量积累和释放特征与新疆天山部分地区地震危险性分析[J]. 中国地震, 2004, **20**(3): 229—237.
- [11] Stein R S, Yeats R S, Hidden earthquakes[J]. Scientific American, 1989, **260**: 48—57.