

四川盆地潜在震源区的细致划分

周荣军, 唐荣昌, 雷建成

(四川省地震局工程地震研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 四川盆地包括川中台拱和川东陷褶束的范围, 具有相对稳定的大地构造环境。鉴于该地区地震活动水平相对较低、发震构造不甚明确的特点, 在编制1990年版中国地震烈度区划图时, 划分的潜在震源区面积也相对较大。本文在总结四川盆地中强地震 ($M_s = 4.7 \sim 5.7$) 发震构造条件的基础上, 用地震构造类比原则对四川盆地的潜在震源区进行了重新划分。确定潜在震源区边界时, 充分考虑了背斜轴走向、背斜构造的影响带宽度、小震活动密集条带和余震的分布范围。得到了四川盆地更加细致的潜在震源区划分方案。这对于低地震活动水平地区的潜在震源区的细化研究具有一定参考意义。

关键词: 潜在震源区; 发震构造条件; 四川盆地

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8115(2005)03-0001-06

1 引言

潜在震源区的细致划分是新的烈度区划图的一个努力方向。对于一个地震活动水平较高的地区或某条活动断裂带, 可以通过对区域断裂的活动时代鉴定或活动断裂的细致分段等来实现潜在震源区的细化过程。

四川盆地的范围大致与四川台拗的位置相当, 包括川中台拱和川东陷褶束两个三级大地构造单元, 地壳结构简单, 具有相对稳定的大地构造环境。第四纪以来, 该区表现为大面积的整体间歇性抬升, 未见明显的差异活动。比较系统的年代学样品测试结果和地貌学分析结果表明, 该地区不存在晚更新世活动断裂。历史地震资料则表明, 自B. C. 26年宜宾 $5\frac{1}{2}$ 级地震以来, 四川盆地仅有10余次中强地震 ($M_s = 4.7 \sim 5.7$) 的记载, 最大地震为1896年富顺 $5\frac{3}{4}$ 级地震。因此, 四川盆地中强地震的发震构造条件分析将对该地区潜在震源区的划分产生重要影响。

2 四川盆地中强地震的发震构造条件

四川盆地的上地壳一般由厚约数 km 至 10 余 km 的沉积盖层和前震旦系结晶基底组成。川中地区的基底由一套基性、中性及较强磁性的火成岩组成, 具有密度高、磁性强的特点, 表明基底为一变质深和硬化程度高的刚性块体, 埋深 5~6 km。川东地区的基底主要由一套巨厚的沉积变质碎屑岩夹碳酸盐岩与火山碎屑岩的复理式建造所组成, 属低密度和弱至无磁性的塑性基底结构, 埋深一般为 7~9 km, 最深可达 11~12 km^[1,2]。地表构造卷入深度不一致, 川中主要构造卷入深度大, 一般为 3~6 km, 卷入层位至震旦系, 表现为平缓的短轴状、鼻状背斜, 构成各种旋扭构造, 地表一般未见断裂; 川东地区卷入深度不一, 一般为 4.5~5 km, 卷入层位最深可达震旦系, 表现为标准的隔档式构造, 地表断裂具有与背斜构造共生的特点。

2.1 震例分析

自1985年以来, 四川盆地共发生过4次现代中强地震, 即1985年3月29日自贡5.0级地震, 1989年11月20日江北统景5.2、5.4级地震, 1996年2月28日宜宾5.4级地震和1997年8月13日荣昌5.2

级地震。将这4次地震的一些基本参数列于表1中。

表1 四川盆地代表性中强地震的一些基本参数

编号	发震时间	地点	震级	震源深度 (km)	沉积盖层厚度 (km)	背斜规模	地表断裂	基底断裂	背斜核部盲冲断裂	等震线
1	1985 3.29	自贡	5.0	5~7	7	NEE 向的单一背斜, 长约 24 km	NEE 和 NWW 向断裂, 活动时代 Q_1-Q_2	NE 向与 NW 向基底断裂交汇	NEE 向背斜核部盲冲断裂, 存在深度约 4~6 km	长轴为 NEE 向
2	1989 11.20	江北统景	5.2、 5.4	5	7~8	NNE 向的单一背斜, 长 210 km	南段 NNE 向断裂, 活动时代 Q_1^{1-2}	NW 向与 SN 向基底断裂交汇	NNE 向背斜核部盲冲断裂, 存在深度 4~6 km	长轴为 NNE 向
3	1996 2.28	宜宾	5.4	< 15 (?)	6	NE 向的单一背斜, 长约 26 km	无	NE 向和 NW 向基底断裂交汇部位附近	NE 向背斜核部盲冲断裂, 存在深度 3 km	长轴为 NE 向
4	1997 8.13	荣昌	5.2	3~5	6~7	NE 向的单一背斜, 长约 65 km	NE 向断裂, 活动时代 Q_3	NE 向基底断裂	NE 向背斜核部盲冲断裂, 存在深度 3~5 km	长轴为 NE 向

由表1可知, 四川盆地的中强地震一般发生于 NE、NEE 和 NNE 向的背斜核部或陡翼, 且震源位于结晶基底之上的沉积盖层内, 与沉积盖层内的背斜核部盲冲断裂有关, 其深部构造背景往往有不同方向的基底断裂在震源附近交汇。而这些中强地震与背斜的规模、地表断裂及活动时代没有明显的关系。

2.2 可能的地震机制

地质及深部物探资料表明, 四川盆地的褶皱构造通常被限于沉积盖层的中上部, 亦即 4.5~5 km 的深度范围内。断裂构造的地表产状较陡, 向下则变得平缓, 随背斜构造一同消失。这种背斜构造与断裂的成因联系, 起源于沿滑脱面向上发展的断层扩展背斜, Chester 等^[3]称之为“断层弯曲和断层的扩展褶皱”, 并通过模拟实验重现了这种褶皱作用过程。

四川盆地这类特殊的盖层构造往往对地震活动有重要的控制作用。钱洪等认为^[4], 如图1所示, 当盖层在滑脱面上缓慢滑动过渡过低角度逆掩断层时, 断面的摩擦和障碍导致该处应变能的积累。当积累的应变能达到断面附近岩石的强度极限时发生地震。由于逆掩断层与背斜构造成因上的联系, 因而震中位置常位于背斜核部附近, 且等震线的长轴与背斜轴方向一致。并导致震级低、震源浅, 震中烈度比正常地震烈度略偏高的特点。考虑到四川盆地已有两千余年的历史地震记载资料, 因此, 已发生的地震强度可能代表了这一类盖层构造的实际地震水平。

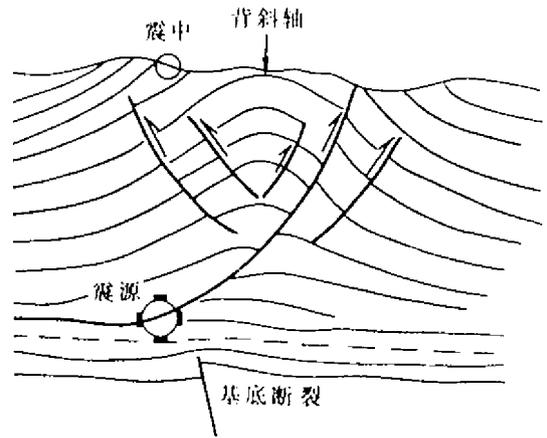


图1 四川盆地地震构造关系示意图 (据钱洪等, 1992)

值得注意的是, 四川盆地为数不多的中强地震往往发生在不同方向的基底断裂的交汇部位, 如 1854 年南川 5 1/2 级地震发生于巫山—金佛山基底断裂与长寿—遵义基底断裂的交汇部位; 1989 年江北统景 5.2、5.4 级地震发生于长寿—遵义基底断裂与涪陵—长寿基底断裂的交汇部位以及自贡、宜宾附近的多次 5 级左右的地震亦发生在不同方向的基底断裂的交汇部位等。这可能与基底断裂交汇部位的局部应力集中以及基底断裂的微弱活动所导致的盖层构造重新活动有关。具体的构造机制尚待进一步研究。

2.3 发震构造条件

综上所述, 四川盆地中强地震发生的构造条件应当同时具备以下两个标志^[5]:

¹ NE、NEE 或 NNE 方向的背斜构造。中强地震的发生与背斜构造的规模、延伸长度以及是否存在地表断裂和地表断裂的规模、长度及活动时代没有明显的联系, 但往往与地表之下存在一定规模的背斜核部盲冲断裂具有比较明显的关系;

^o 不同方向的基底断裂的交汇部位往往是中强地震发生的场所, 而基底断裂也通常是重、磁异常变化的梯度带。中强地震的发生可能与基底断裂的交汇部位易于应力集聚有着某种成因上的联系。

3 四川盆地潜在震源区的划分

在划分潜在震源区时, 主要考虑了两条原则: ¹ 地震构造类比原则; ^o 地震活动重复原则。注意到四川盆地的活动构造、新构造运动、发震构造结构条件和应力场具有极大的相似性以及相对较低的地震活动水平, 因此应以四川盆地中强地震的发震构造条件为依据, 充分考虑地震构造类比原则。

3.1 潜在震源区的方向和范围

四川盆地潜在震源区的方向和范围 (即边界) 确定的依据, 主要有以下几个方面:

¹ 潜在震源区的边界应包括褶皱构造及其影响带的展布范围。四川盆地的中强地震往往与 NE、NEE 或 NNE 方向的褶皱构造具有比较明显的成因上的联系。所以在考虑到历史地震记载的可靠性和地震复发间隔的条件下, 在划分潜在震源区时, 应把地表之下具有一定规模的背斜核部盲冲断裂的褶皱构造包括在内。地质资料表明, 这些褶皱构造的影响带宽度一般在 5~ 15 km 范围内。

^o 考虑断层分段成果来确定潜在震源区的长度。主要考虑了断裂带的平面展布形态, 几何组合特征及地震活动和地球物理场特征的差异等对华蓥山断裂带进行了分段, 并以分段边界作为潜在震源区长度的边界。

» 利用中强地震后余震的分布范围确定潜在震源区的边界。因为余震的分布范围往往是孕震体在地表的投影, 所以潜在震源区应包括所有余震的分布范围。研究结果表明, 四川盆地中强地震的余震分布范围一般宽约 15~ 30 km。

^¼ 考虑小震密集成团、成带分布的范围确定潜在震源区, 潜在震源区的边界应大致包括小震的分布范围。地震活动图像表明, 四川盆地的小震活动和褶皱构造具有比较密切的联系, 且小震丛集区的范围大致在 40 km 以内 (图 2)。

3.2 潜在震源区震级上限的确定

考虑到四川盆地相对较低的地震活动水平, 且 4.7 级以下地震具有较大的随机性, 因此四川盆地的本底地震确定为 5.0 级。潜在震源区分为 6.0 级和 5.5 级两档。确定依据如下:

¹ 6.0 级潜在震源区: 历史上曾发生过 5.5~ 5.7 级地震的地区可划分为 6.0 级潜在震源区, 如宜宾潜在震源区和南川潜在震源区; 若尚未发生过相似震级地震的地区, 在地表断裂、背斜构造和深部盲冲断裂的规模等方面具有相似性, 亦可划分为 6.0 级潜在震源区, 如邻水潜在震源区。

^o 5.5 级潜在震源区: 历史上曾发生过 4.7~ 5.4 级地震的地区可划分为 5.5 级潜在震源区, 如自贡潜在震源区等; 若历史上曾发生过多次 4.0~ 4.6 级地震, 且为小震丛集的地区, 也应划分为 5.5 级潜在震源区, 如石柱潜在震源区; 考虑地震构造类比原则划分潜在震源区, 如达县潜在震源区。

3.3 潜在震源区的划分

根据前述的潜在震源区划分的理论和方法, 在深入研究四川盆地地震构造环境 (图 3), 特别是发震构造条件和地震活动的基础上, 对四川盆地的潜在震源区进行了划分。共划分出 6.0 级潜在震源区 3 个, 5.5 级潜在震源区 5 个 (表 2, 图 4)。

表 2 四川盆地潜在震源区划分一览表

编号	潜在震源区名称	历史地震最大震级	震级上限 (M_w)	主要依据	精度估度
¹	自贡潜在震源区	5.4	5.5	¹ NEE 和 NE 向背斜构造, 存在地表断裂及背斜核部盲冲断裂, 但规模较小; ^o 历史上发生过 4 次 5.0~ 5.4 级地震; » 小震沿 NE 向密集成带分布。	I
^o	宜宾潜在震源区	$5\frac{3}{4}$	6	¹ NE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂及背斜核部盲冲断裂; ^o 历史上发生过 5 次 5.0~ $5\frac{3}{4}$ 级地震; » 小震沿 NE 向密集成带分布。	I

»	荣昌潜在震源区	5.2	5.5	<p>1 NE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂及背斜核部盲冲断裂;</p> <p>° 历史上发生过一次 5.2 级地震;</p> <p>» 小震密集成团分布, 发生过 4 次 4.0~ 4.6 级地震</p>	I
¼	邻水潜在震源区	3.5	6	<p>NNE 向背斜构造, 存在较大规模的地表断裂和背斜核部盲冲断裂。</p>	I
½	达县潜在震源区	3.2	5.5	<p>NNE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂和背斜核部盲冲断裂。</p>	I
¾	垫江潜在震源区	5.4	5.5	<p>1 NNE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂和背斜核部盲冲断裂;</p> <p>° 历史上发生过一次 5.4 级地震;</p> <p>» 小震密集成团分布。</p>	I
¿	南川潜在震源区	5 ½	6	<p>1 NE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂和背斜核部盲冲断裂;</p> <p>° 历史上发生过一次 5 ½ 级地震;</p> <p>» 小震沿 NE 向密集成带分布。</p>	I
À	石柱潜在震源区	4.5	5.5	<p>1 NE 向背斜构造, 存在一定规模的地表断裂和背斜核部盲冲断裂;</p> <p>° 小震沿 NE 向密集成带分布, 发生过 3 次 4.0~ 4.5 级地震。</p>	I

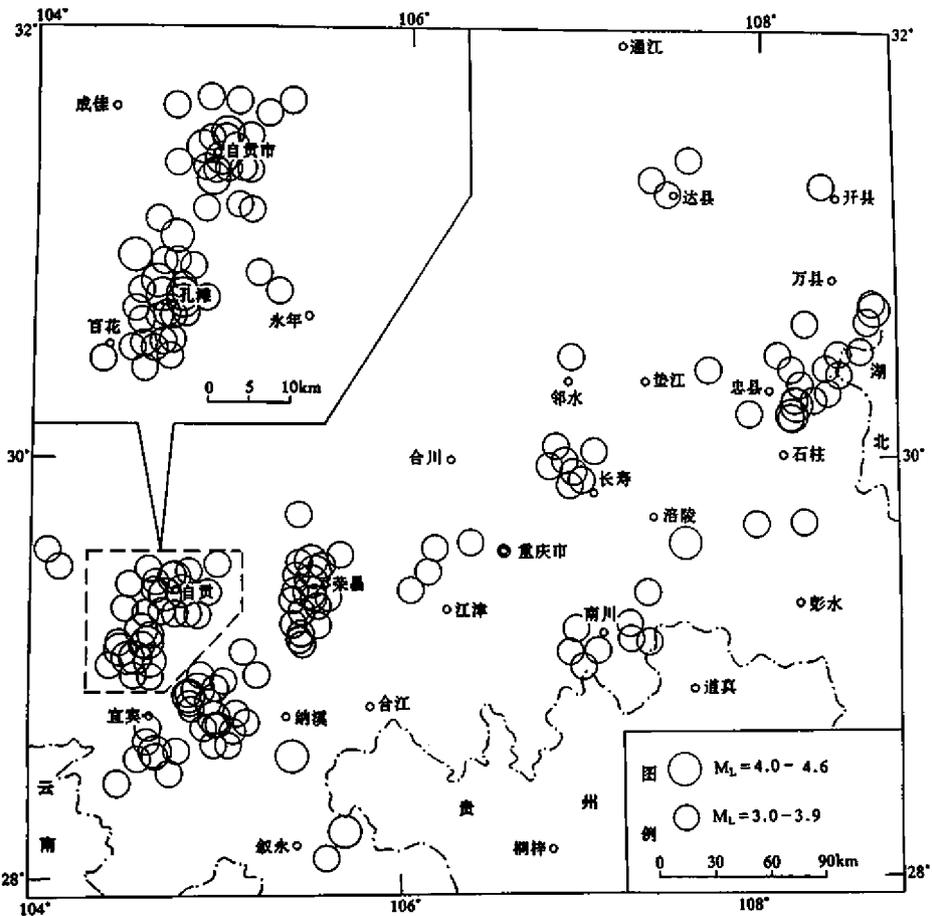


图 2 四川盆地小震震中分布图

4 认识与讨论

¹ 潜在震源区的划分应建立在对该地区的地震构造环境的充分研究基础上,尤其对一个地震活动水平相对较低的地区,其发震构造条件的判定,对潜在震源区的划分结果有着更为重要的影响。本文在发震构造条件分析的基础上,对低地震活动水平的四川盆地的潜在震源区进行了重新划分,但其发震构造条件尚需进一步研究。一个值得注意的事实是,近10余年来四川盆地的某些地区地震活动水平急剧增高,如自贡、荣昌等地区,是否与高压注水的采盐和天然气开采等工业活动有关?这是一个需要多学科相互配合的、具有重要现实意义的课题,也必将促进四川盆地中强地震发震构造条件研究的进一步深入。

^o 四川盆地的地震活动普遍具有震级低、震源浅,震中烈度比正常地震烈度略偏高的特点。因此在进行地震危险性概率分析时,考虑适合四川盆地的地震动衰减关系是一个值得注意的问题。

参考文献

- [1] 赵从俊. 四川盆地构造垂向变异特征类型及其机理探讨 [J]. 石油学报, 1984, 5 (2) .
- [2] 赵从俊, 杨日畅, 田晓燕. 川东构造应力场与油气富集规律探讨 [J]. 石油学报, 1989, 10 (2) .
- [3] Chester, J. S., et al. . Influence of layering and boundary conditions on fault—bend and fault—propagation folding [J] . Geol. Soc. American Bull. 1991, Vol. 103, 109—1071.
- [4] 钱洪, 唐荣昌. 四川盆地地震地质基本特征 [J]. 四川地震, 1992, (3) .
- [5] 周荣军, 唐荣昌, 钱洪, 文德华, 马声浩, 何玉林, 蒲晓红. 地震构造类比法的应用——以川东地区华蓥山断裂带为例 [J]. 地震研究, 1997, 20 (3) .

Attentive seismic hazard mapping for Sichuan Basin

ZHOU Rong-jun, TONG Rong-chuang, LEI Jian-Cheng

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: The extension of Chengdu Basin we discuss in this paper includes the middle and the eastern part of Sichuan Basin and is a stable geotectonic environment. The seismicity level is low but the seismogenic structures are not clear. The geotectonic condition of the medium and strong earthquakes magnitude with $M_s = 4.7 - 5.7$ in Sichuan Basin are summarized. Basing on the summaries above and the comparison rule of seismogenic structure, we re-map the seismic hazard region in Sichuan Basin. We attentively consider the direction of anticline axes, the affect width of anticline structures, the belts of intensive small earthquakes and the distribution of aftershocks to determine the region boundaries of the seismic tendency. This map will be valuable for the detailed researches of seismic tendency.

Key words: seismic tendency; seismogenic structure condition; Sichuan basin