第23卷 第1期
2001年3月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 23 No. 1
March, 2001

甘宁青地区强震孕育的深部电性和力学环境*

余存顺，阮爱国，周民都
（中国地震局兰州地震研究所，甘肃 兰州 730000）

摘要：以200多点次的大地电磁测深资料和6条人工地震测深剖面的资料为根据，结合重力测量和地热流观测资料，分析研究了甘肃、宁夏和青海地区的强震孕育的深部环境.认为强震孕育在增厚的低阻层的顶部，低速层的上方以及介质在横向上电性和力学性质均剧烈变化的环境之中.这些条件的实质是在地应力作用下纵、横向地层变形不一致，在这些不协调之处极有利于应力集中.

关键词：西北地区；壳幔构造；孕震环境；大地电磁测深；人工地震测深
中图分类号：P313.3 文献标识码：A 文章编号：1000－0844(2001)01－0069－05

0 引言

研究地震前兆场的模式是地震预报的重要理论课题.深入研究前兆场的模式有赖于对震源、介质结构和前兆方法3个环节的认识程度.就震源而言，除了其类型、错动方式等问题外，震源周围的介质环境也是一个基本问题.在中国西北地区的甘肃、宁夏和青海3省范围内，从60年代以来进行了200多点次的大地电磁测深观测，并做了6条人工地震测深剖面，此外还有大量的重力和地热流资料，为研究这一地区地震的深部孕震环境提供了一定的条件.本文拟在前人工作的基础上，通过对多种资料的综合分析，研究这一地区强震孕育的深部介质条件.

1 甘宁青地区强震孕育的深部介质条件

1.1 大地电磁测深资料反映的深部介质条件

前人在甘肃、宁夏和青海三省进行了大量的大地电磁测深工作，获得了丰富的资料[1~7].根据大地电磁测深资料可以总结出下列4种强震孕育的深部介质条件：

(1) 上地幔第一低阻层局部隆起.

(2) 壳内高导层顶部增厚，可能孕育强震.

(3) 孕震深度范围内介质具有剧烈的横向电性变化.

(4) 在高、低热流区的过渡带可能孕育强震.

从1988年开始在甘肃省河西走廊沿俄博大断裂建立了长达400 km的大地电磁测深监测剖面(图1).共10个测点，其中有7个测点沿该断裂呈直线分布.1993年10月在No.7测点附近(震中距几乎为零)发生了托莱 M_S6.0地震.图2为6个测点的电性结构剖面，由图看出，在

收稿日期：2000-05-15
* 中国地震局兰州地震研究所论著编号：LC2001004
作者简介：余存顺(1955－)，女(汉族)，浙江绍兴人，工程师，主要从事地电仪器标定研究.

No.4 ~No.7 测点, 16 km 之上均为高阻层, 高阻层的下方为巨厚的低阻层, 厚度一般都超过 30 km. 显示出这些测点的地层电性横向上是连续的、一致的. 但 No.7 与 No.8 测点的电性结构则完全不一致. 在 No.8 测点, 45 km 之上均为高阻层, 45 ~62 km 为地壳内第一低阻层, 电阻率为 28 Ωm. 这样就在 No.7 与 No.8 测点之间出现高阻与低阻直接接触的横向电性极端不均匀现象. 在这样的深部环境中发生托莱 6.0 级地震显然不是偶然的.

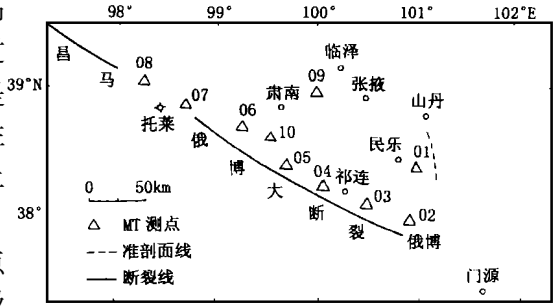

图 1 祁连山中段MT 测点分布示意图(据张云琳, 略改编)

Fig.1 Sketch of MT measuring points distribution of the middle section of Qilian mountain (modified after Zhang Yun-lin).

1.2 地震波测深资料反映的震源孕育的深部介质环境

通过对 6 条人工地震测深剖面[8] 的分析发现:

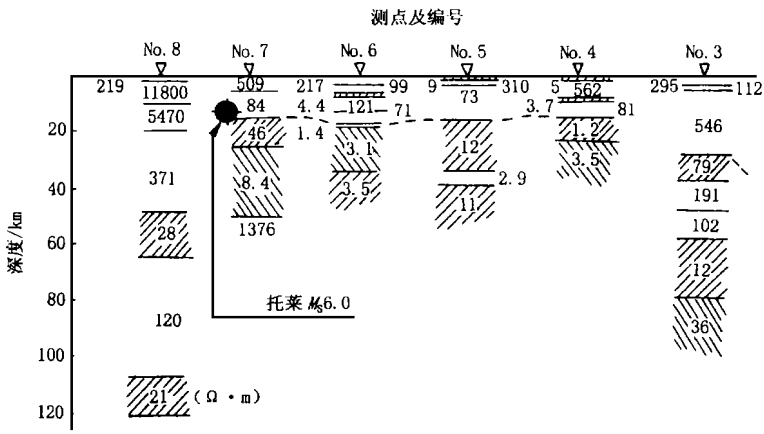

图 2 祁连山中段大地电磁测深剖面中 6 个测点的电性结构

Fig.2 Electrical structure of six measuring points of MT profiles of the middle section of Qilian mountain.

(1) 强震多发生在 M 面隆起的陡变带上方地壳中. 1939 年平罗 M_S8 地震、1920 年海原 M_S8.5 地震和 1654 年天水 M_S8 地震都发生在 M 面隆起陡变带上, 见图 3. 李渭娟等① 通过重力资料反演也发现, 强震多发生在地壳厚度变异带上. 在这些地带 M 面往往显示微弱的上拱和弯曲.

(2) 在南北地震带内震源底部存在低速层. 例如银川盆地内的震源深度多在 20 km 以上, 而 20 km 以下存在低速层; 在西海固地区, 震源深度多为 5 ~10 km 和 15 ~20 km. 在这 2 种深度范围内的层速度较高, 而在其下则为低速层; 在张家川、武山一带, 震源分布在上地壳内(即 15 km 以上), 而在上地壳底部与中地壳顶部之间存在有低速层. 这种结构在其它老震源区也多有表现.

(3) 部分地区的 7 级地震明显与构造交汇有关. 例如天水地区南北向隐伏断裂与 NNW 或 NWW 向断裂交汇处就发生了多次 7 级地震.

2 讨论

(1) 由上述结果可以看出, 在介质的纵向变化上, 强震孕育于增厚的低阻层的顶部、低速层的上方. 这就表明地震孕育在相对坚硬的岩层之中, 并且相对坚硬岩层的周围为软弱层.

① 李渭娟, 等. 甘宁青地区重力场特征及强震孕育的深部背景分析.

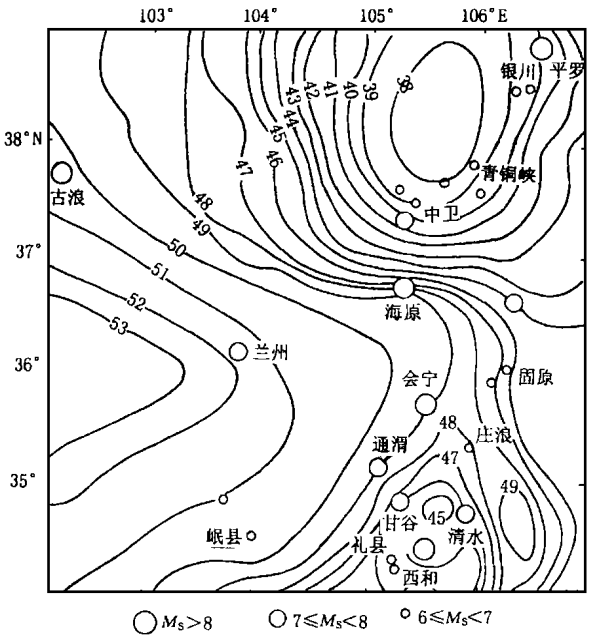

图 3　南北地震带北段地壳厚度等深线

Fig. 3　The crust depth contour of the north section of south-north seismic zone.

1993 年托莱 M_S6.0 地震震源位于电阻率为 84 Ωm 的相对坚硬层中, 而其下方为巨厚的 8.4～46 Ωm 低阻软弱层(图 2). 1990 年共和 M_S7.0 地震是中国西北地区近年来发生的最大的一次地震. 青海省地矿局勘探发现②以共和县城为中心在共和盆地的中部地下 14～30 km 深处有一盆形强磁高密度体, 即坚硬块体. 共和地震就孕育在高密度体的西南边缘下方, 与周围相对软弱岩层交界处(图 4). 从力学的观点看, 地壳介质的这种非均匀搭配关系有利于地震的孕育. 首先, 地壳中的低阻层在力学上是以弱介质为特征的, 它不利于应力的积累, 易蠕变, 易形成层间解缚. 若低阻层中有大量的"自由水"时, 还会降低裂隙的破裂强度. 而上覆坚硬岩层则与之相反, 其刚性好, 易于积累应力, 也易发生脆性破裂. 在应力作用下, 由于在纵向上各岩层的变形量不一致, 必然造成局部岩层中应力的集中, 因而岩层的破裂也就不是纵向地层的整体行为, 而是局部相对坚硬介质的破裂. 显然, 在纵向上一定深度范围内相对软弱岩层上方的坚硬岩体是强震孕育的介质条件之一.

(2) 从图 2 中还可以看出, 祁连山中段大地电磁测深剖面上 No.4、No.5、No.6 和 No.7 测点下方的电性结构相似, 都满足强震孕育的纵向介质条件, 但实际上仅在 No.7 测点与 No.8 测点之间发生了 6.0 级地震. 这就表明, 并不是具备纵向介质条件就可以孕育强震, 还必须有横向的介质条件.

由图 2 可见, 在 No.7 与 No.8 测点之间, 在 5～40 km 深度范围内存在的巨大的电性差异是其它测点之间没有的, 说明在 2 个测点之间可能存在隐伏的断裂构造, 即可能有一条 NE～NEE 向构造与 NWW 向的昌马—俄博大断裂交汇. 不同电性结构的实质表明岩层的力学性质不同, 在应力作用下各岩层横向变形出现差异, 从而形成应力集中, 进而形成震源. 地震波探测结果也表明, 构造交汇处易于发生地震. 由此可见, 不同断裂或构造的交汇是强震孕育的横向介质条件.

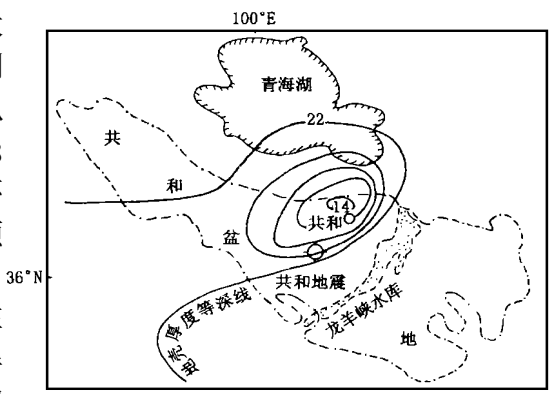

图 4　坚硬体与共和地震②

Fig. 4　The hard body and the Gonghe earthquake.

此外, 大地电磁测深结果还揭示, 高、低热流区的过渡边缘地带也是强震孕育的横向介质条件. 文献[6] 给出了这方面的一个很好的例子, 见图 5. 在高、低热流区的边缘地带, 由于热应

② 马文静, 等. 1990 年共和 7.0 级地震、茫崖 6.6 级地震震例总结. 1992.

力的差异，也会造成岩层变形的差异，从而形成应力集中，因此这也是强震孕育的另一种介质条件.

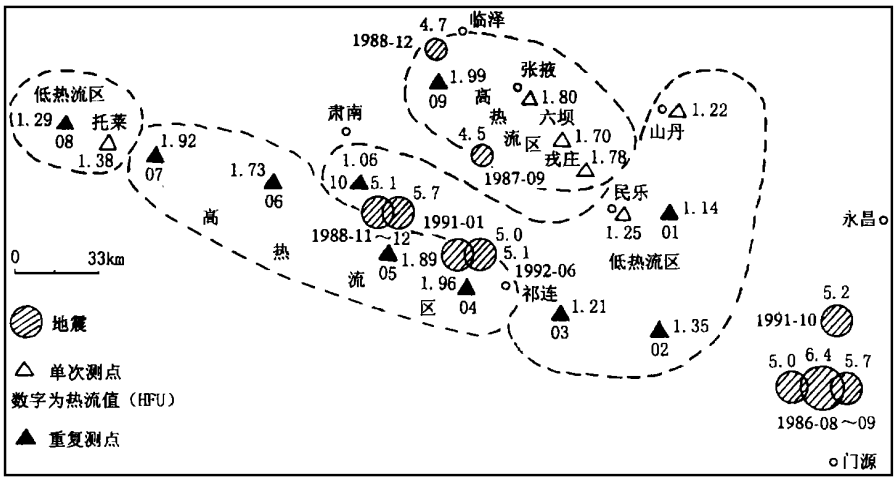

图5 祁连山中段区域热流变化与地震(据张云琳)

Fig. 5 The geothermal fluid variation and earthquake of the middle section of Qilian mountain.

由此看来，只要在震源深度范围内，地壳介质的力学性质在横向上存在差异，都可成为强震孕育的介质条件. 差异越大，对震源的孕育也就越有利.

(3) 从大地电磁测深、地震波测深和重力测量看，莫霍面的埋深和形态对强震的孕育有一定的影响，这是地震孕育的更深部条件，或称为大环境. 它的影响可能有2个方面：一方面由于莫霍面变浅对地壳岩层有热作用，特别是对震源下方低阻、低速层的出现有直接的影响，增加了介质横向的不均匀性，有利于震源的孕育；另一方面，莫霍面的形态变化，必然要增加地壳岩层的横向不均匀性，也有利于震源的孕育. 有关这方面的讨论因资料不足还显得非常粗浅，有待今后深入研究.

3 结语

本文的结论仅仅是初步的. 要深入研究强震孕育的深部环境，还必须对一定数量的强震震源从震前"正常"时段到临震时段和震后时段做全面的多手段探测，对震源定位深度和各种探测的解释深度有一定精度要求，这样才能从统计意义上给出全面的、完整的结论.

[参考文献]

[1] 国家地震局地质研究所大地电磁测深组，国家地震局兰州地震研究所大地电磁测深组. 大地电磁测深[M]. 北京：地震出版社，1981.

[2] 张云琳，安海静，刘晓玲，等. 我国西北部分地区地壳-上地幔电性横向变化特征与地震活动的关系[J]. 地震地质，1988，10(2)：65－74.

[3] 林长佑，刘晓玲，蒋梅，等. 论中国西北某些地区的高导电层及地震区划的深部电性指标[J]. 地震学报，1988，10(1)：66－76.

[4] 林长佑，张云琳，司玉兰，等. 河西走廊东部地区的大地电磁测深研究[J]. 地球物理学报，1984，27(2)：131－143.

[5] 张云琳，郭守年，司玉兰，等. 鄂尔多斯块体西南缘的大地电磁测深[J]. 华北地震科学，1988，6(3)：32－45.

[6] 张云琳，安海静，刘晓玲，等. 祁连山中段MT剖面透视与研究[A]. 见：石特临，汤泉，李清河，等编. 河西祁连山中段地

震危险基础研究[C]. 北京: 地震出版社, 1994. 27—45.

[7] 张云琳, 安海静, 刘晓玲, 等, 河西走廊重点区深部介质导电性及电性横向非均匀性的动态检测跟踪研究[J]. 中国地震, 1994, 10(增刊): 63—81.

[8] 李清河, 张元生, 盛国英, 等, 南北地震带北端地壳速度结构与大地震[A]. 见: 石特临, 李清河, 赵广坤, 等编. 昌马地震与 7 级强震研究[C]. 北京: 地震出版社, 1994. 129—136.

THE DEEP ELECTRICAL AND MECHANICAL ENVIRONMENT OF STRONG EARTHQUAKE PREPARATION IN GANSU, NINGXIA AND QINGHAI REGIONS

YU Cun-shun, RUAN Ai-guo, ZHOU Min-du

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

Abstract: The deep environment of strong earthquake preparation in the region of Gansu, Ningxia and Qinghai is analyzed and discussed based on more than two hundred MT measurement data and six artificial seismic sounding profiles, combined with gravitational and geothermal fluid observation data. It is suggested that strong earthquakes often develop and prepare in the top of thick lower resistivity layer, above the lower velocity layer and in the media with dramatic lateral variation electrically and mechanically. The nature of these conditions implies that under the affects of stress, the easiest place for stress concentration is the place where vertical and horizontal deformations of crust layers are inconsistent.

Key words: **Northwest China; Crust-mantle structure; Seismogenic environment; Telluric electromagnetic sounding; Artificial earthquake sounding**