

民乐盆地和邻近地区 MT 剖面研究 及其与地震活动的关系

蒋 梅 侯维荣 侯远文

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 讨论了民乐盆地及邻近地区的历史和现今强震活动的分布、大地电磁测深重复观测与现今强震发生的关系。结果表明, 视电阻率曲线的系统变化与周围地区强震的发生有一定的对应关系, 视电阻率曲线不同频带的系统变化与不同强度地震的发生密切相关。

关键词: 大地电磁测深 地震活动性 视电阻率 民乐盆地

1 在该区开展大地电磁监测的意义

民乐盆地及邻近地区位于河西走廊祁连山中段, 是青藏高原现代构造活动强烈、地震活动频繁的地区之一。80 年代以来, 该地区中强地震活动明显增强, 未来一定时期内的地震活动趋势是地震科学工作者十分关注的重要问题, 尤其是大地震发生前的临震预报更是众所关心的课题, 因此有必要在该区开展地震监测、地震预报及防震减灾研究, 获取各类地震前兆信息和资料, 为深入研究打下良好基础。大地电磁测深(MT)法具有不需要人工电磁场源、成本低廉、勘探深度大、不受介质中高阻层屏蔽、对低阻层有较高分辨率等优越性; 而该区地处青藏高原北缘、印度板块和欧亚板块强烈碰撞的交汇地带, 不仅地震活动强烈, 而且电磁干扰背景很小, 为开展 MT 探测提供了理想的自然环境。经过多年的重复测量, 获得多次强震前后记录的宝贵资料, 为研究震源物理过程、判断潜在震源区和综合预报提供了可靠的依据。

2 发震构造背景

民乐盆地及邻近地区位于河西走廊祁连山中段, 区内构造活动强烈, 历史和现今强震活动频繁。经验证明, 强震或大震的活动都与区域的深大活动断裂有关, 区内主要的活动断裂有:

(1) 昌马—俄博断裂, 西起昌马, 向东经镜铁山、大岔牧场至俄博附近, 全长 400 余公里。该断裂是一条左旋走滑逆断层, 总体走向为北西西向, 倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。重力、航磁和岩浆活动等研究资料表明它是一条超岩石圈断裂, 具有多期活动, 而且现代构造运动也十分强烈。全新世以来该断裂多次发生古地震, 1932 年 12 月 25 日还发生了昌马 7.6 级地震, 由此看来, 该断裂是本区危险程度最高的一条活断裂。

(2) 祁连山北缘断裂带, 主要由相互平行或斜列的压性断层所组成, 为走廊南山与河西走

廊的分界线.断裂带走向为北 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 西,断面多倾向南西,倾角一般为 $45^{\circ}\sim 80^{\circ}$,变化较大.在西北起自梨园河向东南到扁都口和童子坝河以东延伸长达 200 km 的断裂带上有两条以上的掩冲断裂带并发育一些横向扭断层或张性横向断陷盆地.由此看来,这是一条早古生代晚期开始形成直至第四纪仍有活动的断裂.

(3) 龙首山南缘断裂带,为阿拉善地块与走廊盆地构造带的分界线,断裂规模大,延伸长.该断裂西起高台,向东延伸经山丹终止于河西堡的汪家庄附近,全长约 270 km.据物探资料证实,断裂沿黑河可延伸至金塔以南.断裂带总体走向为北 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 西,倾向北东,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$.震旦纪地层由北向南逆冲于侏罗纪、第三纪和第四纪地层之上,因此它为高角度逆冲断裂.断裂带形成于古生代,历经多次构造变动,至第四纪断裂仍有活动.

(4) 龙首山北缘断裂带,为潮水盆地与龙首山的分界线.西起桃花拉山,东至金昌市附近,全长约 140 km.断裂带由一组平行的断裂组成,西端被北北西向坡拉麻顶断裂所切割,东端则被北北东向横向断裂所截.断裂带总体走向为北 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 西,各段倾向不一,东段断面倾向南西,中、西两段均倾向北东,倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$,断裂活动性质以挤压逆冲为主.新构造活动强烈,晚第四纪乃至全新世断裂仍在活动.

(5) 榆木山北缘断裂带,包括南、北两条断裂.南支断裂主要位于榆木山隆起带的山前,北支断裂则位于榆木山北部洪积倾斜平原上,总体呈北西西走向,表现为由南向北的多级逆冲关系,该断裂带晚更新世~全新世以来活动明显,其中西段活动较强,东段活动相对较弱.

3 地震活动概述

民乐盆地及邻近地区属河西走廊地震带,公元 180~1911 年曾发生过 2 次 7 级以上地震,即公元 180 年高台西 $7\frac{1}{2}$ 级地震和公元 1609 年酒泉东南红崖、清水堡 $7\frac{1}{4}$ 级地震,6 级以上地震 2 次,5~5 $\frac{1}{2}$ 级地震 6 次,4 $\frac{3}{4}$ 级地震 4 次.由于当时条件所限,历史地震记载有较大遗漏,但从现有的历史强震($M\geq 4\frac{3}{4}$)仍可看出,该区的地震活动较为强烈,在 14 次历史强震中有 10 次集中发生在民乐盆地以西的酒泉、张掖一带(其中 2 次 7 级以上地震和 2 次 6 级以上地震均发生在该地带内),其余 4 次则发生在武威附近,亦即是说,民乐盆地以西历史地震活动较强,以东地震活动相对较弱,而民乐盆地本身并没有历史强震记载(图 1).

自有地震仪器记录的 1911 年至今的 80 多年间,共发生 $M\geq 4.7$ 的强震 25 次(每次大地震的余震未计入),其中 8 级地震 1 次、7~7.6 级地震 2 次、6~6.5 级地震 2 次、5~5.9 级地震 12 次、4.7~4.9 级地震 8 次.上述地震大部分集中发生

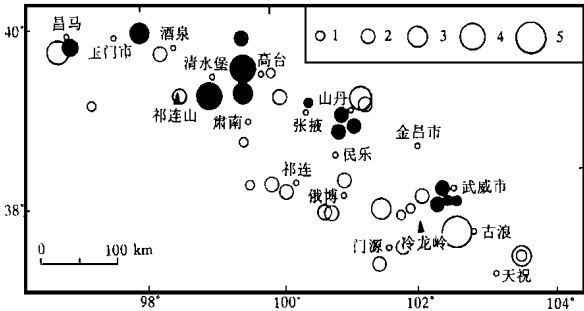


图 1 民乐盆地及邻近地区 $M\geq 4.7$ 地震震中分布(实心圆代表历史地震,空心圆代表 1911 年以来的地震)

Fig. 1 Distribution of epicenters of $M\geq 4.7$ earthquakes in and around the Minle basin.

- 1 $4.7\leq M\leq 4.9;$ 2 $5.0\leq M\leq 5.9;$ 3 $6.0\leq M\leq 6.9;$
- 4 $7.0\leq M\leq 7.9;$ 5 $M\geq 8.0$

在民乐盆地周边的古浪、门源、祁连、肃南、山丹等地,而民乐盆地以西的高台、酒泉等地仅发生 4.7~4.9 级地震 2 次、5~5.9 级地震 2 次和 7.6 级地震 1 次.尤其值得注意的是,进入 80 年代以来,民乐盆地周边的门源、祁连、肃南和武威等地先后发生了一系列中强地震(计 12 次),最大震级 6.4 级(图 1).这表明该地区自 1974 年以来的 10 多年间,中强地震活动频度明显增加.因此,应密切注视该区域未来的地震活动发展趋势.

4 MT 测点概况

大地电磁测深(MT)从理论提出到广泛应用已近 40 a,而兰州地震研究所在西北地区开展 MT 勘测研究工作也有 20 余年,随着资料的积累、仪器设备的更新和研究工作的不断深入,MT 监测研究由单点式发展到剖面网点式监测,由单一电性参数的研究扩展到多参数的综合研究,观测资料的精度和工作的效率也大为提高,为动态监测、即时进行分析预报奠定了基础.

4.1 测点的分布

80 年代初期,兰州地震研究所大地电磁监测课题组选择了河西走廊南山带的青海祁连俄博和走廊拗陷带的甘肃山丹霍城两测点开展试验工作.俄博在海拔 3 500 m 的祁连山区,而霍城在张掖—民乐盆地的东南部.1979~1986 年用旧仪器共进行 5 次观测.1986 年 5 月在霍城测点进行了初测,7 月和 10 月又进行了复测.1988 年以来在河西走廊祁连山中段用新仪器布设了横跨昌马—俄博活动大断裂、呈北西西走向的剖面监测网,在原有 2 个测点的基础上又增加了 8 个测点,这条监测剖面全长 400 km(图 2).

4.2 MT 法的优越性

民乐盆地及邻近地区位于青藏高原东北缘,是我国的地震重点监视区之一.用大地电磁测深法在该区进行重复观测是由于大地电磁测深不需要人工电磁场源,成本低廉,勘探深度大,不受介质中高阻层的屏蔽,对低阻也有较高的分辨能力.目前国内外利用地电阻率预报地震的方法虽然也在不断发展,但它的有效勘探深度较浅,难以达到震源深度范围.大地电磁测深法正好弥补了地电阻率法的缺陷,它不仅可以达到而且可以穿透震源深度,直接获取震源发展过程中介质电性的动态变化信息.因此,我们在该区建立了国内第一个初具规模的 MT 监测剖面定期进行重复观测,十几年来,为地震预报收集了大量可靠的资料.

4.3 仪器的性能及观测结果的可靠性

在开展大地电磁测深工作中,要得到可靠的观测资料,关键在于所使用的大地电磁测深仪.在 20 多年的野外观测中,初期使用的是兰州地震研究所自行研制的静磁原理、光电倍增管电路、模拟记录的大地电磁记录系统;中期使用的是兰州地震研究所和国家地震局地质研究所等单位联合研制的感应原理磁力仪、模拟记录的 LH-1 型大地电磁记录系统;1987 年以后至

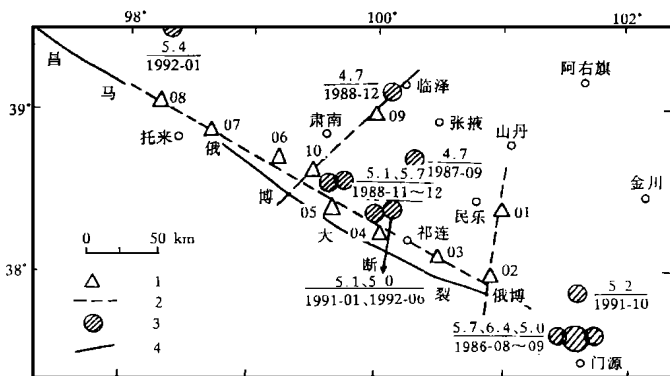


图 2 MT 监测剖面测点和 1986 年以来地震分布

Fig. 2 Measuring points along MT profiles and earthquakes since 1986.

1 MT 测点; 2 准剖面线; 3 近期地震 $\frac{\text{震级}}{\text{发震时间}}$; 4 断层

今使用的是从德国进口的感应原理磁力仪、全自动数字化记录的 MMS—02E 大地电磁测量系统. 为证明这三种仪器的观测精度、抗干扰能力和稳定性以及观测资料的可靠性, 对大地电磁测量系统进行了对比观测, 张云琳等 1974 年在青海柴达木盆地诺木洪测点把静磁原理磁力仪和感应原理磁力仪放在一起进行观测. 这两种仪器系统所获得的视电阻率曲线的形态和量值都较为吻合, 某些频点还重合得较好. 尽管这两类仪器系统的原理不同、资料的处理方法也有所区别, 但测量结果基本相同, 这说明仪器系统和资料处理结果是可靠的. 1988 年 10 月用 LH—1 型记录系统在俄博测点的测量结果与 1990 年 9 月用 MMS—02E 的测量结果进行比较显示, 两种仪器测得的 ρ_{xy} 曲线相互交叉重合, 集中分布在一条窄带之内, 测量结果十分一致, 而 ρ_{yx} 曲线的首部有不大的偏离, 曲线中部和尾部吻合得较好. 在霍城测点和托来气象站测点同样进行了对比观测, 所得结果同样是相近的. 这充分说明三种大地电磁测量系统的性能是好的, 不同时期所获得的观测结果是可靠的.

5 复测结果及其与地震的关系

1979~1985 年在俄博测点 4 次复测的视电阻率曲线 ρ_{xy} 和 ρ_{yx} 的总体形态都限定在一窄带内, 甚至有些频点完全重合, 因而通过较高精度的大地电磁重复测量能够获得较为稳定的张量阻抗视电阻率曲线, 这一窄带正好反映了测点正常曲线的形态范围. 1984 年 6 月和 10 月两次复测的两条视电阻率曲线在高频端出现了 15%~30% 的系统下降变化, 这种变化与测区周围发生的一些 5 级左右地震有一定的对应关系, 如 1984 年发生的武威 5.3 级、刚查 5.2 级、雅布赖 4.7 级和天祝 4.7 级地震. 1985 年 8 月复测的两条视电阻率曲线又恢复至初始形态, 在此期间测区周围没有 5 级左右地震发生, 处于相对平静时期(图 3). 1986 年在霍城测点和俄博测

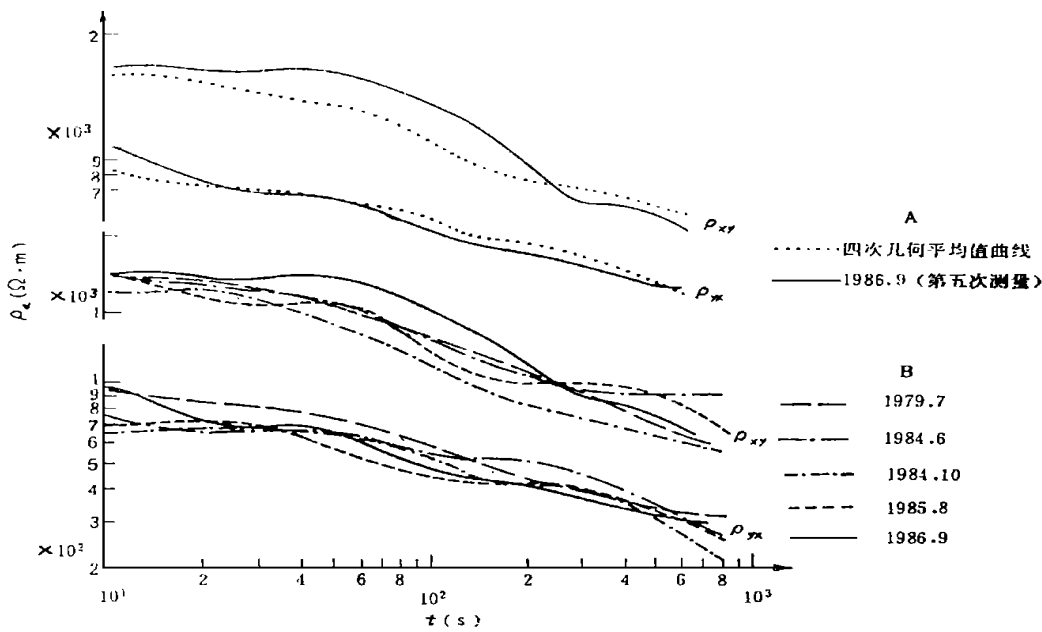


图 3 俄博测点复测结果(1979-07~1986-09)

Fig. 3 Curves of apparent resistivity measured repeatedly at the Ebo station.

A 主轴方向视电阻率曲线 B 视电阻率几何平均值曲线

点复测的视电阻率曲线的较宽频带范围内出现了 40%~70% 的系统变化, 这种变化正好与震中距为 60 km 左右的青海门源 6.4 级、5.7 级和 5.0 级地震群密切相关(图 4).

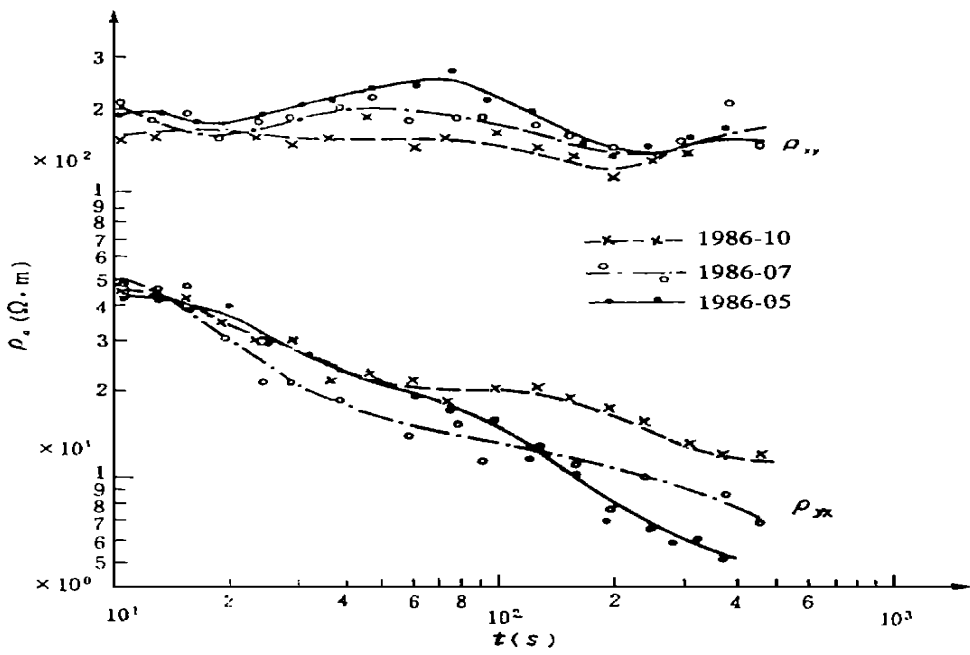


图 4 霍城测点复测得到的主轴方向视电阻率曲线

Fig. 4 Curves of apparent resistivity measured repeatedly along principal axis at Huocheng station.

综上所述, 通过高精度大地电磁测深重复观测, 可以获得较为稳定的张量阻抗视电阻率曲线, 进而得到呈窄带集中分布的正常视电阻率曲线的形态范围. 只有测区周围发生中强及中强以上地震时, 视电阻率曲线才在某些频带内发生系统变化, 而不是个别频点视电阻率值的跳动. 视电阻率曲线出现的 15%~30% 窄频带范围的系统变化对应 50~250 km 范围内的 4.7~5.3 级地震活动, 视电阻率曲线出现的 40%~70% 宽频带范围的系统变化对应 60 km 左右范围内的 6 级左右强震群活动. 因此, 在地震活动异常区内进行大地电磁重复观测可以获得可靠的中—短期地震前兆信息, 从而为预测未来强震的发生提供可信的资料和依据.

作者对吕德徽和张云琳两位研究员的指导和帮助表示衷心的感谢.

1 , . (23 世纪— 1911 年). : , 1995.

2 . () (1177 年— 1982 年). : , 1985.

3 . (1980—1987). : , 1989.

4 , . — . : , 1993. 18 ~ 21, 95 ~ 107.

5 , . . , 1993. 35 ~ 73.

6 , . , 1989, 11(1): 98 ~ 105.

7 , . MT 重复测量在地震中短期预报中的应用—— MT 剖面监测研究. , 1994, 37(2): 200 ~ 210.

8 , . , 1994, 10(1): 62 ~ 71.

9 , . MT 剖面透视与研究. : . : , 1994. 27 ~ 45.

ON MT PROFILES IN AND AROUND THE MINLE BASIN AND
THEIR RELATION TO SEISMIC ACTIVITY

JIANG Mei HOU Weirong HOU Yuanwen
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

Abstract

Distribution of strong earthquakes in and around the Minle basin and relationship between repeated MT observations and occurrence of strong earthquakes are discussed. The results show that systematical changes of apparent resistivity curves correspond to occurrence of strong earthquakes in the region, and systematical variations of apparent resistivity with different frequency bands are closely related to occurrence of earthquakes with different strengths.

Key words: Telluric electromagnetic sounding, Seismic activity, Apparent resistivity, Minle basin