

鄂尔多斯块体西南定边—大罗山 大地电磁剖面解释

屈健鹏 朱佐全 杨国栋 李柱国 司水月

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 鄂尔多斯块体定边—大罗山段大地电磁结果表明, 鄂尔多斯块体内部电性结构简单, 成层性好, 上地幔第一高导层顶面埋深基本在 109 km 左右, 相当平坦, 块体内部不存在壳内高导层。而靠近大罗山处, 上地幔第一高导层向上隆起, 隆起最高处距地表 92 km, 此处测点壳内有电性分层, 但由于断裂带的切割使测点之间的壳内分层不易连接, 形成不连续层。分析认为该处为深大断裂带, 是鄂尔多斯块体的西部边界。

关键词: 大地电磁测深 上地幔 高导层 鄂尔多斯地块 深断裂

1 剖面概况和资料处理

该大地电磁剖面从陕西定边开始到宁夏大罗山脚下的红城水(图 1), 全长 150 km, 布设大地电磁测点 6 个, 平均点距 25 km, 该剖面的特征

是由稳定的鄂尔多斯块体内部过渡到挤压强烈的鄂尔多斯块体边缘, 从已掌握的人工地震资料可知, 大罗山至惠安堡有一系列逆掩断层, 推测此处可能为鄂尔多斯块体西南部边界。地震活动性研究认为块体周缘活动强烈, 而块体内部几乎没有地震发生, 因而利用大地电磁测深法从深部构造背景上认识这些差别是十分有益的。

野外用的探测仪器是从西德进口的 MMS-02 型数字大地电磁仪, 频带 2.5—3 000s, 选择野外记录信号强和电磁干扰小的记录图段用于资料处理, 在对时间域内大地电磁信号进行快速富氏变换谱分析后, 根据最小二乘法原理采用多段资料平均方法求得测量坐标方向上的张量阻抗元素, 进而求得主轴方向上带状分布的两条视电阻率曲线及主轴方位角、偏离度、椭率、全信息矢量相关度和预期度等地球响应函数, 资料处理结果

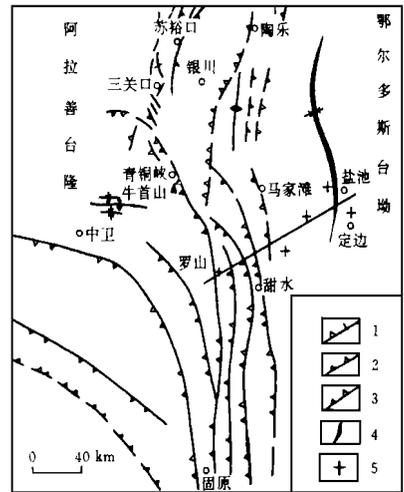


图 1 大地电磁点位分布

Fig. 1 The distribution of MT sites.

- 1 新生代正断层; 2 新生代冲断层;
- 3 中生代冲断层; 4 中生代褶皱轴; 5 测点

表明绝大多数测点主要周期频段上的全信息矢量相关度均在 0.7 以上, 说明了资料处理的可靠性。

2 大地电磁曲线分析

为了便于分析, 把大地电磁曲线绘于人工地震剖面之上(图 2), 其中定边、盐池、青山、大

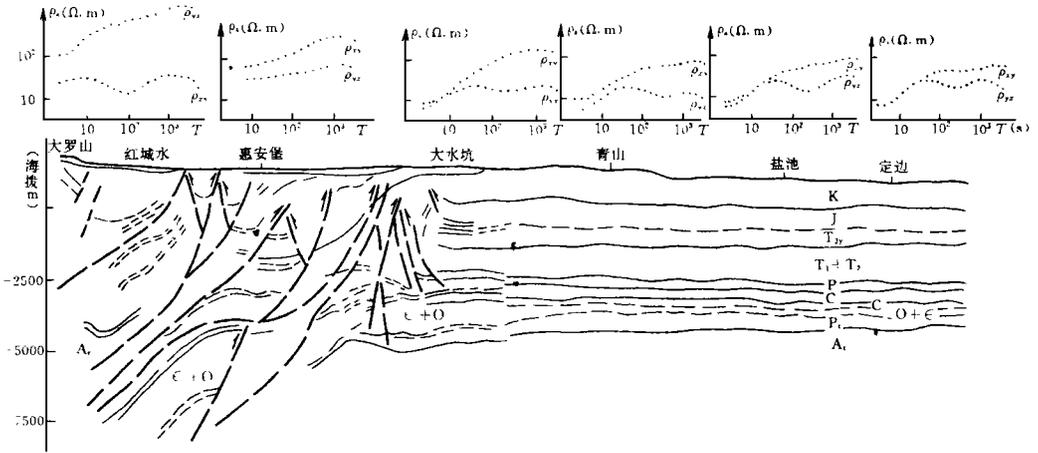


图 2 浅层人工地震剖面(据长庆油田资料修改)和 MT 测点视电阻率曲线畸变特征

Fig. 2 The shallow man-made earthquake profile from Dingbian to Daluoshan and MT apparent resistivity curves distortion characters.

水坑 4 个测点位于鄂尔多斯块体内部, 4 个测点曲线具有相似形态, 基本反映了同样的构造单元, 每个测点的两条视电阻率曲线前枝相互吻合。定边测点在小于 100 s 以前基本重合在一起, 随着测点向西移动, 两条曲线重合部分变小。在大水坑测点, 仅在 20 s 以前重合, 前枝曲线重合说明该处浅层有很好的良导层状均匀介质, 一维构造很明显。观察各测点主轴方位角(图 3), 发现在 100 s 以内其分布是杂乱无章的, 即无主轴方位可言, 这也反映了一维层状构造特征。在两条视电阻率曲线的后枝, 长周期逐渐增大, 两条视电阻率曲线彼此分离, 主轴方位角向北西偏离 20°左右, 这说明两条曲线反映出测点周围深部非均匀构造的影响。于是我们根据盆地边缘效应的解释模型分析上述测点的曲线形态, 认为 ρ_{yx} 横向视电阻率曲线在第 3 层拐点向下位移, 畸变强烈, 而 ρ_{xy} 纵向曲线在深部感应畸变效应很弱^[1], 能较好地反映地下电性变化。

惠安堡测点和红城水测点正处于南北向与北北西向断裂交汇部位, 视电阻率曲线与前 4 个测点不同, 尤其是红城水测点横向视电阻率 ρ_{yx} 曲线值大大超过了纵向视电阻率 ρ_{xy} 曲线值, 并且后枝一直处于上升趋势。这表明地下介质从浅层到深部都具有强烈的非均匀性。对比分析发现, 各测点在主要周期内的偏离度均在 0.4~0.5 以下(图 4)。一些文献指出当偏离度在 0.2~0.5 时, 地下介质可以近似地看作是二维介质来研究^[2], 可见该处二维构造很明显, 考虑到此处以南北向构造为主体, 选择沿构造走向的 ρ_{xy} 曲线为解释曲线是合理的。理

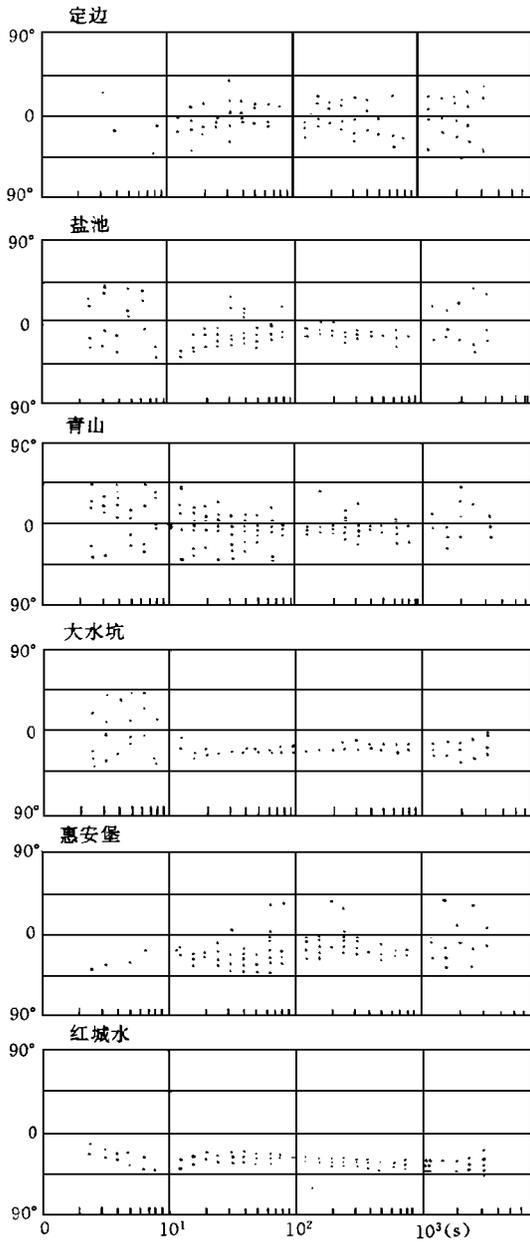


图 3 定边—红城水 MT 测点的主轴方位角

Fig. 3 MT sites principal direction from Dingbian to Hongchengshui.

论研究表明,对于二维构造而言,电场沿构造走向极化的纵向曲线畸变较小,用纵向视电阻率曲线进行解释能较真实地反映深部电性结构。

实际一维反演表明,选择 ρ_{xy} 作为解释曲线得到的结果是令人满意的,而用 ρ_{yx} 曲线得到的结果是紊乱的。

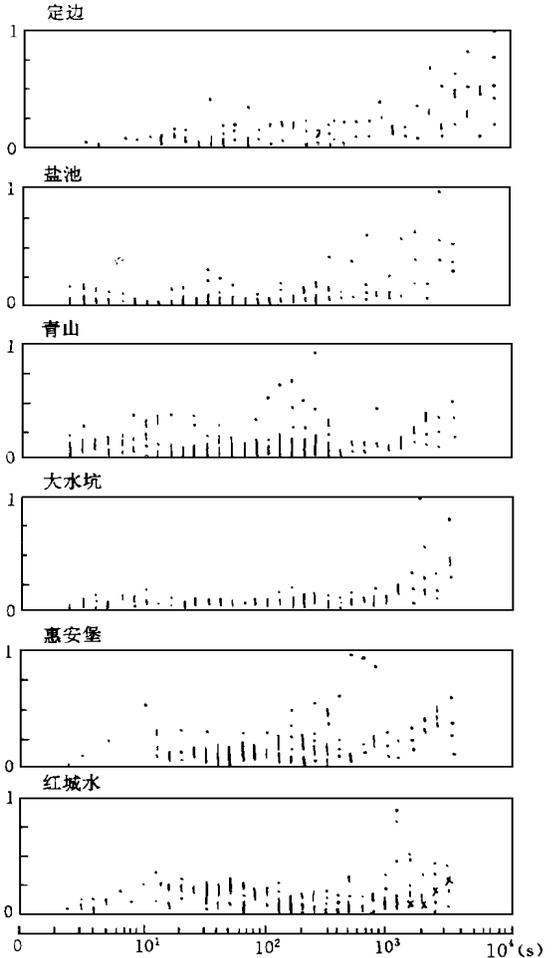


图 4 定边—红城水 MT 测点偏离度

Fig. 4 MT sites skewness from Dingbian to Hongchengshui.

3 大地电磁解释

根据已有的人工地震资料可以清楚了解该剖面 7 km 以上的构造轮廓,大罗山处深达 10 km,剖面东端为典型的陕甘宁盆地,沉积着一系列中生代、新生代地层,剖面西端即惠安堡—大罗山段为一系列逆掩断裂构造,老地层逆冲于新地层之上。

对于非均匀构造,每个大地电磁测点都存在着两个电性主轴,可获得两条视电阻率曲

线。严格地讲,对这两条曲线应该同时进行二维反演和模拟,但二维反演法目前研究得尚不成熟,我们在此仍采用了“马奎特”一维反演法,在计算机上进行反复迭代,反演结果列于表1。

表1 大地电磁测点电性层参数

测点	点位	层参数						
		层号	ρ_{xy}			ρ_{yx}		
			ρ	h	H	ρ	h	H
1 定边	107°38'E 37°36'N	1	7.72	1.93	1.93	8.41	2.75	2.75
		2	110	106	108	233	13.2	16.0
		3	10.2	8.32	116	6.25	10.7	26.7
		4	5 000	124	240	213	44.2	70.9
		5	2.88			10.5		
2 盐池杨家寨子	107°29'E 37°49'N	1	6.66	1.57	1.57	8.19	2.5	2.5
		2	106	108	110	1 040	9.66	12.2
		3	10.8	9.13	119	8.84	20.6	32.8
		4	5 000	127	246	983	44.9	77.7
		5	3.10			19.3		
3 青山乡	107°11'E 37°35'N	1	8.93	2.53	2.53	5.04	1.84	1.84
		2	244	104	107	1 010	9.10	11.0
		3	10.7	7.95	115	9.13	28.2	39.2
		4	5 000	125	240	997	52.5	91.7
		5	2.84			19.1		
4 大水坑	106°58'E 37°28'N	1	8.22	2.08	2.08	8.36	2.3	2.3
		2	263	108	110	178	5.5	7.8
		3	13.2	6.60	117	15.8	45.9	53.7
		4	5 000	124	241	398	23.5	77.2
		5	3.61			16.1		
5 惠安堡	106°39'E 37°27'N	1	68.2	14.8	14.8	38.5	16.8	16.0
		2	286	85.0	99.8	117	32.5	49.3
		3	13.2	2.67	102	14.4	12.0	61.3
		4	5 000	142	244	951	81.6	143
		5	2.62			18.4		
6 红城水	106°24'E 37°13'N	1	27.4	3.93	3.93	96.5	4.54	4.54
		2	503	2.99	6.92	1 890	393	390
		3	11.4	15.6	22.5	61.3	4.35	402
		4	543	69.4	91.9	2 980	581	903
		5	3.52			19.1		

注: ρ —视电阻率(Ωm); h —层厚(km); H —埋深(km)

该剖面深部大地电磁电性结构东西两端截然不同(图5)。东端4个测点反演得到的电性结构非常相近,反映了鄂尔多斯块体内部具有很好的成层性,其结构简单,轮廓清晰。表层电阻率 $6\sim 9\Omega\text{m}$,厚约2.5 km,对应于中生代三叠系以上的地层,即为良导沉积层。其下为高阻层,上地幔第一高导层顶面埋深基本都在109 km左右,而剖面西端两个测点由于断裂带的切割,使电性分层复杂化。在此处上地幔高导层逐渐抬升,惠安堡测点是102 km,大罗山脚下的红城水测点为92 km。上地幔以上的壳内电性分层,由于断裂带的切割使这两个测点地壳内分层不易连接,出现壳内导电层明显不连续性。据上述分析,认为该处断裂可能为

深大断裂带。

反演还获得了上地幔第二高导层,其埋深在 240~246 km 以内。尽管上地幔第一高导层在惠安堡、红城水处向上隆起,但第二高导层相当稳定,据有关资料分析还看不出上地幔第二高导层的存在和埋深与大的地质构造单元和地震活动有关系^[3]。

有关地质资料表明,鄂尔多斯块体西南缘有一条长期发育的重要断裂带——牛首山断裂带。它的北段呈北北西向展布,南段为南北向,长约 360 km^[4]。断裂两侧沉积特征、基底性质、演化历史及形成力学机制都截然不同,断裂西侧基底为祁连加里东褶皱带,断裂东侧为太古界、下元古界中朝地台基底。

大罗山正位于牛首山断裂带上,惠安堡、红城水测点与剖面东端 4 个测点相比较,视电阻率曲线变化剧烈,此处上地幔第一高导层(一般认为是软流圈顶面)向上隆起,电导率横向变化较大,壳内电性结构复杂,可以认为是牛首山断裂带在大罗山东侧的反映。而相邻的鄂尔多斯块体内 4 个测点,上地幔第一高导层相当平坦,电导率分布只有很小的横向变化,反映了鄂尔多斯块体具有很好的整体性。经上述分析认为惠安堡和红城水测点为鄂尔多斯块体的西缘边界。

在鄂尔多斯块体与阿拉善块体及青藏块体交接带中,大罗山断裂带是具有特征性的地区,它几乎处于弧形断裂带的弧顶位置,在地质演化史上又是中朝地台和祁连褶皱带的分界线。根据有关地热研究^[5],鄂尔多斯周缘盆地岩石圈温度高,地温梯度大,莫霍面温度可达 900°C 左右。鄂尔多斯块体内部岩石圈温度低,地温梯度小,莫霍面温度为 700°C 左右。虽然对高导层的解释尚无定论,但可以推测,在此处上地幔热物质沿破裂带呈南北向带状隆起,局部熔融物质产生向上的顶托力,并沿裂隙向地壳侵入及热向上传递,形成所谓的软流圈底辟作用,其结果使地壳相应部位升温受挤压。加热致使地壳某些部位形成高导低阻层,加之水平剪切力的作用极易产生破裂形成断裂带。上地幔高导层顶面呈带状隆起在鄂尔多斯周缘断陷带都有发现,形成环绕块体隆起之势。临汾—阿拉善左旗段大地电磁探测结果^[6]表明,临汾和银川断陷盆地深部电性结构与鄂尔多斯块体内部截然不同。在临汾和银川盆地下方上地幔高导层普遍偏浅,剖面上明显呈现出强烈的上隆趋势,其平均埋藏深度分别为 75 km 和 85 km,而块体内部基本为 120~130 km 左右。这种上地幔上隆以及壳内高导层存在,一般被视为构造活动区深部地壳构造的一种标志,其力源来自上地幔,地幔热物质的上涌可能是地震发生的重要原因,也可能是地震孕育的深部构造背景,因为地震常常发生在地幔隆起和地壳减薄的部位,如 1939 年宁夏平罗 8 级大震和 1920 年海原大震就可能与之有关。

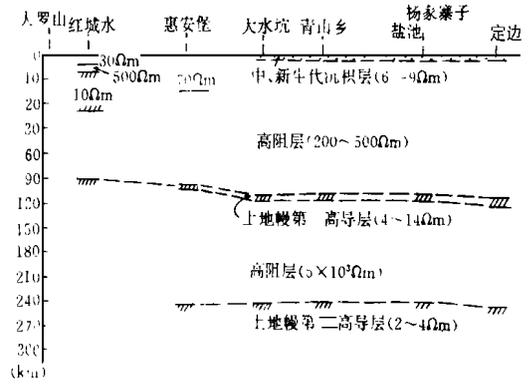


图5 定边—大罗山地壳、上地幔电性结构

Fig. 5 The profile of crustal and upper mantle electrical structure from Dingbian to Daluoshan.

参考文献

- 1 王光镔, 王秀琨. 大地电磁测深曲线的畸变. 大地电磁测深研究. 北京: 地震出版社, 1984. 147~163.
- 2 石应骏, 等. 大地电磁测深法教程. 地震出版社, 1983. 108~109.
- 3 林长佑, 等. 论中国西北某些地区高导层及地震区划的深部电性指标. 地震学报, 1988, 10(1): 66~75.
- 4 张维歧. 鄂尔多斯西南边缘弧形断裂束第四纪活动特征. 鄂尔多斯周缘活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1988. 143~148.
- 5 安平. 地壳上地幔热结构分析及莫霍面反演结果. 鄂尔多斯周缘活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1988. 290~294.
- 6 国家地震局地学断面编委会. 上海奉贤至内蒙古阿拉善左旗地学断面. 北京: 地震出版社, 1992. 34~39.

INTERPRETATION OF THE DINGBIAN-DALUOSHAN MAGNETOTELLURIC SOUNDING IN THE SOUTHWEST ORDOS BLOCK

Qu Jianpeng Zhu Zuoquan Yang Guodong Li Zhuguo Si Shuiyue
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

The magnetotelluric sounding results show that electrical structure inside Ordos massif is simple and clearly layered, the top of the first high conductivity layer of upper mantle is about 109 km deep and there is no crustal high conductivity layer. Near Daluoshan, there exist a few electrical layers within crust. These layers are not linked between the MT sites because crust is broken by fault zones. In this place, the first high conductivity layer of upper mantle is uplifted and its top is about 92 km deep. Through analysis, it is considered that on the east side of Mt. Daluoshan there is a deep-seated fault zone which is the west boundary of Ordos block.

Key words: Telluric electromagnetic sounding, Upper mantle, High conductivity layer, Ordos block, Deep-seated fault