

天水地区大地电磁测量及 深部电性结构

刘宝勤 朱佐全 贾 政 郭万武
李柱国 张文仁 屈健鹏

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 天水地区的大地电磁测量结果表明, 在 43 km 左右的深度上普遍存在高导层, 这可能是壳幔过渡带的反映。岩石圈厚度大约 95—110 km。在天水太京附近可能存在一条大型近东西向地壳—岩石圈构造带, 在秦安以北的叶堡和陇城附近可能也存在一条近南北向的大型地壳—岩石圈构造带, 它们都是不同构造单元的分界线。1654 年天水 8 级大震可能与深部热异常引起的热应力有关。

主题词: 大地电磁测深 地下电性结构 地壳 岩石圈 天水

1 前言

天水地区所处的地质、地球物理环境十分特殊。首先, 青藏、扬子、华北和阿拉善地块在此交汇^[1], 形成了非常复杂的地质构造格局。其次, 中国大陆中部的巨型重力异常梯度带从该区穿过, 其东西两侧的重力场相差 100 mgal 以上^[2], 表明岩石圈厚度在横向上有较大的变化。再次, 该地区位于南北地震带中北段, 是中强地震多发区, 历史上曾发生 6—6.9 级地震 11 次, 7—7.9 级地震 5 次, 8 级地震 1 次^[3]。由于这些特殊条件的存在, 使天水地区一直成为地质学领域里研究和争论的热点地区之一。近年来在这一地区开展的地震测深和大地电磁测量为我们进一步研究该地区地壳、上地幔结构提供了丰富的资料。本文将根据大地电磁测量的结果, 对该地区地壳、上地幔电性结构及其地质意义进行讨论, 并简要分析其与地震活动间可能存在的关系。

2 大地电磁测量及资料处理

在天水及其周围地区共布设 MT 测点 23 个(图 1、表 1)。其中沿东西向地震测深剖面有 7 个测点, 平均点距 35 km, 测线全长 210 km。沿南北向地震测深剖面有 8 个测点, 平均点距 33 km, 测线全长 230 km。沿北北西向的剖面Ⅲ上有 7 个测点。其余各点大多布设在水天附近, 仅有 9 号测点离测区较远, 但一并进行了分析和解释。

野外测量和资料处理使用了德国 Metronix 公司生产的 MMS—02E 型数字大地电磁测

• 本文根据南北地震带北段深部地球物理探测综合解释——天水及邻区地壳上地幔电性结构的大地电磁测深解释的工作报告整编而成。

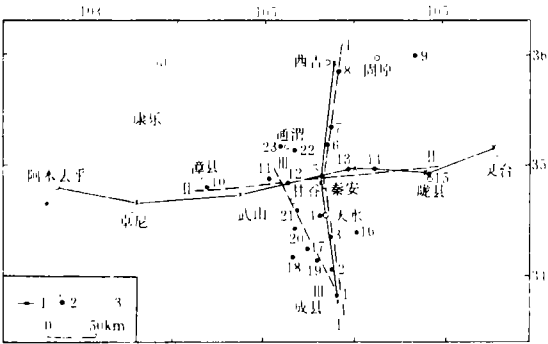


图1 天水及邻区 MT 测点分布

1 地震测深炮点及测线 2 大地电磁测点 3 大地电磁测线

Fig. 1 Distribution of MT surveying stations in Tianshui area.

邻一致性好的 MT 测点的某一电性层位或地震测深的相应层位作为约束条件进一步确定校正量^[4,5]。(3)对于具有首枝平行视电阻率形态特征的某些测点(18号测点),计算出平行段的等效视电阻率值作为校正量的参考。以上的方法所得到的校正结果基本上一致。校正后的各电性结构层与地震测深的层位很符合。根据校正后的 MT 曲线进行的一维反演结果如表 2 所示。

3 深部电性结构及其地质意义

3.1 成县店村—西吉硝河剖面(I)

该剖面沿近南北向展布(见图 1),电性结构具有明显的分区性(图 4)。在天水太京以南的平南、麻沿河和店村 3 个测点,电性界面成层性好,自上而下出现了 3 个高导层。地表的高导层厚度在 1 km 左右,电阻率为 15—26 Ωm ,它与地壳浅层的富水沉积层相对应。第二高导层出现在地壳中部 12—17 km 之间,厚度约 4 km,电阻率 5—13 Ωm ,由南向北层位逐渐下降。它与康氏面对应,因而是一个由物质组分差异所形成的化学界面。第三个高导层出现在地下 44 km 左右,电阻率为 5—30 Ωm ,地震测深也在该深度探测到这一界面^[4]。很显然它是壳幔过渡带的反映。

太京以北的叶堡到硝河 4 个测点具有基本相同的电性结构。其最大的特点是都具有连续分布的上地幔高导层和发育不全的壳幔过渡带。地表的高导层依然存在。壳内高导层连续变化并有一定的起伏,展布在地下 18—30 km 之间,厚度约 4—8 km,电阻率为 5—7 Ωm 。总体上看,该层层位由南向北逐渐降低,在张堡附近形成壳内下陷。壳幔过渡层只出现在与太京相邻的叶堡附近,向北缺失。在地下 97—110 km 的深度上出现的上地幔高导层总体上

量系统。复测误差分析表明,高值曲线两次观测平均相对偏差在 5% 以内(图 2),故 MT 测量的资料是完全可靠的。图 3 是部分测点张量视电阻率曲线,图中实心圆表示 ρ_{xy} ,空心圆表示 ρ_{yx} ,实线表示用于反演解释的地电模型的拟合曲线。

由于部分测点存在明显的静效应影响,引起了电性界面大幅度的上跃或陡降。为了消除或减小静效应的影响,我们采用了下列方法:

- (1)计算出各测点首枝高频点视电阻率的平均值。根据相似性原理确定校正方向和初步校正量。
- (2)以相

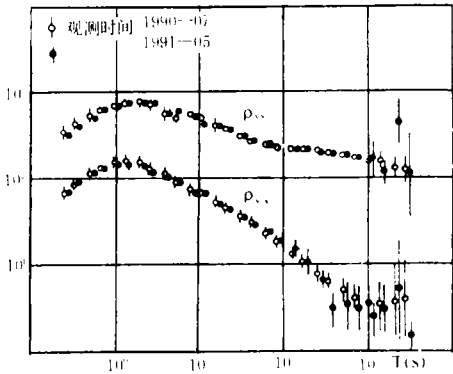


图2 杨家寺测点重复探测结果的对比

Fig. 2 Comparison of repeated surveys at Yangjiashi station.

由南向北逐渐变深,但在张堡附近亦形成了岩石圈下陷。

表 1 天水及邻区 MT 测点位置、各频段记录个数及其它参数

编号	测 点 名	坐 标		记录个数			偏 离 度	倾 子
		经 度	纬 度	LF3	LF2	LF1		
1	成县店村	105° 49' 30"	33° 46' 30"	1277	472	94	<0.2	0.1—0.35
2	徽县麻沿河	105° 44' 20"	34° 04' 45"	1051	587	94	<0.5—0.75	0.3—0.6
3	天水平南	105° 41' 51"	34° 22' 18"	788	503	83	<0.3	0.15—0.35
4	天水太京	105° 38' 10"	34° 34' 00"	1164	749	136	<0.35	<0.3—0.6
5	秦安叶堡	105° 39' 46"	34° 55' 26"	1915	587	42	<0.2—0.4	<0.3
6	静宁李店	105° 41' 10"	35° 13' 59"	1840	695	63	<0.2—0.4	<0.5
7	静宁张堡	105° 44' 52"	35° 23' 36"	1540	620	64	<0.4—0.5	<0.3
8	西吉硝河	105° 51' 18"	35° 53' 02"	1690	464	40	<0.2	<0.3
9	彭阳草庙	106° 42' 37"	36° 01' 38"	1465	347	32	<0.15	<0.2
10	漳县盐井	104° 26' 12"	34° 50' 50"	1502	856	68	0.1—0.2	0.1—0.2
11	甘谷礼辛	105° 04' 58"	34° 54' 30"	901	408	38	0.1—0.3	0.1—0.25
12	甘谷安远	105° 17' 00"	34° 51' 12"	1315	488	48	<0.3—0.5	0.1—0.25
13	秦安陇城	105° 57' 58"	35° 00' 12"	788	613	48	<0.2	0.1—0.25
14	张家川城关	106° 13' 45"	34° 59' 58"	788	603	50	<0.25—0.35	<0.3—0.6
15	陇县温水	106° 49' 33"	34° 55' 15"	1202	600	48	<0.3	<0.35
16	天水街子	105° 59' 08"	34° 27' 10"	1465	992	81	0.2—0.4	0.2—0.6
17	礼县罗家堡	105° 32' 10"	34° 18' 28"	1878	639	49	0.1—0.2	0.15—0.35
18	礼县祁山	105° 22' 56"	34° 13' 30"	1088	672	48	<0.5	0.15—0.4
19	天水苏城	105° 33' 20"	34° 07' 34"	1202	568	46	0.2—0.3	0.3—0.6
20	天水杨家寺	105° 21' 05"	34° 27' 40"	778	620	49	0.1—0.2	0.2—0.4
21	天水关子乡	105° 23' 12"	34° 37' 38"	900	646	49	<0.15	<0.35
22	通渭碧玉	105° 20' 20"	35° 10' 12"	1126	598	48	<0.2—0.3	<0.3
23	通渭董庄	105° 11' 15"	35° 12' 40"	2216	698	64	<0.15	0.1—0.3

太京以北的壳内、壳幔高导层相对太京以南的相应层位普遍下降,但壳幔过渡带连续性差,而岩石圈过渡带高导层连续性很好。相反,太京以南的壳幔过渡带连续性好且层位稳定,但岩石圈过渡带没有显示。显然南部岩石圈过渡带的缺失有可能由于仪器记录到的深部信息不足所致,但仍然可以看出太京南北两侧的电性结构有较大的差异。而位于二者之间的太京之下出现的多达 5 层的高导层也表明,太京附近可能是南北两个不同构造单元的分界或过渡带。

3.2 甘谷礼辛—陇县温水剖面(Ⅱ)

该剖面沿近东西向(见图 1)展布,电性结构如图 5 所示。上地幔高导层以上的电性结构似乎呈现出两两相似的特征,这可能与其所处的构造环境有关。礼辛和安远同属青藏地块,

表 2 天水及邻区 MT 测点电性分层参数

测点名和编号	成县店村(1)			徽县麻沿河(2)			天水平泉(3)			天水太京(4)			秦安叶堡(5)			静宁李店(6)		
	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H
层参数																		
第一电性层	16.1	1.05	1.05	15.4	1.02	1.02	26.0	1.32	1.32	9.0	1.05	1.05	71.4	0.86	0.86	12.5	1.02	1.02
第二电性层	560.9	9.92	10.97	1029.3	9.59	10.61	1199.5	12.48	13.80	500.0	4.23	5.28	1408.6	14.53	15.39	259.3	17.18	18.20
第三电性层	5.2	3.86	14.83	5.4	4.08	14.69	13.4	3.83	17.63	3.9	5.18	10.48	4.8	7.52	22.91	7.0	5.60	23.80
第四电性层	1818.5	29.77	44.60	1900.2	30.35	45.04	2010.9	26.70	44.33	459.6	9.73	20.19	963.0	35.20	58.11	1233.7	77.85	101.65
第五电性层	16.8			11.3			29.8			2.7	15.89	36.08	6.9	11.92	70.03	5.2		
第六电性层										509.9	8.16	44.24	976.0	26.49	96.52			
第七电性层										4.9			4.6					

测点名和编号	静宁张堡(7)			西吉硝河(8)			彭阳草庙(9)			漳县盐井(10)			甘谷礼辛(11)			甘谷安远(12)		
	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H
层参数																		
第一电性层	10.0	0.36	0.36	3.8	0.45	0.45	41.6	1.79	1.79	2.2	0.61	0.61	8.9	0.37	0.37	11.0	1.00	1.00
第二电性层	5097.6	24.63	24.99	1468.9	21.09	21.54	18.9	2.87	4.66	0.4	0.10	0.71	912.4	26.76	27.13	1006.5	27.27	28.27
第三电性层	5.4	7.16	32.15	6.5	3.97	25.51	115.5	36.09	40.75	10.7	2.09	2.80	8.9	6.03	33.16	5.3	4.11	32.38
第四电性层	254.3	77.91	110.06	413.5	78.64	104.15	16.2	17.64	58.39	0.2	2.66	5.46	2117.0	71.24	104.40	1999.7		
第五电性层	7.1			7.8			446.0	46.52	104.91	152.1			5.7					
第六电性层							22.9											
第七电性层																		

注： ρ —层电阻率(Ωm), h—层厚度(km), H—层底面埋深(km)

表 2(续)

测点名和编号	秦安就城(13)			张家川城关(14)			陇县温水(15)			天水街子(16)			礼县罗家堡(17)			礼县祁山(18)		
	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H
第一电性层	32.7	0.93	0.93	67.1	0.54	0.54	3.9	0.25	0.25	30.5	0.87	0.87	2.7	4.64	4.64	10.8	0.58	0.58
第二电性层	1019.9	4.67	5.50	631.7	19.47	20.01	125.4	20.80	21.05	875.7	4.09	4.96	1.6	3.99	8.63	1135.3	12.44	13.02
第三电性层	7.2	13.03	18.63	20.8	4.01	24.02	19.0	6.67	27.72	3.8	4.99	9.95	404.7	4.63	13.26	6.4	3.09	16.11
第四电性层	953.9	16.39	35.02	203.0	88.76	112.78	963.5	67.09	94.81	491.8	9.45	19.40	1.4			919.9	28.8	44.91
第五电性层	11.1	11.09	46.11	38.4			6.0			1.5						9.8		
第六电性层	979.5	59.68	105.79															
第七电性层	18.0																	

测点名和编号	天水苏成(19)			天水杨家寺(20)			天水关子乡(21)			通渭碧玉(22)			通渭董庄(23)					
	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H	ρ	h	H
第一电性层	63.4	0.62	0.62	35.3	0.19	0.19	128.4	0.69	0.69	84.8	3.39	3.39	148.4	4.30	4.30			
第二电性层	155.9	12.65	13.27	390.2	16.44	16.63	430.7	26.42	27.11	471.4	14.82	18.21	509.8	28.39	32.69			
第三电性层	8.6	3.74	17.01	17.2	5.16	21.79	10.8	2.20	29.31	26.6	2.35	20.56	24.5	1.85	34.54			
第四电性层	2067.9	28.09	45.10	1988.9	26.17	47.96	958.8	19.05	48.36	998.5	24.83	45.39	1037.1	19.13	53.67			
第五电性层	5.1			34.7			11.8	10.21	58.57	10.9	5.85	51.24	14.0	3.84	57.51			
第六电性层							816.3	39.63	98.20	815.3	185.25	236.49	826.5	186.09	243.60			
第七电性层							14.6			15.6			11.7					

注: ρ —层电阻率(Ωm), h—层厚度(km), H—层底面埋深(km)

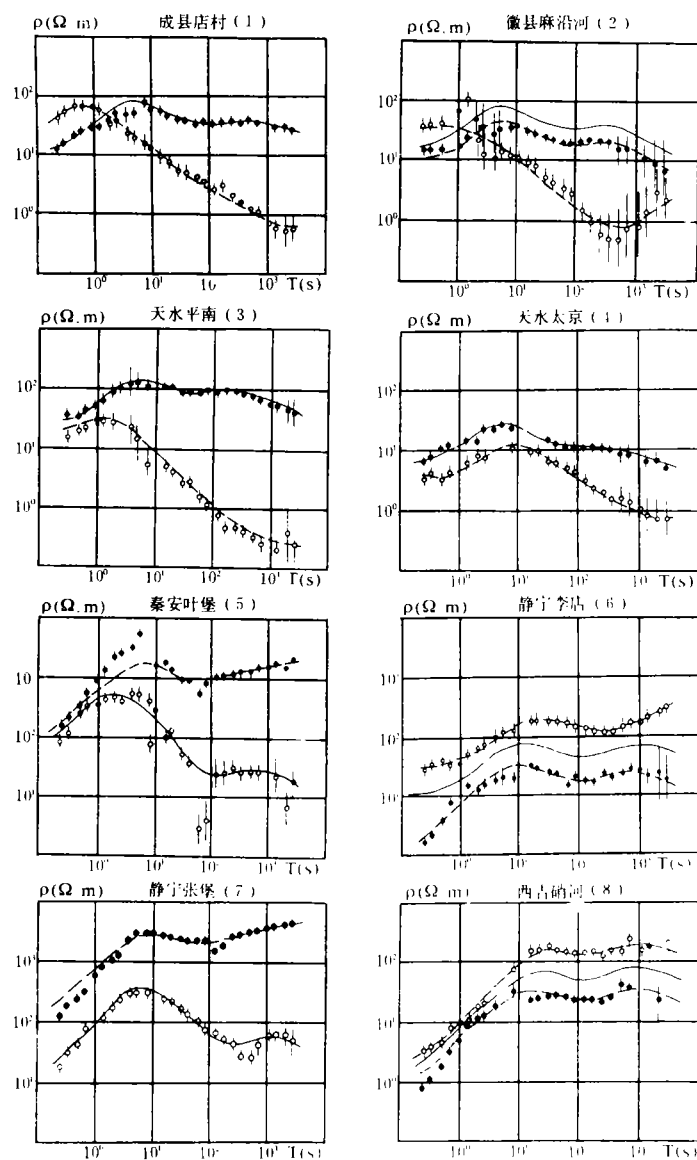


图3 天水及邻区 MT 测点的张量阻抗视电阻率曲线

Fig. 3 Tensor apparent-resistivity curves at MT measuring points in Tianshui area.

大,从 13 km 渐增至 27 km。

罗家堡南北的壳幔过渡带与剖面(I)的结果一致,并且层位稳定,但在罗家堡未出现这一高导层,上地幔高导层只出现在罗家堡以北,罗家堡及其以南未有反映,这也与剖面(II)的分布相同。

在罗家堡一带 8 km 以上均为电阻率极低的高导层。我们认为,1654 年的 8 级大震已使震中区范围内的上地壳破碎,为浅层自由水提供了裂隙通道,从而呈现出极低的电阻率。

张家川和陇县温水同属扬子地块,故它们都显示出相似的电性结构。叶堡和陇城位于这两个地块的接触部位,故出现了不同于其东西两边的异常电性结构,并至少影响到 60 km 以下的地幔。上地幔高导层的起伏变化表明在东西方向上岩石圈厚度并不均一,张家川附近的岩石圈厚度约 110 km,而叶堡附近则不足 100 km。这种变化也正是岩石圈厚度横向变化所引起的均衡调整的自然结果。

3.3 徽县麻沿河—甘谷礼辛剖面(III)

该剖面沿北北西向展布(见图 1),电性结构剖面如图 6 所示。在中、上地壳内,罗家堡测点剖面的电性结构分为南北两部分。罗家堡以南壳内 15—17 km 左右的深度上出现一层厚度 3—4 km,电阻率为 5.4—8.6 Ωm 的高导层,与剖面(I)南部的高导层位一致。罗家堡以北该层的埋深逐渐增

4 讨论及结论

(1) 天水地区在 42 km 左右深度上存在的明显高导层是壳幔过渡带的反映。在 97—110 km 的深度上存在的上地幔高导层可能是岩石圈与软流圈过渡带的反映, 其起伏变化反映了岩石圈厚度在横向上的不均匀分布。

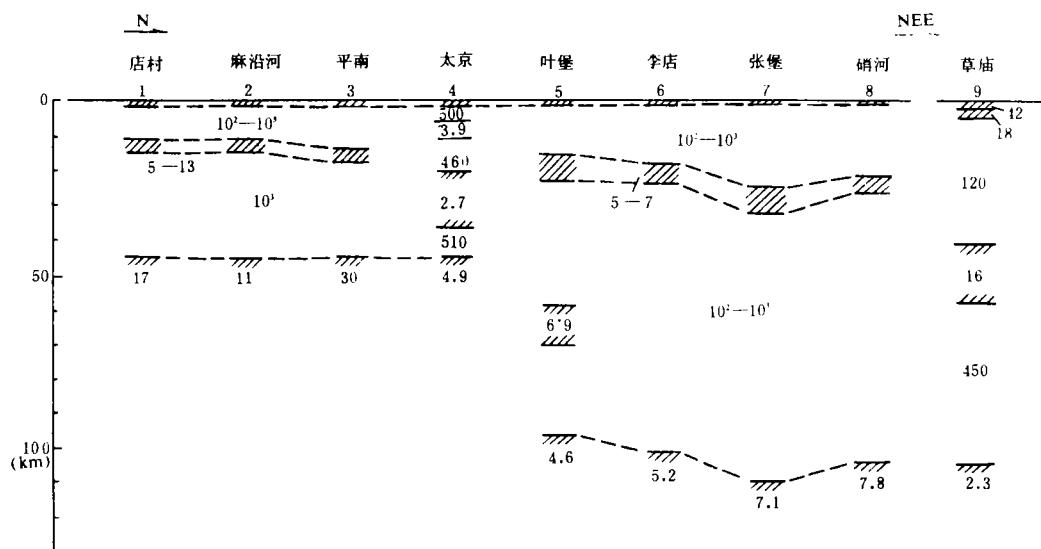


图 4 成县店村—西吉硝河地壳上地幔电性结构剖面(I)(图中电阻率单位为 Ωm)

Fig. 4 Chengxian-Xiji crust-mantle electric structure (I).

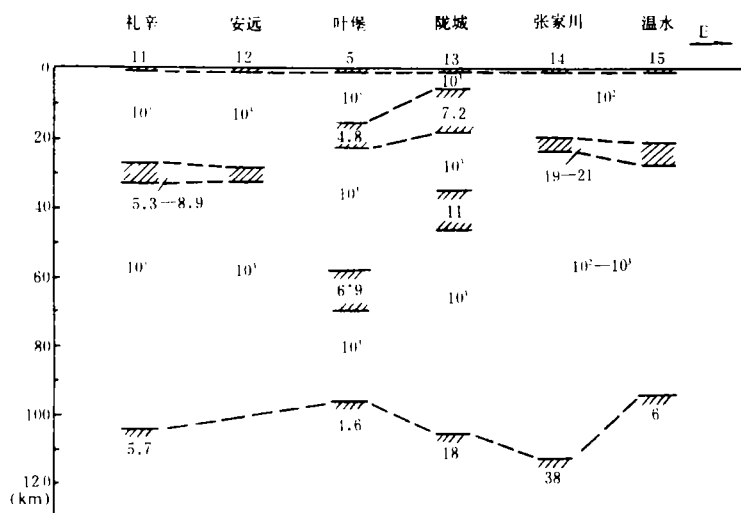


图 5 甘谷礼辛—陇县温水地壳上地幔电性结构剖面(I)(图中电阻率单位为 Ωm)

Fig. 5 Gangu-Longxian crust-mantle electric structure (I).

(2) 太京—杨家寺可能存在大型的近东西向地壳—岩石圈构造带,它是南北两个构造单元的分界线。叶堡—陇城可能是扬子地块与青藏地块的接触界线,形成了近南北向的大型地壳—岩石圈构造带。由于资料尚不丰富,上述推断有待今后进一步证实。

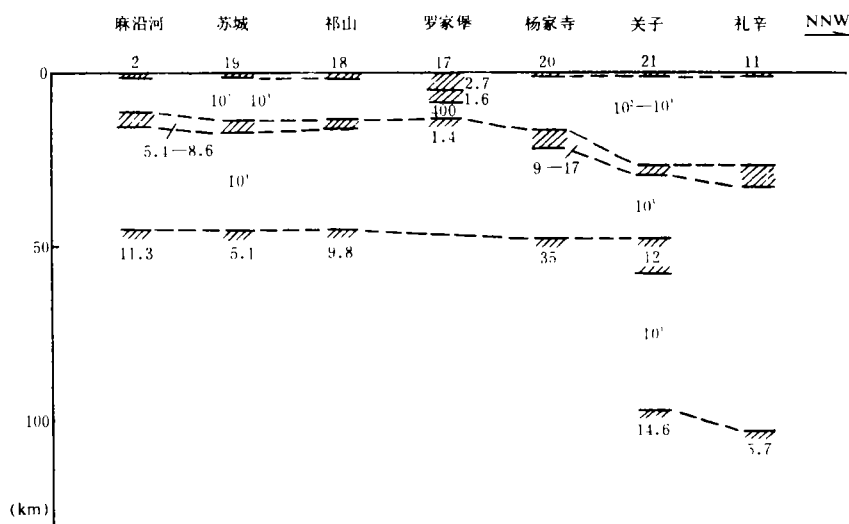


图6 徽县麻沿河—甘谷礼辛地壳上地幔电性结构剖面(Ⅱ)(电阻率单位为 Ωm)

Fig. 6 Huixian-Gangu crust-mantle electric structure (Ⅱ).

(3) 在水地震区,有两个电性结构类型特殊的地区,一个是罗家堡地区,一个是太京、街子地区。罗家堡被平南、杨家寺、祁山和苏城4个测点环绕,相距仅20 km左右,但罗家堡处从地表至8.6 km深度上的电阻率都低,仅有1.6—2.7 Ωm ,且埋深13.3 km的高导层的电阻率为1.4 Ωm ,与周缘测点构成了明显的差异。我们推测,8.6 km以上高导层形成的原因可能以地震裂隙和水的作用为主。13.3 km以下的高导层位形成的原因可能与深部热异常和水的作用有关。1654年天水8级大震的发生可能与深部热异常引起的热应力有关。此外,也不排除大地震造成的震源区巨大破裂后效这一原因,1920年海原大地震就有类似现象。就现有的资料来说,震前该区是否就是热异常区目前还不能肯定。天水的太京、街子也具有热异常区的深部电性结构特征。值得指出的是,这两个地区都是地震测深的莫霍面上的上隆和变异区,据此我们认为,天水地震区的分布特征与深部热异常和热应力有密切关系。

在本项目前期工作中,林长佑负责了部分测点的野外工作,蒋梅、杨国栋、师水月也参加了部分野外工作。本文还得到郭守年副研究员的帮助和指导,在此表示感谢。

(本文1995年3月21日收到)

参考文献

- 1 黄邦强,等. 大地构造学基础及中国区域构造概要. 地质出版社,1984.
- 2 丁国瑜主编. 中国岩石圈动力学概论. 地震出版社,1991.
- 3 陈爱玲,等. 南北地震带北段(武都—青铜峡)深部构造和地震活动. 近期强震危险性判定与研究. 地震出版社,1989.
- 4 李清河,等. 成县—西吉剖面地壳速度结构. 西北地震学报,1991, 13 (增).
- 5 闵祥仪,等. 灵台—阿木去乎剖面地壳速度结构. 西北地震学报,1991, 13 (增).

MT SURVEY AND DEEP ELECTRIC STRUCTURE IN TIANSHUI AREA

Liu Baoqin, Zhu Zuoquan, Jia Zheng, Guo Wanwu,

Li Zhuguo, Zhang Wenren and Qu Jianpeng

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

The MT survey in Tianshui area shows that there is a high conductivity layer in the depth of 43 km, which may be the reflection of the crust-mantle transition zone. The lithospheric thickness is about 95—110 km. There might be a large crust-lithosphere tectonic zone nearly in EW direction around Taijing, Tianshui, and there might be also a large crust-lithosphere tectonic zone nearly in NS direction near Yebu and Longcheng, Qin'an. The two zones are all the boundary lines of different tectonic units. The Tianshui M 8.0 earthquake in 1654 probably related to the thermal stress caused by the deep heat anomaly.

Key words: Telluric electromagnetic sounding, Underground electrical structure, Crust, Lithosphere, Tianshui