

甘肃及邻近地区的地壳厚度

张诚 张伶 邓齐赞 葛建华

(国家地震局兰州地震研究所)

前言

甘肃及邻近地区的震源大多分布于地壳中,为了了解震源在地壳深部的形成过程,研究有效的地震预报方法,要求弄清楚地壳的内部结构。60年代前后曾融生等用人工地震法,对甘肃及青海小部分地区的地壳进行过探测,得出柴达木盆地及甘肃部分地区的地壳厚度为50—53公里,并指出该地区地壳中存在高速夹层^[1, 2]。1974年滕吉文等又对柴达木盆地提出了地壳的详细分层结构^[3]。狭长的甘肃地区位于地形起伏较大的青藏高原边缘,地壳结构仍待探测研究。本文利用天然地震在莫霍界面上的反射波和首波测定地壳厚度的方法,求出陕宁青地区的平均地壳厚度为 52 ± 2.5 公里,陕西地区平均地壳厚度为42公里。

一 用莫霍界面反射波测定地壳厚度

陕甘宁青地区的台站网都观测到了莫霍界面上的反射波 P_{11} 和 S_{11} , 这两种波在大约 70—180 公里的距离上,波形强而清晰,又不易与别的波相混淆,到达时刻比较准确,可用来测定地壳厚度(图 1)。我们在该地区没有观测到确证的 P^* 和 S^* 波,康拉德界面的存在很不确定,故可取地壳为单层模型,并近似认为莫霍界面为水平的,由图 2 可得反射波时距方程式,为

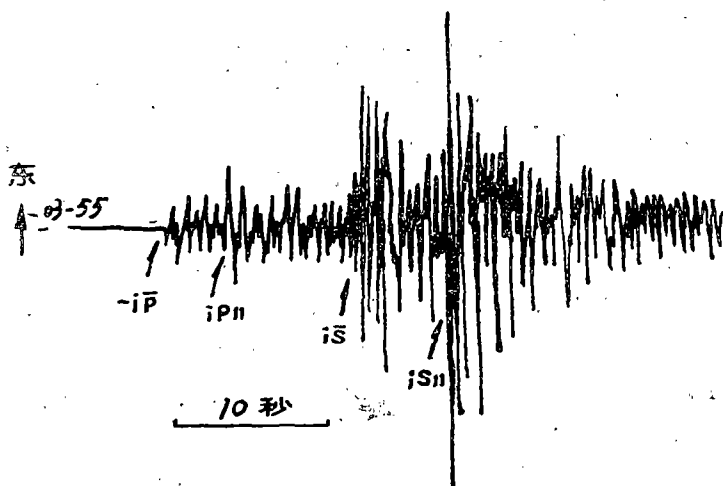


图 1 1976年3月10日03时甘肃岩昌地震,甘谷台
维开克仪照相记录图。 $\Delta = 104$ 公里

$$t_{11} = \frac{1}{V_1} \sqrt{(2H - h)^2 + \Delta^2}, \quad (1)$$

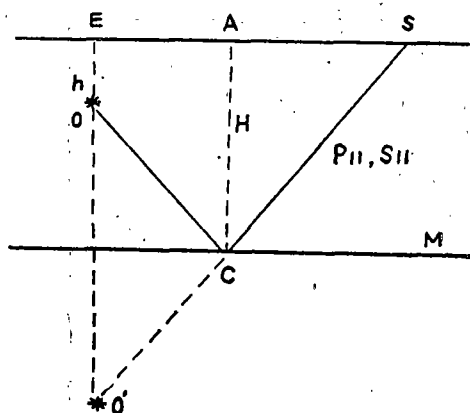


图 2

由(1)式可导出

$$H = \frac{1}{2}(h + \sqrt{(V_1 t_{11})^2 - \Delta^2}) \quad (2)$$

反射点C在地面上的投影A到台站S的距离

为

$$\overline{SA} = H \operatorname{tg}\left(\sin^{-1} \frac{\Delta}{t_{11} V_1}\right) \quad (3)$$

反射点到震中的距离为

$$\overline{AE} = (H - h) \operatorname{tg}\left(\sin^{-1} \frac{\Delta}{t_{11} V_1}\right) \quad (4)$$

上式中 t_{11} 为反射波的走时, H 为地壳厚度, h 为震源深度, Δ 为震中距离, V_1 为直达波的平均速度。

我们用甘肃及宁夏南部23次地震, 43个反射波, 取地壳中的平均波速 $V_2 = 6.09$ 公里/秒, $V_3 = 3.56$ 公里/秒, 按(2)、(3)式计算的地壳厚度值, 以及反射点在地面上的投影到台站的距离和方位角, 列在表1中, 它们的地区分布见图3。地壳厚度的平均值为51.4公里。这个数值与曾融生等[1, 2]求得的结果很一致, 相当于滕吉文等指出 t_2 反射波的 D_2 反射面[3]——莫霍界面。

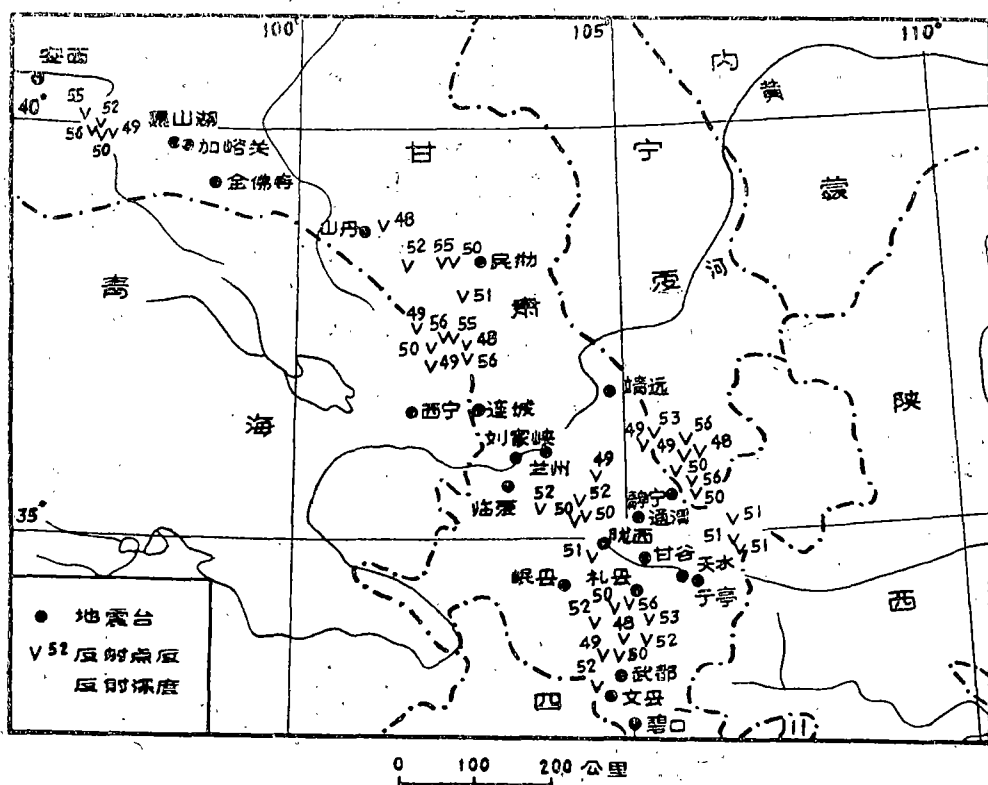


图3 反射波反射点在地面上的投影及反射深度分布图

用反射波测定地壳厚度数据表

表 1

编号	年 月 日 时	震 中 位 置		h 公里	台	tp ₁₁ 秒	ts ₁₁ 秒	H 公里	SA 公里	方 位 角
		北 纬	东 经							
2	64 9 8 18	39° 57'	96° 48'	昌 马	20		37.8	55	79	125°
5	65 6 12 06	39 53	96 36	"	17	27.1		51	120	277
							45.9	49	119	"
							60.2	56	176	288
							44.0	52	108	278
12	70 8 26 08	35 07	104 29	陇 西	21	27.4		52	70	128
						25.3		50	81	112
							43.2	50	82	112
19	72 9 13 05	35 17	105 15	通 渭	16		49.5	49	80	123
28	73 12 6 22	37 35	102 10	九条岭	21	22.8		51	70	205
						23.3		50	72	22
							38.8	49	69	22
38	74 4 29 05	36 23	106 19	固 原	21		50.4	49	97	37
40	74 5 23 20	36 38	105 19	海 源	31		48.4	49	109	3
42	74 5 31 16	34 56	106 53	陇 县	32	19.6		51	69	58
						20.3		51	73	60
						23.9		51	91	55
45	74 6 22 03	37 54	102 01	九条岭	11	30.4		48	90	322
47	74 6 24 07	34 51	103 40	临 潭	23	26.3		52	89	145
50	74 7 27 07	37 48	102 08	九条岭	14	28.6		55	88	343
							49.2	56	89	343
53	74 8 23 14	36 24	106 19	固 原	15		38.0	48	59	34
							51.8	50	96	40
54	74 8 28 02	38 50	101 23	山 丹	28		21.0	48	19	90
60	74 9 29 18	37 56	102 05	九条岭	11		44.9	52	72	135
61	74 9 30 05	37 36	102 28	"	11	24.2		56	64	350
63	74 10 16 01	32 51	104 03	南 坪	19	22.1		52	64	229
							55.2	49	105	206
65	74 10 20 19	38 18	101 57	永 昌	15	19.6		50	46	260
							35.4	55	50	260
							58.1	48	109	7
71	74 11 25 04	35 51	106 16	固 原	22		49.3	56	102	35
							49.3	50	106	3
						31.0		56	112	123
74	74 12 4 20	34 05	104 35	岩 昌	16	29.7		50	99	353
77	75 1 21 13	33 35.4	104 47	武 都	23		35.4	52	58	255
							40.0	52	75	143
							47.2	53	94	229
							47.5	50	94	174
							57.2	56	118	188
83	75 2 12 00	34 10	105 03	礼 县	10	26.9		48	71	10
84	75 2 15 23	35 57	105 59	西 吉	12		45.4	53	75	135
91	75 5 31 11	34 43	103 53	岷 县	8	27.5		51	79	268

二 用莫霍界面上的首波测定地壳厚度

对于单层地壳模型, 由图 4 可得莫霍界面的首波时距方程式如下:

$$t_0 = \frac{\Delta}{V_2} + (2H - h) \sqrt{\frac{1}{V_1^2} - \frac{1}{V_2^2}}, \quad (5)$$

令 (5) 式的截距为 t_0 , 可得地壳厚度 H 为

$$H = \frac{t_0}{2 \sqrt{\frac{1}{V_1^2} - \frac{1}{V_2^2}}} + \frac{h}{2} \quad (6)$$

式中, h 为震源深度, V_1 为直达波的速度, V_2 为首波的速度。截距 t_0 由观测时距曲线可以求得。

我们由 12—16 次地震求得首波的速度, $V_{p_n} = 8.17 \pm 0.10$ 公里/秒 $V_{s_n} = 4.62 \pm 0.08$ 公里/秒。对西安爆破观测数据较少, 其值为 $V_{p_n} = 8.02$ 公里/秒, $V_{s_n} = 4.56$ 公里/秒, $V_p = 5.91$ 公里/秒, $V_s = 3.50$ 公里/秒。由 13 次地震算得时距曲线 9 条, S_n 时距曲线 8 条, 所得 t_0 值及由 (6) 式算得的地壳厚度值列于表 (2) 中。对甘肃、宁夏及青海部分地区, 表中的地壳厚度平均值为 53 公里。对陕西地区, 地壳厚度平均为 42 公里, 由西安爆破算得陕南的地壳厚度为 41 公里。我们所用的部分地震的首波及其观测台站的分布见图 5。

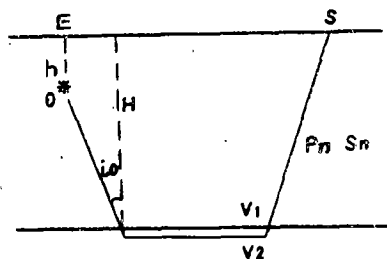


图 4

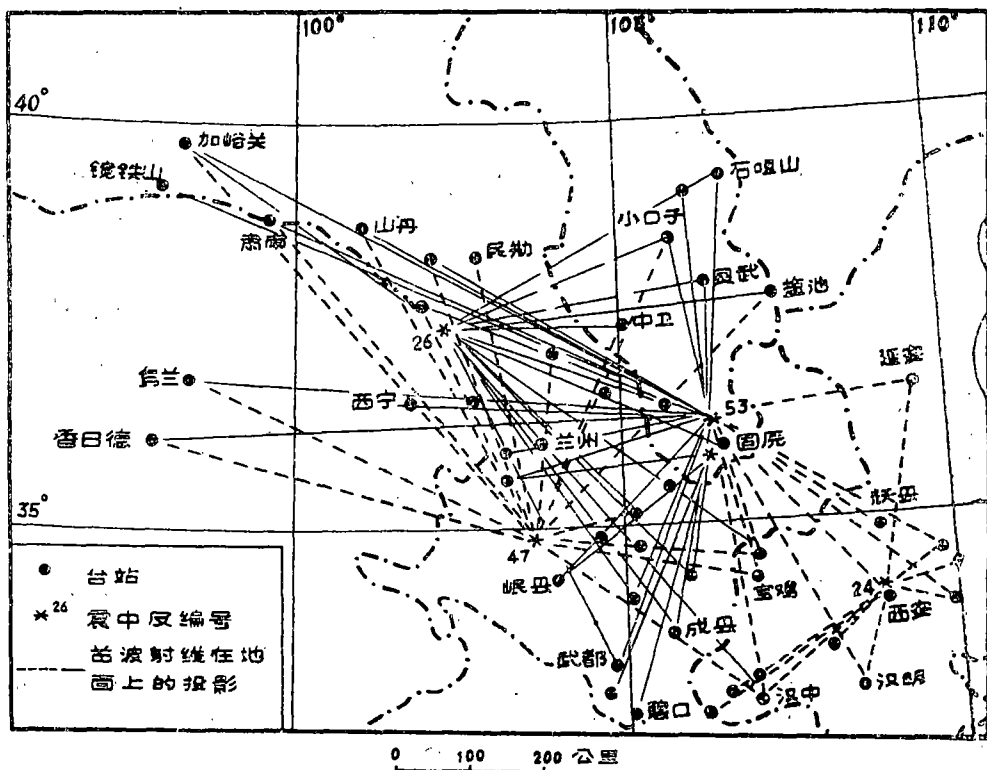


图 5 所用部分首波射线在地面上投影的分布图

用首波测定地壳厚度数据表

表 2

编号	年 月 日 时	震 中 位 置			h 公里	t _{0.Pn} 秒	t _{0.Sn} 秒	H 公里	注
		北 纬	东 经	地 名					
15	70 12 8 15	39° 22'	100° 17'	临 潭	12		17.23	54	陕 西
24	73 5 10 12	34 0.6	103 56.4	西 安	0	8.22		41	
25	73 5 16 06	36 20	106 22	固 原	45		12.25	56.5	
26	73 5 29 21	37 36	102 20	武 威	15		15.77	51.5	
36	74 4 12 08	37 51	101 57	九条岭	9	10.04		54.5	
40	74 5 23 20	36 38	105 19	海 源	31	8.00		55	
47	74 6 24 07	34 51	103 40	临 潭	23		15.32	54.5	
49	74 7 27 01	36 40	106 16	同 心	50	5.63		53	陕 西
53	74 8 23 14	36 24	106 19	固 原	15	7.12		40.5	
							13.23	44.5	
						8.80		50.5	
70	74 11 17 14	33 02	103 59	南 坪	7	9.37		50	
71	74 11 25 04	35 51	106 16	固 原	22		15.09	53	
86	75 4 20 18	37 53.4	106 08	吴 忠	23	8.53		53.5	
							14.98	53.5	
89	75 5 18 07	38 39	101 17	山 丹	14	8.86		51	
							16.10	52	

三 结 语

由莫霍界面上的反射波求得甘肃和宁夏南部的地壳平均厚度为51.4公里。由首波求得甘肃、宁夏和青海部分地区的地壳平均厚度为53公里。综合两类波求得的结果，甘宁青地区地壳的平均厚度为 52 ± 2.5 公里。陕西地区地壳平均厚度为42公里。甘宁青地区与陕西地区平均地壳厚度差达10公里，从甘肃的武都、天水到宁夏的固原一线以东，地壳厚度显著降低。看来，我国的地壳由西向东变薄，在甘陕交接地区递降甚快。

用天然地震波研究地壳结构，比用人工地震波有精度不高的缺点，但有廉价取得丰富资料的优点，随着地震观测系统及其时间服务的改善，用天然地震波研究地壳结构将愈经济有效。

参 考 文 献

- 〔1〕曾融生、阚荣举，“柴达木盆地西部地壳深界面的反射波”，地球物理学报，1961年12月，第10卷，第二期。
- 〔2〕曾融生、滕吉文、阚荣举、张家茹，“我国西北地区地壳中的高速夹层”，地球物理学报，1965年6月，第14卷，第2期。
- 〔3〕滕吉文等，“柴达木东盆地的深层地震反射波和地壳构造”，地球物理学报，1974年10月，第17卷，第2期。