# 甘川陕宁青部份地区的地壳结构

#### 董奇珍

(国家地震局兰州地震研究所)

#### 摘 要

本文利用七次人工爆破资料分别计算了甘肃东南部、四川北部、陕西南部、宁夏南部、青海东北部和甘、川、陕接壤地区的地壳平均厚度、地壳表层的平均厚度以及各种地震波的速度。结果表明:甘、川、陕接壤地区的地壳厚度很接近,地壳厚度从西北向东南递减。

1985年和1986年,在甘肃成县、张家川等地进行了十三次人工爆破。本文选用了其中的 七次爆破资料,用莫霍面上的折射波和反射波测定了甘、川、陕、宁、青五省部份地区的地 壳结构。

一、爆破点参数和观测资料

爆破点参数如表1所示。

第10卷 第1期

• -

慢破参数

表 1

地	名	爆破时间	爆破点位置	炸药量(T)
成	县	1985年12月30日12-00-26.31	33°56.73' N 105°42.5' E	240
崻	渾	1986年10月10日23-00-8.74	34°38.30' N 103°31.52' E	2.5
张家	Л	1986年10月11日00-00-10.78	35°00.84' N 106°00.69' E	2.0
灵	台	1986年10月15日23-00-8.83	35°07.22' N 107°34.75' E	4.0
天	水	1986年10月28日01-00-10.21	34°22.42' F 105°42.13' E	0.8
成	县	1986年10月 27日23-00-10.28	33°47.67' N 105°48.42' E	1.5
梵	县	1986年10月16日00-0012.70	34°56.57'N 106°50.04'E	2.0
		1	•	

1985年成县爆破时,240T左右的炸药分放在公路两旁的两个山洞 里,一次 起爆,采用 零时线圈炸断法记时,时间服务精度为0.01秒。临潭、张家川等爆破时,周围布设了不同距 离的人工测线,用CBY-2型爆破地震仪进行观测。本文选用了这几次爆破的常规地震台网 的记录资料,同时还选用了临潭、张家川爆破的24个近距离(△≤23.6km)测线的资料。

在这些爆破点周围地震台网密集,如图1所示。甘、川、陕、宁、青地区有40个地震台 清楚地记录到这七次爆破的各种地震波震相231个,其中Pg波34个,折射波、反射波108个。



二、地震波速度

临潭、张家川爆破源到各测线的距离从1:500000地图上量得,读数精度为0.02mm。 在小范围内可将爆破源到各测线的地震波射线近似看成直线,用表面源产生的直达纵波的走 时曲线方程

$$T = \frac{\Delta}{V}$$
 (1)

计算出地表浅层直达纵波的平均速度 $\overline{V}_0$  = 4.63 ± 0.54公里/秒。各测线的表层直达纵波速度 及其有关参数列于表 2。

注: 图 2 中 "374、364、354……" 曲线应连接到 "204" 为止.

68

34 0

		うるれた。 うただれる つ フ ジ 次							
爆破点	测线编号	Tp(秒)	∆ (km)	V.i(km/秒)	备注				
	1	1.53	6.90	4.51	2号、14号点的				
	2	0.09	0.26	2.89	Vol未参加平均				
	8	0.88	3.55	4.03					
	4	1.06	4.21	3.97					
	5	2.35	11.62	4.94					
	6	2.32	9.87	4.25					
(	7	2.74	13.80	5.04					
	8	2.25	18.40	5.03					
201	9	4.26	21,70	5.09					
	10	3.21	16,10	5.02					
	11	3.88	19.88	5.12					
	12	0.10	0.46	4.60					
ł	13	5.35	17.00	4.82					
张	14	0.58	1.63	2.81					
	15	0.75	2.78	3.71					
	16	00. Ľ	3.45	3.45					
j	17	1.66	6.70	4.04					
	18	2.0/	9.36	4.52					
	19	2,38	11.34	4.76					
	20	3.10	14,88	4.80					
Л	21	1.70	8.05	4.74					
1	22	2.08	11.02	5.30					
	23	4.30	23.6	5.49					
	24	2.70	13.78	5.10					
平均值▼。				4.63					
Ø6=1				0.54					

表层直达纵波速度及有关参数

用球面三角公式

 $\Delta = 111.199[(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_2)^2 \cos^2 \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_2)]^2$  (2) 计算爆破源到各地震台的距离。式中 $\varphi_2$ 、 $\lambda_2$ 为爆破源地理坐标, $\varphi_1$ 、 $\lambda_2$ 为地震台地理坐标, $\Delta_2$ 为震中距。在这几次爆破中均未观测到康腊界面上的折射波,故本文暂用单层地壳模型模拟。假定地壳介质是均匀各向同性的,莫霍面和地面平行,折射波和反射波是以简单的 折线而不是曲线传播。则可用下列表面源产生的地震波走时曲线方程计算各种地震波速度:

$$T_{n} = \frac{1}{V_{2}} \Delta + 2 H \sqrt{\frac{1}{V_{1}^{2}} - \frac{1}{V_{2}^{2}}}$$
(3)

$$T_{\rm M} = \sqrt{\Delta^2 + 4 \,\mathrm{H}^2} \,/\,\mathrm{V} \tag{4}$$

式中H为地壳厚度, $T_n$ 、 $T_M$ 分别为折射波、反射波走时, $\Delta$ 为震中距离, $V_1$ 为地 壳中平均 速度, $V_1 = (V_{P_n} + V_{PM})/2$ , $V_2$ 为莫霍面下的速度,V为反射波速度。

令(3)式中T<sub>1</sub>=y, 
$$\Delta = x$$
,  $\frac{1}{V_2} = a$ ,  $2H \sqrt{\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}} = b$ ,将(3)式化为

y<sub>1</sub>=ax<sub>1</sub>+b (i=1, 2, ……n) (5) 由(5)式用最小二乘法求得 V<sub>Pa</sub>=8.10公 里/秒, V<sub>1</sub>=4.60公 里/秒, V<sub>Pi</sub>=6.06公 里/ 秒, Vss=3.56公里/秒。

(4)式可化为

y

$$\Gamma_{4}^{2} = (\Delta^{2} + 4 \text{ H}^{2})/\text{V}^{2}$$
 (6)

**令y** = Δ<sup>2</sup>, x = T<sup>1</sup><sub>2</sub>, a = V<sup>2</sup>, b = -4 H<sup>2</sup>亦可将(6)式化为

$$j = ax_{j} + b$$
 (j = 1, 2, .....M) (7)

则可由(7)式算出  $V_{PM} = 6.17$ 公里/秒,  $V_{SM} = 3.61$ 公里/秒。求得的各种地震波速度及有 关 参 数见表 3。

地震波速度及有关参数

表 8

波 名	а	as	相关系 数R	V·km/秒	资料数·N
V.				4.63	24
V <sub>Ps</sub>	0.1649		1.000	6.06	67
V P n	0.1235	38.095	0,995	8.10	23
V PM			0.994	6.14	36
V . s	0,2809		1.000	3.56	36
V + n	0.2174		0.999	4.60	5
V • M		13.057	0,995	3.61	40

### 三、地壳厚度

假定地壳结构是均匀的,根据P<sub>a</sub>波的走时,用(3)式求得爆破源至各观测台的表层 厚度和有关参数如表4,并将各点厚度绘制成图3。



#### 图3 表层厚度分布

Fig. 3 Distribution of crustal thickness

根据图 3 得到各区表层平均厚度H<sub>0</sub>。甘肃东南部H<sub>0</sub>=4.08±0.54 公 里; 甘、川、陕 接壤区H<sub>0</sub>=1.81±0.51公里; 通渭一静宁一带H<sub>0</sub>=2.63±0.16公里。

#### **来层厚度及有关参数**

#### 表 4

爆破点名称	地震	台名務	TPs·(秒)	∆·(km)	H. · ( km )	爆破点名称	地震台名称	Tps·(秒)	<b>∆</b> ·(km)	H•·(km)
1985.12	张	家川	20.69	117.0	5.63	1986.10	战县	11.62	64.8	3.56
	通	滑且	24.69	145.0	8.74 4.59	张	甘谷	12.62	70.1	4.03
成	轻	原	30.69	180.7	4.06	家	峡门(平凉)	14.12	78.8	4.38
<b>4</b>	М	吉	37.79	223.5	4.42	) J1   28.	武山	16.72	95.0	4.14
燇	汉	中	28.39	169.6	1.46	破	礼县	20,72	118.0	4.99
破	, 者	川	26.19	167.0	1.44			1		
	南	坪	25.89	156.0	1.32	1986.10	噗[](半凉)	16.30	93.8	2.90
	文	县	24.39	146.6	1.49	<b>火</b> 台	张家川 甘 谷	36 60	122.0	2.83 5.46
1986.10	武	山	23.56	138.0	3.53		<u> </u>			
4 <b>5</b> -	合	作	11.96	65.0	4.22	1986 10	陇县	25.47	149.7	2.76
御	岷	븊	9.66	51.4	4.23	1000.10	礼县	13,27	73.1	4.34
爆	邐	潤	30.36	180.0	3,30	成且	甘谷	19.27	110.5	3.72
127.	礼	묘	28.26	167.3	3.57	暴	张家川	24.47	142.5	3.44
	#	谷	28.26	165.1	4.49	【极	支 县	23.27	137.2	2.27
198 <b>6</b> .10	武	都	38.72	230.2	2.64	1986.10	礼县	10.89	59.7	3.73
관	ANT.	B	20.70	100.0	4.64	토	甘谷	9.99	53.0	4.47
JK.	PAPA	*	54.14	192.0	4.04	」 水 爆	张家川	16.59	93.2	4.35
家	成	县	24.42	142.0	4.19	破	<b>姚</b> 县	19.89	114.9	3.34
Л	¥	水	10.72	56.4	5.24	1986.10 陇县爆破	成县	28,20	168.6	<b>2</b> .55
爆	静	宁	11.31	64.5	<b>2</b> .70	平均值	(H.)			4.08
破	通	潤	12.32	71.0	2.45	均方根	误差ơn•í			0.75

根据折射波和反射波的走时,用(3)和(4)式分别求出爆破源至各地震台和各反射 点的地壳厚度及有关参数如表5。这些点的厚度分布示于图4。由图4得到各区地壳平均厚 度:甘肃东南部(33.0°N~35.5°N,103.0°E~107°E)的地壳平均厚度为43.20±2.74公 里,四川北部(31.0°N~33.0°N,103.0°E~106°E)的地壳平均厚度为41.10±2.68公 里,陕西南部(32.0°N~34.5°N,106.0°E~110.0°E)的地壳平均厚度为41.12±2.10公 里,宁夏南部(35.5°N~37.0°N),105.0°E~107.0°E)的平均厚度为41.770±0.75公 里, 青海东北部(36.0°N~38.0°N,100.0°E~103.0°E)的平均厚度为50.20±1.52公 里,甘、川、陕接壤地区(32.0°N~33.5°N,104.0°E~107.0°E)的平均厚度为42.00 ±3.20公里。若将这些地区的地壳厚度粗略地连成剖面图5,可以看出该地区的地壳厚度递 减的趋势。

1 -



图 4 地壳厚度分布图 Fig. 4 Thickness of the earth's surface layer



图5 廿川陕宁青部份地区地壳结构剖面 Fig.5 The crustal structure profiles on a part area of Gansu, Sichuang, Shaanxi, Ningxia and Qinghai provinces

專	5
44	v

莫霍面上层地壳厚度及有关参数

		震中距	Pn		Рм		S n		S⊯r	
744 VX /~	地震台名称	∆(km)	T(秒)	H(km)	T(秒)	H(km)	T(秒)	H(km)	T(秒)	H(km)
	甘谷	94.4		[	21.09	45.5			35.89	44.5
1986.10	张家川	129.0			24.99	42.2			43.09	43.5
	通渡	145.0			27.29	42.8			47.19	44.7
ļ	静宁	175.4			31.69	43.2			54.69	45.3
	岷 县	223.5			26.69	40.8			ø1.99	45.6
	宝内	132.0			25.99	45.ō			44.99	47.3
	武都	93.0							34.09	40.3
成	育 川	167.7							<b>Б</b> 0. <b>69</b>	46.4
(	南坪	156.2	[	[	28.19	38.5			48. <b>69</b>	40.5
	文 县	146.6			27.39	42.0			47.39	44.1
	峡门(平凉)	189.5				1			58.79	47.8
	平 武	201.5			34.69	36.1			59.49	37.1
. (	周 至	220.0	36.89	43.8	38,19	42.2			65.79	44.7
	固原	234.9	39.49	47.3	41.29	40.7			69,49	44.0
	宁陕	250.9	40.19	41.2	43,19	44.9	70.09	44.6	- 73,19	41.4
	松潘	243.6	40.09	45.0	42.19	45.9			72.69	48.8
县	守口子	259.1	42,79	48.5	44.09	41.4			75.49	42.2
	经阳	291.2	45.39	42.0	49.19	42.8			84.19	43.5
	安县	283.0	44.69	43.5	47,89	42.5			81.89	42.7
	西安	296.1	45.29	38.7	49.69	39.8	84.89	39.5	84.89	39.1
	海原	288.0	46.29	46.9	49.29	48.8		1	83. <b>69</b>	45.6
	临夏	291.8			49.19	41.7			84.49	44.4
	绵竹	322.6			53.89	40.3			92.09	40.2
	安康	323,4	49.39	41.9	54.09	41.2			<b>92.69</b>	42.9
	靖远		49.90	48.2						
	岷 齿	348.6	51,29	36.0					99.26	41.5
	商县	391.2	57.39	39.7	64.79	41.1	98.69	39.2	110,49	38.4
	乐 都	418.4	62.89	48.8	69, <b>6</b> 9	49.7			118.69	46.2
	邉 源	509.0	74.19	49.3			127.79	49.3		
1	门源	<b>551</b> .9	78.69	52.4			137.79	51.1		
1986 10		192.0	[				i		59.82	42.7
	武具	142.0			27 02	43.6			46.62	45.1
张家	「二」	235.7	37.32	36.6	<b>H</b> 1.05	20.0				
л	文县	259.0	41.42	42.2					1	
1986.10	通滑	180.2			32.76	46.3			56.36	47.4
<b>6</b>	张家川	250.0	<b>4</b> 1.00	45.5						
2	天 水	216.7	36.76	<b>45.4</b>		[ ]		ĺ	1	
<b>夏</b>	院县		45.56	43.7						
	峡口	93,8							37.07	47.8
1786.10	张家川	122.5			25.07	47.4			43.27	48.5
灵	通渭	212.0			37.17	44.0			63.67	44.5
4	岷 县	234.0	50.67	41.8						
P	文县	359.1	53,67	41.2						

建患

爆破点	地震台名称			P	n	P	M	S	n	S	4
			∆(km)	T(秒)	H(km)	T(秒)	H(km)	T(秒)	H(km)	 T(秒)	H(km)
1986.10 成 县	岷 通	县 渭	178.7 163.9			31,27 29.67	36.4 40.8			50.87	41.4
1986.10	通	湑	144.8			28.13	47.7			48.13	47.9
<b>沈</b> 县	文 岷 武	县 县 都	297.9 263.2 245.6			51.30 44.83 41.93	41.4 42.2 40.4			85.63	41,1

四、小 结

由上述计算结果获得: (1)各区地壳表层平均厚度H<sub>0</sub>为: 甘肃东南部H<sub>0</sub>=4.08 ±0.54公里,通渭一静宁一带H<sub>0</sub>=2.63±0.16公里,甘、川、陕接壤地区H<sub>0</sub>=1.81±0.51 公里。(2)各地区地壳平均厚度H<sub>0</sub>为: 甘肃东南部H<sub>0</sub>=43.20±2.74公里,四川北部H<sub>0</sub> =41.10±2.68公里,陕西南部H=41.12±2.10公里,宁夏南部H=47.70±0.75公里,青 海东北部H=50.20±1.52公里,甘、川、陕接壤地区H=42.00±3.20公里。

将本文的结果与文献〔1-4〕的结果对比列于表6、表7。

由表 6 可以看出,本文与文献〔1 — 4 〕求得的各种地震波速度接近或相同。表 7 清楚地 表明利用人工地震资料得出的地壳厚度基本上是一致的。人工地震与天然地震的 结 果 有 差 异。利用人工地震资料计算地壳厚度精度高是存在这一差异的重要原因。图 5 表明地壳厚度 从西北向东南有递减的趋势。

地震波速度对比表(单位为km/秒)

表 6

		料来源 V.		V p g	V p M	V . n	Vig	V s M
文 献	1.永登爆破 2.乐都爆破	4.82	8.16 8.08	6.00 5.89	6.17	4.54	3.56	3.58
	本 文	4.63	8.10	6.06	6,17	4.60	3.56	3.61

地壳厚度结果对比

表 7

		20 JU ++ 13							
	资料来源	地区	Ho · km	H·km	备注				
文献号	<pre>(1)永登爆破 (2)西安爆破 (3)天然地震 (4)人工爆破</pre>	甘	3.70	48.7 41.0 51.4 52.0 41.3	本文的青海东北部在文 献(8)中的甘宁青地区 内;四川北部H值为 文献[4]中平武、南 坪、松潘三台的平均值				
	本 文 。	甘 肃 东 南 部 四 川 北 部 陕 西 南 部 宁 夏 南 部 青海 东 北 部	4.08	43.32 41.10 41.12 47.70 50.20					

本工作得到了李清河、熊晓易、姜家兰、王绒霞、高国珍同志的大力支持,特此表示感谢!

(本文1987年6月11日收到)

#### 参 考 文 献

---C1 〕张诚等,永登系列爆破甘宁背地区地震台网的观测解释与地壳结构,西北地震学报,Vol.7,No.4,1985. [2]赵振等,青海乐部爆破的地度观测结果,西北地震学报,Vol.1,No.2,1979. [3]张诚等,甘肃及邻近地区的地壳厚度,西北地震学报,Vol.1,No.2,1979. [4]张跃国等,西南地区地壳结构初步探讨,四川地震战线,Vol.7,No.1,1979.

## THE CRUSTAL STRUCTURE ON A PART AREA OF GANSU SICHUAN, SHAANXI, NINGXIA AND QINGHAI RPOVINCES

Dong Qizhen

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

<u>د ،</u>

11.14

.

· i..

...

a.c

÷.

t, .

ंद

#### Abstract

Applying the data of 7 artificial explosions we calculate the average crustal thickness and the average thinckness of the upper layer, and various seismic velicities in the area of southeast of Gansu, the north of Sichuan, the south of Shaanxi, the south of Ningxia and the northeast of Qinghai and the contiguous areas of Gansu, Sichuan, Shaanxi respectively. It is suggested that thickness on contiguous areas of Gansu, Sichuan and Shaanxi is quite close and the crustal thickness decreases from northwest to southeast gradually.

1 . . .

8.25

. . .