

青海乐都爆破的地震观测结果

赵 坤

(青海省地震局)

赵 振

(兰州地震研究所)

本文利用1979年6月4日青海乐都爆破甘肃、青海两省地震台站的记录资料,计算了两省部分地区的平均地壳厚度和平均地震波速度,并做了初步讨论。

一、爆破点环境和台站观测

乐都县爆破点位于青海省东部,东经 $102^{\circ}21.0'$,北纬 $36^{\circ}22.5'$ 。海拔2300米,爆破点距山顶300米,距沟底200米,炸药分别装在深40米的四个花岗岩洞内,采用整点整分同时起爆。

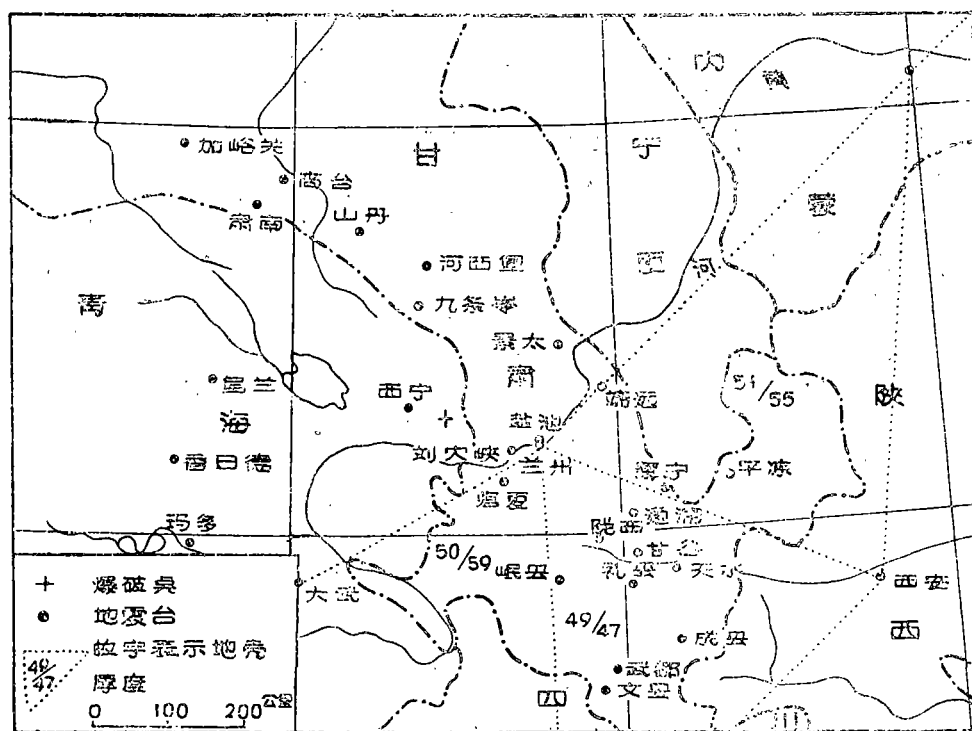


图1 台站分布图

为了进行爆破观测,青海省地震局采取了一些措施:在爆破点附近增设了临时观测台,提高个别固定台站仪器的放大倍数和滚筒转速,并于起爆前统一对钟,核对钟差。此外,甘肃、青海两省大部份台站都有较好记录,为这次爆破提供了主要资料。台站和爆破点位置见图1。

根据对记录震相的运动学和动力学特性的分析, $\bar{P}$ 、 P_n 、 P_{11} 和 S_{11} 波在较多台站记录清楚,其基本特征是:(1)P波段,主要是 $\bar{P}$ 波和 P_{11} 波很发育,某些台站记录的P波振幅比S波振幅强;(2)在短距离上,面波较发育,尤其在垂直分向,这可能是爆破在表面复盖层激起的短周期瑞利型面波;(3)一些台站的记录波形出现振幅和周期均变化很小的波列,波型光滑,似正弦形。

此外,在位于爆破点东南300—400公里的甘肃甘谷、礼县、天水台记录的 P_n 波之后1—2秒处,还有一清楚的震相,振幅比 P_n 的大,如图2。由于资料不足,难以确认该震相的性质。

二、地震波速度和地壳厚度

以12时00分00.0秒为初定起爆时间,量取各台清楚震相的到时 t ,并在百万分之一地图上量出各台震中距 Δ 列于附表,求出发震时刻(起爆时间)、地震波速度及地壳厚度参数如下:

1)发震时刻 T_0 及地壳表层P

波速度 $V_{\bar{P}}$

将 $\Delta < 200$ 公里的初至波,暂时做为直达P波处理。

根据 $\bar{P}$ 波的走时方程

$$T_{\bar{P}} = T_0 + \frac{\Delta}{V_{\bar{P}}} \quad (1)$$

其中 $T_{\bar{P}}$ 为 $\bar{P}$ 波到时; T_0 为发震时刻, $V_{\bar{P}}$ 为直达P波的速度。

$T_{\bar{P}} \sim \Delta$ 图,用最小二乘法求出发震时刻 T_0 为12时00分1.2秒, $V_{\bar{P}} = 5.89 \pm 0.20$ 公里/秒。

2)用反射波求平均地壳厚度 H 和地壳内的平均速度 $\bar{V}$

由于台站布局不够合理,难以追踪康拉德界面或地壳内其他间断面的反射波和首波。但在震中距为80~300多公里的台站上都接收到了较明确的地壳底面反射波 P_{11} 和 S_{11} 。因此,本地区的地壳可暂时视为单层地壳。

考虑到台站的布局和甘肃、青海地区地壳厚度可能存在的差异,这里只利用爆破点至甘肃陇西、天水、成县一线附近的台站(以下称甘肃东部地区)记录到的 P_{11} 和 S_{11} 波资料求出该地区的地壳厚度和波速度。

假定地壳底面为一水平面,则表面爆破产生的地壳底面反射波走时为

$$t_{11} = \sqrt{4H^2 + \Delta^2} / V \quad (2)$$

其中, H 为地壳厚度; V 为地壳内P或S波的平均速度。用最小二乘法求出最佳拟合时距曲

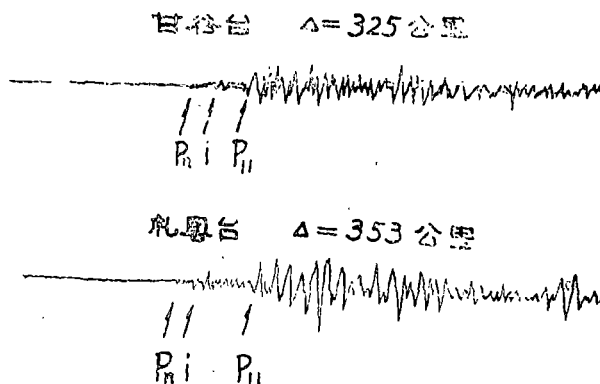


图2 甘谷、礼县台垂直向P波段记录

线, 然后可得出波速度和地壳厚度值如下:

由 P_{11} 波得: $H_1 = 49.0 \pm 10.2$ 公里,
 $\bar{V}_p = 6.17 \pm 0.19$ 公里/秒;

由 S_{11} 波得: $H_2 = 48.1 \pm 8.0$ 公里,
 $\bar{V}_s = 3.58 \pm 0.08$ 公里/秒。

3) 用地壳底面的首波 P_n 计算地壳界面下的P波速度 V_{Pn} 和地壳厚度 H ;

利用甘肃东部地区的 P_n 波资料, 由 P_n 波走时公式

$$T_{Pn} = 2H \sqrt{\frac{1}{\bar{V}_p^2} - \frac{1}{V_{Pn}^2}} + \frac{\Delta}{V_{Pn}} \quad (3)$$

求得 $V_{Pn} = 8.08 \pm 0.07$ 公里/秒, 时间轴截距 $t_0 = 10.3$ 秒。

取 $\bar{V}_p = 6.17$ 公里/秒, 利用

$$t_0 = 2H \sqrt{\frac{1}{\bar{V}_p^2} - \frac{1}{V_{Pn}^2}} \quad (4)$$

求出地壳厚度 $H_s = 49.3 \pm 2.0$ 公里, 与用反射波求出的值很接近, 取其平均值:

$$\bar{H} = 48.8 \text{ 公里.}$$

各种波走时曲线和资料点绘于图3。

图3上, 青海乌兰等四个台的 P_n 波走时全部在走时曲线之上, 假定青海东部与甘肃东

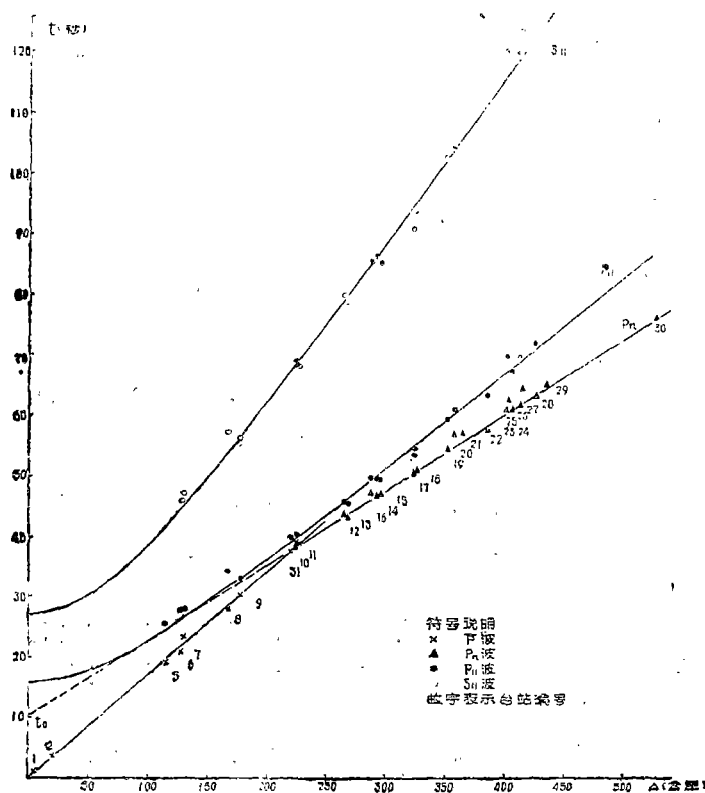


图3 走时曲线

部的地壳下速度 $V_{p,n}$ 和地壳内平均速度 $\bar{V}_p$ 无多大差别, 则可利用 (3) 式求出爆破点至该四台的平均地壳厚度:

乌 兰: $H = 56.8$ 公里

香日德: $H = 58.9$ 公里

大 武: $H = 54.4$ 公里

玛 多: $H = 60.0$ 公里

取平均值为 $\bar{H} = 57.5 \pm 2.5$ 公里。

三、结 论 与 讨 论

为了对比, 我们将本文与有关文献提供的波速和地壳深度资料列于表 I 和表 II。

表 1

资 料 来 源		V_P	$\bar{V}_p$	V_S	$\bar{V}_s$	$V_{p,n}$	备 注
文 献(2)	爆破	5.91		3.50		8.02	西 安 爆 破
	地震		6.09		3.56	8.17	陕、甘、宁、青60次地震资料
本 文		5.89	6.17		3.58	8.08	

表中速度的单位为公里/秒

表 2

资料来源	地 区	方 法	$\bar{H}$ (公里)	备 注
文献(2)	甘肃与青海、宁夏部份地区	地震首波、反射波	52	
	陕 西 南 部	工业爆破	41	
文献(1)	西安·兰州·成都三角区	远震瑞利波	48	在文献(1) 的地区之内
本 文	甘肃东部	工业爆破 首波、反射波	48.8	
	青海东部	“	57.5	
文献(8)	柴达木东盆地	人工地震反射波	52	

1) 由表 I 可以看出, 这次爆破与西安爆破求得的 V_P 和 $V_{p,n}$ 值较接近。 $\bar{V}_p$ 和 $V_{p,n}$ 值与文献(2)中由地震资料求出的相应值有较大差别。但据文献*, 文献(2)中的 $\bar{V}_p$ 和 $\bar{V}_s$ 值是由 60 次地震资料算出的, 其中 50 次地震的震源深度 $h \leq 30$ 公里, 理应低于 6.17 公里/秒。文献*

* 张诚等《甘肃省及邻近地区的地壳厚度》国家地震局兰州地震研究所(油印本)

中曾给出平均P波速度与深度的关系。

$$\bar{V}_p = (5.97 + 0.0057h) \text{ 公里/秒}$$

当 $h = 50$ 公里时, $\bar{V}_p = 6.26$ 公里/秒, 高于 $\bar{V}_p = 6.17$ 公里/秒。

2) 由表 I 可知, 青海、甘肃、陕西三省的地壳厚度有明显的递减趋势; 这也可由图 3 中反射波走时曲线附近的资料点分布看出: 处于西部的 5、6、7、12、26 和 28 号台站 P_{11} 波走时值都在走时曲线之上, 而东部的 13、15、18 和 22 号台站的走时都在走时曲线之下。地壳东薄西厚的趋势, 还可以通过下述方法来验证。

假定地壳底面基本为一平面, 利用实测的 P_{11} 走时寻找爆破点的镜像点, 则爆破点与镜像点连线的中垂线就是地壳平面在铅直平面上的投影。图 4 就是根据此次爆破的 P_{11} 资料得到的结果, 可以看出莫霍界面明显西倾, 这与前述结果一致。

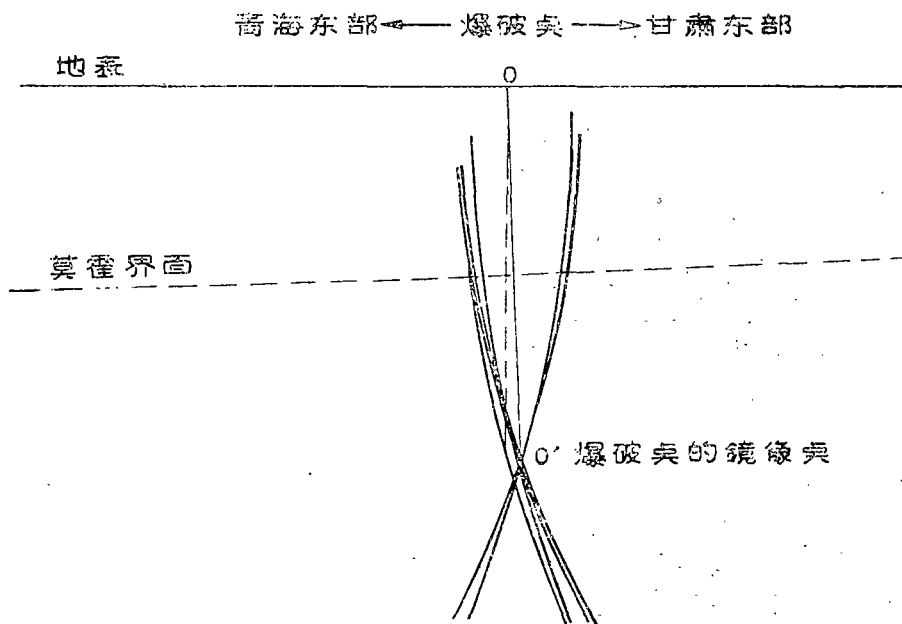


图 4 地壳厚度变化趋势

地壳厚度由东至西逐渐增厚的趋势支持文献(4)中关于该区地壳已达到重力均衡状态的结论。

3) 甘肃河西地区嘉峪关、肃南、高台、山丹和河西堡的 P_s 波走时与图 3 的 P_s 波走时曲线没有明显的偏离, 这可能说明, 由爆破点至上述台站路径的平均地壳厚度与甘肃东部的平均地壳厚度无多大差别。

最后应说明的是, 对于 $\Delta < 200$ 公里台站初至波的性质, 还有待进一步探讨。它可能是地壳表层结晶基底的首波或地壳浅层的回折波。由于资料不足, 难以确证。本文按直达波处理, 对其他结果和所做的讨论影响不大。

利用爆破了解地壳结构是很有效的。由于这次爆破前准备不足, 台站布局不够合理, 时间服务精度不高, 因此, 所得结果不多, 所做的讨论也是很初步的。

附表

序号	台站名称	震 相 到 时 (秒)						震中距 (公里)	备 注
		$\bar{P}$	P_a	P_{11}	$\bar{S}$	S_{11}	i		
1	峡 口	2.1						5.05	
2	王佛寺	4.6						19.6	
3	西 宁	18.4			26.2			62.7	*
4	刘家峡	17.2		22.3				82.0	*
5	临 夏	20.4		26.7	34.1	44.7		116	
6	盐 池	22.1		28.9	34.9	47.1		128	
7	兰 州	24.5		29.2	41.2	48.2		130	
8	九条岭	29.7		34.2	50.1	58.2		167	
9	景 泰	31.4		34.3	51.1	57.3		178	
10	河西堡	40.3	39.3	41.4	65.3	69.9		225	
11	靖 远	40.1			68.3	69.0		226	
12	岷 县		44.5	46.9		80.7		264	
13	陇 西		44.3	46.4		79.0		268	
14	山 丹		47.6	50.5		87.4		293	
15	通 渭		48.0	50.3		86.2		294	
16	大 武		48.1	50.8		86.5		287	
17	静 宁		51.3	54.6		91.8		324	
18	甘 谷		51.9	55.5		94.9	53.9	325	
19	礼 县		55.2	60.3		103.7	56.3	353	
20	乌 兰		57.5	61.9		105.3		358	
21	肃 南		57.9					366	
22	天 水		58.4	64.4		110.4	59.9	385	
23	平 凉		61.7					402	
24	高 台		61.3	68.1				406	
25	香日德		63.4	70.5		121.0		403	
26	武 都		62.5	70.9		120.7		413	
27	玛 多		65.2					414	
28	成 县		64.0	72.9		124.4		426	
29	文 县		66.1					436	
30	嘉峪关		77.0	89.5				527	
31	定 西	38.9		40.1	67.4		71.4	221	

附表说明: *因数据偏差太大舍弃不用, 计算各种数据所用台站:

T_0 、 $V\bar{P}$: 1、2、5、6、7、8、9; $\bar{V}_p$ 、 H_1 : 5、6、7、12、13、15、18、19、22、26、28;

$\bar{V}_s$ 、 H_2 : 同 H_1 ; V_{p11} 、 H_3 : 12、13、15、18、19、22、26、28、29;

青海地壳厚度 $\bar{H}$: 16、20、25、27。

参 考 文 献

1. 曾融生等《我国境内瑞利波的相速度》 地球物理学报 1963, Vol. 12, № 2
2. 张诚等《甘肃及邻近地区的地壳厚度》 西北地震学报 1979, Vol. 1, № 2
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, Vol. 17, № 2
4. 曾融生《莫霍界面的重力补偿和地壳结构的基本模式》 地球物理学报 1973 Vol. 16

(上接第28页)

JSZ-2型自动测氦仪具有下述一些特点:直观性好(水氢脱气过程全可看见,若出现不正常现象可及时发现排除);灵敏度高(氦射气进入闪烁室在动态平衡下,若水中氦浓度变化,数分钟内计数值即有反应);准确可靠(消除了人工单点取样观测引入的各种主客观误差,外界条件干扰因素相对减小。脱气稳定,能反应水氢连续变化,观测数据资料质量保证);操作简便(仪器掌握容易,安装调节方便,脱气装置用水量小,经校正好后,无需再行调节,不要人员日夜值班);抗腐蚀(玻璃比金属化学性能稳定);易清洗(喷水口,脱气咀不易堵塞,若有沉积物垢,用稀盐酸即可除去);成本低(全套玻璃脱气装置用费500元)。另外还可进行有线传输。若将玻璃脱气装置配FD-125型仪亦可进行半自动化连续观测,利于普及推广。基本上能满足当前水氢观测和预报地震的要求。但也有一定局限,如玻璃脱气装置怕震易碎,全套仪器体积大搬运不便。现场观测要求工作条件较多(需在井泉点修建观测室,要~220交流供电,要有2米以上水头等)。用于热水观测少。所有这些都需今后革新完善,将自动连续测氦仪向小型轻便;交直流两用,有线传输,无人遥控研制发展,使之更加适应任何地震现场和野外流动水氢观测,为早日实现地震预报做出贡献。

(上接第43页)

- (〔2〕至〔5〕为国家地震局测量大队资料)
- 〔6〕陕甘宁地区垂直形变图及说明书
- 〔7〕甘肃东部地壳形变现状与地震趋势意见 (1976.12)
- 〔8〕关中东部地形变概况和地震趋势意见 (1977.1)
- 〔9〕陕甘宁部分地区形变测量结果及地震趋势意见 (1977.12)
- (〔6〕至〔9〕为国家地震局第二测量大队资料)
- 〔10〕从水平力和垂直力的相互作用讨论我国境内地震的杂音和发生
郭增建等《地球物理学报》 1977.4
- 〔11〕关于大地形变和力之间的关系 努尔(英)
《国外地震》(1976.6、1977.2)