

陕西地区地壳厚度初探

姜家兰 黄长林

(陕西省地震局)

摘 要

本文利用陕西测震台网记录到的七次人工爆破与邻区10个中强地震资料,利用由莫霍界面的首波 P_n 的走时数据,采用改进的时间项法^[1]和相对时间项法^{[3][4]}计算了各测点的时间项 b_i 和 v_{p_n} ,最后得出40个测点的地壳厚度。陕西地区地壳厚度的总趋势是东面较薄,西面较厚。陕北地壳较厚,约为41~43公里,陕南秦岭断块地区地壳厚度约为40公里,而渭河盆地地壳较薄,平均约为36公里。研究表明,地壳深部结构与地震活动存在着一定的联系。

一、引言

用地震波传播特征研究地壳深部构造是地震学的一项基础工作,对于了解地震带内某些部位的地震孕震条件、区域应力场的深部环境及应力的变化以及区域地震活动性都具有重要的意义。本文采用改进时间项法^[1]和相对时间项法^{[3][4]},利用陕西省1973年—1982年七次人工爆破及邻区10个中强地震的折射波资料,计算了陕西省的地壳厚度。

二、爆破、地震参数和观测系统

1973年—1982年陕西省及周围地区有七次较大人工爆破。对于这七次爆破陕西台网各台都有记录,我们选用了19个固定测震台站的资料,在石砭峪爆破时的9个流动台中我们选用了三个台的资料。同时参考了甘肃、宁夏、山西三省6个台站以及7782工程爆破时彬县炮测线上的王河点资料。另外选用了陕西测震台网中记录到10个近震 P_n 波的11个台站的资料。地震、炮点、观测台站的分布见图1。

各观测台站主要用DD-1短周期地震仪及熏烟记录仪器,频段为0.1—1.0秒,放大倍数为2万—10万,记录走纸速度120毫米/分,多数台站记时采用石英钟,可准确到0.1秒,西安台采用零时装置改正钟差,误差不大于35毫秒。

七次爆破中的彬县、西吉两炮,由于药量小,爆破源为黄土,土质疏松,激发条件较差,金堆城、渭南、焦坪矿炮源离各台距离较近,只有少数台能观测到穿透深部的波。各次爆破

起爆时刻用SC-16示波仪和长城磁带仪观测,精度可达0.01秒。所用邻区中强地震资料取自国家地震局出版的《全国四级以上地震目录》。震源参数见表1。

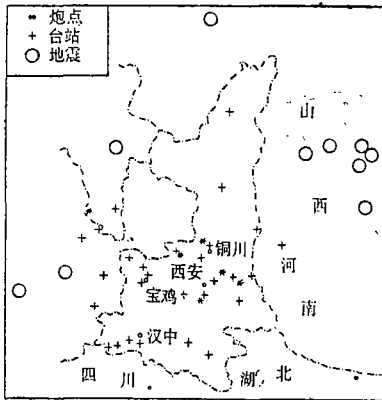


图1 地震、炮点、观测台站分布图
Fig.1 Distribution of explosion spots, seismic stations and epicenters

地震参数表1

序号	日期	时.分.秒	北纬	东经	地点	震级
1	1980.3.9	05-54-14.1	37°17'	112°04'	山西平遥	5.1
2	1980.8.2	03-10-42.0	36°02'	113°55'	河南林县	4.7
8	1980.10.13	15-49-05.0	40°30'	109°10'	内蒙包头西	4.4
4	1980.7.17	16-46-32.1	34°21'	104°51'	甘肃礼县	3.5
5	1980.8.7	10-34-27.7	37°31'	114°25'	河北临城	4.3
6	1982.元.13	23-17-41.7	37°26'	112°40'	山西太谷	4.7
7	1982.1.26	17-47-57.4	37°26'	114°56'	河北栾城	4.9
8	1982.11.5	18-42-22.1	37°28'	106°12'	宁夏同心北	4.0
9	1982.11.10	01-02-15.8	37°32'	113°37'	山西昔阳	4.2
10	1982.8.23	12-50-21.4	34°05'	104°24'	甘肃宕昌	4.1

三、资料和计算结果

各次爆破观测与地震记录的首波最清晰,到时精度也高。我们将首波的时距曲线示于图2。

设地层为水平层,各层中的波速是均匀的,则观测距离

$$\Delta = 111.199 \left[(\phi_1 - \phi_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_2)^2 \cos^2 \left(\frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \right) \right]^{1/2}$$

式中 ϕ 为地心纬度,由地理纬度 ψ 换算成地心纬度的公式为:

$$\phi = \tan^{-1} [(1-f)^2 \tan \psi]$$

$$\text{其中 } f = \frac{1}{298.3} \text{ (地球扁度)}$$

为了得到可信的莫霍界面形状,要对走时进行松散层和高程影响的校正,以海平面为准

表 2

爆破观测P_n波走时表

日期	炮名	台名	未经海平面校正的值		经海平面校正后的值	
			△(公里)	P _n (秒)	△(公里)	P _n (秒)
1973.5.10	石砭峪	宝鸡	176.85	29.7	175.4	29.34
		汉中	217.30	34.9	215.83	34.57
		南郑	231.80	36.5	230.30	36.16
		铁锁关	266.88	40.8	265.21	40.42
		天水	284.95	43.4	284.87	43.17
		延安	288.37	43.5	286.46	43.07
		成县	296.19	44.0	294.36	43.59
		黄坝驿	296.85	44.8	295.40	44.47
		固原	329.25	48.8	329.04	45.23
		静宁	336.32	49.4	333.62	48.79
		通渭	361.20	52.4	358.44	51.78
		夏县	243.7	36.6	242.38	36.52
1980.6.20	焦坪矿	商县	183.4	30.36	181.01	29.82
		宝鸡	199.7	33.66	197.37	33.13
		汉阳	267.5	41.30	265.45	40.84
		汉中	319.9	47.86	317.68	47.36
1981.4.19	贾家湾	商县	359.31	50.90	358.3	50.67
		潼关	371.50	52.83	370.81	52.67
		夏县	376.32	53.76	375.64	53.61
1981.4.19	贾家湾	华县	410.47	57.53	409.63	57.34
		西安	450.81	62.29	449.94	62.09
		汉阳	455.68	63.62	455.01	63.47
		韩城	456.10	63.58	455.41	63.42
		周至	502.34	68.28	501.59	68.21
1982.6.11	西吉	冯家山	227.0	37.53	224.20	36.90
		宝鸡	232.76	38.23	229.96	37.60
		成县	250.20	40.23	247.15	39.54
		周至	338.59	51.03	335.88	50.42
		铜川	342.11	51.73	338.95	51.02
		延安	367.55	53.93	364.42	53.22
		汉中	371.46	55.33	368.76	54.72
		商县	472.67	66.33	469.80	65.68

续表 2

日期	炮名	台名	未径海平面校正的值		径海平面校正后的值	
			Δ(公里)	P _n (秒)	Δ(公里)	P _n (秒)
1982.6.21	金堆城	彬县	190.44	31.63	188.20	31.12
		冯家山	254.55	40.03	252.47	39.56
		陇县	305.16	47.33	302.66	46.76
1982.6.21	彬县	王河	178.31	29.78	175.32	29.10
1982.6.26	渭南	安康	212.17	34.36	211.47	34.24
		冯家山	212.98	34.66	211.86	34.41
		宝鸡	226.48	35.96	225.35	35.70
		延安	224.73	36.36	223.28	36.03
		汉中	294.65	44.56	293.63	44.33

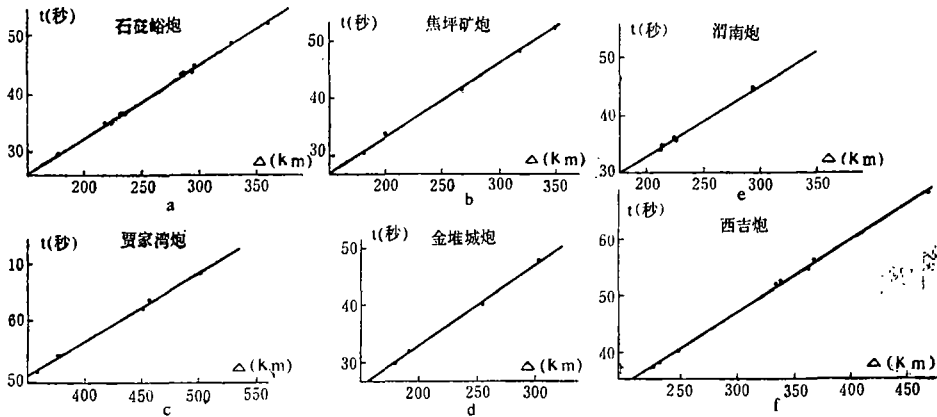


图 2 各炮时距曲线

a.石砭峪炮 b.焦坪矿炮 c.贾家湾炮 d.金堆城炮 e.西吉炮 f.渭南炮

Fig. 2 T—Δ curves of each explosion

改正各点的走时。对黄土层和砾石层的走时改正取直达纵波速为0.35公里/秒和0.70公里/秒，对岩石层的高程走时改正取纵波速为6.02公里/秒，莫霍界面下的P_n速度取8.19公里/秒。根据公式：

$$t = t_{\text{观}} - (\delta H_1 + \delta H_2) \frac{V_2}{V_1 \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

$$\Delta = \Delta_{\text{观}} - (\delta H_1 + \delta H_2) \frac{V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

将P_n原始观测走时改正归一为海平面高程的走时，结果列于表2中。用改进时间项法〔1〕计算出各地的莫霍面深度，结果列于表3、表4中。

我们采用了11个地震台记录到的10个近震资料和西安地区的地壳厚度来求陕西地区的地壳厚度。地震产生的折射波从震源传到地震台的时间可用下列方程来表示：

$$t_{ij} = a_i + b_j + \Delta_{ij}/v_2$$

式中的 Δ_{ij} 是第 i 个震源到第 j 个台站之间的距离， a_i 和 b_j 分别是第 i 个震源 和第 j 个台站的特征参数，即震源和台站的时间项。

$$a_i = \frac{H_a \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}; \quad b_j = \frac{H_b \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

式中 H_a 和 H_b 分别是震源到莫霍界面的距离和台站处的地壳厚度。

各测点的时间项及莫霍界面深度

表 3

编 号	地 区	时间项 (秒)		莫霍界面深度 (公里)	
		b_i	σ_{b_i}	H_i	σ_{H_i}
1	商县	3.7	0.31	32.8	2.82
2	潼关	4.1	0.43	36.4	3.90
8	华县—金堆—王河	4.4	0.38	39.4	3.44
4	子午—石砭峪	3.8	0.29	34.3	2.58
5	安康	4.5	0.45	40.4	4.05
6	铜川—焦坪	4.7	0.27	42.4	2.42
7	韩城	4.6	0.49	41.5	4.39
8	周至	4.2	0.39	38.1	3.51
9	陇县	6.2	0.51	55.8	4.59
10	汉中—南郑	4.8	0.30	43.3	2.66
11	天水	5.3	0.47	47.5	4.18
12	延安	4.7	0.33	41.9	2.94
13	成县	4.5	0.33	40.4	3.0
14	夏县	3.9	0.33	35.3	2.92
15	宝鸡—冯家山	4.7	0.22	42.0	1.93
16	西吉	5.7	0.37	50.7	3.29
17	渭南	4.3	0.33	38.9	3.01
18	贾家湾	4.1	0.47	36.5	4.18
19	铁锁关—黄坝驿	5.1	0.39	45.4	3.47
20	静宁	5.1	0.51	45.8	4.55
21	汉阳	4.6	0.38	40.8	3.42
22	彬县	4.1	0.39	37.1	3.50
23	通渭	5.1	0.53	45.9	4.75
24	固原	5.5	0.50	48.1	4.50

利用长安县石砭峪爆破资料求出该地区地壳内平均P波速度为6.10公里/秒,莫氏界面埋深为37.5公里。石砭峪爆破点距离西安台只有3.4公里,因此,可视其为西安台的地壳厚度。最后用相对时间项法^{[8][4]}在PC-1500计算机上计算。计算时把P波速度视为地壳内平均P波速度 V_1 , V_2 取8.344公里/秒,标准偏差为0.003公里/秒,表5给出地震台站各点时间项 b_i 及其相应的标准偏差 σ_{b_i} ,各地震台站莫霍界面深度 H_i 及其相应的标准偏差 σ_{H_i} (图3)。

各测点经海平面校正后的时间项及莫霍界面深度

表4

编 号	地 区	时间项(秒)		莫霍界面深度(公里)	
		b_i	σ_{b_i}	H_i	σ_{H_i}
1	商县	3.5	0.30	31.9	2.70
2	潼关	4.0	0.42	36.0	3.74
3	华县—金堆—王河	4.3	0.37	38.7	3.30
4	子午—石砭峪	3.8	0.27	34.0	2.47
5	安康	4.5	0.43	40.1	3.89
6	铜川—焦坪	4.6	0.26	41.1	2.31
7	韩城	4.6	0.47	41.1	4.21
8	周至	4.2	0.37	37.4	3.36
9	陇县	6.0	0.49	54.1	4.40
10	汉中—南郑	4.7	0.28	42.3	2.55
11	天水	5.1	0.45	45.8	4.02
12	延安	4.5	0.31	40.5	2.81
13	成县	4.4	0.32	39.1	2.87
14	夏县	4.0	0.31	35.6	2.80
15	宝鸡—冯家山	4.6	0.21	40.9	1.85
16	西吉	5.5	0.35	49.1	3.14
17	渭南	4.3	0.32	38.9	2.88
18	贾家湾	4.0	0.45	36.2	4.01
19	铁锁关—黄坝驿	4.9	0.37	44.3	3.33
20	静宁	4.9	0.48	42.1	4.20
21	汉阳	4.5	0.37	39.0	3.17
22	彬县	3.9	0.37	34.0	3.24
23	通渭	4.9	0.51	42.1	4.39

各台时间项和地壳厚度（地震资料计算结果）

表 5

编 号	地 区	时间项(秒)		莫霍界面深度	
		b_i	σb_i	H_i	σH_i
1	华县	4.5	0.45	39.5	4.0
2	耀县	5.4	0.58	47.6	5.2
3	商县	4.0	0.68	35.3	5.6
4	西安	4.3	0.67	37.5	5.9
5	千阳	5.2	0.90	45.8	8.0
6	铜川	4.0	0.29	35.2	2.5
7	彬县	3.9	0.60	34.6	5.3
8	周至	3.8	0.68	33.5	6.0
9	陇县	4.8	0.82	42.3	7.2
10	宝鸡	5.7	0.90	50.3	7.9
11	冯家山	4.7	0.95	41.0	8.4

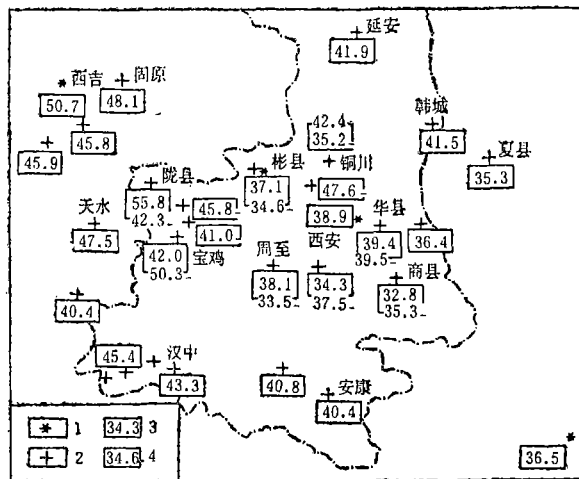


图 3 陕西地区地壳厚度分布

1.爆点 2.台站 3.爆破资料计算结果 4.地震资料计算结果

Fig. 3 Distribution of crustal thickness in Shanxi region

四、讨论

陕西省地质构造复杂，新构造差异活动强烈，历史上强震频繁发生。

为了分析陕西地区地壳结构特征，我们将各台站时间项标于地质构造图上（图 4），以便对比。从图 4 可看出，渭河断陷盆地西部时间项一般比东部大，而且南北两侧鄂尔多斯断块和秦岭断块各台站时间项一般比渭河断陷盆地内各台时间项大，这可能意味着渭河断陷盆地的莫霍界面隆起，地壳比其它地区薄。

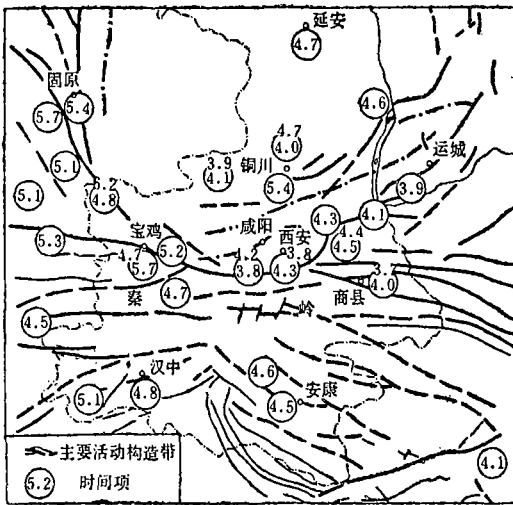


图4 陕西地区地质构造与各测点的时间项
Fig. 4 The geological structure in Shanxi region and the time-term of each observation

陕西地区地壳厚度表现为东薄西厚, 陕北地区属鄂尔多斯块体, 地壳较厚, 约为41~43公里, 陕南地区属秦岭断块区, 除东部商县盆地地壳较薄外, 其它地区约为40公里, 渭河断陷盆地地壳厚度约为36公里左右。

渭河断陷盆地地壳较薄, 上地幔隆起及沉陷幅度较大, 地震活动相对强烈。陕西省内其它两个地区莫氏面起伏小, 地壳结构较稳定, 地震活动水平也较低。这也说明地壳结构与地震活动性存在着一定的关系。渭河断陷盆地构造部位复杂, 今后仍可能是强震活动重复发生的地区。

(本文1985年2月13日收到)

参 考 文 献

- [1] 张少泉等, 北京地区莫霍界面形状的初步研究, 地震学报, Vol.3, No.4, 1981.
- [2] 中国科学院地球物理研究所, 晋中南地区地壳结构的初步研究, 地球物理学报, Vol.17, No.3, 1974.
- [3] P.L. Willmore and A.M. Barcroft, The time term approach to refraction seismology domonion observatory, Ottawa Canada, 1960.
- [4] 潘坚云等, 利用固定台站近震记录计算地壳厚度, 地震, No.1, 1984.

A PRELIMINARY STUDY ON THE CRUSTAL THICKNESS IN SHANXI REGION

Jiang Jialan Huang Changtin
(*Seismological Bureau of Shaanxi Province*)

Abstract

From the data of 7 artificial explosions and 10 moderate strong earthquakes of nearby regions recorded by the Shaanxi Seismic Network and also the data of head wave p_n from Moho, the time-term b_i and v_{pn} for each observation spot and the crustal thickness beneath 40 observation spots are determined by use of the improved time-term method [1] and relative time-term method [3], [4]. Generally speaking, the crustal thickness in Shaanxi region is thinner in the east and thicker in the west. The crust in northern Shaanxi is relatively thick, about 41-43 km. For faulted regions in the Qinling Mountains, it is about 40 km. The crust in the Weihe Basin is relatively thin, about 36 km on an average. The results suggest that there exist a certain relation between deep crustal structure and seismic activity.