

# 甘肃邻近地区 Pn 波速度初探

曹克信 王周元

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

用甘肃及邻近省区的地震台网记录的周围中强地震资料研究了本区上地幔顶部 Pn 波速度的分布情况。本研究使用  $M_L > 4.0$  级地震的折射 Pn 波到时,由相对于某一给定震中方位差小于  $3^\circ$  的两个台站配对,取其相对到时差的震中距之差求 Pn 波速度。优点是简便易行,并且定位的发震时刻和震源位置偏差对速度无影响。60 多个地震的 200 多台站对的结果表明:甘肃邻近地区 Pn 波速度分布的非均匀性和各向异性都较为明显,以东经  $103^\circ$  为界,其以东地区平均 Pn 波速度为  $8.00 \pm 0.19$  公里/秒。似乎平行于南北地震带的几个历史强震分布条带及沿河西走郎强震分布带均显示出 Pn 波速度明显的低速条带。毫无疑问,这些结果对地震研究和预报具有重要意义。

## 一、前 言

甘肃东南部属于南北地震带北段的一部分,西北部——河西走郎受祁连地震带的影响也是地震的高发区。

上地幔地震波速度是了解一个地区构造格局的重要参数,多数报道对陕甘宁青地壳结构的研究都在点线长距尺范围内,报道的 Pn 波速度为 8.17 公里/秒左右<sup>(1)</sup>。张少泉等用爆炸测深射线追踪法研究西起青海门源,东至陕西金堆城,全长 900 多公里,测线剖面横穿甘肃中东部,总的地壳厚度由西向东变薄;南北地震带六盘山附近莫霍面起伏变化较大,有上隆趋势<sup>(2)</sup>。为了详细研究甘肃即青芷高原东北缘上地幔 Pn 波速度,我们利用本地区台网记录的 1976—1990 年 60 多个  $M_s$  大于 4.0 级地震 P 波到时,测定了台网下伏的 Pn 波速度,并对结果作了简要讨论。

## 二、测定方法和资料处理

时间项方法用于地壳和地震波速度的研究是了解地球浅层结构的一种有效方法。震源到台站的 Pn 波到时  $T_i$  记为

$$T_i = T_0 + a_0 + a_i + \frac{\Delta_i}{V_{ai}} \quad (1)$$

式中  $T_0$  为发震时刻,  $a_0$  和  $a_i$  为震源和台站记录场址的时间项,  $\Delta_i$  为震中距,  $V_{ai}$  为下伏折射界面的 Pn 波速度。时间项方法对测定从震源到台站整个传播路径上的折射界面速度很有用,但是它要取决于发震时刻,震中精度和震源深度,并且依赖台基场址岩性物理特性等的影响。

测定精确的震源位置和发震时刻,以期得到每个台精确的震中距和对应的走时,用球面三角公式对震中距进行校正

$$\Delta(\text{公里}) = 111.199 [(\varphi_s - \varphi_e)^2 + (\lambda_s - \lambda_e)^2 \cos^2 \frac{1}{2}(\varphi_s + \varphi_e)]^2 \quad (2)$$

如下式表示, 时间差被用于测定折射界面的速度

$$T_j - T_i = \frac{\Delta_j - \Delta_i}{V_{aij}} + (d_j - d_i) \quad (3)$$

式中  $V_{aij}$  为折射界面的 Pn 波视速度,  $D_i$  和  $D_j$  为两个台站的时间项; 对于水平折射界面和最小观测误差来说, 假定每一台站对的  $D_j = D_i, V_{ai} = V_{aj} = V_{aij}$  都成立, 则

$$V_{aij} = \frac{\Delta_j - \Delta_i}{T_j - T_i} \quad (4)$$

我们分别为每个地震测定了 Pn 波视速度共 200 多个估算值。

近年来甘肃台网及邻近地区发生了许多有利于研究的中强地震, 用这些地震和前述地震台站对之间相对走时来研究 Pn 波速度。为了不影响测定结果, 这里约定选用台站对相对于震中的方位差小于  $3^\circ$ , 选用甘青共 43 个台的记录用于本研究, 部分震中示于图 2。

所有 Pn 波到时的测定误差不大于 0.3 秒。注意到 Pn 波速明显的各向异性, 为了讨论和叙述方便, 以东经  $103^\circ$  为界, 把研究区分为东西地震区。按发震时间顺序从东到西记录的台站对平均 Pn 波视速度列于表 1 中。有些地震的 Pn 波射线一连穿过几对一条线上的台站时; 或平行非常相近的两对台站均合为一条射线处理, 最后取用 88 对 Pn 波射线, 东西地震区各 44 对。

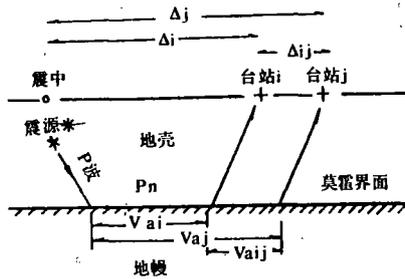


图 1 对台站记录到的经莫霍界面折射的 P 波示意图

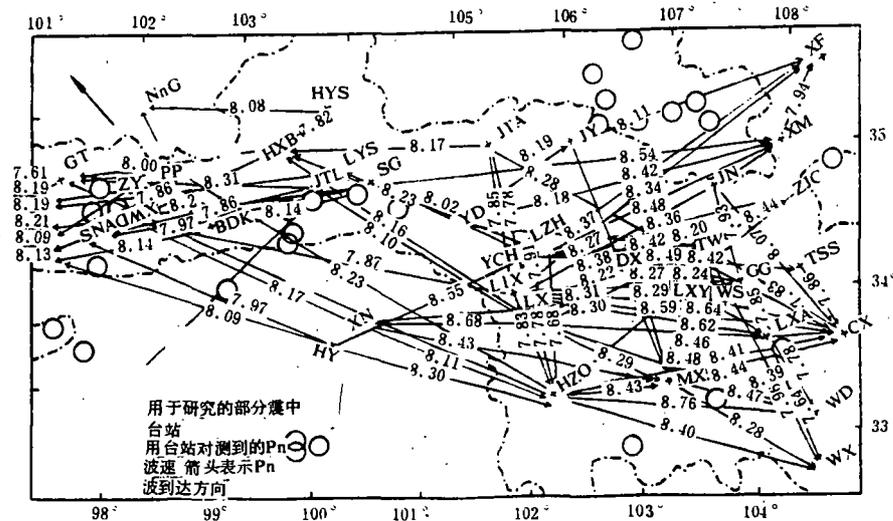


图 2 震中, 台站, 台站对测的 Pn 波速度

### 三、结果与讨论

结果表明:东西地震区地震在本区域显示出截然不同的 Pn 波视速度值。103°以东震区地震的 Pn 波视速度总平均值  $8.00 \pm 0.26$  公里/秒。其中沿北西方向河西走廊北山的红崖山、山丹、高台、嘉玉关一带的 Pn 波视速度只有  $7.89 \pm 0.27$  公里/秒;景泰、兰州、临夏、合作以及甘肃东南部所有台网平均 Pn 波视速度为  $7.88 \pm 0.23$  公里/秒,图(3B)。

103°以西用于研究的地震多发生在祁连南山和青海省境内,只限于湟源至景泰东南的台网观测到,总平均 Pn 波视速度为  $8.42 \pm 0.19$  公里/秒。视速度随震中距( $\Delta$ )和方位的分布示于图 4。

实心圆表示东震区 Pn 波速,权表示西震区 Pn 波速。(△)展布范围约 240—780 公里,东西地震区 Pn 波射线呈南北,东西方向发展布在兰州以南区域内,如果不同折射界面存在的话,那末视速度随( $\Delta$ )的方向变化,应当反映出这一些。然而,本次研究中发现观测误差以内确实存在很大的系统变化,

来自西震区地震的 Pn 波速度高于来自东震区地震 0.43 公里/秒。同时也作出了视速度相对于台站方位而变化的(图 4b),仔细审视图 3 和图 4b,可以看出各向异性的存在,东震区 Pn 波视速度相对台站方位变化大,标准差也较大;西震区方位变化小,标准差也小。因为地震比较均匀分布在观测台网东西两测,所以多数台站对都有相反的 P 波到时,相反方向的 Pn 波速度差别之大,表明甘肃东南,西北部台网相对东西地震区的 Pn 波存在显著的方向性效应,并且完全可能有倾斜的或弯曲的折射界面存在。何正勤等研究南北地震带的瑞利波群速度与地壳结构指出,<sup>(3)</sup>南北地震带可能在上地幔物质上隆。门源——全堆城地震测深剖面过六盘山构造带,测得 Pn 波速度 7.9 公里/秒,<sup>(4)</sup>在攀西地

区的人工爆破中发现该地区

上地幔顶部的 Pn 波速度在 7.60—7.80 公里/秒之间,<sup>(5)</sup>这些与本文研究结果十分接近。

一个地区的构造格局可能对不同方向的 Pn 波速度起着重要的限制作用。昌马——祁连断

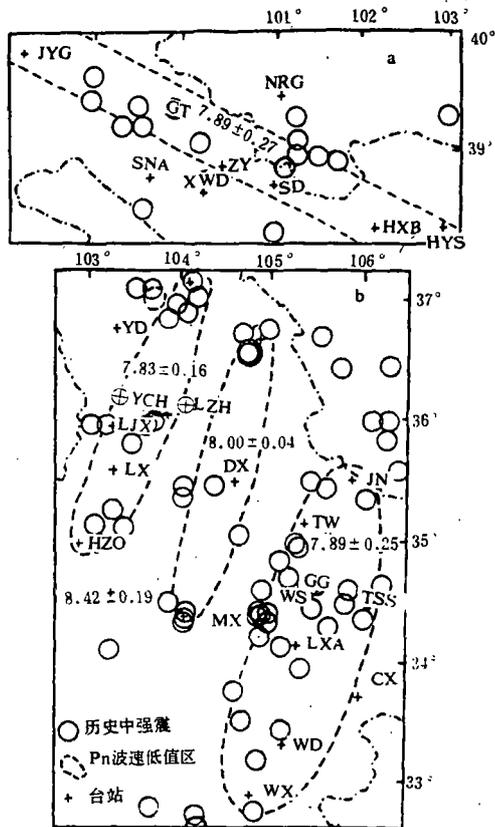


图 3 研究区域下伏 Pn 波速度分布

裂带古浪断裂带和海源断裂带共同构成了青芷高原东北缘的一条弧形展布的深大断裂,秦岭北缘大断裂走向近东西横穿研究区淹没于南山地向斜之中,而南山地向斜沿东经 103 度往北逐渐转向北西<sup>[6]</sup>。青芷板块向东,东北抬升运动,相对稳定的阿拉善地块和鄂尔多斯地块,促使河西走廊地带和甘肃东南地区地幔物质上涌,即 MOHO 界面隆起的重要因素。因而可以推断 103 度附近可能是 MOHO 界面深度产生剧变的分界线,地壳构造带影响 Pn 波速已成为次要因素。或许甘肃西北、东南这些构造不稳定地区是倾斜,褶皱和极大破碎的 MOHO 界面“模糊”区域。

根据中国强地震目录和陕甘宁青四省(区)强地震目录记载,甘肃地区自公元前 193 年至 1990 年 10 月 20 日景泰地震共发生了 125 次以上中强地震。南北带北段 MOHO 界面在两侧地壳相对运动过程中是形变的主要部位,Pn 波速度呈现极大的方向异性则可能是地震高频度发生的重要依据。个别地震发生在 Pn 低值区的延长区边缘,甘肃东南地区和河西走廊上地幔顶部 P 波低速区的存在,及其深度规模与研究地区的地震活动性有关。除河西地区外,低速区平行南北地震带呈条带状分布,但每一条带上发生地震分布极不均匀。从低值区地震活动图象来看,当一个低值条带发震后是否会转移到另一个低值区域或移出甘肃地区是值得研究的另一问题。因而有效地确定有参考价值的 Pn 波速低值区域,对寻找潜在的强震发生部位是有显而易见的意义。

#### 四、结 束 语

这里介绍的台站对方法测定 Pn 波速度方法简便易行,对消除定位中不确定性因素的影响有独到的优点。因而结果较为可信。测定结果揭示了上地幔速度各向异性的特点及其与地震分布的关系,对地震预报及地震区划均有一定意义。当然这里提供的仅是初步研究结果,受到资料等因素的限制结果还是初步的,有一定局限性,有待于进一步深入研究,以得到更充实的结果。

#### 参 考 文 献

- 1、张诚等,甘宁青区域地震波走时表,国家地震局兰州地震研究所,1985。
- 2、张少泉,地球物理学概论,地震出版社,1985。
- 3、何正勤等,西北地震学报,VOL. 12,NO. 3,1990。
- 4、林中洋等,中国门源——宁德地学大断面,地球物理研究所四十年,地震出版社,1990。
- 5、滕吉文等,我国岩石圈物理与动力学研究的主要成就与今后任务,地球物理研究所四十年,地震出版社,1990。
- 6、李四光,地质力学方法,科学出版社,1979。

表 1 103 度东地震的平均 Pn 波视速度

台 站 对	台站对方位	距 离 $\Delta_{ij}$ (公里)	观测 次数	平均走时差 ( $T_{ij}$ ) $\pm\sigma$ (秒)	平均视速度 ( $P_n$ ) $V\pm\sigma$ (公里/秒)
HZO—GT	157	559.4	1	66.9	8.36
HZO—SD	112	449.1	2	54.4 $\pm$ 0.30	8.23 $\pm$ 0.02
GG—JN	67	96.7	2	12.2 $\pm$ 0.10	7.93 $\pm$ 0.07
LX—JTL	111	273.3	3	33.8 $\pm$ 0.71	8.10 $\pm$ 0.06
LX—HXB	109	322.1	3	39.53 $\pm$ 0.94	8.15 $\pm$ 0.19
LXA—WD	81	92.5	3	11.90 $\pm$ 0.54	7.79 $\pm$ 0.36
JN—CX	90	198.0	2	24.55 $\pm$ 0.35	8.07 $\pm$ 0.11
TSS—CX	82	83.8	4	10.68 $\pm$ 0.35	7.86 $\pm$ 0.27
JY—MX	74	263.6	1	32.8	8.04
JTA—LJX	62	153.0	1	19.5	7.85
JTA—LX	68	187.3	1	23.5	7.97
JTA—HZO	66	263.1	1	33.6	7.84
LX—HZO	66	76.1	1	10.1	7.63
JTA—HXB	141	219.0	1	26.8	8.17
JTL—GT	138	266.0	1	32.0	8.31
GG—WX	73	206.4	1	26.9	7.67
LXA—WX	74	143.6	1	18.9	7.60
SNA—JTS	157	153.8	2	18.50 $\pm$ 0.30	8.31 $\pm$ 0.14
JTL—SNA	138	248.8	2	31.7 $\pm$ 1.11	7.86 $\pm$ 0.34
SD—JYG	152	268.7	1	32.3	8.32
HXB—GT	148	227.8	6	29.26 $\pm$ 1.11	7.79 $\pm$ 0.27
ZY—AX	153	432.2	1	54.2	7.97
ZY—JYG	150	212.6	2	25.4 $\pm$ 0.00	8.37 $\pm$ 0.00
TW—WX	78	255.2	4	32.00 $\pm$ 1.12	7.98 $\pm$ 0.28
GG—WD	79	155.3	3	19.40 $\pm$ 0.14	8.01 $\pm$ 0.06
TW—CX	105	168.2	1	20.9	8.05
TW—WS	70	65.4	1	8.6	7.61
LJX—HZO	73	112.7	1	14.4	7.83
GT—JYG	160	143.5	2	18.85 $\pm$ 0.05	7.71 $\pm$ 0.01
SG—SNA	152	306.0	1	38.4	7.97
BDK—JTS	152	286.2	1	34.7	8.26
SG—JTS	153	459.6	1	57.2	8.04
JTL—XWD	150	198.0	1	24.8	7.98
HYS—NRG	138	184.0	2	24.00 $\pm$ 0.50	8.08 $\pm$ 0.17

甘肃邻近地区 Pn 波速度初探

台 站 对	台站对方位	距 离 $\Delta_{ij}$ (公里)	观 测 次数	平均走时差 ( $T_{ij}$ ) $\pm\sigma$ (秒)	平均视速度 (Pn)V $\pm\sigma$ (公里/秒)
PP—JYG	149	267.1	2	32.4 $\pm$ 0.45	8.23 $\pm$ 0.11
SG—GT	143	120.9	2	15.10 $\pm$ 0.20	8.09 $\pm$ 0.22
XN—XWD	118	268.8	1	32.9	8.17
HY—JYG	123	437.9	1	54.1	8.09
HY—SNA	118	280.6	1	35.2	7.97
XM—XF	22	97.7	1	11.5	7.94
GG—LXA	74	62.8	1	8.5	7.39
DX—HX	67	134.2	3	16.80 $\pm$ 0.08	7.99 $\pm$ 0.04
YCH—LX	42	70.7	2	8.80 $\pm$ 0.00	8.03 $\pm$ 0.00
LYS—DLH	8	458.9	1	57.8	7.94
HYS—XWD	168	234.1	1	29.7	7.88
PP—NRG	80	118.7	1	14.5	8.19
PP—SNA	170	118.7	1	15.1	7.86
ZY—JTS	167	216.8	2	26.8 $\pm$ 0.10	8.09 $\pm$ 0.02
LJX—XWD	129	408.1	1	51.0	8.00
LJX—BDK	127	322.8	1	41.7	7.74
LZH—HXB	118	298.1	1	35.8	8.33
LZH—LYS	118	227.0	1	28.7	7.91
LZH—SG	118	196.1	1	25.2	7.78
YCH—LYS	116	218.7	1	26.7	8.19
YD—LYS	116	134.0	1	16.2	8.27
WS—WX	79	191.3	1	24.4	7.84
LZH—HZO	54	145.9	1	19.0	7.68
LZH—LX	44	73.5	1	9.6	7.66
HYS—HXB	0	64.3	1	8.3	7.74
SG—XWD	148	225.7	1	30.7	8.33
SG—AX	148	681.4	1	82.2	8.29
LYS—ZY	145	222.2	1	28.3	7.82
LYS—JYG	147	435.0	1	53.0	8.21
XWD—AX	149	425.7	1	51.5	8.27

总平均 Pn 波速度 8.00 公里/秒

最小二乘标准偏差 0.26 公里/秒

表2 103度西地震的平均Pn波视速度

台站对	台站对方位	距离 $\Delta_{ij}$ (公里)	观测 次数	平均走时差 ( $T_{ij}$ ) $\pm\sigma$ (秒)	平均视速度 (Pn) $V\pm\sigma$ (公里/秒)
LZH—XM	343	204.0	2	31.15 $\pm$ 0.85	8.48 $\pm$ 0.22
LX—TW	346	189.3	3	221.3 $\pm$ 0.42	8.56 $\pm$ 0.17
HZO—CX	333	297.3	3	35.37 $\pm$ 0.29	8.41 $\pm$ 0.07
LX—MX	298	150.1	1	18.1	8.29
LX—WD	303	298.1	2	35.30 $\pm$ 0.50	8.39 $\pm$ 0.13
MX—WD	309	148.7	4	17.55 $\pm$ 0.38	8.47 $\pm$ 0.17
LJX—LXA	313	264.3	4	31.28 $\pm$ 0.48	8.45 $\pm$ 0.13
LZH—TSS	318	257.8	3	30.87 $\pm$ 0.19	8.32 $\pm$ 0.01
8LZH—GG5	313	202.2	4	23.93	$\pm$ 0.43
HZO—MX	329	120.5	1	14.3	8.43
XN—LX	323	170.1	1	19.6	8.68
HZO—WD	316	265.4	1	30.3	8.76
LX—LXA	316	236.8	1	28.5	8.31
LJX—GG	325	232.2	1	28.0	8.29
LZH—ZJC	335	248.8	2	30.4 $\pm$ 0.20	8.24 $\pm$ 0.06
XN—LXY	32.8	326.5	1	39.8	8.19
XN—GG	329	386.6	1	46.1	8.39
LXA—CX	323	73.6	1	8.5	8.66
YD—XM	335	335.5	1	41.0	8.18
MX—WX	291	175.0	2	21.15 $\pm$ 0.05	8.27 $\pm$ 0.02
HZO—WX	306	280.4	2	33.4 $\pm$ 0.80	8.40 $\pm$ 0.19
LJX—CX	315	314.3	2	39.6 $\pm$ 0.40	8.62 $\pm$ 0.19
LXY—CX	307	165.5	3	18.83 $\pm$ 0.21	8.78 $\pm$ 0.08
DX—GG	308	113.4	1	13.5	8.40
JTS—SNA	161	171.8	1	19.9	8.63
ZY—GG	135	74.2	1	8.4	8.83
DX—TSS	318	167.9		19.8 $\pm$ 0.42	8.48 $\pm$ 0.17
TY—XF	339	271.8	1	33.5	8.12
JTS—AX	144	225.1	1	27.0	8.34
LJX—JN	350	231.1	1	27.0	8.56
HY—YCH	347	231.6	1	27.1	8.55
GT—NRG	7	110.4	1	12.8	8.63
HXB—HYS	2	64.8	1	7.6	8.53
DLH—HY	321	353.8	1	40.8	8.67

甘肃邻近地区 Pn 波速度初探

台 站 对	台站对方位	距 离 $\Delta_{ij}$ (公里)	观测 次数	平均走时差 ( $T_{ij}$ ) $\pm\sigma$ (秒)	平均视速度 (Pn) $V\pm\sigma$ (公里/秒)
YD—TY	358	136.0	1	16.6	8.19
XN—HZO	302	208.3	1	28.7	8.12
YD—TW	317	249.7		29.85 $\pm$ 0.35	8.37 $\pm$ 0.09
SG—KM	328	423.7	1	49.6	8.54
WS—CX	315	319.8	1	14.7	8.1
YCH—GG	314	210.6	1	25.5	8.26
HZO—ZJC	4	305.9	1	35.6	8.54
LJX—LZH	15	53.7	1	6.4	8.39
XRD—DLH	287	276.4	1	32.9	8.40
DLH—ZY	33	303.6	1	36.4	8.34
HY—HZO	311	236.5	1	28.4	8.33
HY—WX	310	517.3	1	62.6	8.26
XN—MX	313	320.3	1	38.8	8.26
XN—WD	312	484.8	1	56.3	8.61
LJX—WS	320	219.3	1	26.4	8.31
LZH—TW	325	162.5	1	19.3	8.42
YCH—DX	321	99.2	1	12.0	8.27
LZH—ZQ	283	253.4	1	31.9	8.13
DX—LXA	291	161.3	1	19.5	8.27
JTA—CX	294	41240	1	50.4	8.18
GG—CX	294	117.3	1	14.0	8.38
MX—CX	336	177.0	3	20.97 $\pm$ 0.21	8.44 $\pm$ 0.08
LJX—XM	351	312.6	1	38.3	8.16
LZH—XF	356	342.6	2	40.75 $\pm$ 0.01	8.41 $\pm$ 0.01
YCH—XF	355	352.7	2	41.70 $\pm$ 0.00	8.42 $\pm$ 0.00
TW—ZJC	351	92.1	2	11415 $\pm$ 0.25	8.27 $\pm$ 0.17
LX—ZJC	349	281.2	2	33.5 $\pm$ 0.60	8.40 $\pm$ 0.15
LX—DX	351	120.0	1	14.6	8.22
LJX—XF	350	394.3	1	47.3	8.34
SD—NRG	87	80.3	1	9.1	8.82
PP—NRG	85	88.2	1	10.0	8.82
JN—XM	355	82.2	1	9.9	8.30

总平均 Pn 波速度 8.42 公里/秒

最小二乘标准偏差 0.19 公里/秒