

天水地震区地壳浅层速度结构

梁中华 唐建民 滕智猛 朱 蒙

(江苏省地震局)

摘 要

本文利用天水地震区成县—西吉和灵台—阿木去乎二条人工地震测深剖面取得的7个相遇系统Pg波资料,研究测线下方地壳浅层结构。在充分细致的震相分析前提下,采用经典的时间场法和算术平均法来反演,得到了天水地震区结晶基底界面以上层的浅层结构和速度分布。结果表明,该区基底界面上覆沉积层平均速度4.17公里/秒,基底界面速度平均为5.84公里/秒。武山炮点西支上覆沉积层速度偏低,平均速度只有3.88公里/秒,界面速度只有5.59公里/秒。秦安炮点的南支界面速度偏高,上覆沉积层平均速度为4.21公里/秒,界面速度达6.26公里/秒。天水地震区基底面的埋深平均只有1.9公里,埋深最浅的点在成县附近,出露地表,最深的点在灵台附近,基底界面的埋深达5公里左右。该区切割基底界面断裂较多,其中以灵台西、秦安附近和天水附近为最多,断距也大。

一、资料、震相及其解释

资料统计表明, I 测线在 0—150 公里内共有观测点 425 个, 实测 Pg 波数据为 301 个, 实测数据占观测点数的 70.8%。 I 测线共有观测点 394 个, 实测 Pg 波数据为 237 个, 实测数据占观测点数的 60.2%。显然 I 测线 Pg 波的观测质量较好。

Pg 波震相在 $\Delta = 100$ 公里以内以初至波形式出现, 具有识别简单、走时准确等显著特点, pg 波的视速度在近炮点一段(一般小于 15 公里/秒)随着距离的增大而增大, 在 $\Delta > 15$ 公里时它的视速度趋于一个常数。爆炸点和测点以及测线经过地区的介质特性对近炮点 Pg 波视速度有较大影响, 这表现在部分炮点 Pg 波的视速度在 $\Delta = 5$ 公里时就趋于常数, 而有的炮点则 $\Delta = 15$ 公里时它的视速度才趋于稳定。在靠近炮点的观测记录上, Pg 波的视速度变化较大, 在 I 测线的武山炮西支、秦安炮西支、陇县炮西支 Pg 波视速度的变化规律为 3.4—4.8—6.0 公里/秒, 卓尼炮东支、秦安炮东支、陇县炮东支和灵台炮西支以及 I 测线的水天炮南支和秦安炮南支视速度的变化规律为 4.4—6.0 公里/秒, I 测线的西吉炮南支视速度的变化规律为 3.8—6.0 公里/秒, 成县炮北支以及秦安炮北支则开始就出现 5.8 公里/秒左右的视速度。在 $\Delta = 15—120$ 公里间 Pg 波的视速度一般多在 5.8—6.1 公里/秒。

该区Pg波的运动学特征主要表现在 $\Delta = 15-120$ 公里内，它的视速度不随炮检距的变化而改变，见综合时距曲线的Pg波段（图5—1，图6—1）。图中资料清楚地表明追逐炮点的时距曲线是平行的。Pg波的动力学特征主要表现在 $\Delta = 15-120$ 公里内，它以初至波形式出现，并具有较强能量，见典型地震剖面图。它随着距离的增加而衰减较快，在 $\Delta = 120$ 公里以后能量很弱。Pg波的视频率一般在4—14赫兹之间。

沿测线地表地质的主要特征表现为绝大多数地区被黄土层覆盖，据张诚^[1]等人的研究，该层的厚度在各地大不相同，该层的速度只有0.35公里/秒，是一个低速层，其下为不同时代的沉积层，速度相对较高。根据前人的大量研究^[2、3]速度为6.0公里/秒左右的介质一般为结晶质较好太古界（或古生界）岩性或较完整的变质岩。

综合以上分析认为，近炮点（一般小于15公里）的初至波应解释为近地表的回折波。在 $\Delta = 15-120$ 公里距离内的Pg波应解释为沿基底界面滑行的首波。

二、主要结果

（一）炮点附近一维速度结构模型

炮点附近一维速度结构模型是利用从炮点开始至100公里间的初至波到时，采用N层均匀模型来拟合的，地表速度是根据测线附近部分测井资料（龙一井，0—350米，速度为3570米/秒，庆深一井，0—900米，速度为3550米/秒）预先给定的，即地表速度取3.5公里/秒。走时数据的分段是根据时距曲线的特征分析由人工调整给定的，拟合的主要指标是深度和速度近似的合理。根据上述假定，共计算了15个分支炮点的资料。结果表明，基底界面的上覆盖层的平均速度在横向和纵向都存在一定的不均匀性，主要表现在武山炮点西支速度偏小，平均速度为3.87公里/秒，其它各炮的平均速度都大于4.0公里/秒。基底界面速度在武山炮西支和陇县炮东支偏小，只有5.63公里/秒。灵台—阿木去乎的Ⅰ测线界面上覆盖层的平均速度为4.17公里/秒，界面速度为5.88公里/秒。成县—西吉的Ⅱ测线上覆盖层的平均速度为4.13公里/秒，界面速度为6.00公里/秒。

（二）基底界面

本文采用算术平均法（简称 t_0 法）和时间场法来研究测线下方结晶基底界面的形态和构造特征^[4]。所取的资料一般为 $\Delta = 15-120$ 公里间的Pg波数据，共选取7个成相遇系统。对于单支则采用时间场法构制，对7个相遇系统中的2个系统采用算术平均法和时间法综合反演，结果表明，二者相当吻合。不同相遇系统取不同的 V_1 和 V_2 值。由于该区地表地质工作程度不高，加上又缺乏钻井资料，所以 V_1 值是根据近炮点的资料得到的，一般取4.1公里/秒。利用近炮点资料求得的 V_1 还是比较可信的，在西吉炮我们求得的 V_1 值与张少泉等解释“7782”工程资料所求得的该区 V_1 值是相同的。 V_2 值是采用 t_0 曲线和拟合两种方法求得的。 V_2 值除武山和陇县附近稍有变化外，其余地段几乎都是5.8—6.1公里/秒。图3—1(a)和图3—1(b)分别是Ⅰ测线和Ⅱ测线的基底界面埋深和构造剖面图。

（三）界面埋深的误差估计

本文在构制基底界面时未对高程进行校正，而直接在地形上进行构制，主要考虑到测区缺少地表附近各层的平均速度，特别是黄土层的厚度和速度。对高程的变化主要是采用小的相遇系统的资料，假定在小的系统内炮点以及观测点的高程变化不大，或相差很小。

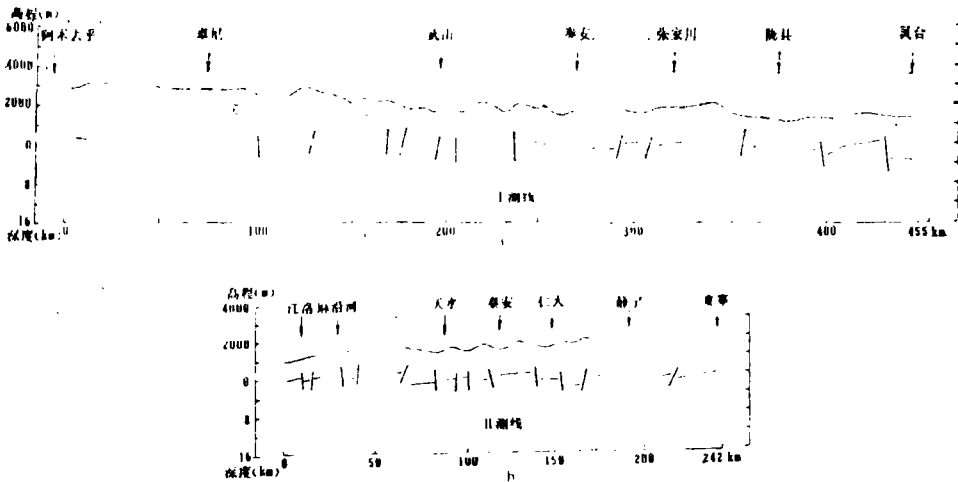


图3—1 I测线和I测线基底界面埋深构造图

(a) I测线 (b) I测线

Fig. 3-1 Buried depth and tectonics of basement

(a) In Lingtai-Armuquhu profile (b) In Chengxian-Xiji profile

我们认为界面埋深的误差主要由于Pg波的到时测定上覆层以及界面速度的不准所引起。对于本次解释，测点偏离测线，测线拐弯转折多以及炮点与测点的高程悬殊也可能造成解释误差。根据以往的工作，估计Pg波到时的测定误差 <0.02 秒，上覆层平均速度的选取误差 <0.2 公里/秒，界面速度的选取误差 <0.2 公里/秒。这三项误差可能造成界面埋深的累计误差为0.5公里左右。

三、主要断裂构造与浅层结构特征

(一) 天水地震区基底界面以上浅层结构特征

天水地震区基底界面相对埋藏深度一般较浅。在I测线的武山以西地区埋深一般只有1公里左右，即普遍位于海平面之上。在武山以东至张家川段基底埋深变化较大，最深点在秦安东，埋深达5公里左右。最浅点在秦安西和张家川西，埋深只有1.5公里。推测有一断距达3公里左右的南北向断裂通过秦安附近，具体位置在葫芦河附近。武山以东地区基底界面出现起伏，表现为明显褶皱。六盘山以西的张家川一带，基底界面相对平坦，埋深一般为1.5—2.0公里，基本位于海平面附近。六盘山以东地区的陇县、灵台一带明显表现为断陷盆地的特点，在灵台以西10公里附近还存在一断距较大的断裂构造。I测线的基底界面埋深一般为2.0公里左右，断裂构造极其复杂，断距也大，在天水附近存在三条近东西走向的断裂，最大的一条断距达3公里。天水—葫芦河段基底界面出现褶皱形态，在天水以南至成县和葫芦河至西吉这二段基底界面相对平坦。

(二) 主要断裂构造特征

该区断裂构造相当发育。据Pg波资料解释结果，I、I测线切穿基底界面的断裂各有10条左右。这些断裂有的地表可见并被地质命名（〔1〕—〔6〕断裂），有的断裂被覆盖但前人曾作过推断（〔7〕、〔9〕、〔10〕、〔11〕和〔14〕断裂）、也有的未见地质资料叙述（〔8〕和〔12〕断裂），当然也有的地质资料认为存在断裂而Pg波资料显示不明显。

〔1〕、〔2〕鄂尔多斯西缘断裂带与海原—六盘山断裂带

在测区内这两条断裂带是重迭的，并只在 I 测线通过，地质资料认为断裂带为槽台边界断裂。该断裂在 I 测线的115桩号附近通过，Pg波资料有清楚显示。基底界面埋深呈东深西浅，西侧近似出露地表，而东侧埋深达2.5公里，断距超过2公里。断裂产状近似直立。

〔3〕会宁—张家川断裂

该断裂是祁连褶皱带和隆起带的分界断裂。该断裂在 I 测线的96桩号附近通过，造成Pg波走时跳跃0.2秒。基底界面埋深显示该断裂的断距为1公里左右。在该断裂的西侧15公里处还有一与之平行的断裂，断裂产状都近似直立。会宁—张家川断裂在 I 测线的230桩号附近通过，造成Pg波走时跳跃0.3秒左右，断距可达1.5公里。与其对应，在断裂的南侧15公里附近同样有一断裂存在，不过其性质与 I 测线反应的有所不同。上述结果显示，会宁—张家川断裂在南侧的规模要比北侧的大，这与地质推断的结果雷同。

〔4〕辛甸—清水断裂

地质资料表明该断裂是控制沉积建造和火成活动的重要断裂。该断裂在测区内多被第四系地层所覆盖，地表断裂显示不清。该断裂在 I 测线的72桩号附近通过，Pg波到时有清晰显示，走时跳跃0.5秒，该断裂在基底界面上的落差达2.5公里，它是本区较大的断裂之一。该断裂在 I 测线的205桩号附近通过，但断距只有0.5公里左右。就是说该断裂的规模北段远比南段要大。

〔5〕西秦岭北缘断裂带

该断裂带是我国一条重要地震活动带，该断裂在 I 测线62桩号附近通过，Pg波显示该断裂带由两条长为1公里左右断裂组成，断裂产状近似直立。该断裂在 I 测线的188桩号附近通过，造成Pg波走时出现0.6秒的跳跃，该断裂在 I 测线上的断距达3公里。这一结果表明，西秦岭北缘断裂带在西段（武山附近）的规模要远比东段（天水附近）的要小。

〔6〕临潭—凤县断裂带

该断裂带西起合作，往东南经临潭、宕昌到雷家坝后转成北东东走向至凤县。该断裂在卓尼东与 I 测线相交，Pg波走时有明显显示，基底界面落差1公里左右。该断裂在江洛镇附近与 I 测线相交，Pg波资料显示结晶基底界面落差也在1公里左右。

〔7〕龙门镇断裂

龙门镇断裂位于龙门镇东，地表为第四系所覆盖，但对该断裂的存在地质上曾作过推断。对该断裂Pg波资料有清楚的显示，基底界面落差达1.5公里。

〔8〕西屯断裂

西屯断裂位于灵台西，地表均被第四系所覆盖，该断裂在 I 测线的143桩号附近通过，Pg波走时跳跃0.8秒。该断裂在基底界面上的断距达5公里左右，是该区最大的基底断裂。

〔9〕刘家川—盘石川断裂

该断裂位于武山以西的刘家川与盘石川之间，也就是在 I 测线的53—57桩号间。Pg波时距曲线有明显走时跳跃，显示存在断距分别为2公里和1公里的两条断裂，两断裂间为一地槽。

〔10〕大草滩南侧断裂

该断裂与临潭—凤县断裂带相平行。该断裂在 I 测线的43桩号附近通过，Pg波资料有清晰的显示，在基底界面上有2公里的落差，断裂产状近似直立。

〔11〕麻沿河断裂

从该断裂的位置和走向来看它就是〔10〕断裂的东延,从 I、I 测线Pg波解释得到的结果来看,麻沿河断裂与〔6〕号断裂的性质和规模是一致的,所不同的是〔6〕、〔10〕断裂的两侧都有派生断裂。

〔12〕莲花城南断裂

莲花城断裂位于仁大以南10公里,在 I 测线的223桩号附近通过,该断裂造成Pg波走时跳跃0.7秒,计算得到该断裂的断距为4公里左右。它与〔3〕号断裂毗邻而构成一地槽。

〔13〕天水北侧断裂带

天水北侧断裂位于天水北5公里,它由两条断裂组成,这两条断裂分别与〔5〕号断裂与〔4〕号断裂毗邻而构成两堑夹一垒,它们的断距都在2公里左右,断裂产状近似直立。该断裂带的位置比地质推断的位置要偏北。

〔14〕将台堡与兴隆堡间断裂

该断裂位于将台堡与兴隆堡之间。在 I 测线26桩号附近通过,Pg波时距曲线上有清楚的显示,断距约1公里左右,断面较缓。

四、结 论

(1) 该区20—120公里间的Pg波是沿基底界面滑行的首波。

(2) 利用经典的 t_0-t_p 法反演Pg波资料,在地形地貌极其复杂的地区同样适用,并能保证具有较高精度。

(3) 天水地震区基底界面的形态和构造都极其复杂。界面明显褶皱。切割基底界面的断裂较多,其中以天水地区尤甚,天水附近至少存在三条近似直立的断层,最大断距达3公里。

本项工作得到了张四维高级工程师的悉心指导。唐荣余和宋文荣等同志对工作也曾给予过帮助。在此一并致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕张诚、赵坤,永登系列爆破甘宁青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〕张少泉、武利均、郭建明、陈学波、赵静娴、丁钰玉、黄长林、张 诚、陈志泰,中国西部地区门源—平凉—渭南地震测深剖面资料的分析解释,地球物理学报, Vol. 28, No. 5, 1985.
- 〔3〕中国科学院地质研究所,中国地震地质概论,科学出版社,1977.
- 〔4〕(苏联)A. И. 保格达诺夫,地震时距曲线解释,马在田译,中国工业出版社,1966.

THE VELOCITY STRUCTURE OF SHALLOW CRUST IN TIANSHUI EARTHQUAKE AREA

Liang Zhonghua, Tang Jianmin, Teng Zhimeng and Zhu Meng
(*Seismological Bureau of Jiangsu Province*)

Abstract

The shallow crust structure beneath Tianshui earthquake area has been studied by the Pg data of seven inversion groups acquired in Chengxian—Xiji and Lingtai—Amuquhu deep seismic sounding profile. On the premise of careful phase analysis, the shallow structure and velocity distribution of layer above basement interface is obtained by applying classical methods of time section and arithmetic mean.

The result show that the average velocity of sedimentary cover above basement interface in this area is 4.17km/s. The speed of basement is 5.84km/s. The sedimentary cover at western of Wushan shot is lower with average velocity 3.88 km/s, interface velocity is 5.59 km/s. The interface velocity at south of Qinan shot is higher with velocity 6.26 km/s and average velocity of sedimentary cover is 4.21 km/s. The average buried depth of basement in Tianshui earthquake area is 1.9 km. The most shallow point is in the vicinity of Chengxian. The deepest point is in the vicinity of Lingtai, the buried depth of basement is about 5.0 km. There are many fractures which dissect basement in this area, especially in western of Lingtai and in the vicinity of Qinan and Tianshui are much many with large faults throw.