

利用PS反射波研究西藏雅鲁藏布江北侧局部地区深部地壳结构

姚虹 孙克忠 滕吉文 程立芳

(中国科学院地球物理研究所)

摘 要

本文利用PS反射波探测了雅鲁藏布江北侧局部地区莫霍面的深度和起伏。在亚东—当雄测线的径向方向上记录到一个尚为清楚的PS反射波,视速度为 8.35 ± 0.28 公里/秒,在同一莫霍面部分使用了PS和PP震相的走时,求得下地壳结构。莫霍面的倾角为 $-0.83^\circ \sim 0.84^\circ$,该面的深度为68~69公里左右,从结果表明该地区莫霍面起伏不大,地壳基本上是水平的。作者认为利用PS反射波测定莫霍面起伏状态是很有用的,值得进一步探讨。

引 言

青藏高原隆起的原因长期以来为国内外许多学者所注视并进行了多学科的研究,但仍是众说纷纭。自板块学说提出之后,有许多作者认为,雅鲁藏布江—印度河断裂是印度板块向北

漂移与欧亚板块碰撞挤压地区,雅鲁藏布江(以下简称雅江)是该地区的挤压断裂带,以雅江为界向北延伸地壳巨厚,厚度为70~73公里^[1]。1977年在西藏高原亚东—当雄一带采用人工水下爆炸地震方法进行了地壳深部探测,(见图1),测线横跨雅江南北,方位为北北东和南南西,测线全长约400余公里。利用天然湖泊(羊卓雍湖、普莫湖、纳木湖)做为爆炸点,炸药包放置在水深20~50米处,药量分别为3~15吨(TNT)共进行了九次爆炸,本题选用了六次爆炸有100余观测站次,均系三分量仪器,用模拟磁带记录。

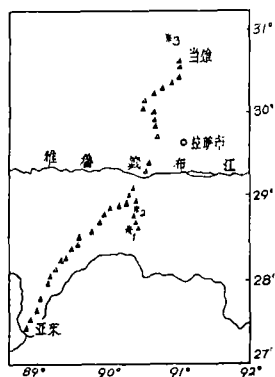


图1 观测点与爆炸点分布

本文将介绍此项工作的资料分析和计算方法以及所取

得的结果。

观测资料与震相识别

本文利用了六条测线(见表1),在这测线下面有近3~4公里沉积复盖^[1],但是各观测站仪器均直接安放在露头的石灰岩砂岩、花岗岩,火成岩上。将这六条测线按相同爆炸点两两组合进行分析对比和计算。

编号	湖 名	日期	药量(吨)	药包放置水深(米)
1	羊卓雍湖南	7.30	5	32
		8.12	5	30
2	普莫湖	8.20	5	45
		9.1	9	47
8	纳木湖	9.14	10	22
		9.26	15	22.5

PS震相的识别是以走时波列,视速度和PP与PS幅频曲线进行对比而辨认的。

在地震折射记录上很少观测到由莫霍面来的PS反射波。理由有二^[2,8]:

1.如果在下地壳和上地幔之间莫霍面是按分层过渡的,那么PS振幅很快地减小。

2.在径向水平分量上PS振幅很大而垂直分量上则很弱。经分析PS震相仅在径向分量观测到(见图2),垂直分量不清楚^[1]。PS震相出现的最佳范围为150公里左右(即从104~259公里),在整个观测线上由于台站布局不够理想、台距一般为2~15公里,个别达50公里,特别是在远距离如在普莫湖爆炸往北记录,在纳木湖附近就缺少台站,反之在纳木湖爆炸往南记录也是如此,因而也就造成震相不易追踪或形成震相空白区。

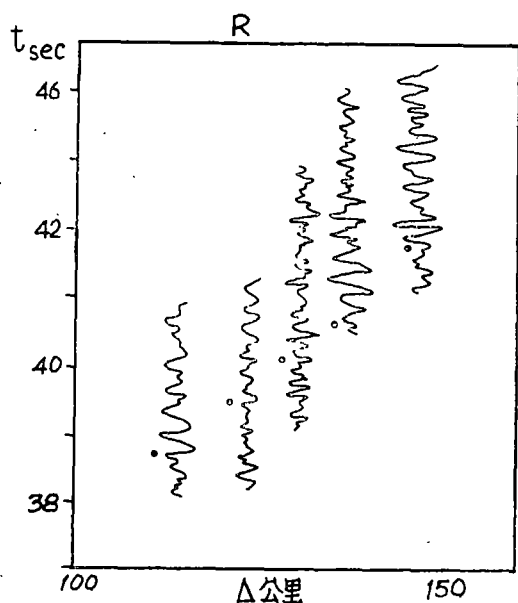


图2 径向水平分量观测到的PS震相

图3为PP和PS反射波射线示意图。由于地壳巨厚,比起有沉积复盖的平原地区转换波振幅强度要低,垂直向P与径向PS振幅之平均比率 $A_{ps}/A_p \approx 0.1 \sim 0.4$ 观测到的PS震相表示莫霍面的一个清楚的转换波,假设莫霍面转换带大于P波的波长 $1/4$ 时可能观测到适当的PS振幅^[4]。从上面的比率来看PS波和P波差异不大,PS波是以一组波列出现,约2~4个周期。莫霍面反射波在临界角附近才出现PS波震相变化,而且该波的观测距离较短,又处在干扰背景的续至区内,故此震相既不易辨认,又罕以获得。

对于PP的走时,在记录剖面上很难观测到反射波的初动,PS波也不例外。我们是利用台站之间适当的延迟的方法,对记录

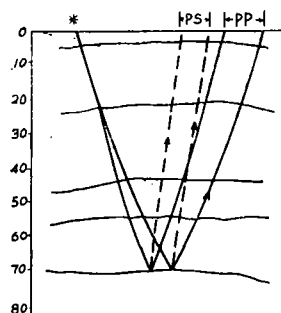


图 3 PP和PS反射波射线示意图

进行挑选对比。在莫霍面相同部分（在垂直向和径向），同时可以记录到PP和PS波。在这个特定地区用这两个震相就可以来模拟下地壳的结构。

从PP和PS幅频曲线也可以看出，PP震相虽有2~3个峰值，但优势幅频是在5.8~7.4C/S之间（图4）。PS震相单峰值，绝对优势幅频在3.5~4.0 C/S之间（图5）。PP与PS是同一层两个不同性质的反射波，所以PS波比PP波的频率低，频谱特征也有所差别，为此用频谱来识别震相也提供一个有力的手段。

关于PP（= t_0^* ）震相分析和资料处理方法，介质速度参数及层厚度的测定及剖面图在文章〔1〕中已作过较详细的叙述，这里不再介绍。

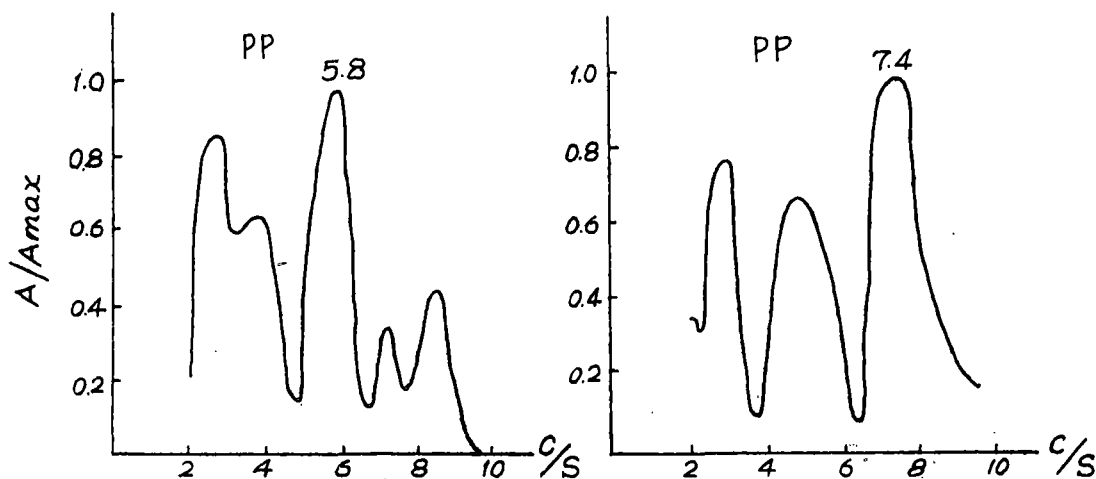


图 4 PP幅频曲线

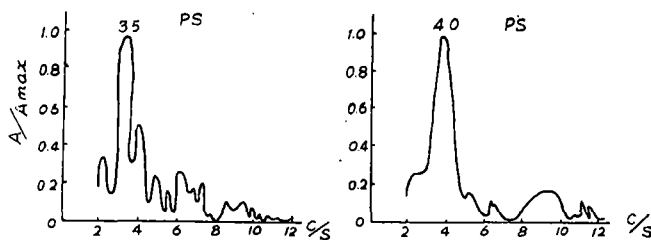


图 5 PS幅频曲线

计 算 方 法〔5、6〕

假设地壳是均匀分层的，层界面是平面并带有倾角（图6），图中 h_n 、 v_n 、 ϕ_n 是第 n 层的厚度，速度和介面倾角。在计算中做如下规定：

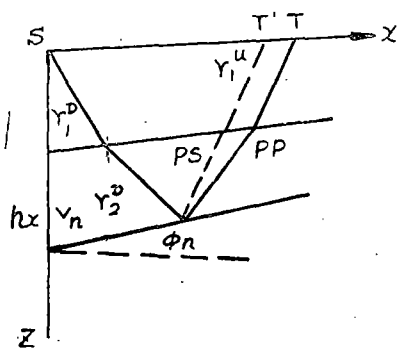


图6 地壳分层模型几何射线图

1.将震源取为坐标原点,水平距离 x 指向测线方向,垂直距离 z 向下为正;

2.倾角 ϕ_n 相对于 x 轴上倾为正,下倾为负;

3.射线在界面上的入射角和透射角按逆时针方向旋转,相对于界面法线为正。射线穿过平面时,满足于Snell定律:

$$\frac{\sin \beta_n}{V_n} = \frac{\sin \alpha_{n+1}}{V_{n+1}} \quad (1)$$

其中 β_n , α_{n+1} 分别为射线在第 n 层的入射角和在 $n+1$ 层的透射角。由递推关系,可以计算射线路径和近似的观测距离 r_1^u , r_2^u …… r_n^u , r_1^D ……

r_2^D , r_1^P 和 ST 。反射理论走时 t ,可用下式计算:

$$t = \sum_{i=1}^N (r_i^D/V_{Pi} + r_i^u/V_{Si}) \quad (2)$$

已知观测点的地震波走时是层速度,厚度和层界面倾角的函数:

$$t_i = f_i(V \cdot H \cdot \phi) \quad (3)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, M$ 为观测点数。

令 V_0 , H_0 , ϕ_0 为初始值,在此点做泰勒展开忽略二次及二次以上的高次项,则有:

$$f_i(V, H, \phi) \approx f_i(V_0, H_0, \phi_0) + \frac{\partial f_i}{\partial V} dV + \frac{\partial f_i}{\partial H} dH + \frac{\partial f_i}{\partial \phi} d\phi \quad (4)$$

其中,偏微分取 V_0 , H_0 , ϕ_0 点的值,由一阶差分近似求得。

把观测到时与理论走时进行比较,用阻尼最小二乘法计算,求得最佳的 V , H 和 ϕ 值。

地壳结构

西藏地区地壳结构国内外已有很多人进行研究,本文采用了五层地壳模型,各层界面略带倾斜,上面四层的参数均为已知^[1]且固定。只求第五层(莫霍面)顶部的地壳参数 H_5 , V_5 和 ϕ_5 。本地区采用的泊松比为 $\sigma = 0.25$ 。

计算结果见表2。根据分析出的PS震相求出的倾角,普莫湖为负倾角(即向下倾),羊湖南及纳木湖为正倾角(即上倾)(图7)。图7中a、b、c三线段表示莫霍面,分别对应普莫湖、羊湖南、纳木湖为爆炸测线所观测到的PS震相。计算的各段范围分别为30、40、50公里,它们反映出这些段上莫霍面的起伏状态。第五层厚度为14.46公里,地壳总厚度为68~69公里,起伏幅度为大于等于1公里左右。在b、c两段间有60公里距离地壳情况不明,由于在这三个爆炸点均缺乏远距离的观测台站,因而形成震相空白地区。从总趋势来看是南

表2

编组号	层数	V km/S	H km	ϕ^0	爆炸点
1	5	7.35	13.0	-0.83	普莫湖
2	5	7.45	15.48	0.86	羊湖南
8	5	7.45	14.90	0.51	纳木湖

北挤压成S形的凹凸式的起伏状态。

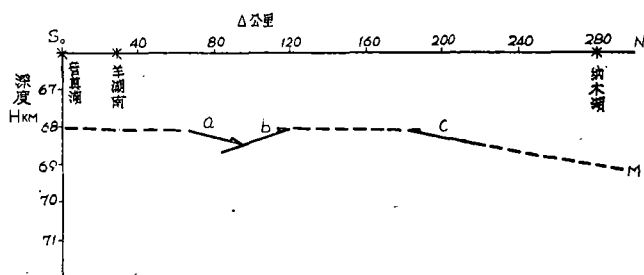


图7 PS反射波地壳模型

结 论

关于西藏地区，过去不少中外科学工作者对该地区地壳模型多为得出水平成层结构。通过分析PS波就能很好得出莫霍面倾角，用它来确定下地壳结构特别是莫霍面的形状是很有用的。

局部倾角变化的证据主要是建立在PS震相的高视速度的基础上，莫霍面横向变化的例子可用来验证对高视速度PS的解释。

PS震相在反射转换过程中是比较少见的。如果想在图上记录到该震相，不仅要密集台站，而且要特别注意径向分量的布局。

(本文1982年4月8日收到)

参 考 文 献

- [1] 滕吉文等，青藏高原当雄—亚东地带地壳结构和速度分布的爆炸地震研究，地球物理学报，第24卷，第2期，1981。
- [2] Synthetic Seismograms of ps-reflection from transition zones computed with the reflectivity method, J. Geophys., Vol 41, 445—462.
- [3] Jacob, A.W.B. and Booth, D.C, Observation of ps reflection from the Moho, J. Geophys., Vol 43, 687—693, 1977.
- [4] Marcelo Assumpoa, Determination of Moho dip Using ps reflection, Geophysical Journal of the R.A.S, Vol.60, №1, Jan.1980.
- [5] Sattlaggee, J, A method of computing interval velocities from expanding spread data in the case of arbitrary long spreads and arbitrarily dipping interfaces, Geophys. prosp., Vol 13, PP306—318, 1965.
- [6] Gangi A.F. and Yung S.T, Tyavetiml curves for reblections in dipping layere, Geophysics, Vol 41, №3, 1976.

STUDY OF LOWER CRUSTAL STRUCTURE OF THE LOCAL REGION
IN THE NORTH SIDE OF THE YARLUNG ZANGBO RIVER
IN XIZANG (TIBET) BY USING PS REFLECTIONS

Yao Hong Sun Kezhong Teng Jiwen Cheng Lifang
(*Institute of Geophysics, Academia Sinica*)

Abstract

In this paper, PS reflection was used to determine the depth and fluctuation of Moho discontinuity in the local region of the north side of the Yarlung Zangbo River.

A clear PS reflection was recorded in the radial direction of the Yadung-Dang Xiong profile the apparent velocity is $8.35 \pm 0.28 \text{ Km/s}$.

Travel times of pp and PS phases reflected at the same part of the Moho were used to determine the structures of lower crust, the dip of Moho discontinuity is -0.83° — -0.84° and its depth is about 68—69 Km. The range of fluctuation of Moho is 120Km and the extent is about $\geq 1 \text{ Km}$. The result indicates that fluctuation of Moho is slightly changed and the crust is fundamentally horizontal.

The authors recognized that PS reflection could be very useful for the determination of fluctuation of Moho and for the study of the inner crustal structure.