

用爆破地震研究湖南省 深部构造与地震的关系

黎品忠 刘北京

(湖南省地震办公室)

一、原始资料的获取¹⁾

提要 利用湖南省棋梓桥万罗山定向爆破地震资料,使用近代法对棋梓桥至酃县剖面进行了二维构造反演,得到4层地壳结构模型:界面1埋深1.8—4 km, $v < 0.6 \text{ km/s}$;界面2埋深10.5—15 km, $0.6 \text{ km/s} < v < 0.7 \text{ km/s}$;界面3埋深21—22.2 km, $0.7 \text{ km/s} < v < 0.8 \text{ km/s}$;界面4埋深32—37 km, $0.8 \text{ km/s} < v < 0.85 \text{ km/s}$ 。其中界面2与C界面,界面4与M界面,二者变化梯度小,界面3在衡阳地壳消失。由于M界面平坦,未发生层物质转化,以及C界面都在衡阳地块边缘出现弯曲,但其振幅较小,因此认为该区域可以积累足以产生强烈地震所需的应变能。

关键词 地球物理, 爆破地震剖面, 二维构造反演, 湖南省

本文所采用的爆破地震资料来源于本省棋梓桥万罗山山头(海拔高度340米,炸药量89吨)的定向抛掷爆破记录,其测线分布区的地质构造情况和测点的布置如图1所示。该测线穿过衡阳、攸县、茶陵——永兴三个中生代盆地,终止于万洋山燕山期花岗岩体。测线的布置方向为 $S60^\circ E$ 。布置在距炮点65—227 km一段的150 km内,测点间距为5 km,150 km以外,测点间距为10 km,包括茶陵台在内共25个测点。

对资料均采用震相对比(即根据地震波的运动学及动力学特征,主要是根据波的走时,周期,地动位移的规律)来对同名震相进行追踪、鉴别。震相的到时以其记录图上的起始点为准,首波以初动为准。

起爆时间的测定精度为0.02 s;观测走时精度为0.1 s;测点位置由1:5万地形图在野外根据地形地物确定,其误差不超过50米。

本文主要采用的体波震相,有:

①首波: pg_1 、 pg_2 、 p^* 、 p_1 ; ②反射波: $p^* + p_1$ 、 $p_1 + p_2$; ③工作区内的时距曲线如图2

1) 本文采用的原始资料及初步结论,均经地质部地质研究所审核。

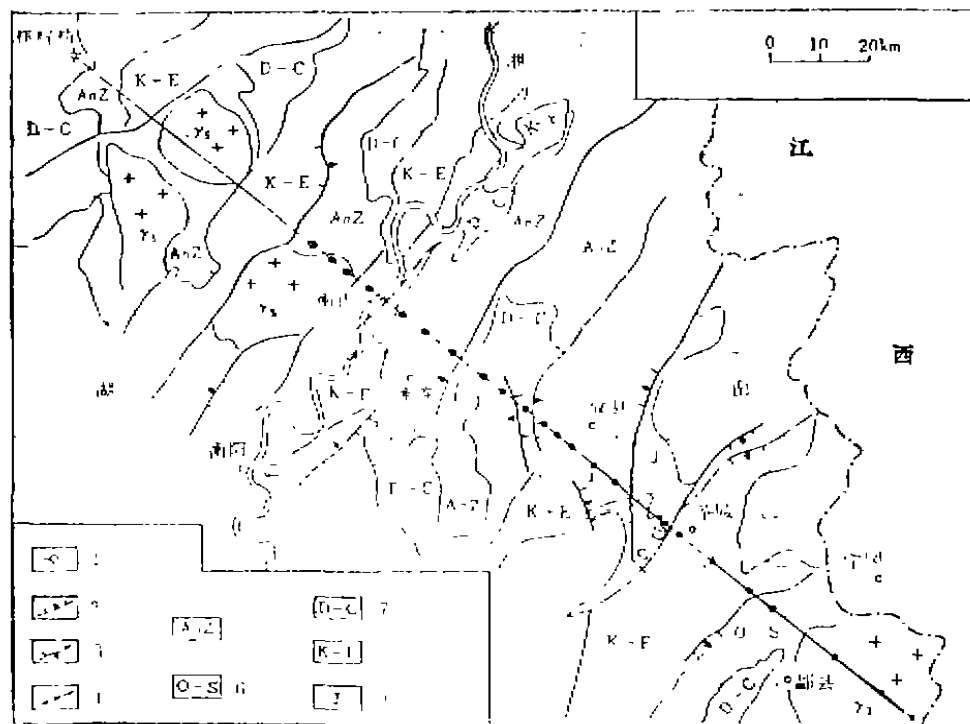


图1 测线地质构造概况及测点分布图

Fig. 1 General situation of geologic structure in measuring line and the distribution of the test point

1. 测点位置; 2. 正断层; 3. 逆断层; 4. 观测点位置及测线; 5. 震旦系; 6. 奥陶—志留系; 7. 泥盆—石炭系; 8. 白垩—第三系; 9. 侏罗系

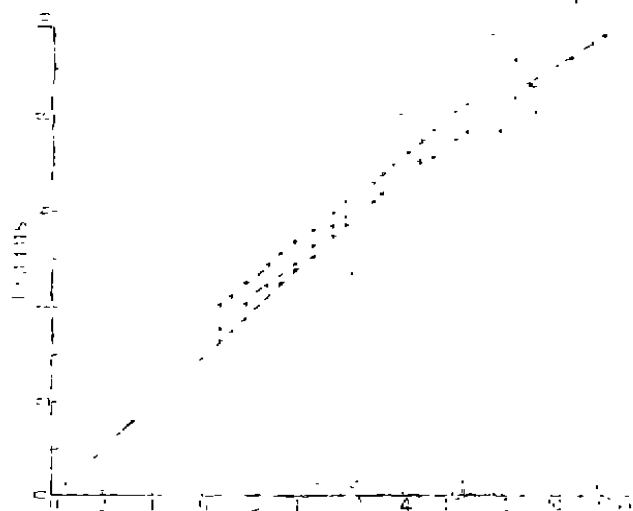


图2 棋梓桥—郧县测线二维全速度反演时距曲线拟合图

Fig. 2 Time distance curve of inversion at two-dimensional full velocity in the measuring line from Qiziqiao to Lingxiao

二、资料处理及结果简述

1. 资料处理方法简介

一个由离散的、水平距离为 N_x 个点和深度为 N_z 个点组成的二维模型,组成该模型所有点的集合为 $(P_{i,j}; i=1,2,\dots,N_x, j=1,2,\dots,N_z)$ 来描述,这里 i 对应于 X 轴, j 对应于 Z 轴。以连接 $p_{i,j}, p_{i+1,j}$ 的线段为边界进行分块,这些点与地表一起确定了 $(N_z+1)(N_x-1)$ 个小块,每小块都与速度及其变化梯度相关,反演时, X 轴上的点已确定,故所用最大参数的个数为:

$$N_p = 2 \cdot (N_z + 1) \cdot (n_x - 1) + N_x \cdot N_z \quad (1)$$

该值随点的坐标变化而变化。

进行线性扞值和工作区的 $p-t$ 曲线分枝识别,以得到完整的走时曲线和分层模型。进行非线性模型的线性化,并用迭代法解决反演问题。

模型在第 k 次迭代的值由(2)式来估计。

$$\delta Y_k = A_k \delta V_k \quad (2)$$

(2)式中, δY_k 为含数据个数 (N_p) 个元素的,数值为实测走时与用模型计算出的走时之差的矢量;

δV_k 为与速度和边界参数有关的、由 N_p 个元素组成的模型修正矢量,

$$A_k \text{ 为 } (A_k)_{i,j} = \frac{\sigma(Y_k)_i}{\sigma(V_k)_j}$$

方程(2)可用阻尼最小二乘法求解。

模型修正量 δV_k 由下式给出:

$$\delta V_k = (A_k^T A_k + \Theta_k)^{-1} A_k^T \delta Y_k \quad (3)$$

其中 Θ_k 为阻尼因子组成的矢量。

反演结果的质量用结果矩阵中的各因子的质量来估计的,即用下式

$$R = (A_k^T A_k + \Theta_k)^{-1} (A_k^T A_k) \quad (4)$$

来衡量的。

其协方差矩阵为:

$$C = \delta d (A_k^T A_k + \Theta_k)^{-1} (A_k^T A_k) (A_k^T A_k + \Theta_k)^{-1} \quad (5)$$

其中: δd 表示观测数据的变化情况。

本文假设所有数据的变化量相同,在数据处理中,若遇到不合假设的情况,则应相应于协方差对条件方程加以改变²⁾。

2. 结果简述

反演结果如图3所示。从中可看出本剖面为4层结构,其界面深度分别为:

界面1的深度在1.8—4 km之间, $V < 6.0 \text{ km/s}$;

界面2的深度在10.5—15 km之间, $6.0 \text{ km/s} < v < 6.4 \text{ km/s}$;

2) 本文的反演结果系黄怀勇先生计算

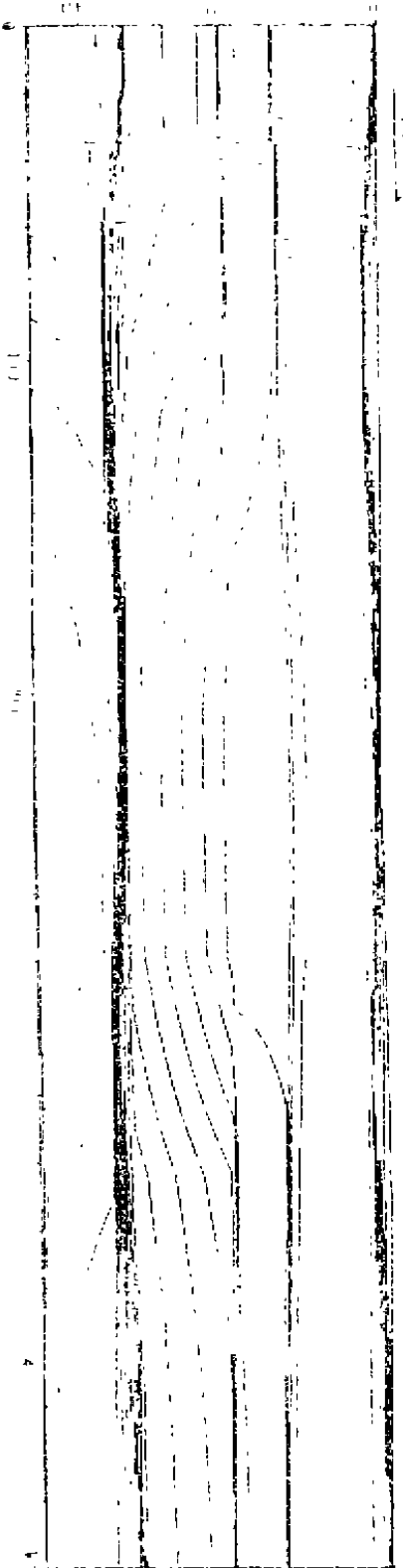


图 3 棋梓桥—郅县测线二维全速度剖面图
Fig. 3 The profile of two dimensional full velocity in the measuring line from Qizigao to Linxian.

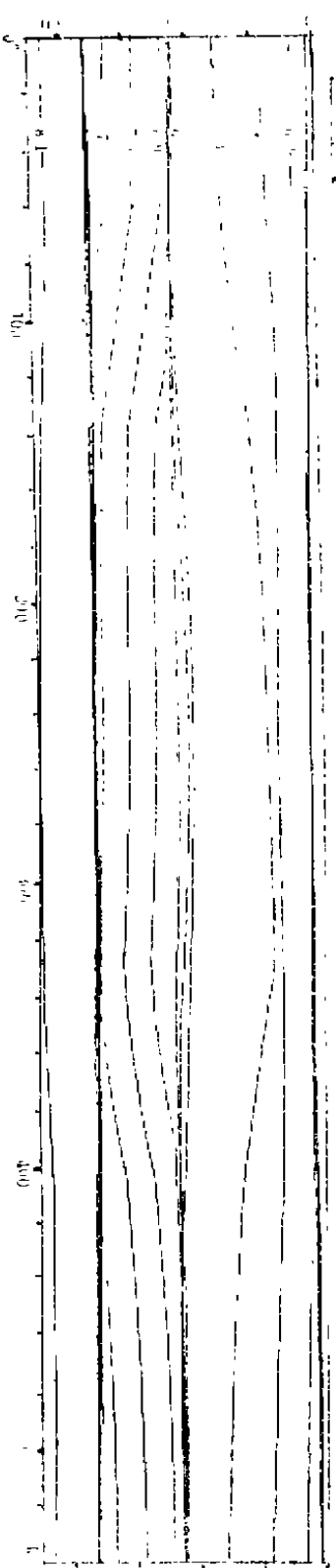


图 4 随县—鹤峰测线二维全速度剖面图
Fig. 4 The profile of two dimensional full velocity in the measuring line from Suixian to Hefeng

界面3的深度在21—22.2km之间, $6.4\text{km/s} < V < 6.8\text{km/s}$;

界面4的深度在33—37km之间, $6.8\text{km/s} < V < 7.8\text{km/s}$;

其中, 界面2为康氏界面, 该界面明显且变化梯度小; 界面3进入衡阳地块后消失, 出衡阳地块后进入花岗岩区恢复; 界面4为莫霍界面, 平均埋深为35km, 且其变化梯度小。值得指出的是, 速度剖面在 $V=6.4-7.1$ 时, 在衡阳地块的边缘其梯度变化加剧。

三、湖南深部构造与地震的关系

为更好地进行湖南省深部构造的研究, 配合棋梓桥爆破资料的解译, 本文同时给出了随县爆破的SW测线(随县——鹤峰测线)的反演结果(图4)。

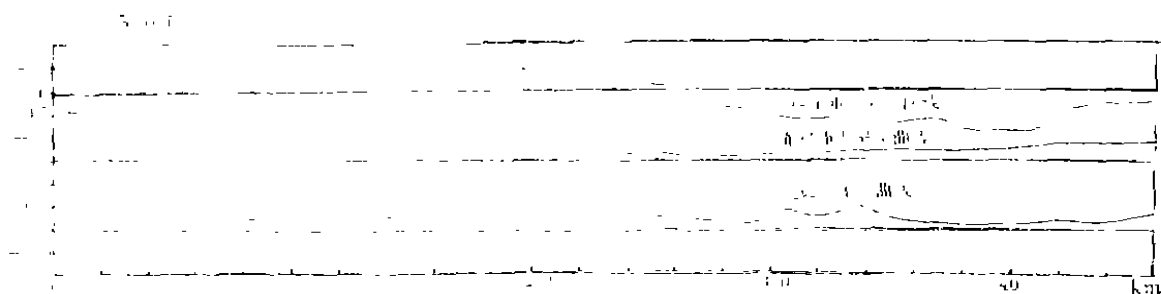


图5 棋梓桥——随县测线剩余重力异常、布格重力异常、航磁 ΔT 曲线图

Fig. 5 Curve of residual and Bouguer gravity anomaly and aeromagnetic ΔT

(1) 综合分析图3和图4可知, 除衡阳盆地地壳分为三层缺失界面3外, 其余均为四层结构。不同层的地块以衡阳盆地的周缘为边界。

(2) 由随县——鹤峰、棋梓桥——随县西测线的爆破记录反演出的二维全速度剖面可知, 由于本省位莫氏界面变化平缓, 造成地壳—地幔边界形成力的均匀传递, 难以形成大的应力的积累, 因此, 剖面所控制的地区内发生强震的可能性极少。

(3) 与棋梓桥——随县地震二维全速度剖面相对应的棋梓桥——随县的剩余重力异常曲线、布格重力异常曲线及航磁 ΔT 曲线如图5所示。对比图3与图5可知, 在衡阳地块内, 剩余重力异常曲线出现正异常, 布格重力异常曲线显示的负异常值相对较小, 且其变化梯度很小; 航磁 ΔT 曲线的变化梯度也很小; 而二维全速度剖面在康氏界面以下、莫霍界面以上的地层($V=6.4-7.1\text{km/s}$)在该地块的底部几乎成水平展布。由此可以推断, 衡阳地块是一个十分完整且稳定的地块, 其深部地层也未受到其深层物质的侵蚀。但是在衡阳地块的周缘则是另外一番图景, 其重力异常及航磁 ΔT 值曲线变化加剧, 对应的二维全速度剖面图上的同速层急剧下陷, 说明康氏界面在该地块的周边出现了明显的挠曲变形。这种弯曲的界面很容易造成局部的应力积累。但由于康氏界面的埋深较浅($H < 16\text{km}$)、其围压也较小, 故其蓄力块体的规模和蓄力强度均受到限制, 因而发生强震的可能性极小。总之, 湖南东南部很难积累起强震所需的应变能, 也就不太可能发生强烈地震。

STUDYING THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE DEEP STRUCTURE AND EARTHQUAKE IN HUNAN PROVINCE BY EXPLOSION EARTHQUAKE

Li Pinzhong and Liu Beijing

(Seismological Office of Hunan Province)

[Abstract] By using the observation data of directional blasting at Wanluo Mountain of Qiziqiao, Hunan Province, the inversion of two-dimensional structure from Qiziqiao to Lingxiao is done by the iteration method and the model of crustal structure in four layers are gained showing in the following: the interface of No. 1 is buried deep in 1.8-4 km, $V < 6.0$ km/s; of No. 2 in 10.5-15 km, 6.0 km/s, $6.0 \text{ km/s} < V < 6.4 \text{ km/s}$; of No. 3 in 21-22.2 km, 6.4 km/s $6.4 \text{ km/s} < V < 6.8 \text{ km/s}$; and of No. 4 in 33-37 km, $6.8 \text{ km/s} < V < 7.8 \text{ km/s}$. Among them, the interface of No. 2 names C interface, and the interface of No. 4 names M interface, the gradient of them are in small change. The interface of No. 3 is disappeared in the block of Hengyang. As M interface is in stable, so it is not eroded by deep materials, while C interface is crooked at the block edge of Hengyang, but it is not buried in depth and its confining pressure is in low state. Therefore we think that it is difficult to accumulate enough strain energy that need to start a strong motion earthquake.

[Key words] Geophysics, Sounding of explosion earthquake, Relationships between the deep structure and earthquake, Hunan Province