

文章编号: 0253-3782(2007)05-0477-06

# 新疆伽师强震群区基底界面结构特征<sup>\*</sup>

徐朝繁<sup>1),\*</sup> 段永红<sup>1)</sup> 田晓峰<sup>1)</sup>  
潘纪顺<sup>1)</sup> 张建狮<sup>1)</sup> 胡修奇<sup>2)</sup>

1) 中国郑州 450002 中国地震局地球物理勘探中心

2) 中国郑州 450000 河南省地震局

**摘要** 用射线分布分析法对伽师强震群区的高分辨折射地震剖面资料进行了更进一步的分析处理,得到了伽师强震群区更完整的基底界面结构特征. 结果表明,在伽师强震群区地壳上部存在两个明显的结构界面:第一个界面的结构连续、完整,其埋深变化不大,在 2.6~3.3 km 之间,为一向天山方向逐渐抬升、近平直的倾斜界面;第二个界面的埋深变化较大,在 8.5~11.8 km 之间,为古老的塔里木盆地结晶基底. 在约 37 km 桩号附近结晶基底有近 2.5 km 的深度突变,推断可能是伽师强震群区超基底断裂所致. 以该断裂为界,结晶基底分为西南、东北两段. 每段内界面的埋深变化不大,西南段的埋深约 11.5 km,东北段的埋深约为 8.5~9.0 km,该段在从西南向东北整体抬升的背景上略有上隆,反映出在塔里木地块西北缘特殊的构造环境下上部地壳的变形特征.

**关键词** 伽师强震群区 高分辨折射探测 射线分布分析 基底界面结构 超基底断裂

**中图分类号**: P313.2 **文献标识码**: A

## 引言

塔里木盆地是一个由古生界克拉通盆地和中、新生界前陆盆地组成的大型叠合复合盆地,具有古老陆壳基底和多次沉降隆升的复杂构造演化历史,在震旦纪结晶基底上的沉积盖层中存在多个不整合界面和多个沉积体系,在纵向上古生代为海相克拉通沉积,中、新生代为陆相前陆盆地沉积(贾承造,1999). 这些在不同地质时期特定地质环境中所形成地层的整合或不整合接触界面(本文中把这些接触界面称之为基底界面),如果其两侧的物性特征存在一定的差异,这些接触界面有可能成为地震波的强折射界面,十分有利于用高分辨折射方法探测这些界面的形态和展布特征. 伽师强震群发生在塔里木盆地西南拗陷区北部一个狭小的区域内. 该区沉积由古生界、白垩系、第三系组成,缺失三叠系和侏罗系(郑显华,1995),新生代沉积较厚,震后的地质调查均未在强震群区发现有断裂出露(朱令仁等,1998). 为了获取伽师强震群区上部地壳的精细结构特征,2004 年 4 月中国地震局地球物理勘探中心在伽师强震群区完成了一条长约 80 km 的高分辨折射地震探测剖面,徐朝繁等(2006a)用有限差分反演和折射界面的哈格多恩波前成像方法对该剖面的资料进行了

<sup>\*</sup> 地震科学联合基金(106076)和国家自然科学基金(40474049, 40334040)资助. 中国地震局地球物理勘探中心论著 06020.

2006-12-30 收到初稿,2007-06-28 决定采用修改稿.

<sup>+</sup> 通讯作者. e-mail: xuzhaofan126@126.com

处理,得到了反演区上部地壳的 P 波速度及相遇观测段内部分区段的基底界面结构特征. 在高分辨折射资料的处理中,由于受当时处理方法本身及观测系统的限制,未能获得探测剖面下较完整的界面结构特征. 本文针对伽师强震群区高分辨折射剖面观测系统的特点,用射线分布分析法(徐朝繁,2005,徐朝繁等,2005,2006b),对该剖面的 Pg 波数据进行了更进一步的深入处理,给出了伽师强震群区基底界面更完整的结构形态特征.

1 地震剖面的位置及观测系统特点

高分辨折射地震探测剖面位于伽师县境内的盐碱地内,其中段穿过伽师强震群区,走向北东,位置如图 1 所示. 该剖面全长 80 km,从 5 km 桩号到 85 km 桩号,共进行 10 次爆破观测.

检波器布设在剖面的中段,从 25 km 桩号到 65 km 桩号,排列长度 40 km. 道间距 40 m,每次激发 1 000 道接收,排列段布设了 6 个激发点. 其观测系统如图 2 所示. 图 3 为剖面中段 SP<sub>5</sub> 和最西北端激发点 SP<sub>10</sub> 的原始记录截面图. 其数据的采集、资料质量及速度结构成像等较详细的结果在徐朝繁等(2006a)的文章中已有较详细的介绍,在此不再赘述.

从观测系统(图 2)可以看出,在 80 km 长的地震探测剖面上,由于在 5~25 km 和 65~85 km 桩号段没有布设检波器,只能在 25~65 km 桩号间 40 km 长的排列段上拾取到互换时间. 而在用折射界面的哈格多恩原理波前成像方法重建折射界面时,其前提条件之一就是要求要有足够精确的互换时间(徐朝繁等,

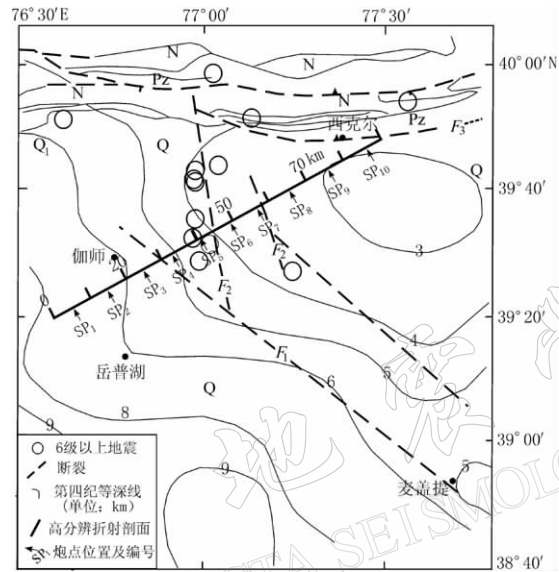


图 1 伽师强震群区地质构造简图及高分辨折射剖面位置  
F<sub>1</sub>. 麦盖提断裂; F<sub>2</sub>. 下苏洪—麦盖提断裂;  
F<sub>3</sub>. 柯坪断裂

2002),因此徐朝繁等(2006a)对该剖面资料的处理结果只得到了高分辨折射探测剖面相遇观测段(25~65 km 桩号间)内部分区段的基底界面形态特征,即只给出了约 32~58 km 桩号间 3 km 深度附近和约 38~57 km 桩号间 9 km 深度附近的折射界面结构. 针对该观测系统的特点,我们用射线分布分析法对该高分辨折射地震剖面的 Pg 波资料进行更进一步的深入处理,以获取更完整的基底界面形态及其展布特征.

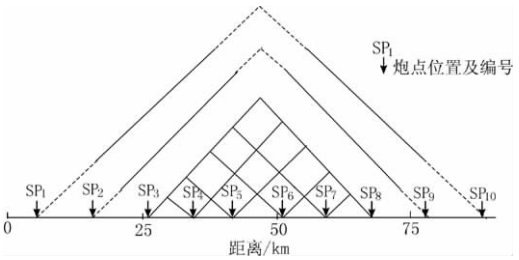


图 2 伽师强震群区高分辨折射剖面观测系统

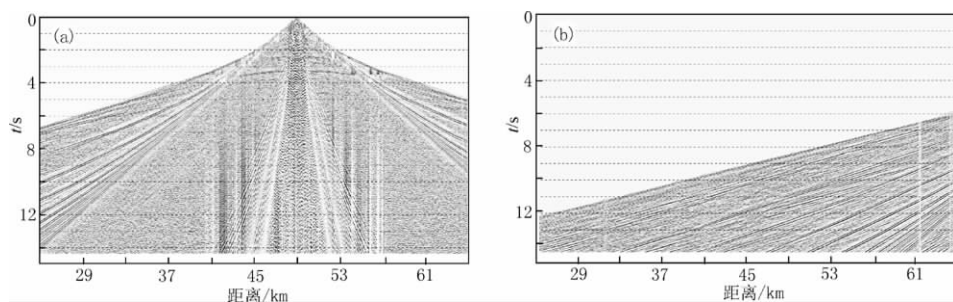


图 3 激发点  $SP_5$  (a) 和  $SP_{10}$  (b) 的地震记录截面

## 2 资料处理及结果

资料处理用徐朝繁(2005)和徐朝繁等(2006b)给出的射线分布分析法. 该方法对观测系统没有任何特别的要求, 可给出任意观测系统下探测区域内更完整的基底界面形态和展布特征. 其原理很简单, 首先用惠更斯原理有限差分波前成像方法对探测区域进行波场重建. 在波场重建过程中储存有关射线分布特征的参数, 然后用不同长度的窗口将射线数显示出来, 分析其出射角接近  $90^\circ$  (近水平出射) 的射线相对密集区域展布特征, 即可获取可能结构界面的形态特征.

所用资料为从高分辨折射地震探测记录上拾取的 9 841 个初至  $P_g$  波走时数据. 在波场重建过程中, 初始模型的选取及反演参数的确定采用徐朝繁等(2006a)中的结果. 图 4 为用射线分布分析法对伽师强震群区高分辨折射地震探测剖面资料的处理解释结果及与哈格多恩折射界面波前成像结果的比较图. 图 4a~d 为射线分布分析图, 其射线数显示范围分别为 1~30、31~80、90~200、210~400 根. 由射线分布分析图 4a~d 可以发现, 分别在深度为 2.4~3.3 km、8.5~11.8 km 之间, 约在 23~82 km 桩号内, 存在较完整的近水平出射的射线相对密集分布区域. 这些区域的空间展布特征反映了上部地壳内可能结构界面的形态特征. 将这些具有不同射线数的射线相对密集区域用不同的颜色表示出来并绘制在同一张图上, 即为射线分布分析法结果解释图, 如图 4e 所示. 该图中  $F_c$  为推断的结晶基底断裂. 图 4e 中的红色虚线为用哈格多恩波前成像法所确定的基底界面(徐朝繁等, 2006a).

## 3 分析和讨论

### 3.1 与哈格多恩折射波前成像结果的比较

由图 4e 可以发现, 射线分布分析法结果与哈格多恩折射界面波前成像结果(徐朝繁, 2006a)均表明伽师强震群区存在两个折射界面, 分别位于 2.6~3.3 km 和 8.5~11.5 km 深度内. 在相同空间范围内, 两种方法所给出的基底界面形态特征和埋深基本一致, 浅部界面的一致性比深部界面要更好一些. 这是因为人工地震的激发源和接收点均位于地表, 地震射线的分布区域为一上密下稀的扇形状, 因此, 对于高分辨折射地震探测剖面来说, 同一观测系统对上部结构探测的完备程度较其下部要更好一些. 图 4e 中, 射线分布分析法所给出的探测区内基底界面范围要比哈格多恩折射界面波前成像方法大得多, 给出了更大范围内的壳内基底界面结构特征, 并显示较深处基底界面大约以 37 km 桩号为界, 其西南

段和东北段存在约 2.5 km 的埋深突变. 推断可能为一超基底断裂  $F_c$  所致. 但该断裂在地震记录截面上 Pg 波到时没有明显的滞后, 应是观测系统的不完备和地壳上部结构特征所致. 由观测系统图 2 可知, 由于在 5~25 km 和 65~85 km 桩号段没有布设检波器, 缺少这两段内的地震记录, 加之结晶基底较深, 纵向速度梯度较大(徐朝繁等, 2006a), 估计只有在剖面最西南端  $SP_1$  炮的记录能同时记录到来自  $F_c$  断裂上、下盘的地震信号. 但由于观测系统的不完备和基底的结构特征所致, 使得来自  $F_c$  断裂上、下盘的地震信号在  $SP_1$  炮有限观测长度剖面记录上尚未能足够分开, 导致在实际记录上反映不明显.

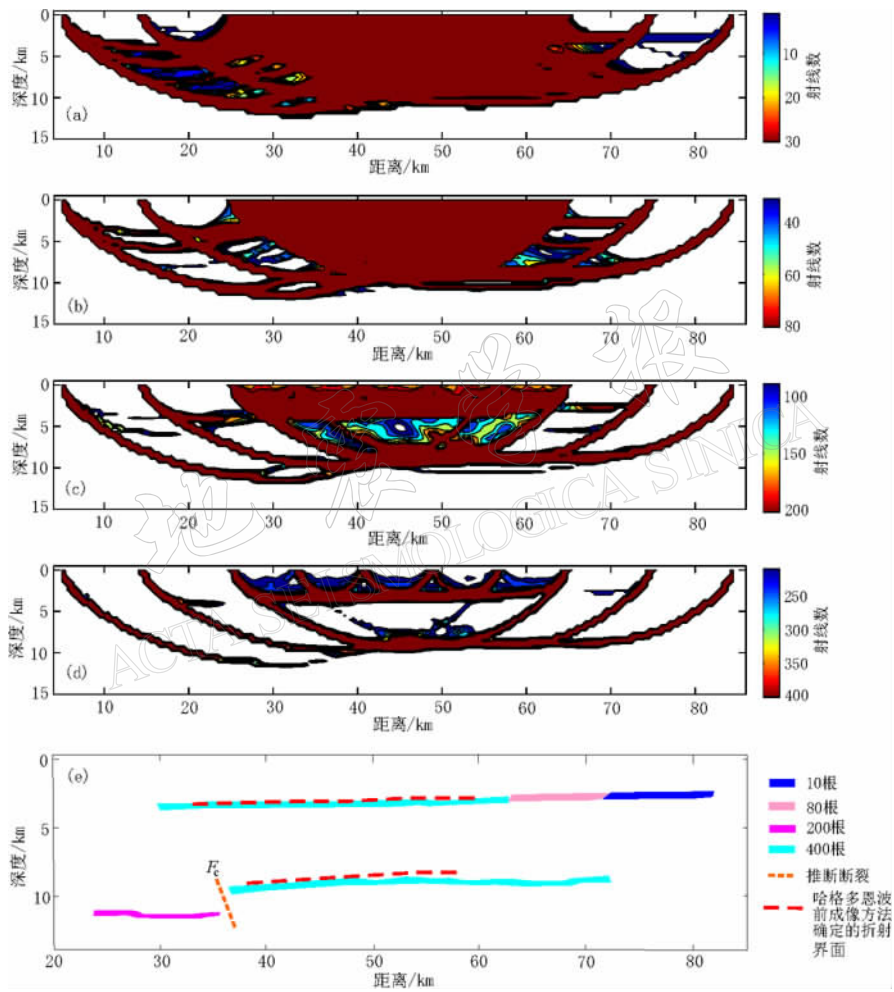


图 4 (a)~(d)射线分布分析图, 其射线数显示窗口长度分别为 1~30, 31~80, 90~200 根和 210~400 根; (e) 出射角接近 90°且连续展布的相对射线密集区域的构造解释及其与哈格多恩波前成像方法所确定的折射界面的比较

3.2 基底界面结构特征

由图 4e 可以发现, 在伽师强震群区上部地壳内存在两个基底界面: 第一个界面较浅, 在高分辨折射探测剖面 29~83 km 桩号间. 其埋深变化不大, 在 2.6~3.3 km 之间, 西南端最深, 东北端最浅, 为一向天山方向逐渐抬升、近平直的倾斜界面; 第二个界面埋深变

化较大, 在 8.5~11.5 km 之间. 在 37 km 桩号附近存在深度突变, 以该深度突变位置为界, 分为西南和东北两段. 每段内界面的埋深变化不大, 在 37~72 km 桩号间的东北段, 埋深约 8.5~9.0 km, 在 35 km 的距离内只有约 0.5 km 的起伏变化. 该段在从西南向东北整体抬升的背景上略有上隆, 在约 24~37 km 桩号间的西南段, 其埋深突然加深, 约 11.5 km. 结合速度结构成像及地质结果(徐朝繁等, 2006a; 程裕淇, 1994), 在浅部 2.6~3.3 km 深度间的界面应为塔里木盆地古生界发育齐全的陆表海台盆相和台地相碎屑—碳酸盐建造的底界; 在较深部 8.5~11.5 km 深度内的折射界面应为古老的塔里木盆地结晶基底. 由伽师强震群区基底界面结构特征可以发现, 深部的界面变形比浅部要强烈得多, 意味着深部曾经发生的挤压作用应比浅部更为强烈.

### 3.3 伽师强震群区的断裂构造

徐朝繁等(2006a)利用伽师强震群区高分辨折射探测剖面资料对地壳上部速度和界面的成像结果表明, 大约在 3~6 km 深度范围内存在 3 条隐伏断裂, 但未发现这些断裂延伸至地表及穿过结晶基底的结构特征. 在高分辨折射剖面与深地震反射剖面的重叠观测段内, 这些断裂的位置与杨卓欣等(2006)深反射结果中的浅部断裂基本一致. 高分辨折射剖面的射线分布分析法结果, 弥补了哈格多恩折射界面波前成像方法的不足, 给出了该剖面更大范围内的基底界面结构图象. 推断在剖面西南段 37 km 桩号附近结晶基底埋深的突变可能为超基底断裂所致(图 4e), 该断裂的位置与石油勘探推断的麦盖提隐伏断裂的位置接近. 刘启元等(2002)的宽频带流动台阵结果指出, 伽师强震群的发生可能与震源区附近的隐伏断裂有关. 人工地震宽角反射/折射探测和深地震反射结果表明, 在伽师震群区存在地壳深断裂(张先康等, 2002; 杨卓欣等, 2006). 推断的 F<sub>1</sub> 断裂虽然可能为一超基底断裂, 但它与伽师强震群的地壳深断裂并不上下直接贯通. 这意味着伽师强震群的发生可能仅是地壳深部断裂直接活动的结果, 也可能是震后在伽师强震群区无任何地表断裂出露的原因之一.

## 4 结论

高分辨折射探测记录数据携带有上部地壳内速度及界面结构的信息. 利用最新发展起来的射线分布分析法提取伽师强震群区的高分辨折射探测剖面资料中的有关信息, 发现伽师强震群区上部地壳内结晶基底的埋深有较大的突变, 推断可能是超基底断裂所致. 该断裂并不与深反射所发现的地壳深断裂直接贯通, 意味着伽师强震群区的深、浅两套断裂系统可能是独立的.

## 参 考 文 献

- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社: 105-118.
- 贾承造. 1999. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 20(3): 177-183.
- 刘启元, 陈九辉, 李顺成, 等. 2002. 新疆伽师强震群区三维地壳上地幔 S 波速度结构及其地震成因的探讨[J]. 地球物理学报, 43(3): 356-365.
- 徐朝繁, 张先康, 朱金芳, 等. 2002. 复杂介质结构中折射界面的哈格多恩原理波前成像[J]. 地震地质, 24(4): 542-548.
- 徐朝繁. 2005. 伽师强震群区、西秦岭阿尼玛卿缝合带上部地壳精细结构: 复杂结构中的地震波前成像方法及其应用[D]: [学位论文]. 中国地震局地球物理研究所: 56-61.

- 徐朝繁, 张先康, 刘宝金, 等. 2005. 高分辨折射地震资料处理方法及其应用[J]. 地球物理学进展, **20**(4): 1 052-1 058.
- 徐朝繁, 张先康, 段永红, 等. 2006a. 新疆伽师强震群区上部地壳精细结构的高分辨折射地震探测研究[J]. 地震学报, **28**(1): 60-69.
- 徐朝繁, 张先康, 张建狮, 等. 2006b. 射线数分布分析法及其在复杂地壳结构探测中的应用[J]. 地震学报, **28**(2): 167-175.
- 杨卓欣, 张先康, 嘉世旭, 等. 2006. 伽师强震群区震源细结构的深地震反射探测研究[J]. 地球物理学报, **49**(6): 1 701-1 708.
- 张先康, 赵金仁, 张成科, 等. 2002. 帕米尔东北测地壳结构研究[J]. 地球物理学报, **37**(6): 356-365.
- 郑显华. 1995. 塔里木盆地西部巴楚—麦盖提地区石油地质特征及勘探建议[J]. 石油试验地质, **17**(2): 114-120.
- 朱令仁, 苏乃秦, 杨马陵. 1998. 1997 年新疆伽师强震群的三次成功预报[J]. 中国地震, **14**(2): 101-115.

## BASEMENT INTERFACE STRUCTURAL CHARACTERISTICS BENEATH JIASHI STRONG EARTHQUAKE SWARM AREA IN XINJIANG, CHINA

Xu Zhaofan<sup>1)</sup> Duan Yonghong<sup>1)</sup> Tian Xiaofeng<sup>1)</sup>  
Pan Jishun<sup>1)</sup> Zhang Jianshi<sup>1)</sup> Hu Xiuqi<sup>2)</sup>

1) Geophysical Exploration Center, China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, China

2) Earthquake Administration of Henan Province, Zhengzhou 450000, China

**Abstract:** The seismic data obtained from high resolution seismic refraction profile in Jiashi strong earthquake swarm area in Xinjiang China were further processed with ray hit analysis method and more complete basement interface structural characteristics beneath Jiashi strong earthquake swarm area were determined. The results show that there are two clear basement interfaces at the upper crust in Jiashi strong earthquake swarm area. The first one with buried depth ranging from 2.6 km to 3.3 km presents integral and continuous structure, and it appears an inclined plane interface and smoothly rises up toward Tianshan mountain. The second basement interface with buried depth from 8.5 km to 11.8 km, is the antiquated crystalline basement of Tarim basin. Near the post number of 37 km, the buried depth of the crystalline basement changed abruptly by 2.5 km, which maybe result from an ultra crystalline basement fault. If taking this fault as a boundary, the crystalline basement could be divided into two parts, *i. e.* the southwestern segment with buried depth about 11.5 km, and the northeastern segment with buried depth approximately from 8.5 km to 9.0 km. That is to say, in each segment, the buried depth changes not too much. The northeast segment rises up as a whole and upheaves slightly from southwest to northeast, which reflects the upper crustal deformation characteristics under the special tectonic background at the northwestern edge of Tarim basin.

**Key words:** Jiashi strong earthquake swarm area; high resolution refraction survey; ray hit analysis method; basement interface structure; ultra crystalline basement fault