

新疆天山(独山子)-西昆仑(泉水沟)地学断面 地震与重力联合反演地壳构造特征

贺日政 高 锐 李秋生 管 烨 李朋武

(中国地质科学院地质研究所,北京,100037)

摘 要 利用滑动平均的布格重力异常剖面结合地震资料 and 大地电磁资料,参考介质纵波速度与密度的经验转换关系,通过二维均匀介质模型人机交互式计算得到了新疆天山(独山子)-西昆仑(泉水沟)地学断面走廊域中心剖面的地壳构造特征。所得的反演结果表明,准噶尔盆地与北天山地体、中天山地体为一整体,准噶尔盆地和天山构造带的中、下地壳之间存在低密度层,但塔里木盆地不存在低密度层,由于受到南北两侧板块挤压,造成塔里木盆地的地壳结构在横向上似一南陡北缓、中部隆起的不对称“拱形”弯曲,塔里木盆地南缘与西昆仑构造带间呈“V型盆山耦合关系”,其下方恰好是莫霍面上隆区。

关键词 新疆地学断面 地壳构造 天山 塔里木盆地 西昆仑

Corridor Gravity Fields and Custal Density Structures in Tianshan(Dushanzi)- West Kunlun(Quanshuigou)GGT

HE Rizheng GAO Rui LI Qiusheng GUAN Ye LI Pengwu

(Institute of Geology ,CAGS ,Beijing ,100037)

Abstract Based on the filetered Bouguer gravity anomaly , seismic data and telluric electromagnetic sounding data , the features of crustal structures of the corridor central profile in Tianshan(Dushanzi)-West Kunlun(Quanshuigou) GGT are recognized by using modified empirical formula for the relationship between compressional velocity and density as well as the forward formula of uniform media for the two-dimensional polygonal model. The inverse results suggest that North Tianshan , Central Tianshan and Junggar Basin are a monolithic body , and that a relatively low density layer exists between the middle and the lower crust in Jungar basin and Tianshan tectonic belt but does not exist in Tarim basin. As the Tarim basin is compressed by plates on both sides , i.e. , Kazakstan Plate on the north and Indian Plate on the south , it looks like an asymmetrical arc , being wider in the North , steeper in the south and upwarped in the middle of the Tarim basin. The V-shape coupling relationship between the basin and the range is located between the Tarim basin and the West Kunlun tectonic belt , just above the upwarped area of Moho.

Key words GGT crustal structure Tianshan Tarim basin West Kunlun

新疆地处中亚腹地,境内发育着全球著名的年轻山脉(如天山)和以古老克拉通为基底的大型盆地(如塔里木盆地)。天山造山带的形成及其与准噶尔盆地和塔里木盆地的关系,一直被地质研究工作者所关注。作为青藏高原西北端的西昆仑造山带,变形强烈,地震活动十分频繁。中亚深大剪切断裂带阿尔金断裂带尖灭在西昆仑造山带(尹安,2001)。

新疆地学断面北起阿尔泰的布尔津,南到西昆仑的泉水沟,全长约2 000 km。该断面分为南北两

段:北段为阿尔泰的布尔津—天山(长约800 km),南段为天山(独山子)—塔里木(阿拉尔)—西昆仑(泉水沟)(长约1 200 km)。新疆地学断面南段横跨了天山构造带、塔里木盆地和昆仑构造带,对研究和认识塔里木盆地与天山构造带及昆仑山构造带的盆山耦合关系具有直接的意义,并且可以进一步探讨青藏高原的隆升机制。断面的地壳密度反演结构可以揭示出断面内的地壳横向变化与纵向延深特征。但这些需要在地震资料的约束下,反演得到的

密度结构才有具体参考价值。研究工作是在深地震反射剖面探测、宽频地震观测、地震测深和大地电磁测深的基础上,结合其他相关的地质、地球物理资料,利用布格重力异常数据反演本断面走廊域的地壳密度结构。

1 构造轮廓

新疆主要由阿尔泰山、准噶尔盆地、天山、塔里木盆地、西昆仑山、阿尔金山组成,形成了“三山两盆”的地形地貌。天山(独山子)—塔里木(阿拉尔)—昆仑山(泉水沟)地学断面的大地构造单元由北向南依次划分为:准噶尔盆地、北天山地体、中天山地体、南天山地体、塔里木盆地、铁克里克地体、西昆仑地体和喀喇昆仑地体^①,属于哈萨克斯坦板块古陆区的一部分。准噶尔盆地是一个大型中生代陆相沉积盆地,其基底结构为前寒武纪基底(新疆区域地质志,1993),目前仍在争论中。天山构造带是由北天山地体、中天山地体和南天山地体组成。北天山山前断裂(FNFT)是准噶尔盆地和北天山地体间的边界断裂。天山构造带内各地体间的边界断裂依次是中天山北缘断裂和中天山南缘断裂(那拉提南缘断裂)。南天山地体、塔里木盆地、铁克里克地

体和西昆仑地体同属于塔里木板块。塔里木盆地大部分被沉积所覆盖,基底露头大多在盆地边缘出露,是由于在不同时代、在不同构造环境下形成的具有古陆核的大型复合盆地,也是中国西北地区最早的古陆区(新疆区域地质志,1993)。该盆地北部的边界断裂是南天山山前断裂,南部的边界断裂为昆仑山前断裂。在昆仑山前断裂南部的铁克里克地体内有前古生界、古生界出露。西昆仑地体位于库地缝合带和康西瓦断裂之间。康西瓦断裂南部的喀喇昆仑地体属于青藏高原的扬子-羌塘板块的一部分(高锐,2001)。

2 新疆地区滤波后的布格重力异常特征

此次研究所用的资料取自原地质矿产部地球物理地球化学勘察研究所和原地质矿产部区域重力调查方法技术中心(1989)编制的1:250万全国布格重力异常图和刘光鼎等(1991)编制的1:1000万中国及邻区布格重力异常图。分别把上述图件放大到1:100万后,以10 km间隔取数,相当于对放大后的图件进行了10 km×10 km的窗口滑动平均滤波(图1)。

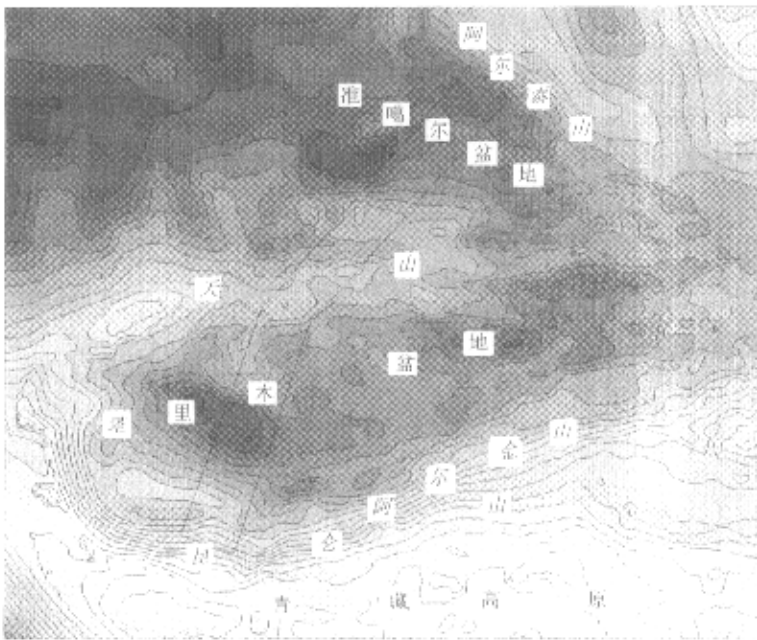


图1 新疆及邻区经10 km×10 km窗口滤波后的布格重力异常图

Fig.1 The Bouguer gravity anomalous map after filtered in 10 km×10 km windows in Xinjiang and adjacent area
等值线间隔 $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (Contour interval: $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)

① 肖序常,刘训,高锐等.2000.新疆天山(独山子)—西昆仑(泉水沟)地学断面地质地球物理综合研究报告.

在阿尔泰山地区,布格重力异常为 NW 向展布的条带状分布,变化平缓。准噶尔盆地内的异常呈 EW 向分布,吐哈盆地的异常等值线向 ES 方向伸展,且成零星分布,具有高重力异常值。准噶尔盆地和吐哈盆地的南侧重力异常呈近 EW 向分布,这种分布特征表明,在其后期受到了南北两侧的天山造山带和阿尔泰山造山带的影响。在天山地区内部,南、北天山的布格重力异常成梯度带分布,中天山内部比较宽缓。总体来说,虽然天山一带的异常特征与其南北两侧的盆地有明显的差别,但是其内部还有一些高幅值小的圈闭状异常,并不似阿尔泰山、西昆仑山呈梯度带分布的特征。这说明南、中、北天山的地壳结构存在差别,而且莫霍面有起伏。塔里木盆地被其北、西和南边缘的类似于“U”字型的重力异常梯度带包围。“U”型重力异常梯度带所包围的地区是塔里木盆地的主体,重力异常相对变化平缓。塔西南的巴楚隆起为塔里木盆地内部规模最大的高重力异常区,巴楚隆起南侧的布格重力异常呈向西南倾斜的斜坡(麦盖提斜坡)特征,和田凹陷为相对低重力异常区。在西昆仑构造带内,异常变化梯度增大,直至喀喇昆仑构造带。在巴楚隆起与其北部的柯坪隆起间有一近 EW 向凹陷梯度带。在塔里木盆地的东部地区,布格重力异常变化平缓。这表明东部地区的地壳形变并不很剧烈,主要受阿尔金走滑断裂作用的影响(丁道桂等,1996),而塔里木盆地西部地壳受塔里木盆地西南的青藏高原和其北边的天山造山带强烈挤压后拱起变形。位于塔里木盆地的西南缘、东南缘的昆仑造山带和阿尔金断裂带的重力异常表现为陡变梯度带,表明塔里木盆地南缘的莫霍面深度急剧向青藏高原过渡加深。

3 断面走廊域的地壳构造与速度结构特征

利用宽角反射与折射地震测深(李秋生等,2000;卢德源等,2000)得到了整个剖面的速度结构,而且在准噶尔盆地和天山构造带内的中、下地壳间(28~35 km)普遍存在一低速层。利用地震层析成像得到的 27 km 深度速度图象(胥颐等,2000)也得出了类似的结论。在西昆仑山前实施的深地震反射(高锐,2000)宽频地震(管桦等,2001)首次发现了昆仑山脉与塔里木盆地南端的“V”型盆山耦合关系”。这种耦合关系为全面认识塔里木盆地动力学过程以至整个青藏高原隆升机制提供了进一步的证据。大地电磁测深(秦国卿,1994)证实西昆仑地

体和喀喇昆仑地体下约 20 km 深处有一高导层存在。在上述资料的基础上,并结合石油地震与地表地质等资料,总结得到断面走廊域中心剖面的地壳大致速度结构。

3.1 准噶尔盆地

准噶尔盆地上地壳为厚度达 13 km 左右的巨厚沉积盖层,顶部速度在 1.0~1.5 km/s 之间,下部为结晶基底,速度为 5.9~6.0 km/s。中地壳分为 3 层,从上至下分别是:第一层为 5.9 km/s,厚度变化大且向南倾;第二层为 6.0~6.1 km/s,变化稍缓,总体仍向南倾;第三层为一低速层 5.6 km/s,其厚度为 7 km 左右。下地壳的速度为 6.6 km/s。Moho 的深度为 47 km 左右,南倾。上地幔顶部的速度为 8.15 km/s。

3.2 天山构造带

天山构造带上地壳的速度在 5.8~5.9 km/s,中天山段的速度略高于其两侧南、北天山段的速度。中地壳也可分为 3 层,自上而下依次为:第一层的速度为 6.1 km/s 左右;第二层的速度在 6.3~6.4 km/s 之间;第三层为低速层,其速度为 5.6 km/s。中天山的下地壳的速度在 6.9~7.0 km/s 之间,略高于南、北天山段的下地壳速度(6.6 km/s)。另外,中天山北缘下的 Moho 面陡然加深,最深处为 62 km,最浅也有 52 km,南、北天山下的 Moho 面变得很浅。上地幔顶部的速度为 8.15 km/s。总体上,中天山的上、中地壳部分为一隆起,在北天山部分向北倾,南天山部分向南倾。

3.3 塔里木盆地

整体上看,塔里木地壳在巴楚与麻扎塔格一带呈隆起状态(Moho 面深度在 40 km),然后向南、北两侧的西昆仑山和南天山下倾斜,速度结构分布特征也与此类似,巴楚-麻扎塔格隆起高,两侧速度异常低。沉积盖层的速度在垂向上呈梯度变化,特别是在库车凹陷与和田凹陷,范围为 3.2~6.0 km/s;上地壳的速度在横向上有变化,范围在 5.9~6.0 km/s,中地壳分为 2 层,上层为 6.2~6.3 km/s,下层为 6.5~6.7 km/s;下地壳为 6.7~6.9 km/s,麻扎塔格隆起下的下地壳速度在 7.0~7.3 km/s 之间。

3.4 西昆仑构造带(铁克里克地体与西昆仑地体)

由于实际地震测线并没有完全跨过西昆仑构造带,因此,整个西昆仑构造带下的地壳及上地幔顶部的速度结构只能由测线所跨的一段顺势得到。上地壳的速度为 6.0~6.1 km/s。中地壳也分 2 层:上

层是 6.25 km/s, 下层是 6.6 km/s; 中上地壳间存在高层(16~25 km)。下地壳的速度为 6.7~6.9 km/s 之间; Moho 面的深度在 60 km 以上, 而在塔里木盆地与西昆仑的接触部位处的 Moho 面深度为 50 km 左右。

4 断面走廊域中心剖面的地壳密度结构

中心剖面重力数据取自图 1。建立初始地壳结构模型时, Moho 深度与起伏主要依据上述地震测深和深反射的结果确定, 壳内主要界面分层和平均速度取自地震测深结果, 主要依据塔里木盆地与西

昆仑山、塔里木盆地与天山的深部接触关系, 以及准噶尔盆地与天山的接触关系由深反射剖面 and 宽频地震结果来约束, 利用如下修正的纵波速度与介质密度的 Nafe-Drake 经验转换公式(冯锐, 1986), 赋给模型中的每一地质块体(图 2)初始的密度值。在计算中为减小剖面两端的边缘效应, 将剖面南北每一端点处的模型分别向外延长了 100 km。另外, 为了计算简单将莫霍面下的上地幔采用均匀模型。

$$\rho = \begin{cases} 2.78 + 0.5(v_p - 6.0) & (5.5 \leq v_p \leq 6.0) \\ 3.07 + 0.2(v_p - 7.0) & (6.0 < v_p < 7.5) \\ 3.22 + 0.2(v_p - 7.5) & (7.5 \leq v_p \leq 8.5) \end{cases}$$

式中: ρ 为介质密度; v_p 为纵波速度。

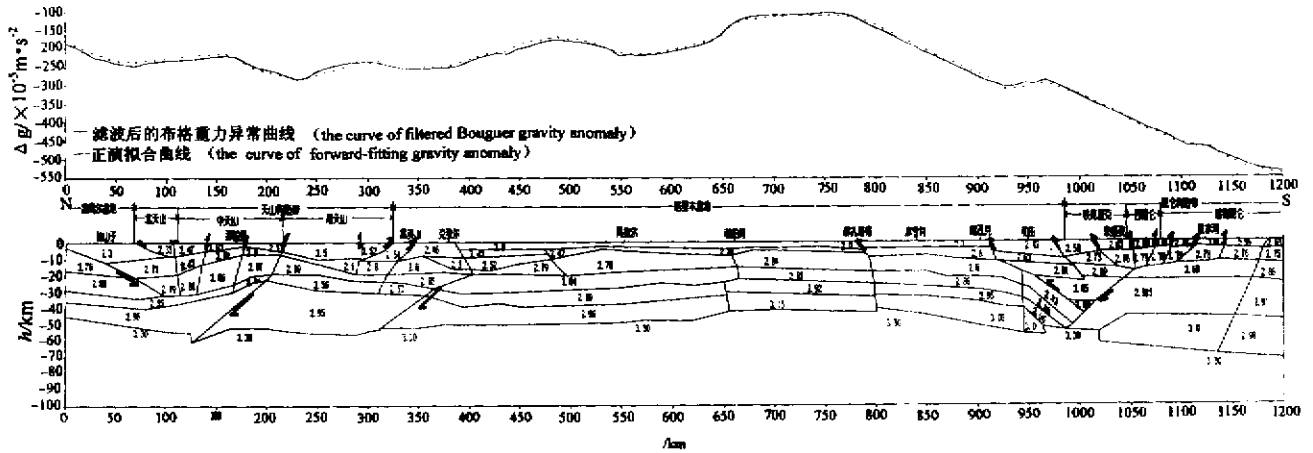


图 2 新疆地质断面(独山子-泉水沟)地壳理论结构图

Fig. 2 Theoretic crust structure of the Xinjiang GGT from Dushanzi to Quanshuigou)

密度单位: g/cm³ (density Unit: g/cm³)

在构建上面的模型, 利用二维均质模型正演公式人机交互式计算每一地质块体的重力效应, 叠加得到剖面的正演异常。根据正演拟合异常与滤波后的布格异常的差值, 逐次修改模型中各块体的密度值, 计算时, 尽最大可能地少修改地震探测所揭示的各块体的几何形状, 再根据实际资料模拟地质过程, 直至使二者的差值达到最小, 并且拟合异常曲线形态与滤波后的曲线形态变化趋势很好地符合为止。经过多次人机交互计算之后, 把拟合所得的剩余密度值与理论背景值叠加, 得到了如图 2 所示的理论地壳结构特征。

4.1 准噶尔盆地

准噶尔盆地下地壳(深度大致在 35~45 km)的密度为 2.98 g/cm³; 中地壳(18~28 km)密度为 2.80 g/cm³ 左右, 并且在中下地壳间存在密度为 2.55 g/cm³ 的低密度层(28~35 km); 上地壳密度

不大于 2.76 g/cm³; 沉积盖层密度为 2.30 g/cm³。特别是准噶尔盆地与北天山、中天山有着共同的下地壳和低密度层。

4.2 天山构造带

该构造带内中天山与北天山并不存在明显的“山根”, 它只是“漂浮”在南天山向北俯冲、准噶尔盆地向南俯冲所夹持的岩石圈上。中天山的地壳平均密度高, 中地壳厚度大, 密度变化在 2.80~2.88 g/cm³ 之间, 其下地壳的(35~65 km)密度与准噶尔盆地的下地壳密度相同, 为 2.98 g/cm³。南天山的下地壳(29~50 km)密度略低, 为 2.95 g/cm³; 中地壳(20~30 km)的密度变化也较高, 在 2.85~2.89 g/cm³ 之间, 但其厚度小。其上覆地层(小于 20 km)为不大于 2.50 g/cm³。同样, 在天山构造带内的中下地壳间也存在一密度为 2.54~2.56 g/cm³ 的低密度层(25~35 km 间)。

4.3 塔里木盆地

塔里木盆地的地壳密度结构成层性好,密度值高于其南北两端的天山构造带和昆仑山构造带,在盆地内部隆起部位(麻扎塔格)的密度都比两侧坳陷区的高。塔里木盆地地下地壳(35~45 km)密度的变化范围在 $2.96 \sim 3.15 \text{ g/cm}^3$ 之间,中地壳(25~35 km)较厚分为2层,下层(30~35 km)为 $2.89 \sim 2.96 \text{ g/cm}^3$,上层(25~30 km)则为 $2.84 \sim 2.88 \text{ g/cm}^3$ 。上地壳(10~25 km)的密度变化在 $2.78 \sim 2.84 \text{ g/cm}^3$ 范围。塔里木盆地内的盖层较厚,特别是在塔里木盆地南北两端的斜坡处达十几公里厚,盖层的密度变化在从地表处的 2.00 g/cm^3 到基底顶部的 2.60 g/cm^3 。与断面走廊域中的其他3个构造单元地壳密度结构相比,塔里木盆地的地壳内部结构中不存在低密度层。

4.4 昆仑构造带

与上述3个构造单元相比,昆仑山构造带的构造最为复杂,主要是由昆仑山脉与塔里木盆地南端的“V型盆山耦合关系”(高锐,2000)造成的。在纵向上则较为简单,且具有很好的成层性:下地壳(48~71 km)的密度不小于 2.98 g/cm^3 ;中地壳(25~48 km)密度范围在 $2.91 \sim 2.925 \text{ g/cm}^3$ 间;上地壳(0~18 km)分为2层,其密度都不大于 2.79 g/cm^3 ,在中上地壳间存在高导层(16~25 km)其密度范围在 $2.66 \sim 2.69 \text{ g/cm}^3$ 。而在塔里木盆地与昆仑山的接触带中存在“V”型倒三角状的壳体,并分为2层,下层(36~45 km)为 2.88 g/cm^3 ,上层(23~36 km)为 2.85 g/cm^3 ,恰好位于莫霍面隆升的上方。模拟结果证实了在岩石圈尺度上塔里木盆地向南以较陡的角度与西昆仑山下向北俯冲的印度板块(?)在西昆仑北缘相撞。

5 结论与讨论

(1) Gao Jun等(1998)认为,天山造山带及其邻区是由3个微板块组成,从北到南依次为:准噶尔(准噶尔盆地和北天山地体)、伊犁-中天山和塔里木(塔里木盆地和南天山地体)。此3个微陆板块间的2个缝合带,即中天山北缘缝合带和中天山南缘缝合带是在晚奥陶纪至晚二叠纪期间逐渐形成的。但许多地球物理资料(Zhang等,1984;Watson等,1987;Yuan等,1994)表明,在准中天山、北天山及准噶尔盆地地下有统一的克拉通。此次反演结果(图2)也

表明中天山与北天山地体并没有明显山根,且与准噶尔盆地成为一整体,都属于哈萨克斯坦板块的一部分。

(2) 准噶尔盆地与天山构造带下(深度在28~35 km间)有一低密度层($2.53 \sim 2.56 \text{ g/cm}^3$)存在。准噶尔盆地下向南俯冲的断裂、中天山地体和南天山地体内发育的一些大型断裂,它们的延伸深度都没有切穿该低密度层(低速层);而中天山南缘断裂(SFCT)却穿过该低密度层,切割了整个地壳,向莫霍面下延伸。在南天山下,该低密度层明显增厚。天山造山带下的莫霍面变深,深达62 km。天山的地震层析成像研究表明(魏素花等,2000),在天山造山带下部250 km以下是以低速物质为主,在天山造山带受到两侧板块的双向碰撞强烈挤压导致的隆升过程中,深部热物质向上迁移,渗透,沿着断裂带侵入地壳,造成局部熔融。重力与地震联合反演结果(图2)表明,它可能代表了作为塔里木板块一部分的南天山向北俯冲的逆冲型断裂带。

(3) 塔里木盆地地壳成层性要优于其南北两侧相邻的造山带,但没有低密度层存在。在盆地内,有一莫霍面隆起部位(麻扎塔格),其靠近塔中隆起。整体上看,塔里木的地壳结构在横向上似一南陡北缓、中部隆起的不对称的“拱形”。这表明刚性的塔里木板块受南北两侧板块挤压才造成了这种地壳的弯曲。根据南天山山前断裂带(即库车逆冲断裂带)逆冲开始时间为24~21 Ma(Yin等,1998)以及其变形样式判断,正是由于印度板块的快速向北俯冲,导致塔里木块体也很容易地向天山的上地幔深部俯冲,其俯冲的最大深度至少达到250 km(胥颐等,2001)。

(4) 在西昆仑构造带和喀喇昆仑构造带上与中地壳间(16~25 km)有一高导(秦国卿等,1994)低密度层($2.66 \sim 2.69 \text{ g/cm}^3$)存在。在该低密度层的上部,即上地壳部分发育有许多逆冲断裂,而其下部为一巨厚的中地壳。这是由于物性的差别,沿着该壳内低速层面容易发生层间滑动(胥颐等,2000)。

(5) 在铁克里克地体的正下方即塔里木板块和印度板块相碰撞的部位处莫霍面上隆,其顶深只有58 km。图2所示,塔里木盆地南端与昆仑山脉的“V型盆山耦合关系”恰好位于该莫霍面上隆的顶部。“V型盆山耦合关系”认为,是印度板块(?)和塔里木板块的碰撞的结果(高锐等,2000)。地震层析

成像成果(胥颐等,2000;胥颐等,2001)表明,南塔里木上地幔岩石层在西昆仑山前俯冲到较深的位置,青藏高原西北边缘岩石层在西昆仑山下直到200 km深度仍向北倾斜。从而为这种关系提供了有力的证据。

致谢 研究过程中得到了肖序常院士和刘训研究员的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 丁道桂,汤良杰等著.1996.塔里木盆地形成与演化.南京:河海大学出版社.
- 冯锐,严惠芬,张若水.1986.三维位场的快速反演方法及程序设计,地质学报,60(4):390~402.
- 高锐,黄东定,卢德源等.2000.横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带的深地震反射剖面.科学通报,45(17):1874~1879.
- 管烨,高弘,高锐等.2001.新疆塔里木-西昆仑宽频带地震观测实验研究.地球学报,22(6):559~562.
- 李秋生,卢德源,高锐等.2000.横跨西昆仑-塔里木接触带的爆炸地震探测.中国科学(D),30(增刊):16~21.
- 卢德源,李秋生,高锐等.2000.横跨天山的人工爆炸地震剖面.科学通报,45(9):982~987.
- 秦国卿,陈九辉,刘大建等.1994.昆仑山脉和喀拉昆仑山脉的地壳上地幔电性结构.地球物理学报,37(2):193~199.
- 魏素花,薛光琦,钱辉等.2000.新疆库车-克拉玛依地震层析成像.地球物理学进展,15(4):46~54.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局.1993.新疆维吾尔自治区区域地质志.北京:地质出版社.
- 胥颐,刘富田,刘建华等.2000.中国大陆西北造山带及其毗邻盆地的地震层析成像.中国科学(D),30(2):113~122.
- 胥颐,刘富田,刘建华等.2001.中国西北大陆碰撞带的深部特征及其动力学意义.地球物理学报,44(1):40~47.
- 尹安.2001.喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化.地球学报,22(3):193~230.

References

- Ding Daogui, Tang Liangjie et al..1996. Formation and tectonic evolution of the Tarim basin. Nanjing: Hehai University Press(in Chinese).
- Guan Ye, Gao Hong, Gao Rui et al..2001. The experments of boadband seisrnic study along Tarim to Kunlun. Acta Geoscientiasinica, 22(6):559~562(in Chinese).

- Fan G, Ni J F, Wallace T C.1986. Active tectonics of the Pamirs and Karakorum. J Geophys Res (99):7131~7160.
- Feng Rui, Yan Huifen, Zhang Ruoshui.1986. A fast inverse method of three-dimensional potential field and its program design. J. Geology, (4):390~402(in Chinese).
- Gao Jun, Li Maosong, Xiao Xuchang et al..1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, Northwestern China. Tectonophysics, 287(287):213~231.
- Gao Rui, Huang Dongding, Lu Deyuan et al..2000. A deep seismic reflection profile across the conjunction zone between West Kunlun Mountains and Tarim basin. Chinese Science Bulletin, 45(17):1874~1879(in Chinese).
- Li Qiusheng, Lu Deyuan, Gao Rui et al..2000. An explosive seismic sounding profile across the transition zone between West Kunlun Mts. and Tarim basin. Science in China(Series D), 30(Sup.):16~21(in Chinese).
- Lu Deyuan, Li Qiusheng, Gao Rui et al..2000. A deep seismic sounding profile across the Tianshan Mountains. Chinese Science Bulletin(D), 45(9):982~987(in Chinese).
- Qin Guoqing, Chen Jiuwei, Liu Dajian et al..1994. The Characteristics of the electrical structure of the crust and upper mantle in the region of the Kunlun and the Karakorum Mountains. Chinese J. Geophys, 37(2):193~199(in Chinese).
- Watson M P, Hayward A B, Parkinson D N et al..1987. Plate tectonic history, basin development and petroleum source rock deposition onshore China. Mar. Pet. Geol. (4):205~225.
- Wei Suhua, Xue Guangqi, Qian Hui et al..2000. Xinjiang Kuche-Kelamay seismic tomography. Progress in Geophysics, 15(4):46~54(in Chinese).
- Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources.1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua et al..2000. Seismic tomography beneath northwestern orogenic belts and adjacent basins in Chinese continent. Science in China, 30(2):113~122(in Chinese).
- Xu Yi, Liu Futian, Liu Jianhua et al..2001. Deep features of continental collision belts in northwestern China and their dynamic implications. Chinese J. Geophysics, 44(1):40~47(in Chinese).
- Yin A, S Nie, P Craig et al..1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tianshan. Tectonics, 17(1):1~27.
- Yin A.2001. Geological evolution of orogen in Himalaya-Tibet Plateau. Acta Geoscientia Sinica, 22(3):193~230(in Chinese).
- Yuan X, Zho Y, Zhang C.1994. Evidences for the west China cratons and its evolution. Proc. 29th int. Geol. Congr. Part B, 39~51.
- Zhang Z M, Liou J G, Coleman R G.1984. An outline of the plate tectonics of China. Geol. Soc. Am. Bull. 95:295~312.