

松辽盆地隆起区地壳反射结构与“断开”莫霍界面*

杨宝俊^① 唐建人^② 李勤学^{①②} 王建民^{①②} S. A. Faisal^①
李瑞磊^① 王洪志^② 李占林^② 张 慧^①

(^①吉林大学地球物理系, 长春 130026; ^②大庆石油管理局地球物理勘探公司, 大庆 163357)

摘要 在我国松辽盆地内实施了 4 条近垂直反射地震法地壳精细结构探测, 获得了双程旅行时为 15 s 的松辽盆地地壳叠后偏移反射剖面. 重点研究松辽盆地东南隆起区与东北隆起区反射结构特征. 发现松辽盆地隆起区内整体上表现出: 由西至东沉积层厚度变薄, 由北向南沉积层厚度增厚; 无论是东南隆起区还是东北隆起区, 壳内反射图案在南北向与东西向均变化剧烈; 东北隆起区莫霍界面双程反射旅行时变化范围为 9.6~11.0 s, 深度范围为 30~34 km, 东南隆起区莫霍界面双程反射旅行时变化范围为 9.7~10.4 s, 深度范围为 30~32 km. 由叠偏剖面资料分析可见松辽盆地隆起带内莫霍界面反射出现特异的断开特征, 错距达 0.1~0.5 s, 约合 2 km 左右. 断开带附近存在多组剪切断裂并表现出隆起带内断开宽、两隆起带交界部位窄的空间分布规律. 这些反射图像与特异莫霍界面反射被推断为多期次黑龙江微陆块弱碰撞、太平洋板块向西俯冲等动力因素耦合作用的结果.

关键词 松辽盆地 隆起区 近垂直反射地震探测 莫霍界面断开带

松辽盆地是我国重要的油气资源战略基地, 对该盆地成盆成油机制与盆地动力学问题研究一直是地球科学界关注的问题之一. 由于经历多期次构造活动, 松辽盆地构造格局复杂. 其中, 3 条构造近南北向展布: 西侧有嫩江断裂(NNE25°), 东侧有依兰-伊通断裂(NNE30°), 孙吴-双辽断裂以近南北方向切割松辽盆地. 石油地震勘探资料和地质填图指示^[1], 松辽盆地基底可分为 5 个基底构造单元, 即北部倾没区(图 1 中 A)、西部斜坡区(图 1 中 B)、中央拗陷区(图 1 中 C)、东北隆起区(图 1 中 D)与东南隆起区(图 1 中 E). 为了认识松辽盆地形成机制并预测后续油气勘探与开发的前景区, 了解松辽盆地的深层结构与构造是十分必要的. 人们先后在此开展了宽角地震反射剖面探测与重磁等深部测量^[1~4], 得到了有意义的结果. 由于这些方法在横向与纵向分辨力的限制, 松辽盆地地壳细结构研究尚有待深化. 为此, 有关部门于 1996~1999 年在松辽盆地实施了 3 条近东西、1 条近南北向的近垂直反射地震剖面的探测. 该项地震探测工作中, 所采用的道间距为 25 m、单炮记录道数为 240 道、覆盖次数为 60 次, 共计激发 8206 炮. 如图 1 所示, 4 条剖面长度分别为 256 km(V 线)、245 km(IV 线)、143.6 km(II 线)及 176 km(III 线). 这 4 条剖面分别跨越了东北隆起区、东南隆起区、中央拗陷区等一级构造单元.

2002-04-23 收稿, 2002-06-05 收修改稿

* 国土资源部“十五”重点科技攻关项目(编号: 20001010204)

造单元. 本文研究的区域集中于东北隆起区与东南隆起区, 并将这两个隆起区统称为松辽盆地隆起区. 其中, 东南隆起区基底起伏大, 凸起与凹陷相间排列, 它是松辽盆地中最早褶皱隆起的一个构造单元^[1]. 显然, 这4条近垂直反射地震剖面的探测为松辽盆地隆起区地壳精细结构的研究提供了可靠的数据基础. 为了后续资料处理与解释, 特进行了地壳平均纵波速度 V_p 的反射研究, 获得II线的地壳平均纵波速度为6.2 km/s, 该结果与满洲里-绥芬河地质断面广角地震研究结果相近^[1]. 经过静校正、动校正、叠加与偏移等处理, 获得了双程旅行时为15 s的叠后偏移地震剖面. 在本文中, 我们重点研究这些剖面的东端(即东南隆起区与东北隆起区)所揭示的松辽盆地地壳反射结构及莫霍界面特异现象即莫霍界面断开带, 并分别讨论了松辽盆地两大隆起区内构造特征、莫霍界面与沉积盆地关系、莫霍界面断开带及其动力学意义.

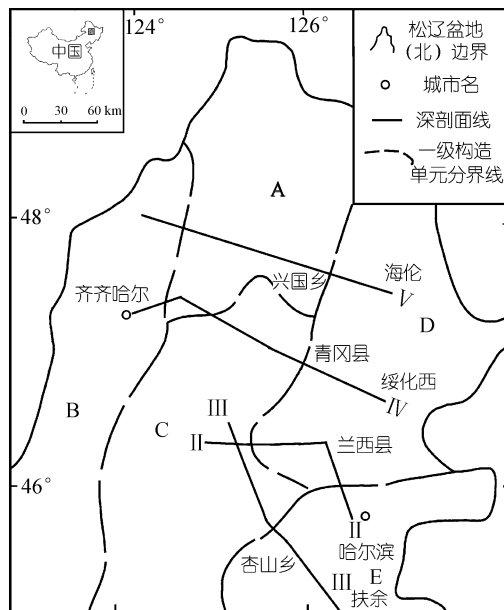


图1 松辽盆地构造框架与近垂直深反射地震剖面位置示意图

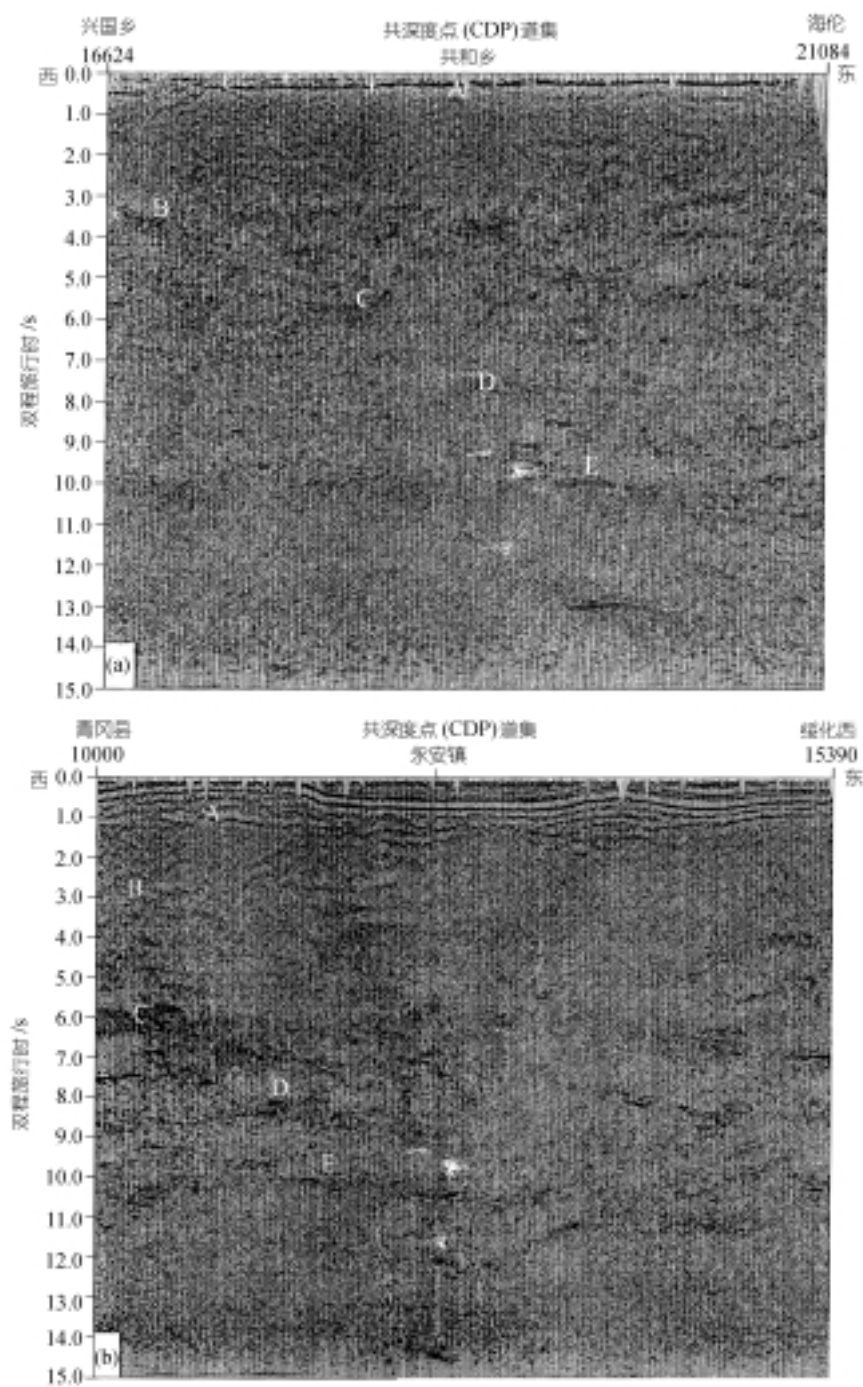
1 近垂直反射地震剖面与主要反射特征

针对上述4条近垂直反射地震剖面, 我们先后进行了静校正、动校正与叠加处理, 获得了这4条测线的叠加剖面. 通过利用II线上获取的平均纵波速度6.2 km/s, 进行了叠后偏移成像, 得到了这4条测线的叠后偏移剖面. 本文所展示的为松辽盆地隆起带域的偏移剖面图像(如图2(a)~(d)所示). 其中V线东侧剖面西端始于兴国土, 东端止于海伦附近(图2(a)); IV线东侧剖面西端始于青冈县, 东端止于绥化西(图2(b)); II线东侧剖面西端始于兰西县, 东端止于哈尔滨附近(图2(c)); III线东侧剖面北端始于杏山乡, 南端止于扶余附近(图2(d)). 值得注意的是, V线与IV线剖面位于东北隆起区, II线与III线剖面位于东南隆起区.

这些地震反射剖面上, 存在两组强地震反射震相. 其中, 第1组强反射(图中震相A)源自于结晶基底以上的沉积层, 第2组强反射震相(图中震相E)源自于地壳底部即上地幔顶部的莫霍界面. 除这两组强反射震相外, 尚存在另外3组在各剖面上响应不同的震相. 其中震相B为上地壳底部反射, 震相C为中地壳底部反射, 震相D为下地壳中的反射界面反射. 这些震相在4条剖面上特征各异. 整体上讲, 各条剖面上同相轴的连续性以及双程旅行时差异均表征这两大隆起区内南北与东西方向均变化剧烈.

各条剖面上同相轴的基本特点如下:

(1) 东北隆起区北部(V线东侧剖面, 图2(a)), 壳内反射清晰, 主要强震相为双程旅行时为9.6~11.0 s的莫霍界面反射. 以共和乡为界, 壳内反射图案具有明显的差异, 西段主要以层状反射为特征, 东段为倾角为10°左右的西向倾斜反射特征为主. 在莫霍界面反射上, 明显可



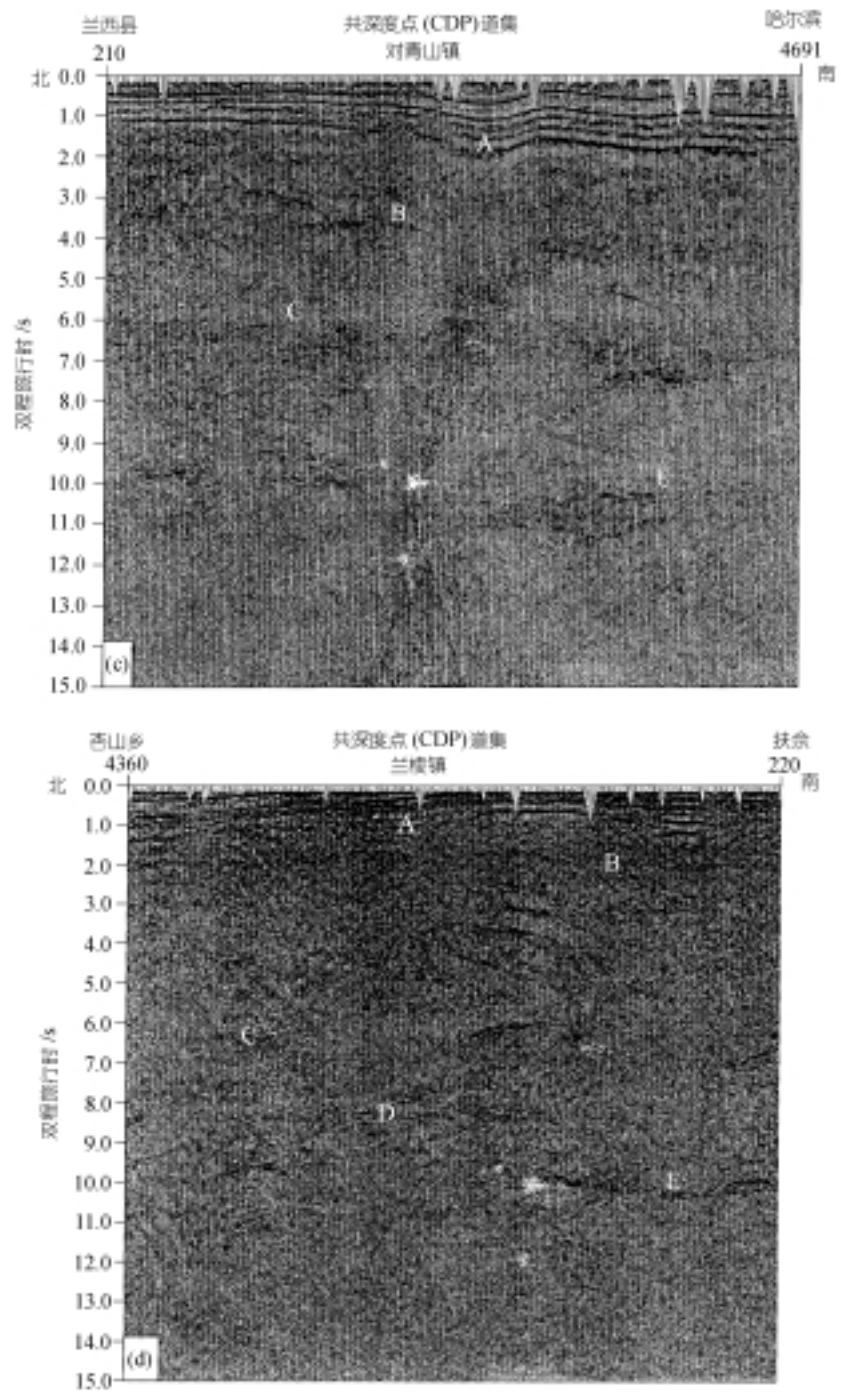


图 2 近垂直深反射叠后偏移剖面
(a) V线; (b) IV线; (c) II线; (d) III线

见由于莫霍界面断开所引起的绕射震相, 沉积厚度由西部的 0.5s 变薄至东部的 0.2s 左右.

(2) 东北隆起区内南部(Ⅳ线东侧剖面, 图 2(b)), 其沉积厚度明显厚于其北部(Ⅴ线), 沉积序列双程旅行时在 1s 以上. 反射图案以永安镇为界, 西段为中央拗陷区, 下地壳内反射震相发育, 莫霍界面双程旅行时为 9.9~10.8 s; 其东段莫霍界面反射震相连续性较差, 且存在由于莫霍界面断开所产生的系列绕射震相.

(3) 东南隆起区东部(Ⅱ线东侧剖面, 图 2(c)), 以对青山镇为界西(北)段地壳明显较之东(南)段薄, 沉积厚度西北段较之东南段薄, 且地壳厚度由北至南有增厚趋势, 西北段莫霍界面反射不发育, 东南段莫霍界面双程旅行时为 10.0~10.4 s 左右.

(4) 东南隆起区近南北向剖面(Ⅲ线, 图 2(d)), 以兰棱镇为界, 地壳反射图案具有明显差异, 北段反射较南段弱, 沉积厚度在 1.5 s 左右, 南段约为 1 s 左右. 上地壳反射较为透明, 莫霍界面双程旅行时均为 9.7 s 左右. 而南段具有多组强反射震相, 双程旅行时为 3~4 s, 6 s 出现强反射段, 莫霍界面双程旅行时为 10~10.3 s.

2 讨论

2.1 隆起区内地壳结构的复杂性

由以上 4 条叠偏剖面反射图案可见, 松辽盆地东南与东北隆起区内地壳结构非常复杂, 东西向、南北向平面上尽管从结晶基底以上整体上呈现出隆起区的特征, 中下地壳内在其中任一隆起内均呈现三大块区格局, 即东北隆起区内东部莫霍界面上的强间断面反射特征, 西部的交互层反射发育特征以及中部的岩浆囊局部反射与绕射特征. 东南隆起区内南部莫霍面具有强间断面反射特征, 而北段莫霍面反射不发育. 总之, 在这两大隆起区内, 地壳物质性质在深度方向上显示出强烈的非均一性, 壳内反射结构变化剧烈, 其复杂性远远超出国内外关于区域性壳内反射地震法研究的地壳反射结构变异程度^[5~10].

2.2 隆起区内的盆地沉积

由以上反射结构可知, 无论是东南隆起区还是东北隆起区, 在隆起大背景内均存在盆地沉积的特殊现象. 东北隆起区内(Ⅳ线)结晶基底双程反射旅行时为 1.0~1.4 s, 在共和乡附近达到最深, 沉积最厚. 东南隆起区内, Ⅱ线中结晶基底双程反射旅行时由 1.0~1.6 s, 在对青山镇附近出现厚的沉积; Ⅲ线上, 结晶基底双程反射旅行时为 0.8~1.4 s, 在兰棱镇附近存在厚的盆地沉积. 由此说明沉积层在东北隆起区内从西到东沉积厚度变薄, 从北到南变厚, 东南隆起区较东北隆起区沉积厚度大, 由北到南沉积厚度变薄. 在这两个构造单元内, 整体上表现出隆起特点, 但从西向北以及由北向南隆起的同时, 仍存在巨厚的盆地沉积. 这是由于松辽盆地作为大陆边缘地带的裂谷盆地, 在发生大规模拗陷的同时隆起区内所受构造应力场的变化以及地层物质的三维不均匀性, 产生和形成了隆起区内的盆地沉积. 这两个隆起区中部大都对应于深盆地沉积, 这体现了结晶地壳与盆地沉积基底之间的镜像关系^[6].

2.3 莫霍界面断开带与切过莫霍界面的反射特征

由上述 4 条剖面的莫霍界面反射不连续性以及可对比追踪的剪切断裂震相可知, 剖面中段均存在莫霍界面断开现象, 这些现象在平面上构成松辽盆地隆起区内莫霍界面断开带(图 3). 现有研究显示, 澳大利亚东部陆内盆地的莫霍界面反射切开了倾斜的下地壳反射^[10], 北美西海岸的莫霍界面反射振幅强且平缓^[11, 12]. 莫霍界面在构造上可以在数十公里范围内起伏数公

里,它可能是厚度可变、内部结构不同的壳幔过渡带,而松辽盆地隆起带的莫霍界面具有类似的特点,但莫霍界面反射断开带及其以不同方向切过它的系列反射是迄今为止所发现的最为特异的莫霍界面带特征之一。

综合这4条近垂直深反射叠后偏移剖面莫霍界面反射特征可知(图3):松辽盆地隆起区内,莫霍界面断开带在宽度上表现出南北宽、中间窄的特征。在断开带两侧,莫霍界面震相带基本清晰,但属性差异明显——东北隆起区内北东段莫霍界面反射强,而西段反射震相不发育;其南部,东段反射强,西段反射震相不发育;在东南隆起区内东段反射强,而西段以薄层过渡带反射为特征,而且东西段莫霍界面反射的双程旅行时,相差最大为0.5 s,最小为0.1 s(Ⅱ线);沿断开带,剪切断裂整体都比较复杂(数量和震相),东北隆起区内莫霍界面附近剪切断裂形态较复杂,东南隆起区内莫霍界面反射受断开带间互相影响较大。其中在V线上剪切断裂震相分布在莫霍界面反射上、下,并存在与莫霍界面相交的断裂震相,相反倾向的断裂间可构成弧形,最大视倾角约 22° ;在Ⅳ线上剪切断裂震相呈弯曲状(有可能是2个断裂所组成),东倾的断裂延伸短但反射振幅较强;在Ⅱ线上剪切断裂震相西倾的断裂延伸较长,两个倾向的断裂大多交汇于莫霍界面断开处;在Ⅲ线上剪切断裂震相东南倾向的断裂存在于莫霍界面之上、下以及与莫霍界面交汇,而且西北倾向断裂的反射能量弱于北倾的断裂。

总之,松辽盆地隆起区的结构与构造格局是松辽盆地经历多期次构造活动的结果。本文所展示的莫霍界面反射断开带及以不同方向切过它的系列反射即为这种多期构造事件的产物。其中,莫霍界面反射属性差异表征松辽盆地隆起区地壳是由多个微陆块拼贴而成,新生代的太平洋板块西向俯冲对本区构造演化具有重要的影响^[13~17]。古生代末期黑龙江微陆块间多期次弱陆块的碰撞运动引起上地幔物质上涌,但由于莫霍界面的“成熟度”^[4]不够,从而形成了本文近垂直反射剖面所揭示的松辽盆地隆起区内莫霍界面条带状断开带;而盆地内分布的玄武岩^[2]可能是由基性岩浆通过该莫霍断开带沿剪切带通道上升而形成的。

3 结论

通过对松辽盆地两个隆起区内4条近垂直反射地震剖面的处理,获得了双程旅行时为15 s的地壳反射图像。研究表明这两个隆起区内莫霍面的双程旅行时均为9.7~10.3 s,深度范围为29~35 km左右,地壳结构纵横向具有强烈的非均一性,上下地壳反射属性具有明显差异,且在这两个隆起带内具有一条宽约22 km的莫霍断开带,说明松辽盆地现今构造格局经历了多期次构造活动,而该盆地内分布的玄武岩可能是由基性岩浆沿着莫霍断开带的剪切带通道上升而形成的。

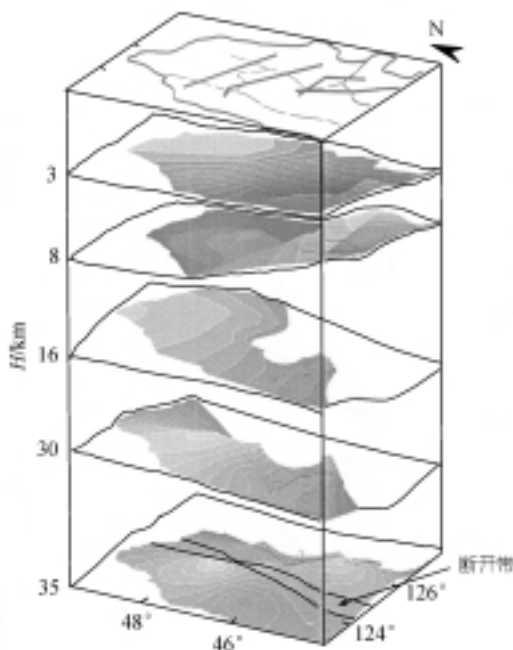


图3 松辽盆地隆起区地壳结构示意图

参 考 文 献

- 1 Lee K Y. Petroleum geology of the Songliao Basin, Northeast China. USGS Open File Report, USA, 1986
- 2 杨宝俊, 穆石敏, 金 旭, 等. 中国满洲里-绥芬河地学断面地球物理综合研究. 地球物理学报, 1996, 39(6): 772~782
- 3 杨宝俊, 刘 财, 杨平华, 等. 用近垂直反射地震反射方法研究莫霍面的特征与成因. 地球物理学报, 1999, 42(5): 617~628
- 4 杨宝俊. 在地学断面域内用地震学方法研究大陆地壳——以中国满洲里-绥芬河地学断面为例. 北京: 地质出版社, 1999
- 5 滕吉文, 张中杰, 白武明, 等. 岩石圈物理学. 北京: 科学出版社, 2002
- 6 Zhang Z, Yang L, Yu S, et al. Mirror image symmetry between sedimentary basin and consolidated crust in China. Geophysical Research Abstract, S2.06, Volume 4. EGS, Nice, France, 2002
- 7 Zhang Z, Wang G, Teng J, et al. CDP mapping to obtain the fine structure of the crust and upper mantle from seismic sounding data: an example for the southeastern China. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2000, 122(1~2): 133~146
- 8 Finlayson D M, Levon J H, Wake-Dyster K D. Large-scale lentils in the lower crust under an intra-continental basin in eastern Australia. In: Mereu R F, Mueller S, Fountain D M, ed. Properties and processes of earth's lower crust, Washington DC: American Geophysical Union, USA, 1989. 3~16
- 9 Brown L D. New map of crustal "terrenes" in the United States from COCORP deep seismic reflection profiling. Geophys J Int, 1991, 105: 3~13
- 10 Hammer P T C, Clowes R M. Moho reflectivity patterns——a comparison of Canadian LITHOPROBE transects. Tectonophysics, 1997, 269: 179~198
- 11 Mooney W D, Meissner R. Multi-genetic origin of crustal reflectivity: a review of seismic reflection profiling of the continental lower crust and Moho. In: Fountain D M, Arculus R, Kay R W, ed. Continental lower crust, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V, 1992. 45~80
- 12 Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Pale-geographic maps of the Japanese islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. The Island Arc, 1997, 6(1): 121~142
- 13 Yang B J, Liu C, Han L, et al. A study of detachment faults of the upper crust in Manzhouli-Suifenhe GGT by the method of vertical seismic reflection. In: Liu G, ed. Proceeding of 30th International Geological Congress, VSP, UTRECHT THE NETHERLANDS, 1997, 20: 51~61
- 14 高 山, 骆庭川, 张本仁, 等. 中国东部地壳的结构和组成. 中国科学, D 辑, 1999, 29(3): 204~213
- 15 滕吉文, 曾融生, 闫雅芬, 等. 东亚大陆及周边海域 Moho 界面深度分布和基本构造格局. 中国科学, D 辑, 2002, 32(2): 89~100
- 16 吴冲龙, 汪新庆, 刘 刚, 等. 抚顺盆地构造演化动力学研究. 中国科学, D 辑, 2001, 31(6): 477~485
- 17 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化. 中国科学, D 辑, 1998, 28(3): 193~200