

中国兴蒙—吉黑地区岩石圈结构基本特征

张兴洲 杨宝俊 吴福元 刘国兴

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:兴蒙—吉黑地区岩石圈由额尔古纳、兴安、松嫩和佳木斯 4 个古陆块及完达山中生代大陆边缘增生杂岩构成。Nd 同位素模式年龄显示,佳木斯陆块时代最老,1 500~2 200 Ma;额尔古纳陆块次之,1 000~1 600 Ma;兴安和松嫩陆块具有相同的 Nd 模式年龄,500~1 200 Ma。地球化学示踪分析表明,该区古生代时表层地壳的 Nd 同位素模式年龄以中元古代为主,而中生代花岗岩的 Nd 同位素模式年龄主要为新元古代,表明该区深部地壳的年龄较表层地壳的年龄年轻,显示出该区地壳具有下新上老的年龄结构。Os 同位素分析同时证明,该区岩石圈地幔也多表现为年轻性质。地震(V_p)速度结构显示,该区岩石圈结构在垂向上具有两个明显的特征:一是与传统意义上的地震岩石圈概念明显不同,该区岩石圈地幔的低速带没有稳定连续的顶界面,低速异常顶界面深浅不一,与高速异常体犬齿交错,某些构造单元之下的低速异常直达 Moho,但底界面却十分稳定,深度为 230~240 km;二是“立交式”速度结构,表现为在地壳范围内,速度等值线总体呈北东向展布;岩石圈地幔的速度等值线呈北北西—近南北向展布;低速异常圈层的速度等值线为近东西向展布。

关键词:兴蒙—吉黑地区;岩石圈结构

中图分类号:P313.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)04-0816-08

1 岩石圈单元的基本特征

兴蒙—吉黑地区处于西伯利亚板块、华北板块和西太平洋板块所挟持的东北亚大陆中部。在岩石圈单元尺度上,3 条浅源地震带和一条深源地震带基本上反映了该区作为一个整体与三大板块之间的关系(图 1)。其中,3 条浅源地震带所围限的中国东北、蒙古东部和俄罗斯布列亚地区是一个相对稳定的岩石圈单元,地震带的分布位置分别对应该区与华北板块、西伯利亚板块和鄂霍次克海板块之间的拼合带位置也充分说明了这一点。从地震活动强度和频次上,华北板块北缘带最弱,蒙古—鄂霍次克带次之,鄂霍次克海板块西南缘带最强。这似乎反映出出现代地震活动对古拼合构造的继承性,古拼合带的时间越新,地震活动性越强烈。鄂霍次克海板块东缘——中国珲春一线的深源地震带与西太平洋板块的俯冲相关,它反映了该区现今岩石圈单元作为一个整体受西太平洋板块俯冲影响所波及的深度和范围。

1998 年,中国满洲里—绥芬河地学断面项目^[1]首次通过多学科方法对中国东北地区深及上地幔的岩石圈结构及物

质组成进行了系统研究和总结,提出东北地区岩石圈板块由额尔古纳—兴安、松嫩—张广才岭和佳木斯等微板块拼合而成,并用“壅冰模型”概念解释了微板块的拼合过程和动力学机制。这一成果成为兴蒙—吉黑地区岩石圈结构与演化研究的重要基础。在此基础上,笔者结合近几年的研究,从岩石圈结构研究角度编制了东北及邻区构造单元图(图 2)。由于微板块和地块常具有很明确的地质构造意义,采用陆块术语称谓该区的构造单元。

大地构造背景上,该区涉及到华北板块以北,鄂霍次克构造带以南,东至锡霍特阿林山脉的广大地区。中国境内的额尔古纳—兴安陆块向北与俄罗斯境内的岗仁陆块相连,松嫩陆块向北与马门陆块相连,佳木斯陆块向北与狭义的布列亚陆块(图兰陆块)相连,完达山增生杂岩是锡霍特阿林增生杂岩带的一部分。在中国境内,这 4 个构造单元的地壳厚度存在明显的差异,分别为 41~38 km,36~29 km,39~37 km 和 35 km;单元之间在地表出露有以蓝片岩和蛇绿岩为代表的碰撞拼合证据^[2-3],其深部对应出现明显的 Moho 间断^[1]。

构造特征上,各基底构造单元的总体走向东、西有别,表

收稿日期:2006-07-22;改回日期:2006-08-02

基金项目:国土资源部重点科技专项计划项目(200010103)资助。

作者简介:张兴洲,男,1954 年生,教授,从事岩石圈结构及构造地质学研究;E-mail:xzzhang@jlu.edu.cn。

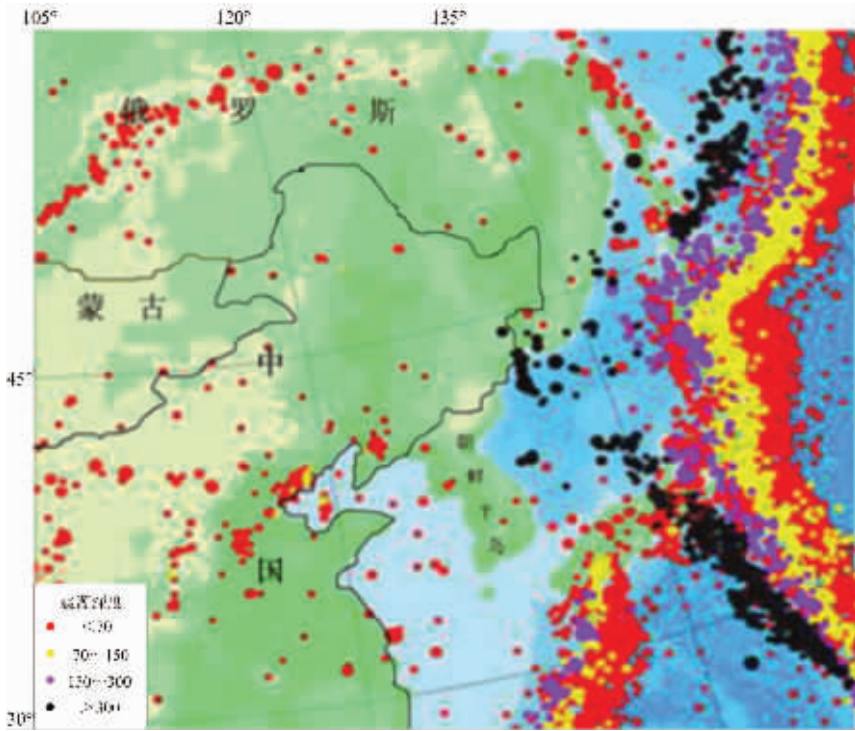


图 1 中国东部及周边地区天然地震震中分布图

Fig.1 Epicenter distribution in eastern China and its surrounding areas

现在以黑河—嫩江—扎赉特断裂带(大兴安岭重力梯度带东缘)为界,以西的额尔古纳—兴安陆块呈北东向展布,而以东的松嫩、佳木斯陆块和完达山增生杂岩带呈近南北向展布。这一特点在岩石圈尺度上也有明显的反映,表现在东部和西部岩石圈及地壳厚度的明显不同。西部岩石圈与地壳厚度分别为 100~110 km 和 38~41 km,而东部分别减薄至 60~80 km 和 36~29 km。各基底单元性质和岩石圈结构的不同,对上叠的中—新生代盆地结构与类型有着明显的制约作用,西部单元之上的盆地以断陷为主;中部单元之上的盆地为断陷—拗陷双层结构;东部为复合基底,之上的盆地改造强烈。虽然东部和西部的盆地结构类型明显不同,但从其展布方向均以北东向为主,且之下对应软流圈和莫霍隆起来分析,该区北东向主体构造的形成与岩石圈深部作用过程有着密切的关系。

额尔古纳—兴安陆块主要由前古生界变质岩系和古生界盖层组成。古生界沉积厚度巨大,且由西向东岩相带明显,构造活动性逐渐增强,在其东缘沿黑河—扎赉特—贺根山一线发育一条巨型造山后 A 型花岗岩带,锆石年龄 292~260 Ma。

松嫩陆块虽然大面积被松辽盆地覆盖,但大量的钻孔资料证实,其基底组成与周边小兴安岭和张广才岭基岩出露区基本一致。最明显的特征是大面积分布的时代为 230~160 Ma 的印支—燕山期花岗岩。虽然近 300 口钻井未能揭示松辽盆地基底中是否存在有大面积的前寒武系,但普遍存在印支—

燕山期花岗岩和较大面积的上古生界是无疑的。古生界主要是具有接触变质和动力变质作用特点的角岩、板岩和片理化岩石,含堇青石或红柱石的板岩及千枚岩等的全岩 Rb—Sr 等时线年龄为 230~192 Ma。

佳木斯陆块是东北地区一个十分重要的构造单元。上世纪 90 年代前的研究一直认为,该陆块主要由太古代的麻山群、元古代的黑龙江群两套变质地层和大面积的元古代花岗质岩石组成。然而 90 年代初的一系列研究证明^[2-3],佳木斯陆块中所谓的黑龙江群是一套含有解体蛇绿岩残块,并遭受了高压变质作用的构造混杂岩;而麻山群中的麻粒岩相变质作用时代不是发生在太古代,而是早古生代(500~520 Ma)^[4];佳木斯陆块中以前认为属古—中元古代的花岗质岩石也有相当一部分为晚古生代^[5]。

完达山杂岩是锡霍特阿林侏罗纪增生杂岩的一部分,主要由超镁铁质—镁铁质岩、枕状玄武岩及放射虫硅质岩组成(时代属中晚三叠—早中侏罗世)。康宝祥等^[6]和黑龙江区域地质志^[7]认为,这套岩石组合应为蛇绿岩^[6-7],而邵济安等^[8-9]、张庆龙等^[10]把它们作为外来地体,但它们代表当时的布列亚—佳木斯—兴凯陆块东缘为活动大陆边缘环境是确定的。

2 兴蒙—吉黑地区岩石圈化学结构

2.1 岩石圈结构单元的地球化学示踪对比

前寒武系 Nd 同位素成分显示(图 3),华北板块与东北地

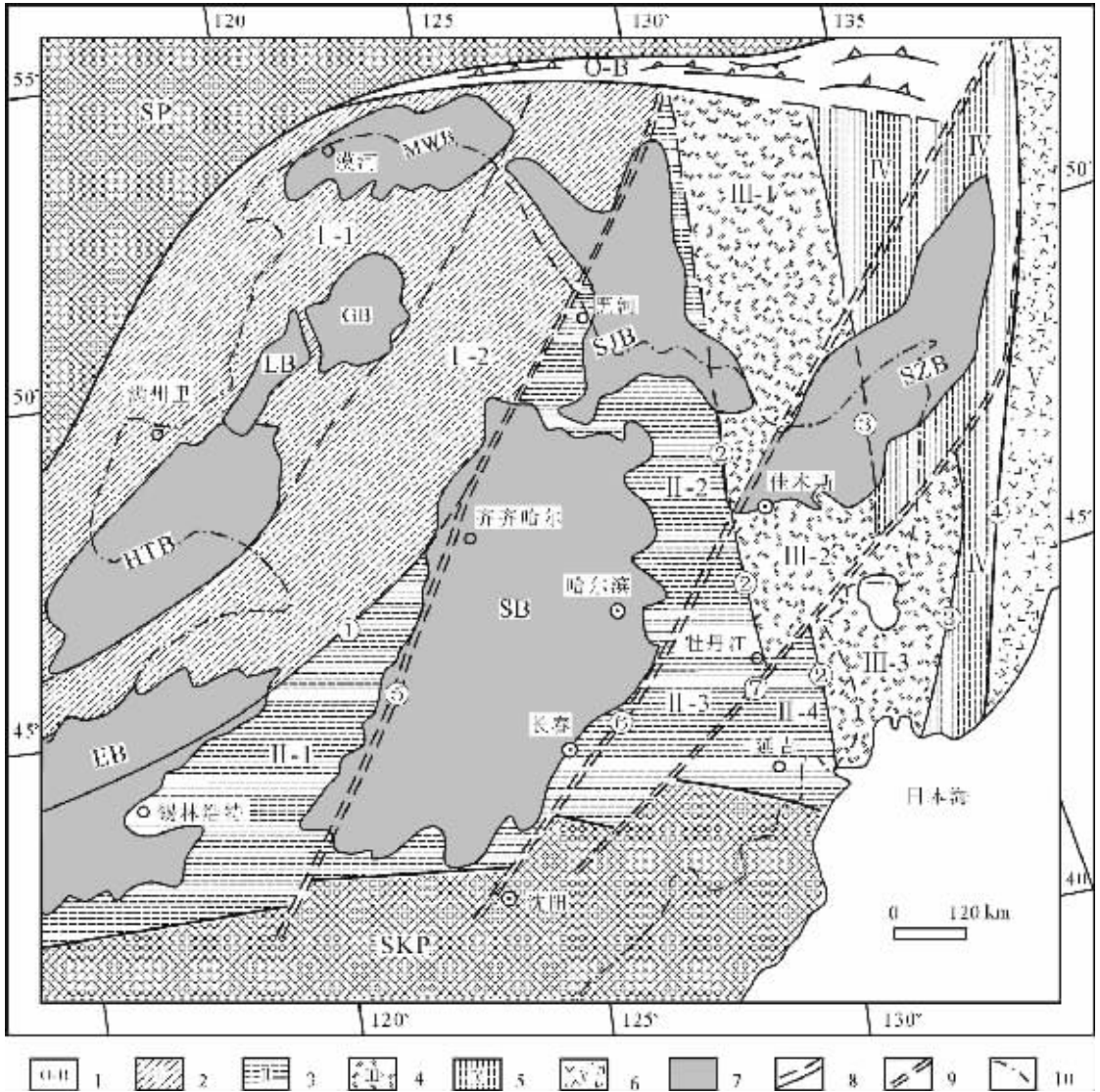


图2 兴蒙—吉黑地区岩石圈构造单元

- 1—鄂霍次克构造带;2—额尔古纳—兴安陆块: I-1 额尔古纳陆块; I-2 兴安陆块;3—锡林浩特—松嫩陆块: II-1—锡林浩特陆块; II-2—松嫩陆块; II-3—张广才岭陆块; II-4—老谷岭陆块;4—布列亚—佳木斯陆块; III-1—布列亚陆块; III-2—佳木斯陆块; III-3—兴凯陆块;5—侏罗纪增生杂岩;6—白垩纪大陆边缘浊积岩及火山岩;7—中生代盆地;8—古拼贴带;9—中—新生代伸展走滑构造带;10—国界;SP 西伯利亚板块;SKB 中朝板块; HTB—海拉尔—塔姆察格盆地;LB—拉布达林盆地;GB—根河盆地;MWB—漠河—乌舒蒙盆地; SJB—孙吴—结雅盆地;SZB—三江—中阿穆尔盆地;①—嫩江—扎莱图—贺根山拼合带;②—牡丹江拼合带;③—锡霍特阿林拼合带; ④—锡霍特阿林中央构造带;⑤—嫩江—开鲁断裂带;⑥—佳木斯—伊通断裂带;⑦—敦化—密山断裂带

Fig.2 Lithospheric tectonic units in the Hingmong-Jihei region and its adjacent regions.

- 1—Okhotsk tectonic belt; 2—Ergun-Hinggan block: I-1—Ergun block; I-2—Hinggan block; 3—Xilinhot-Songnen (Songhuajiang and Nenjiang rivers) block; II-1—Xilinhotblock; II-2—Songnen block; II-3—Zhangguangcailing block; II-4—Laoyeling block; 4—Bureya-Jiamusi block; III-1—Bureya block; III-2—Jiamusi block; III-3—Xingkai block; 5—Jurassic accretionary complex; 6—Cretaceous continental-margin turbidite and volcanic rocks; 7—Meso-Cenozoic basin; 8—Ancient amalgamation zone; 9—Meso-Cenozoic extensional strike-slip tectonic belt; 10—National boundary; SP—Siberian plate; SKB—Sino-Korean plate; HTB—Hailar-Tamsag basin; LB—Labudalin basin; GB—Genhe basin; MWB—Mohe-Wusumeng basin; SJB—Sunwu-Jiyea basin; SZB—Sanjiang-Central Amur basin. ①—Nenjiang-Zalait-Hegenshan assembly belt; ②—Mudanjiang assembly belt; ③—Sikhote-Alin assembly belt; ④—Sikhote-Alin Central tectonic belt; ⑤—Nenjiang-Kailu fault belt; ⑥—Jiamusi-Yitong fault belt; ⑦—Dunhua-Mishan fault belt

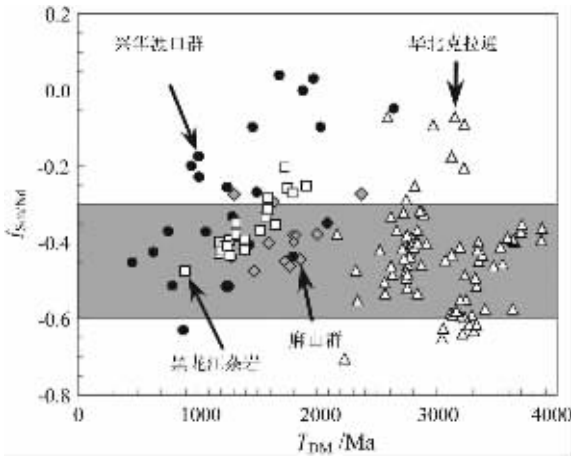


图 3 兴蒙—吉黑地区前寒武纪地层岩石的 Nd 同位素成分
Fig.3 Nd isotopic composition of Precambrian rocks in the Hingmong-Jihe region and its adjacent regions

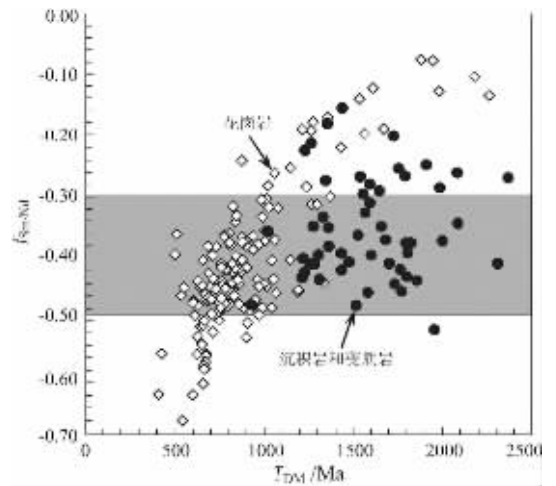


图 5 东北地区花岗岩与表壳岩石的 Nd 同位素模式年龄
Fig.5 Nd isotope model ages of granites and supracrustal rocks in northeastern China

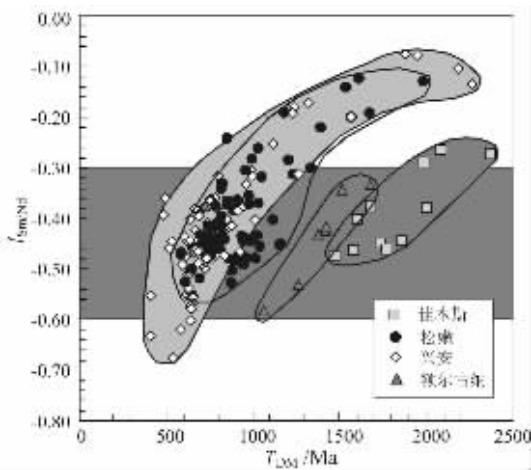


图 4 兴蒙—吉黑地区不同块体壳源岩石的 Nd 同位素特征
Fig.4 Nd isotope features of crust-derived rocks of different blocks in the Hingmong-Jihe region and its adjacent regions

区完全不同。这一结果排除了东北某些陆块是从华北板块分裂出来的传统认识。对东北地区不同单元壳源岩石的 Nd 同位素分析结果表明(图 4),兴安陆块和松嫩陆块具有相同的 Nd 模式年龄,且时代较新,而佳木斯陆块和额尔古纳陆块分别不同,且具有时代较老的 Nd 模式年龄。表明佳木斯陆块、额尔古纳陆块和兴安—松嫩陆块具有不同的早期演化历史。

2.2 各单元岩石圈的垂向化学结构

根据陆壳岩石的 Sm-Nd 模式年龄(T_{DM})大体反映其与地幔分离的时代(地壳形成年龄)这一地球化学基本原理,作为一级近似,地表沉积岩的模式年龄(T_{DM})应代表它沉积时表

层地壳的平均年龄,而深部地壳来源的岩石,如花岗岩模式年龄(T_{DM})应大体代表其来源区地壳的年代。据此,对东北地区目前积累的花岗岩(主要为中生代)和沉积岩(主要为古生代地层)的 Nd 模式年龄资料进行了分析(图 5),结果显示,该区出露的沉积岩和长英质变质岩具有基本相同的 Nd 同位素组成,反映古生代时表层地壳的年龄以中元古代为主;而形成于中生代的花岗岩 Nd 模式年龄所反映的源区地壳年代主要为新元古代。这表明,由花岗岩反映的深部地壳年龄比表层地壳年龄轻,显示出该区地壳年龄结构具有下新上老的特点。这一特点不仅在本区表现较为明显,在欧洲的海西造山带和中国其他地区的造山带中也同样有清楚的表现。

上述特点说明,在花岗岩形成之前,东北地区已基本完成了造山作用的历史,大面积花岗岩的形成主要与造山后伸展作用有关。

2.3 岩石圈地幔的厚度与年代

东北地区新生代玄武岩极为发育,这些玄武岩多数都含有幔源的橄榄岩包体,为讨论岩石圈地幔的形成演化提供了重要信息。根据目前掌握的资料,橄榄岩包体均为尖晶石相橄榄岩,尚未发现石榴石相橄榄岩包体。因此,根据实验岩石学资料,橄榄岩中尖晶石向石榴石转变的深度在 70~80 km,推测本区岩石圈的厚度应在 70~80 km,这一认识与大兴安岭重力梯度带以东地区的地球物理探测结果基本是一致的。

为了解该区岩石圈地幔的特点,对本区双辽和汪清地区新生代玄武岩中的橄榄岩包体进行了 O_8 同位素测试,同时还测定了与本区毗连的华北板块龙岗新生代玄武岩中的包体。结果显示,汪清地区的橄榄岩包体明显具有显生宙成因的特点(图 6),而双辽和龙岗地区的情况类似,部分样品具有元古宙的年龄。由于这些包体均为尖晶石相,形成深度应

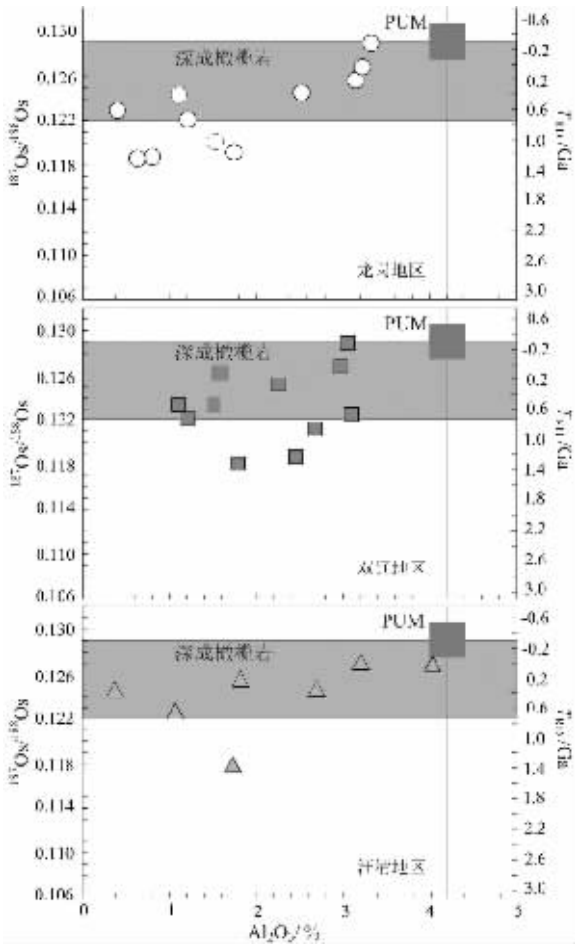


图6 兴蒙—吉黑地区新生代玄武岩中地幔橄榄岩 Os 同位素特征

Fig.6 Os isotope features of mantle peridotites in Cenozoic basalts in the Hingmong-Jihe region and its adjacent regions

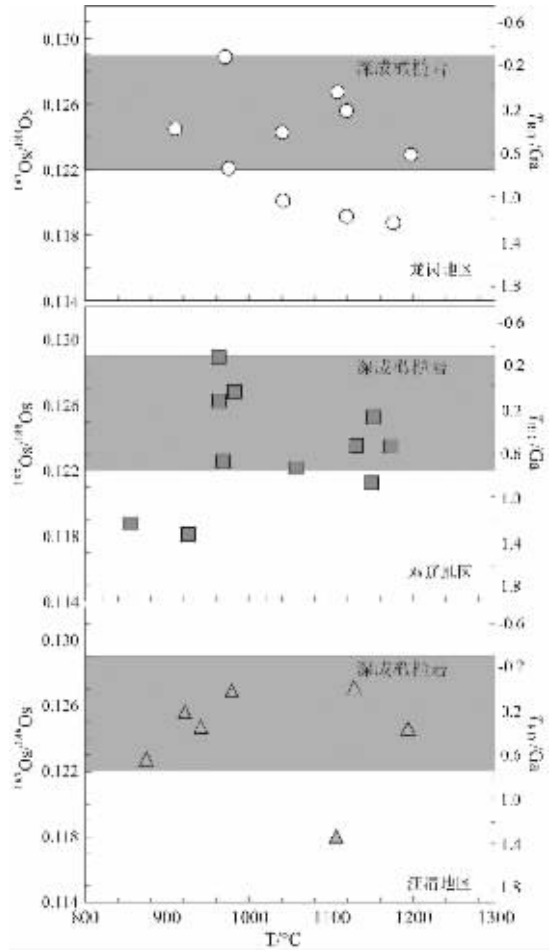


图7 兴蒙—吉黑地区岩石圈地幔年代与深度剖面
Fig.7 Relations of lithospheric mantle ages with depths in the Hingmong-Jihe region and its adjacent regions

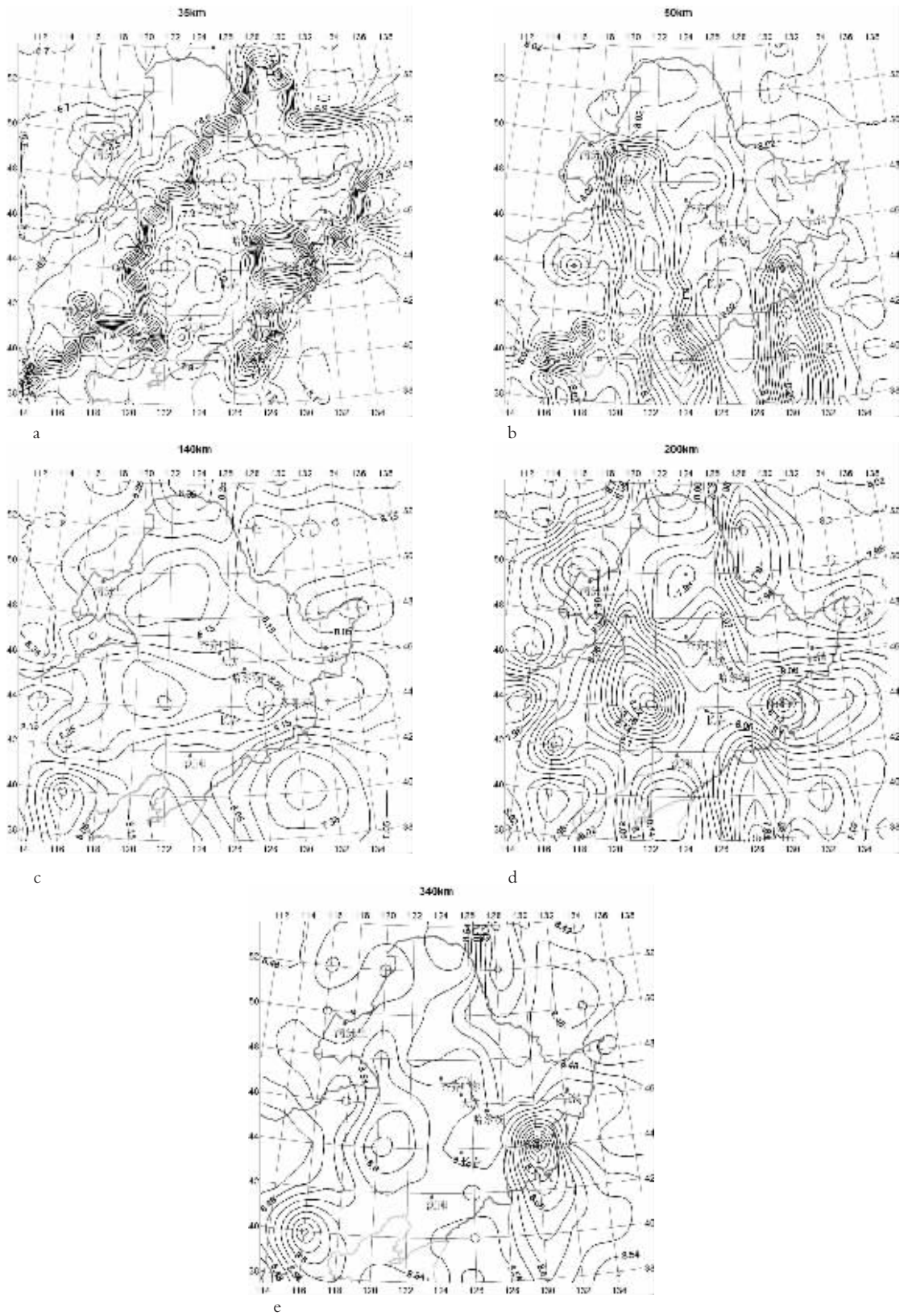
基本相同,说明它们在空间分布上不具层性。温度与年龄的关系也证明了这一点(图7),即3个地区的地幔岩时代并不随温度升高(即深度加大)出现规律性的变化。这些特点表明,第一,该区岩石圈地幔的年代以显生宙为主,不同年龄的地幔与深度不存在相关性,即岩石圈地幔在整体上表现为新生特点,但内部存在较老(元古宙)的地幔碎块或夹层;第二,岩石圈地幔的年代与上覆地壳的年龄并不一致。位于华北板块中的龙岗地块,其地壳形成于太古宙,但橄榄岩包体并未显示任何太古宙的痕迹。兴蒙—吉黑地区的情况与其类似,尽管地壳以元古宙为主,但地幔却是显生宙的,表现为新生性质。对上述特征最理想的解释是,早期形成的岩石圈地幔已发生拆沉或被新生的岩石圈所取代。

3 岩石圈速度结构特征

兴蒙—吉黑地区的岩石圈速度结构与传统意义上的地

震岩石圈概念明显不同,突出表现在岩石圈地幔的低速带没有稳定连续的顶界面,但底界面却十分稳定,深度为230~240 km。低速异常顶界面深浅不一,与高速异常体犬牙交错,某些构造单元之下的低速异常直达 Moho。如果高速异常体代表早期的岩石圈地幔,低速异常代表新生的岩石圈地幔的话,那么就反映了一种新生地幔对早期地幔的取代。这一特点与地球化学结果是一致的。

该区岩石圈(V_p)速度结构的另一特点是,垂向上具有“立交式”速度结构。表现为在地壳范围内,速度等值线总体呈北东向展布,与地表地质构造单元展布方向一致(图8-a);在45~90 km深度,岩石圈地幔的速度等值线呈北北西—近南北北向展布,两个长达数百千米的高速条带分别处于松辽盆地东、西两侧(图8-b);90~240 km深度为低速异常圈层($V_p=8.0\sim 8.2$ km/s),但速度等值线形态分上下两种类型:上部(90~170 km)速度等值线为近东西向展布(图8-c);下部



(170~240 km)速度等值线呈相对均匀的环状分布(图 8-d); 240~400 km 深度,为稳定的速度递增圈层。值得注意的是,这一层圈在 340~400 km 深处出现环形高速异常体(图 8-e),西部高速异常体的位置对应大兴安岭重力梯度带,东部异常体的位置与中国陆内唯一的珲春深源地震区相对应。

4 岩石圈结构的形成与动力学演化

地质和地球物理资料表明,兴安—吉黑地区诸多陆块在晚二叠世前已拼合成一体,作为一个统一的古陆块,先后于晚二叠世和中侏罗世,完成了与华北板块和西伯利亚板块的拼贴碰撞过程,南北会聚作用导致该区地壳增厚缩短,形成了晚二叠—早三叠世陆相磨拉石和中性火山岩建造,以及一系列近东西向展布的早—中侏罗世含煤盆地。晚侏罗世,该区除东部大陆边缘有地体增生外,全区处于隆升剥蚀状态,造成晚侏罗世地层的缺失。早白垩世,西太平洋板块对该区大陆边缘的斜向俯冲作用,导致中国东部大规模北东向左行走滑、伸展断陷盆地和大规模火山岩的形成。从该区现今岩石圈的垂向速度结构分析,低速圈层(软流圈)的上涌和东西向流动导致对之上早期岩石圈地幔的蚕食,并使之向两侧伸展或向下拆沉,造就了该区“立交式”的岩石圈速度结构,古近纪以来该区大规模的断陷构造及玄武岩的形成与之有关。在大兴安岭重力梯度带和珲春之下出现的环形高速异常体,可能分别代表了中生代和新生代俯冲大洋板块的残余,珲春之下的高速异常体内频繁的深源地震说明,现代太平洋板块对该区仍有直接的影响。

参考文献(References):

- [1] 张贻侠,孙运生,张兴洲,等. 中国满洲里—绥芬河地学断面[M]. 北京:地质出版社,1998.
Zhang Yixie, Sun Yunsheng, Zhang Xingzhou, et al. Manzhouli—Suifenhe Geoscience Transect, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998(in Chinese).
- [2] 张兴洲, Sklyarov E V. 中国东北及邻区蓝片岩带的构造意义[A]. 见: 长春地质学院地质研究所文集 [C]. 北京: 地震出版社, 1992. 99~106.
Zhang Xingzhou, Sklyarov E V. Tectonic significance of blueschist belts in Northeast and its adjacent areas [A]. In: Contributions to Geological Research of the Changchun College of Geology [C]. Beijing: Seismological Press, 1992.99~106(in Chinese).
- [3] 曹熹, 党增欣, 张兴洲, 等. 佳木斯复合地体[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2002.
Cao Xi, Dang Zengxin, Zhang Xingzhou, et al. Jiamusi Composite Terrane [M]. Changchun: Jilin Scientific and Technological Press, 2002(in Chinese).
- [4] Wilde S A, Zhang Xingzhou, Wu Fuyuan. Extension of a newly identified 500Ma metamorphic terrane in North East China; further U—Pb SHRIMP dating of the Mashan Complex, Heilongjiang Province, China[J]. Tectonophysics, 2000, 328: 115~130.
- [5] 吴福元, Wilde S A, 孙德有. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U—Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2001, 17: 443~452.
Wu Fuyan, Wilde S, Sun Deyou. Zircon SHRIMP U—Pb ages of gneissic granites in Jiamusi massif, northeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17: 443~452 (in Chinese with English abstract).
- [6] 康宝祥, 张海骅. 那丹哈达岭饶河蛇绿岩及其地质意义 [J]. 黑龙江地质, 1990, (1): 3~18.
Kang Baoxiang, Zhang Hairi. The ophiolites and its geological significance in Raohou, Nadanhada [J]. Geology of Heilongjiang, 1990, (1): 3~18(in Chinese with English abstract).
- [7] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [8] 邵济安, 唐克东, 王成源, 等. 那丹哈达地体的构造特征及演化[J]. 中国科学(B 辑), 1991, (7): 744~751.
Shao Jian, Tang Kedong, Wang Chengyuan, et al. The Nadanhada terrane and evolution[J]. Science in China(Ser.B), 1991, (7): 744~751 (in Chinese).
- [9] 水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系[J]. 地质学报, 1989, 63(3): 204~215.
Mizutani S, Shao Jian, Zhang Qinglong. The relationship of the Nadanhada terrane and Mesozoic structure of continental margin in East Asia[J]. Acta Geologica Sinica, 1989, 63(3): 204~215(in Chinese with English abstract).
- [10] 张庆龙, 水谷伸治郎, 小岛智, 等. 黑龙江省那丹哈达地体构造初探[J]. 地质论评, 1989, 35(1): 67~71.
Zhang Qinglong, Mizutani S, Kojima S, et al. The Nadanhada terrane in Heilongjiang Province [J]. Geological Review, 1989, 35 (1): 67~71(in Chinese with English abstract).

The lithosphere structure in the Hingmong–Jihe (Hinggan–Mongolia–Jilin–Heilongjiang) region, northeastern China

ZHANG Xing-zhou, YANG Bao-jun, WU Fu-yuan, LIU Guo-xing

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: The lithosphere beneath the Hingmong–Jihe (Hinggan–Mongolia–Jilin–Heilongjiang) region, northeastern China, is composed of the Ergun, Hinggan, Songneng and Jiamusi continental blocks and Mesozoic Wandashan accretionary complex. Nd isotope model ages indicate that: the Nd model age of the Jiamusi block is oldest, being 1500–2200 Ma; the age of the Ergun block comes next, being 1000–1600 Ma; and the Hinggan block and Songnen block have the same Nd model age, ranging from 500 to 1200 Ma. Geochemical tracing analysis indicates that the Nd isotope model age of Paleozoic supracrustal rocks is dominantly Mesoproterozoic, while that of Mesozoic granites is mainly Neoproterozoic. Therefore, it is concluded that the deep level of the crust is younger than the surficial level of the crust, indicating that the crust in the region has an age structure of being younger in the lower part and older in the upper part. The Os isotope analysis also indicates that the lithospheric mantle in this region also shows the younger character. The seismic (V_p) velocity structure shows that vertically the lithospheric structure in the region has the following two prominent features: (1) notably different from the traditional concept of the seismic lithosphere, the low-velocity zone of the lithospheric mantle has no persistent and continuous top interface which the low-velocity anomalous top is highly varied in depth and interlocks with the high-velocity anomalous bodies, and the low-velocity anomalies below some tectonic units may reach the Moho but the bottom interface occurring at 230–240 km depth is very persistent; and (2) the “overpass-type” velocity structure is manifested by the following: the velocity contours are generally distributed in a NE direction in the crust, in a NNW–NS direction in the lithospheric mantle and in a nearly E–W direction in the low-velocity anomaly asthenosphere.

Key words: Hingmong–Jihe (Hinggan–Mongolia–Jilin–Heilongjiang) region; lithospheric structure

About the first author: ZHANG Xing-zhou, born in 1954, male, professor, engages in the study of the lithospheric structure and structural geology and tectonics; E-mail: xzzhang@jlu.edu.cn.