



内蒙古索伦地区晚古生代沉积构造背景 ——来自上二叠统哲斯组碎屑锆石年代学的制约

李雨柯¹, 张德军², 韩科胤¹, 曹 会¹, 温秋园¹, 任传涛¹, 邹常伟¹, 王 群¹

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157000;

2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 上二叠统哲斯组广泛出露于东北地区南部, 主要由砂岩、泥岩、灰岩、页岩组成, 含腕足、苔藓虫和腹足化石。对内蒙古索伦地区的哲斯组中粗粒长石岩屑砂岩和中细粒长石砂岩样品进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 数据记录了 4 个年龄区间: $(265\pm 2)\sim(348\pm 8)$ Ma, 峰值年龄为 (272 ± 2) Ma; $(358\pm 3)\sim(453\pm 4)$ Ma, 峰值年龄 (403 ± 3) Ma; $(470\pm 6)\sim(555\pm 4)$ Ma, 峰值年龄为 (511 ± 3) Ma; 剩余的前寒武纪锆石 (693 ± 7) Ma, (834 ± 9) Ma, (854 ± 6) Ma, (886 ± 5) Ma, $(1\ 175\pm 7)$ Ma, $(1\ 440\pm 8)$ Ma, $(1\ 748\pm 17)$ Ma 和 $(2\ 150\pm 13)$ Ma。其中峰值年龄为 272 Ma 的锆石年龄占绝对优势(达到 51%), 并与大石寨组火山岩和北侧的岛弧岩浆岩一致, 403 Ma 和 511 Ma 峰值年龄为东北地区泛非期变质杂岩的年龄范围, 其余古老年代也均为大兴安岭变质基底的年龄范围。上述年龄特征显示, 哲斯组物源主要来自相邻地区分布的早古生代岛弧火山岩, 少量来自东北相邻地块的变质基底。鉴于东北地区哲斯组分布范围广, 岩性多为碳酸岩和碎屑岩, 古生物化石保存完整, 沉积环境稳定, 证明哲斯组应为大陆边缘沉积。

关键词: 哲斯组; 碎屑锆石; 沉积环境; 物源区; 地质年代学; 内蒙古

LATE PALEOZOIC SEDIMENTARY TECTONIC SETTING IN SUOLUN AREA OF INNER MONGOLIA: Evidence from the Detrital Zircon Chronology of Upper Permian Zhesi Formation

LI Yu-ke¹, ZHANG De-jun², HAN Ke-yin¹, CAO Hui¹, WEN Qiu-yuan¹,
REN Chuan-tao¹, ZOU Chang-wei¹, WANG Qun¹

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157000, Heilongjiang Province, China;

2. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: The Upper Permian Zhesi Formation widely distributed in the southern Northeast China is mainly composed of sandstone, mudstone, limestone and shale, and contains brachiopod, bryozoan and gastropod fossils. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of medium-coarse feldspar lithic sandstone and fine-medium feldspar sandstone samples from Zhesi Formation in Suolun area of Inner Mongolia records four groups of age range, among which the zircons with the peak age of 272 Ma are predominant (51%) and consistent with the volcanic rocks of Dashizhai Formation and the island-arc magmatic rocks on the north, the peak ages of 403 Ma and 511 Ma are in the age range of Pan-African

收稿日期: 2021-05-20; 修回日期: 2021-08-28. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家发改委油气专项“松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区”(14B09XQ1021).

作者简介: 李雨柯(1986—), 男, 硕士, 工程师, 从事遥感地质和构造地质研究工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail//34303218@qq.com

通信作者: 张德军(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事油气地质研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//532413639@qq.com 532413639@qq.com

metamorphic complex in Northeast China and the other ancient ages are also covered by the age range of Daxinganling metamorphic basement. The above age characteristics indicate that the sources of Zhesi Formation are mainly the Early Paleozoic island-arc volcanic rocks distributed in adjacent areas, with a few from the metamorphic basement of northeast adjacent blocks. Considering the wide distribution of Zhesi Formation in Northeast China with mostly carbonate and clastic rocks, the well-preserved paleontological fossils and stable sedimentary environment, it is proved that Zhesi Formation should be continental margin deposits.

Key words: Zhesi Formation; detrital zircon; sedimentary environment; provenance area; geochronology; Inner Mongolia

作为油气勘探的新领域,东北地区南部上古生界越来越受到地学界的重视^[1-4]。目前对该时期重要地层哲斯组沉积环境一直存在较大争议:一种观点认为该时期发育构造裂谷带,为古亚洲洋闭合造山后伸展的活动产物^[5-6];一种认为受古亚洲洋南支双向俯冲作用影响显著^[7];或认为哲斯组应形成于古亚洲洋南支向佳蒙地块俯冲形成的弧后或弧间盆地环境^[8];还有一种观点认为中二叠世该地区存在一个足够宽的深海洋盆,具有稳定的陆缘沉积环境^[4]。本文选取内蒙古索伦地区哲斯组为研究对象,通过获取年龄谱信息限定哲斯组的沉积时代,进而讨论该沉积岩的物源区性质,以期为研究区哲斯组沉积环境研究提供科学依据。

1 地质概况及样品采集

研究区位于内蒙古自治区东部索伦地区。区内石炭系一二叠系地层广泛发育,自下而上依次为本巴图组(C_2b)、阿木山组(C_2-P_1a)、大石寨组(P_1d)、哲斯组(P_2)和林西组(P_3l)。本巴图组主要出露于锡林浩特至磐石一带,岩性包括杂砂岩、长石砂岩和石英砂岩以及板岩夹钙质和凝灰质组分。阿木山组在阿鲁科尔沁旗南部、西乌珠穆沁旗南部、阿巴嘎旗南部等地区大范围出露,为一套碳酸盐岩和碎屑岩组合。大石寨组在乌兰浩特、锡林浩特、扎鲁特旗等地呈带状分布,为一套基性、中酸性火山岩和凝灰岩夹酸性火山熔岩组合。作为本文的研究对象哲斯组,传统上认为该组地层呈面形分布在西乌珠穆沁旗至锡林浩特一带,包括西乌珠穆沁旗、索伦、东乌珠穆沁旗和乌兰浩特等地,岩石主体由碎屑岩和碳酸岩组成,典型剖面见西乌珠穆沁旗和索伦地区,分为上下两段,分别代表不同的沉积旋回,时代被定为中二叠世,与下伏的林西组碎屑岩不整

合接触。

样品采自科尔沁右翼前旗索伦镇好仁乡小三家子-哈拉根台哲斯组剖面(图1)。该区包括完整的哲斯组层位,分为上下段:下段自下而上由厚层的灰岩、泥岩过渡到砂岩和薄层的含砾砂岩,反映沉积环境从浅海碳酸盐台地到三角洲的变化;上段包括粉砂岩、页岩、泥岩和灰岩,与下段相同,也构成由浅海相碎屑岩、碳酸盐岩到三角洲相碎屑岩沉积的大旋回,同样反映了海平面进一步下降的过程。同时在剖面上发现有代表性的 *Yakovlevia* 和 *Recharewia* 等腕足动物化石,这些都与前人资料相当。

用于测年的样品岩性为中粗粒长石岩屑砂岩(ZJB-5)和中细粒长石砂岩(ZJB-7),分别采自剖面的上段($46^{\circ}33.283'N, 121^{\circ}21.928'E$)和下段($46^{\circ}31.488'N, 121^{\circ}23.350'E$)。岩石样品 ZJB-5 呈黄绿色,中粗粒碎屑结构,主要由长石(约占40%)、岩屑(约30%)和石英(约30%)组成。长石类型包括可见聚片双晶的斜长石和发育条带的条纹长石,呈次棱角状一次圆状,部分长石有裂纹,少数边部出现绢云母化,粒度0.2~0.5 mm。岩屑成分复杂,主要为安山质碎屑,有少量凝灰质岩屑,粒度多集中在0.3~0.7 mm,少数可达到1 mm,矿物形态各异,棱角鲜明。石英粒度介于0.2~0.5 mm之间,部分可见波状消光。岩石整体为颗粒支撑,泥质、钙质胶结,矿物分选和磨圆较差,且长石和岩屑成分复杂,显示出近源快速堆积和物源区多样的特征。测年样品 ZJB-7 呈现土黄色,中细粒结构,成分为长石(约40%)、石英(约40%)和岩屑(约20%),长石少数晶形较好,呈长柱状,整体分选较好,磨圆为次圆状一次棱角状,颗粒支撑,胶结物为黏土矿物,相对上一样品碎屑的搬运距离明显变远(图2)。

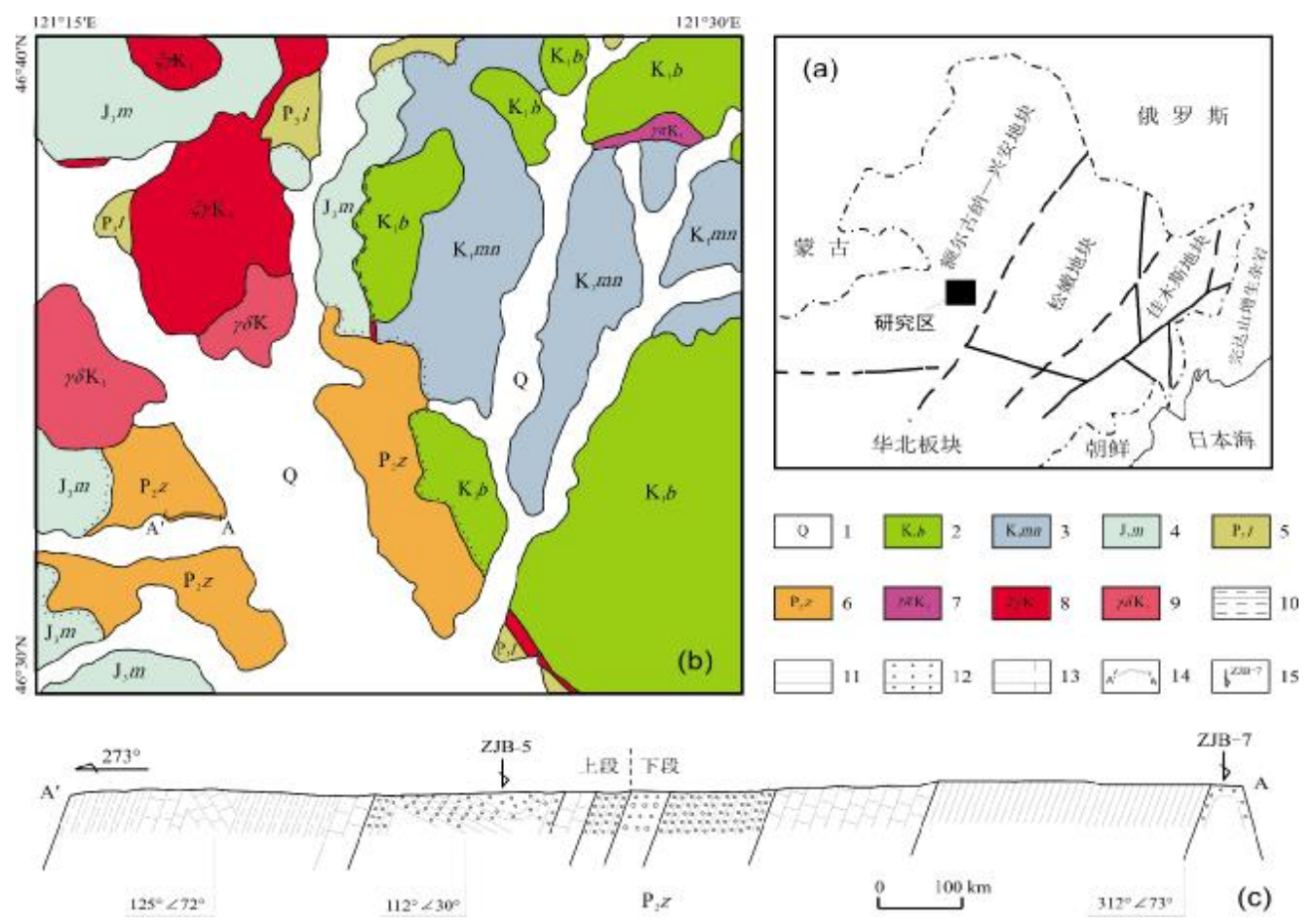


图 1 内蒙古索伦地区地质构造及剖面图

Fig. 1 Geological structure and profile of Suolun area, Inner Mongolia

a—研究区大地构造位置(据文献[9])(tectonic location of the study area, from Reference [9]); b—研究区地质简图(geological sketch map of the study area); c—哲斯组剖面图(profile of Zhesi fm.); 1—第四系(Quaternary); 2—白音高老组(Baiyingaolao fm.); 3—玛尼吐组(Manitu fm.); 4—满克头鄂博组(Manketouebo fm.); 5—林西组(Linxi fm.); 6—哲斯组(Zhesi fm.); 7—花岗斑岩(granite porphyry); 8—正长花岗岩(syenogranite); 9—花岗闪长岩(granodiorite); 10—页岩(shale); 11—泥岩(mudstone); 12—砂岩(sandstone); 13—灰岩(limestone); 14—剖面位置(section location); 15—采样位置(sampling location)

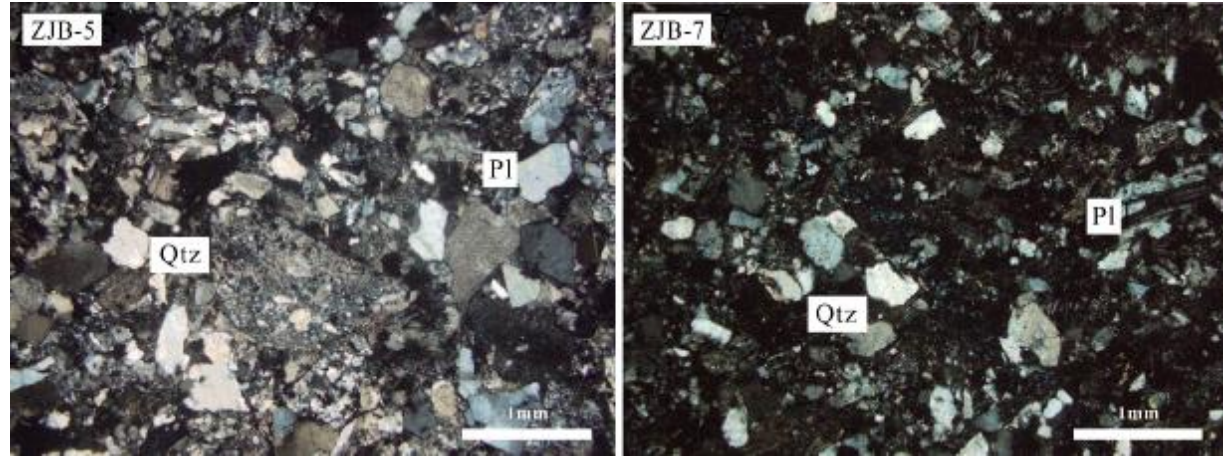


图 2 样品显微特征(正交偏光)

Fig. 2 Microphotographs of samples under cross-polarized light

Qtz—石英(quartz); Pl—斜长石(plagioclase)

2 分析方法

样品破碎后手工淘洗分离出重矿物,经磁选和重磁选后,在双目镜下挑出裂缝和包裹体相对较少、透明干净的锆石颗粒,制作锆石环氧树脂样品靶,然后在中国地质科学院北京离子探针中心完成锆石的阴极发光图像,最终样品的 LA-MS-ICP 锆石 U-Pb 测年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。实验应用 GeoLas2005 准激光剥蚀系统和 Aglient 7500a 型 ICP-MS,激光剥蚀过程中采用氦气作载气,氩气为补偿气,以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器的灵敏度、降低检出限和改善分析精密度^[10]。每个时间分辨分析数据包括 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择,仪器灵敏度漂移校正,元素含量、U-Th-Pb 同位素比值、年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal 等^[11-12]完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法见文献^[11-13]。锆石微量元素含量利用多个 USGS 参考玻璃(BCR-2G, BIR-1G)作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算。这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值根据 GeoReM 数据库(<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>)的数据。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据文献^[14]。锆石 U-Pb 谐和图绘制采用 Isoplot/Ex_ver3 Ludwig^[15]完成。

3 测试结果

样品 ZJB-5 和 ZJB-7 代表性锆石的阴极发光图像见图 3,分析结果如表 1(扫描首页 OSID 二维码可见)。

对样品 ZJB-5 进行了 50 个测试点分析,显微镜下锆石主要为无色,少数为黄褐色,粒径多为 50~150 μm ,个别锆石可达 200 μm ,长宽比介于 1:1~1:2.5。部分锆石表面粗糙,少数可见裂纹和包裹体,反映锆石在形成后受到过地质活动改造。CL 图像和测试结果显示样品锆石可分为 3 类。第一类为半自形—他形,具有清晰的振荡环带,数量众多,约占 70%。第二类为自

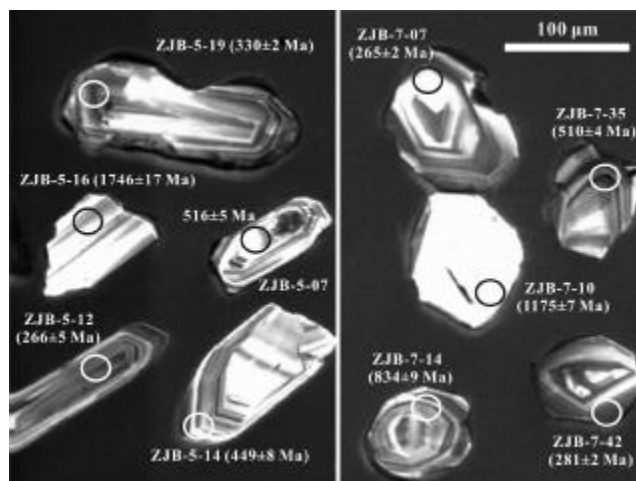


图 3 哲斯组锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of selected zircons from Zhesi Formation

形,可辨认出四方双锥或复四方双锥的晶形,数量较少,占总数的 10%左右。这两类锆石的 Th/U 值介于 0.41~1.55。剩余锆石组成第三类,多为他形,呈浑圆粒状,少数为半自形,无明显的韵律构造,其 Th/U 值介于 0.19~0.35。可见锆石主体显示岩浆成因,少数为变质成因。采用 LA-ICP-MS 的方法进行分析,剔除其中 3 颗年龄谐和度较低的锆石(不谐和度大于 10%),其余均分布在谐和线附近,锆石年龄出现在(266±5)~(2 150±13)Ma,主要集中在 266~298 Ma,主峰值为 292 Ma,次峰值为 510 Ma,剩余 4 个数据分散较远(图 4)。依据样品碎屑锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄和分布特征可以将其划分为 4 组:(266±5)~(348±8)Ma,峰值年龄为 292±2 Ma,加权平均值为 310 Ma ($n=21$);(358±3)~(449±8)Ma,峰值年龄为 358±3 Ma,加权平均值为 399 Ma ($n=5$);(470±6)~(550±8)Ma,峰值年龄为 511±3 Ma,加权平均值 509 Ma ($n=17$); 693±7 Ma、1 440±8 Ma、1 748±17 Ma 和 2 150±13 Ma ($n=4$)(图 5)。

对样品 ZJB-7 也进行了 50 个测试点的分析,锆石以无色透明为主,少数呈红褐色,粒度在 70~180 μm ,大部分大于 100 μm ,主体为半自形—他形晶,多数形状不规则,部分呈浑圆粒状,具有清晰的震荡环带,少数环带不明显,推测经历过较长距离搬运。Th/U 值集中在 0.34~1.99,基本都大于 0.4,为岩浆成因。个别锆石发育增生边,可能与后期遭受过蚀变有关。结果显示,3 个锆石的年龄偏离谐和线,其余 47 个点均分布在谐和线上及其附近,锆石年龄介于(265±2)~(1 175±

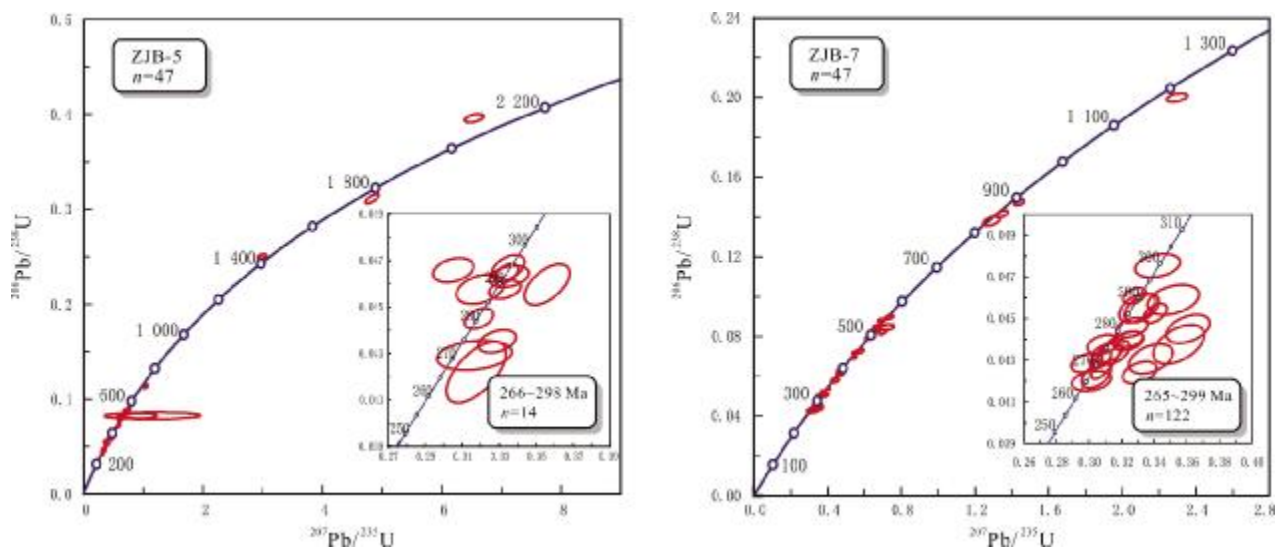


图4 哲斯组锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Concordia diagrams for zircon U-Pb isotopes of Zhesi Formation

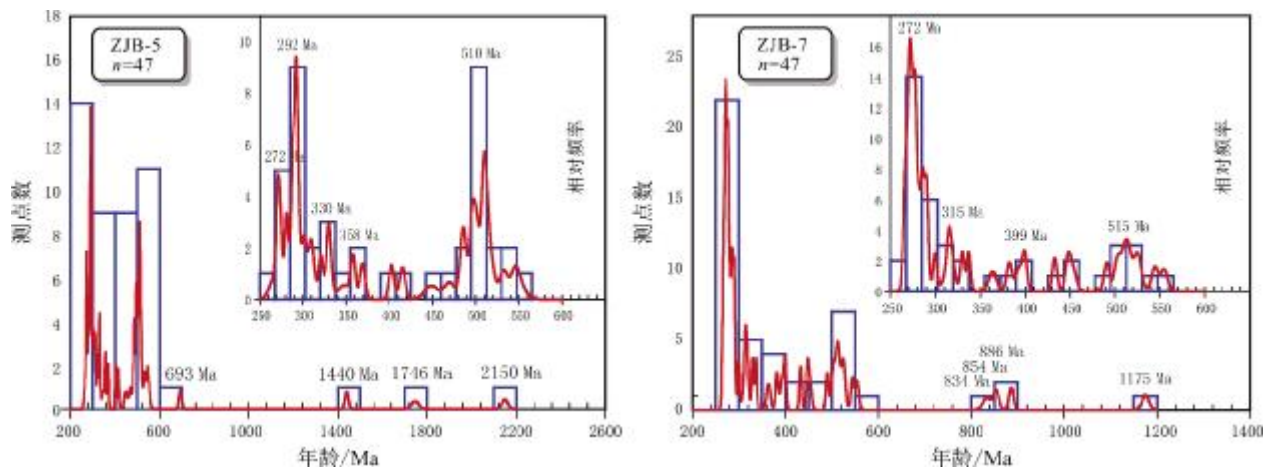


图5 哲斯组锆石样品 U-Pb 年龄相对频率图

Fig. 5 Relative frequency diagram for zircon U-Pb isotopes of Zhesi Formation

7)Ma,主要集中在 265~299 Ma,主峰值为 272 Ma,次峰值为 399 Ma 和 515 Ma (图 4).可分为 4 组:(265 ± 2)~(337 ± 2)Ma,峰值年龄为 (272 ± 2)Ma,加权平均值为 286 Ma ($n=27$);(364 ± 4)~(453 ± 4)Ma,峰值年龄为 (399 ± 2)Ma,加权平均值为 410 Ma ($n=7$);(491 ± 3)~(555 ± 4)Ma,峰值年龄为 (515 ± 4)Ma,加权平均值为 520 Ma ($n=9$);剩余测点年龄为 (834 ± 9)Ma, (854 ± 6)Ma, (886 ± 5)Ma 和 (1175 ± 7)Ma ($n=4$) (图 5).

4 讨论

4.1 哲斯组形成时代

锆石 U-Pb 年代学测试数据结果表明,样品 ZJB-5

年龄主要集中在 266~298 Ma,并在 292 Ma 有明显的年龄峰值,其 Th/U 值介于 0.30~1.03,绝大多数大于 0.4,显示岩浆锆石的特征.其中最年轻一颗锆石(ZJB-5-12)年龄为 266 Ma, Th/U 值 0.59,锆石颗粒长约 150 μm ,宽约 80 μm ,具明显的韵律环带构造,晶体完整,晶形为长条柱状,棱角鲜明.样品 ZJB-7 年龄集中在 265~299 Ma,峰值年龄为 272 Ma, Th/U 值为 0.34~1.99,多数大于 0.8,也显示了岩浆锆石的特征.其中最年轻锆石 ZJB-7-07(265 Ma)的长约 120 μm ,宽约 70 μm ,其 Th/U 值 0.83,振荡环带发育,锆石较为完整,略有磨圆,显示有较短距离的搬运.以上数据表明哲斯组的沉积时代在 265 Ma 之后,为中二叠世后

期,这与王成源等^[16]得出的中二叠世 Wordian 晚期到 Canpitanian 早期一致,而 292 Ma 和 272 Ma 的年龄峰值暗示地层确切时代可能开始于晚二叠世。

4.2 哲斯组物源区特征

2 个样品合并后的相对频率见图 6,测点共计 100 个,其中 94 个处于谐和线附近,大致可以划分为 4 个年龄区间:(265±2)~(348±8)Ma,峰值年龄为 272±2 Ma($n=48$),占有有效测点数的 51%;(358±3)~(453±4)Ma,峰值年龄为 403±3 Ma($n=12$),占有有效测点数的 12%;(470±6)~(555±4)Ma,峰值年龄为 511±3 Ma($n=26$),占有有效测点数的 27%;693±7 Ma、834±9 Ma、854±6 Ma、886±5 Ma、1 175±7 Ma、1 440±8 Ma、1 748±17 Ma 和 2 150±13 Ma($n=8$),离散分布,占有有效测点数的 8%。

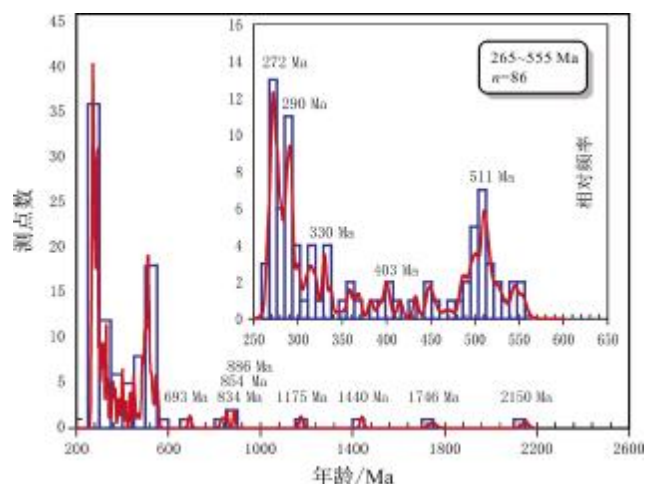


图 6 哲斯组碎屑锆石年龄相对频率分布图

Fig. 6 Relative frequency distribution of detrital zircons from Zhesi Formation

1) 265~348 Ma: 该组年龄的碎屑锆石数量众多,占测试锆石总量的一半以上,2 个样品具有明显的 270~290 Ma 和 315~330 Ma 的峰期年龄,其 Th/U 值为 0.19~0.81,绝大多数大于 0.4,且 CL 图像中显示清晰的振荡环带,反映出岩浆锆石的特征,同时也指示了对应的岩浆事件的时间。其中 270~290 Ma 的峰值年龄与研究区附近的大石寨组火山岩一致,如内蒙古林西地区钙碱性火山岩(270 Ma)^[17],锡林浩特一带双峰式火山岩(281 Ma)^[18]和苏尼特左旗东北达尔罕敖包地区安山岩(281 Ma)^[19]等,315~330 Ma 的峰值年龄与内蒙古苏尼特左旗花岗岩(310 Ma 与俯冲和碰撞有关)^[20],白音高勒地区石英闪长岩(313~323 Ma)^[21]以

及西乌旗南部石英闪长岩(320 Ma)^[22]吻合。以上研究表明研究区附近的石炭纪—二叠纪岛弧岩浆岩是哲斯组的主要物源区。此外,在 CL 图像中该组年龄锆石晶体形态较为完整,多为次棱角状,少数为棱角状,也反映了岩浆岩近源堆积的特点。综上所述,研究区附近的岛弧岩浆岩是哲斯组的主要物源区,包括北侧的苏尼特左旗—锡林浩特—西乌旗岩浆弧和大石寨组火山岩。

2) 358~453 Ma: 该组年龄岩浆锆石占有有效测点数的 12%,Th/U 值为 0.83~1.00,时间与松嫩地块晚泥盆纪—志留纪的岩浆活动对应,如盆地南部的闪长岩(394 Ma)、钾长花岗岩(361 Ma)^[23]和黑云母阳起石石英片岩中的岩浆锆石(427 和 455 Ma)^[24],揭示了松嫩地块基底是哲斯组物源区之一。

3) 470~555 Ma: 该组年龄锆石是哲斯组重要组成部分,占有有效测点数的 27%。锆石形态多数呈长柱状,次棱角状居多,棱角状次之,偶见粒状,表明搬运距离有限。其 Th/U 值全部大于 1.00,且锆石的韵律环带清晰,充分显示了岩浆锆石的特征,证明了加里东期岩浆岩是哲斯组重要的物源区。此年龄与佳木斯地块虎头杂岩(515 Ma)^[25]、片麻状花岗岩(486 Ma)^[26]及兴华渡口群和扎兰屯群变质杂岩(506~547 Ma)^[27]一致,也与佳木斯地块麻山群的岩浆锆石年龄吻合^[28-30],此外在研究区附近的松嫩地块南部也存在相似的年龄(490 Ma)^[24],500 Ma 的年龄在额尔古纳地块、松嫩地块、佳木斯地块都有出现^[31],意味着该区在此时已经形成统一的块体,并具有共同的动力学背景。结合锆石的 CL 图像,推测松嫩地块基底可能是其中最主要的物源区。

4) 693~2 150 Ma: 该组锆石数量最少,占有有效分析锆石的 8%,且年龄跨度很大,贯穿了整个元古宙。锆石多具有磨圆,个别呈浑圆粒状,证明搬运距离较远。大部分锆石震荡环带清晰,且 Th/U 值集中在 0.19~0.73,多数大于 0.5,显示出岩浆锆石的特性。这些年龄在东北地区均有出露:如虎头群夕线石榴片麻岩(678~1 373 Ma)^[32]、塔河花岗岩(830 Ma)^[33]、佳木斯地块中的蓝片岩(670~910 Ma)^[34]、黑龙江东南穆棱地区麻山群(843~1 004 Ma)^[26]、兴华渡口群变碎屑岩中的碎屑锆石(1 600~1 800 和 2 500~2 600 Ma)^[27]、麻山副片麻岩(1 900 Ma)^[34],因此元古宙变质基底可能是哲斯组古老物源区。

综上所述,东北地区二叠系哲斯组的主要物源区包括邻近区域的早二叠世大石寨组火山岩和北侧苏尼特左旗-锡林浩特-西乌旗一带的岛弧岩浆岩,少量来自相邻地区的结晶基底,显示物源区均来自东北地区。王成文等^[4]、张兴洲等^[31]、周建波等^[35]分别就东北地区上古生界进行了研究,表明:1)哲斯组分布在内蒙古西乌旗、索伦、东乌旗、乌兰浩特以及长春、铁力、安图等东北南部的广大地区,呈近东西向条带状展布,主体岩性为海相碳酸岩和碎屑岩,没有明显遭受变质作用改造的迹象;2)地层中存在腕足、三叶虫、腹足、苔藓虫等海相古生物化石,数量巨大,门类众多,保存完好,其中以哲斯腕足动物群为显著标志;3)地层处于晚古生代佳蒙地块构造背景之下,具有准盖层性质,沉积环境稳定。结合本研究野外实测剖面显示的浅海相-三角洲相沉积组合和古生物化石以及锆石 U-Pb 年代测试结果,上二叠统哲斯组不可能形成于大陆裂谷环境,地层应属大陆边缘沉积建造。同时,哲斯组暗色泥岩发育,累计厚度达到 1 900 m 以上,有机碳含量(质量分数)一般为 0.16%~1.0%,最高达 1.3%,达到中等一好烃源岩标准^[36],为东北地区油气勘探的新层系,具有潜在的油气地质研究意义。

5 结论

1)索伦地区哲斯组碎屑锆石均为岩浆锆石,其测试结果显示的年龄区间分别为:(265±2)~(348±8)Ma,峰值年龄为 272±2 Ma;(358±3)~(453±4)Ma,峰值年龄为 403±3 Ma;(470±6)~(555±4)Ma,峰值年龄为 511±3 Ma;剩余的前寒武纪锆石为 693±7 Ma、834±9 Ma、854±6 Ma、886±5 Ma、1 175±7 Ma、1 440±8 Ma、1 748±17 Ma 和 2 150±13 Ma。这些数据表明哲斯组物源区主要为邻近区域的石炭-二叠纪大石寨组火山岩和岛弧岩浆岩以及变质基底。

2)哲斯组的物源区均为来自邻近的火山岩和变质基底。这些特征与前人在地层学领域研究的岩石组合、古生物化石以及沉积背景一致,表明哲斯组应为大石寨组沉积之后较为稳定的大陆边缘沉积,且暗色泥岩发育,可作为东北地区油气勘探的新层系。

参考文献(References):

[1]张兴洲,乔德武,迟效国,等.东北地区晚古生代构造演化及其石

油地质意义[J].地质通报,2011,30(23):205-213.

Zhang X Z, Qiao D W, Chi X G, et al. Late-Paleozoic tectonic evolution and oil-gas potential in northeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(23): 205-213.

[2]赵富有,张晓博,曹成润,等.东北地区及邻区晚古生代晚期构造特征及演化规律[J].吉林地质,2007,26(4):8-13,60.

Zhao F Y, Zhang X B, Cao C R, et al. The end of the Late Paleozoic structural features and evolutionary regularity in Northeast China and adjacent area[J]. Jilin Geology, 2007, 26(4): 8-13, 60.

[3]唐克东.中朝陆台北侧褶皱带构造发展的几个问题[J].现代地质,1989,3(2):195-204.

Tang K D. On tectonic development of the fold belts in the north margin of Sino-Korean platform[J]. Geoscience, 1989, 3(2): 195-204.

[4]王成文,金巍,张兴洲,等.东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识[J].地层学杂志,2008,32(2):119-136.

Wang C W, Jin W, Zhang X Z, et al. New understanding of the Late Paleozoic tectonics in northeastern China and adjacent areas [J]. Journal of Stratigraphy, 2008, 32(2): 119-136.

[5]邵济安,王友,唐克东.有关内蒙古西拉木伦带古生代一早中生代构造环境的讨论[J].岩石学报,2017,33(10):3002-3010.

Shao J A, Wang Y, Tang K D. A reflection on the Xarmoron tectonomagmatic belt, Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(10): 3002-3010.

[6]Xu B, Charvet J, Chen Y, et al. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): Framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1342-1364.

[7]郑月娟,张海华,陈树旺,等.内蒙古阿鲁科尔沁旗林西组砂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及意义[J].地质通报,2014,33(9):1293-1307.

Zheng Y J, Zhang H H, Chen S W, et al. LA-ICP-MS U-Pb age of detrital zircons from Late Permian Linxi Formation in Ar Horqin Banner, Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(9): 1293-1307.

[8]和钟铎,王启智,王强.大兴安岭索伦地区哲斯组碎屑岩地球化学特征和锆石 U-Pb 年龄对沉积物源属性约束[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(2):405-424.

He Z H, Wang Q Z, Wang Q. Geochemistry and zircon U-Pb ages of clastic rocks of Zhesi Formation in Suolun region, Great Xing'an Range: Constraints on origins of sediment provenance [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 405-424.

[9]张兴洲,郭冶,曾振,等.东北地区中—新生代盆地群形成演化的动力学背景[J].地学前缘,2015,22(3):88-98.

Zhang X Z, Guo Y, Zeng Z, et al. Dynamic evolution of the Mesozoic-Cenozoic basins in the northeastern China [J]. Earth Science Frontiers,

- 2015, 22(3): 88–98.
- [10] Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2008, 23(8): 1093–1101.
- [11] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34–43.
- [12] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-North China orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1/2): 537–571.
- [13] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(15): 1535–1546.
- [14] Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 1995, 19(1): 1–23.
- [15] Ludwig K R. User's manual for ISOPLOT 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Special Publication, 2003.
- [16] 王成源, 王平, 李文国. 内蒙古二叠系哲斯组的牙形刺及其时代[J]. *古生物学报*, 2006, 45(2): 195–206.
- Wang C Y, Wang P, Li W G. Conodonts from the Permian Jisu Honguer (Zhesi) Formation in Inner Mongolia, China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2006, 45(2): 195–206.
- [17] Zhu Y F, Sun S H, Gu L B, et al. Permian volcanism in the Mongolian orogenic zone, Northeast China: Geochemistry, magma sources and petrogenesis[J]. *Geological Magazine*, 2001, 138(2): 101–115.
- [18] Zhang X H, Zhang H F, Tang Y J, et al. Geochemistry of Permian bimodal volcanic rocks from central Inner Mongolia, North China: Implication for tectonic setting and Phanerozoic continental growth in Central Asian Orogenic Belt[J]. *Chemical Geology*, 2008, 249(3/4): 262–281.
- [19] 高德臻, 蒋干清. 内蒙古苏尼特左旗二叠系的重新厘定及大地构造演化分析[J]. *中国区域地质*, 1998, 17(4): 403–411.
- Gao D Z, Jiang G Q. Revision of the stratigraphic division of the Permian and tectonic evolution in the Sonid Left Banner, Inner Mongolia[J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17(4): 403–411.
- [20] 陈斌, 赵国春, Wilde S. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. *地质论评*, 2001, 47(4): 361–367.
- Chen B, Zhao G C, Wilde S. Subduction- and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic ages and tectonic implications[J]. *Geological Review*, 2001, 47(4): 361–367.
- [21] 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 2007, 34(5): 790–798.
- Bao Q Z, Zhang C J, Wu Z L, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granitoids in a Late Paleozoic rift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications[J]. *Geology in China*, 2007, 34(5): 790–798.
- [22] 刘建峰, 迟效国, 张兴洲, 等. 内蒙古西乌旗南部石炭纪石英闪长岩地球化学特征及其构造意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(3): 365–376.
- Liu J F, Chi X G, Zhang X Z, et al. Geochemical characteristic of carboniferous quartz-diorite in the southern Xiwuqi area, Inner Mongolia and its tectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(3): 365–376.
- [23] 高福红, 许文良, 杨德彬, 等. 松辽盆地南部基底花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年: 对盆地基底形成时代的制约[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(3): 331–335.
- Gao F H, Xu W L, Yang D B, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating from granitoids in southern basement of Songliao Basin: Constraints on ages of the basin basement[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(7): 995–1004.
- [24] 裴福萍, 许文良, 杨德彬, 等. 松辽盆地南部中生代火山岩: 锆石 U-Pb 年代学及其对基底性质的制约[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2008, 33(5): 603–617.
- Pei F P, Xu W L, Yang D B, et al. Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao Basin: Zircon U-Pb ages and their constraints on the nature of basin basement[J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2008, 33(5): 603–617.
- [25] Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C, et al. Pan-African metamorphic and magmatic rocks of the Khanka massif, NE China: Further evidence regarding their affinity [J]. *Geological Magazine*, 2010, 147(5): 737–749.
- [26] 颜炳强, 苗来成, 陈福坤, 等. 黑龙江东南部穆棱地区“麻山群”的特征及花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年——对佳木斯地块最南缘地壳演化的制约[J]. *地质通报*, 2008, 27(12): 2127–2137.
- Xie H Q, Miao L C, Chen F K, et al. Characteristics of the “Mashan Group” and zircon SHRIMP U-Pb dating of granite in Muling area, southeastern Heilongjiang Province, China: Constraint on crustal evolution of the southernmost of Jiamusi massif [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(12): 2127–2137.
- [27] 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. *科学通报*, 2007, 52(5): 591–601.
- Miao L C, Liu D Y, Zhang F Q, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the “Xinghuadukou Group” in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the “Zhalantun Group” in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8): 1112–1124.
- [28] Wilde S A, Dorsett-Bain H L, Liu J L. The identification of a late pan-African granulite facies event in northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon dating of the Mashan Group at Liu Mao, Heilongjiang Province, China [C]//Proceedings of the 30th IGC: Precambrian Geology and Metamorphic Petrology. Amsterdam: VSP International

Science Publishers, 1997.

- [29] Wilde S A, Wu F Y, Zhang X Z. Late Pan-African magmatism in northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon evidence from granitoids in the Jiamusi massif[J]. *Precambrian Research*, 2003, 122(1/4): 311–327.
- [30] Wilde S A, Zhang X Z, Wu F Y. Extension of a newly identified 500 Ma metamorphic terrane in North East China: Further U-Pb SHRIMP dating of the Mashan complex, Heilongjiang Province, China[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1/2): 115–130.
- [31] 张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 东北地区晚古生代构造-沉积特征与油气资源[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2008, 38(5): 719–725.
- Zhang X Z, Zhou J B, Chi X G, et al. Late Paleozoic tectonic-sedimentation and petroleum resources in northeastern China [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2008, 38(5): 719–725.
- [32] Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, et al. The onset of Pacific margin accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt[J]. *Tectonophysics*, 2009, 478(3/4): 230–246.
- [33] 周长勇, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭北段塔河辉长岩的岩石学特征及其构造意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2005, 35(2): 143–149.
- Zhou C Y, Ge W C, Wu F Y, et al. Petrological characteristics and tectonic implications of the Tahe gabbro in the northern part of the Great Xing'an Range[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2005, 35(2): 143–149.
- [34] Wilde S A, 吴福元, 张兴洲. 中国东北麻山杂岩晚泛非期变质的锆石 SHRIMP 年龄证据及全球大陆再造意义[J]. *地球化学*, 2001, 30(1): 35–50.
- Wilde S A, Wu F Y, Zhang X Z. The Mashan complex: SHRIMP U-Pb zircon evidence for a Late Pan-African metamorphic event in NE China and its implication for global continental reconstructions [J]. *Geochimica*, 2001, 30(1): 35–50.
- [35] 周建波, 张兴洲, 马志红, 等. 中国东北地区的构造格局与盆地演化[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(5): 530–538.
- Zhou J B, Zhang X Z, Ma Z H, et al. Tectonic framework and basin evolution in northeast China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(5): 530–538.
- [36] 任收麦, 乔德武, 张兴洲, 等. 松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3): 197–204.
- Ren S M, Qiao D W, Zhang X Z, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3): 197–204.
- [24] 任战利, 崔军平, 史政, 等. 中国东北地区晚古生代构造演化及后期改造[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(6): 734–742.
- Ren Z L, Cui J P, Shi Z, et al. The late Paleozoic tectonic evolution and later transformation in Northeast China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(6): 734–742.
- [25] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. *岩石学报*, 2013, 29(2): 339–353.
- Xu W L, Wang F, Pei F P, et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(2): 339–353.
- [26] Zhang S H, Zhao Y, Song B, et al. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian-Middle Triassic intrusive suites from the northern margin of the North China craton: geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. *GSA Bulletin*, 2009, 121(1/2): 181–200.
- [27] 陈志广, 张连昌, 卢百志, 等. 内蒙古太平川铜钼矿成矿斑岩时代、地球化学及地质意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(5): 1437–1449.
- Chen Z G, Zhang L C, Lu B Z, et al. Geochronology and geochemistry of the Taipingchuan copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia, and its geological significances[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(5): 1437–1449.
- [28] 曾维顺, 周建波, 董策, 等. 蒙古-鄂霍茨克洋俯冲的记录: 额尔古纳地区八大关变质杂岩的证据[J]. *岩石学报*, 2014, 30(7): 1948–1960.
- Zeng W S, Zhou J B, Dong C, et al. Subduction record of Mongol-Okhotsk Ocean: constrains from Badaguan metamorphic complexes in the Erguna Massif, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(7): 1948–1960.

(上接第 587 页/Continued from Page 587)