



牡丹江地区黑龙江杂岩锆石 U-Pb 年代学特征及地质意义

赵亮亮¹, 徐福忠¹, 张岩¹, 倪斌¹, 马晓辉²

1. 中国冶金地质总局 矿产资源研究院, 北京 100025;

2. 中国冶金地质总局 地球物理勘查院, 河北 保定 071051

摘要: 黑龙江杂岩主要出露在佳木斯地块西缘, 沿牡丹江断裂分布, 为佳木斯地块与松嫩地块拼合过程中形成的构造混杂岩。杂岩以强烈变形的长英质糜棱岩为主体, 其中含有大量具洋壳性质的超基性岩、变基性熔岩(蓝片岩)及变硅质岩和大理岩等岩块或岩片。对出露于黑龙江省东部牡丹江地区的长英质糜棱岩进行了锆石 LA-ICP-MS 研究。获得两组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据, 其加权平均年龄分别为 509.4 ± 7.1 Ma ($n=9$, MSWD=1.3) 和 269 ± 1.9 Ma ($n=22$, MSWD=0.93)。其中最老 2 420 和 2 459 Ma 锆石年龄的出现, 表明杂岩中有来自古元古界古老物质; 509 Ma 左右是佳木斯地块中麻山群的高级变质和花岗质岩浆作用年龄; 约 269 Ma 年龄说明黑龙江杂岩变形基质形成于晚二叠世之后, 可能与晚古生代古亚洲洋闭合事件相关。

关键词: 黑龙江杂岩; 碎屑锆石年龄; 晚二叠世; 佳木斯地块; 牡丹江地区

ZIRCON U-Pb CHRONOLOGY OF THE HEILONGJIANG COMPLEX IN MUDANJIANG AREA: Geological Implication

ZHAO Liang-liang¹, XU Fu-zhong¹, ZHANG Yan¹, NI Bin¹, MA Xiao-hui²

1. Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 100025, China;

2. Geophysical Exploration Academy, China Metallurgical Geology Bureau, Baoding 071051, Hebei Province, China

Abstract: The Heilongjiang complex, mainly occurred in the western margin of Jiamusi massif along Mudanjiang fault, is a tectonic melange formed during the suturing of Jiamusi massif and Songnen massif. The complex is dominated by strongly deformed felsic mylonite, which contains a large number of ultrabasic rocks, metabasic lava (blueschist), meta-silicalite and marble blocks or slices with the nature of oceanic crust. The zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of felsic mylonites in Mudanjiang area yields two groups of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age data, with the weighted mean ages of 509.4 ± 7.1 Ma ($n=9$, MSWD=1.3) and 269 ± 1.9 Ma ($n=22$, MSWD=0.93). The zircons with the oldest ages of 2 420 and 2 459 Ma indicate that the complex contains ancient Paleoproterozoic materials. The age about 509 Ma is for advanced metamorphism and granitic magmatism of Mashan Group in Jiamusi massif. The age about 269 Ma suggests the deformed matrix of Heilongjiang complex be formed after Late Permian, which may be related to the closure of Paleo-Asian Ocean in Late Paleozoic.

Key words: Heilongjiang complex; detrital zircon dating; Late Permian; Jiamusi massif; Mudanjiang area

收稿日期: 2020-09-04; 修回日期: 2021-01-07. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金“黑龙江依兰地区黑龙江杂岩变质变形作用研究”(41602216), “大兴安岭成矿带成果集成及成矿预测研究”(CMGB202002).

作者简介: 赵亮亮(1982—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事大地构造学和同位素年代学研究, 通信地址 北京市机场东路 2 号国家地理信息产业园, E-mail//zhaoliangliang616@163.com

通信作者: 徐福忠(1963—), 男, 研究员, 主要从事地质矿产研究, 通信地址 北京市机场东路 2 号国家地理信息产业园, E-mail//xufuzhong@cmgb.cn

0 引言

黑龙江杂岩位于佳木斯地块与松嫩地块之间,为板块拼合过程中形成的构造混杂岩,由不同时代、不同成因和不同构造背景的岩石构造混杂而成,属于典型的由地体俯冲拼贴而形成的高压变质带之一^[1-3]。岩石主要出露在黑龙江省东部的牡丹江-穆稜、依兰-桦南及萝北-嘉荫等地区,沿牡丹江断裂呈南北向带状分布于佳木斯地块西缘(图1)。

传统上,这套组合被视为正常的变质地层单元,为佳木斯地块的重要组成部分,时代置于太古宙、古元古代或中元古代^[4-7]。20世纪90年代初,张兴洲^[8]提出,“黑龙江群”不是正常的变质地层,而是一套混有解体蛇绿岩残块,并经历了蓝片岩相变质作用的构造混杂岩,是佳木斯地块与西部松嫩地块拼合的标志。目前,

虽然对其作为一套与俯冲增生有关的构造混杂岩的认识是一致的^[3-5,8-21],但是对其形成时代认识尚不统一:黑龙江下亚群获得全岩U-Pb等时线年龄值922 Ma,时代为中元古代^[7];李锦轶等^[11]根据牡丹江地区中基性侵入变质杂岩的锆石蒸发法²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄(388±45 Ma),推测黑龙江杂岩的原岩形成时代上限不晚于泥盆纪;Wu等^[17]认为,原黑龙江群可能代表了侏罗纪的增生杂岩;周建波等^[18]根据黑龙江杂岩中绿帘蓝闪钠长片岩SHRIMP锆石U-Pb年龄240~300 Ma和长英质片岩SHRIMP锆石U-Pb年龄240~338 Ma,认为佳木斯地块向西俯冲的时代主体为印支期,陆-陆拼贴及碰撞过程主要为晚印支期,并可持续到早侏罗世;李旭平等^[20-21]认为,274.7±3.2 Ma的石榴子石云母钠长片岩和256.0±1.0 Ma的含云母绿帘角闪岩是佳木

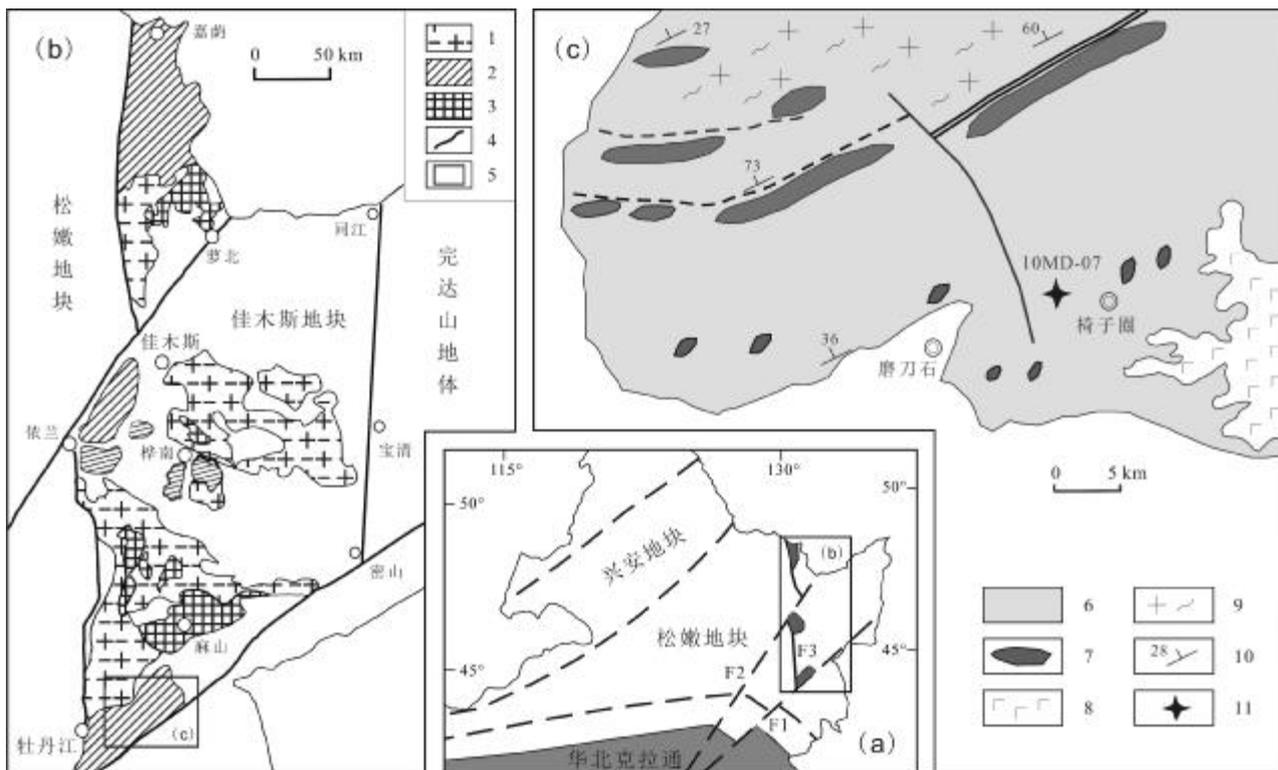


图1 佳木斯地块和牡丹江地区黑龙江杂岩地质简图^①

(据文献[18]修改)

Fig. 1 Geological sketch maps of Jiamusi massif and Heilongjiang complex in Mudanjiang area^①

(Modified from Reference [18])

1—花岗岩(granite); 2—黑龙江杂岩(Heilongjiang complex); 3—麻山群(Mashan gr.); 4—断层(fault); 5—研究区(study area); 6—长英质糜棱岩(felsic mylonite); 7—角闪岩相变质岩(amphibolite metamorphic rock); 8—玄武岩(basalt); 9—麻山群(Mashan gr.); 10—产状(occurrence); 11—采样点(sampling location); F1—敦密断裂(Dunmi fault); F2—佳依断裂(Jiayi fault); F3—牡丹江断裂(Mudanjiang fault)

①黑龙江省地质局第一区域地质测量队. 1:20万地质调查报告(牡丹江幅). 1977.

斯地块与松嫩地块俯冲碰撞过程中,不同阶段或不同时期的产物.因此,黑龙江杂岩年代属性如何仍然是个尚未清楚的问题.

本文通过对牡丹江地区黑龙江杂岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 微区定年,并结合区域构造背景分析,对黑龙江杂岩形成时代及恢复黑龙江杂岩演化历史与时代提供新的证据,为深入认识佳木斯地块的组成和构造演化提供依据.

1 区域地质背景

佳木斯地块位于黑龙江省东部.大地构造位置处于中亚造山带东端,其东与西太平洋构造域的中生代地体增生区相接(图 1a).地块西以牡丹江断裂为界与松嫩地块相邻,东以跃进山断裂为界与完达山地体相连,南以敦密断裂为界与兴凯地块相隔,向北延入俄罗斯境内(图 1b).

构成佳木斯地块的变质岩系由麻山群和黑龙江群组成(图 1c).麻山群是一套经历了角闪岩相-麻粒岩相变质的表壳岩系,主要岩石类型有长英质片麻岩、石墨片岩、夕线石榴片麻岩、大理岩及辉石麻粒岩等,其主体相当于孔兹岩系,时代置于古元古代古或太古宙^[5,7,22-23].近年来,锆石 SHRIMP U-Pb 测年表明麻山群变质年龄和伴生的片麻状花岗岩的年龄为 500 Ma 左右,属于泛非期高级变质事件^[14-16,24-25].在后续的相关研究中虽然对这一事件是否与泛非事件有关还有不同的认识,但佳木斯地块麻粒岩相变质作用发生在早古生代早期,而非早前寒武纪的认识已基本取得共识^[14-16,19,26-27].

黑龙江杂岩沿牡丹江断裂呈近南北向带状断续分布于佳木斯地块西缘,主要出露于萝北-嘉荫、依兰-桦南和牡丹江等地.黑龙江杂岩主要包括岩块(片)和基质两个部分.基质主要为一套强烈变形的长英质糜棱岩,岩块主要由具蛇绿岩性质的蛇纹石化橄榄岩、变辉长岩、变玄武岩、蓝片岩、硅质岩、大理岩组成,各岩块常呈块状、透镜状产出^[5,8-10].传统上,这套组合被视为佳木斯地块上的正常变质地层单元,时代置于早前寒武纪^[7].20 世纪 90 年代,张兴洲等^[8-9]、曹熹等^[5]就曾提出,所谓的黑龙江群不是一套正常的变质地层单元,而是由不同时代、不同变质特征、不同构造背景岩石形成的构造混杂体.在萝北和依兰的硅质岩中发现

奥陶纪放射虫化石,在牡丹江地区黑色页岩中发现几丁虫化石,基性岩类中保存有大量的变余枕状构造,证明了原黑龙江群中含有洋壳成分,因此确定原黑龙江群应为俯冲拼贴过程中形成的具有类似蛇绿岩层序的混杂岩带.

牡丹江地区的黑龙江杂岩由基质(约占 70%)和分布于其中的各种岩块(约占 30%)所组成.岩系的基质由长英质糜棱岩和石英糜棱片岩组成,其原岩为一套由杂砂岩、亚杂砂岩沉积组成的沉积岩,形成于活动大陆边缘的构造环境.岩块主要为超基性岩块、变质基性熔岩、变硅质岩.该杂岩为一套绿片岩相到角闪岩相变质的火山-沉积建造.

2 样品特征

本次研究的样品采自牡丹江磨刀石镇北东侧,采样点的位置如图 1c,岩性为长英质糜棱岩(图 2).岩石为残斑或变斑状结构,叶理构造发育.主要成分为:残斑碎斑状钠长石(40%~45%)、石英(30%~35%)、白云母(15%~20%)、绿帘石(5%)以及少量电气石等组成.钠长石为该岩石类型的主要组成矿物(图 2b),多呈断续的条带状分布,具有明显的动态重结晶特点.部分长石具有变斑晶性质,斑晶中的包裹物排列方向与基质叶理方向一致,连续贯通.矿物变形强烈,排列具定向性,与构造叶理方向一致.从岩性看,此样品的原岩很可能是沉积岩或火山碎屑岩.野外构造和显微结构表明,岩石经历了糜棱岩化作用.

3 分析方法

样品用常规方法粉碎,并用浮选和磁选方法进行分选,然后在双目镜下挑选出晶型和透明度较好的锆石颗粒.将挑选出的锆石颗粒和标准锆石一起粘贴在双面胶带上,并灌入环氧树脂制成样靶,切制打磨使锆石能够露出 1/2 的范围,之后抛光清洗将待测锆石做透射光、反射光显微照相,以观察其抛光面有无裂隙及包裹体等.然后在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针和扫描电镜实验室通过 JEOL 扫描电镜获得锆石阴极发光(CL)图像,通过对锆石阴极发光图像分析,选择吸收程度均匀的区域进行分析测试.

锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析在西北大学

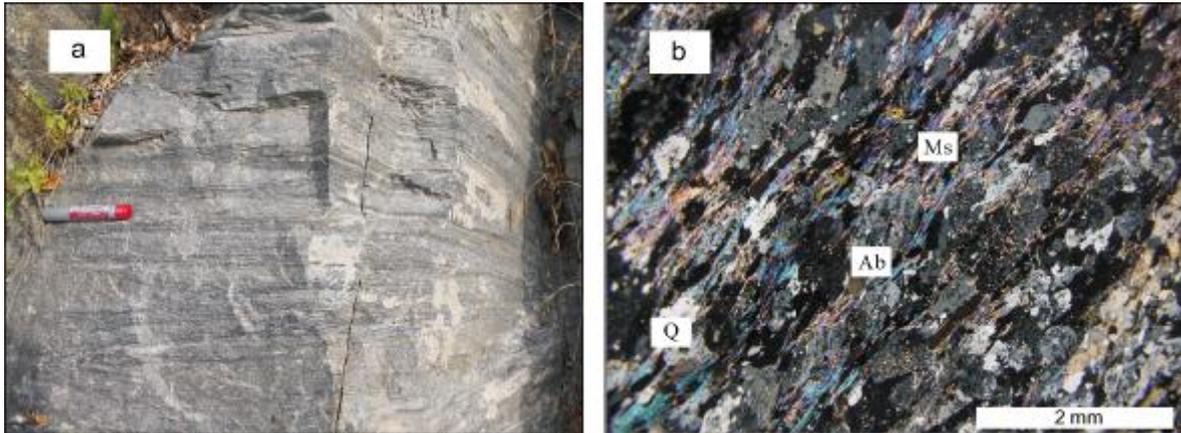


图 2 长英质糜棱岩野外照片和显微结构照片

Fig. 2 Outcrop and microstructure photographs of felsic mylonite

Ab—钠长石(albite); Ms—白云母(muscovite); Q—石英(quartz)

大陆动力学重点实验室的 Agilent7500a ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行. 应用标准锆石 91500 作为计算 U-Pb 同位素的外标, 其参考值加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $1\,065.4 \pm 0.6$ Ma, 标准锆石 TEMORA1 作为未知样品测定获得的年龄为 415 ± 4 Ma (MSWD=0.112, $n=24$), 该锆石的 ID-TIMS 年龄为 416.75 ± 0.24 Ma^[28]. 元素含量的计算采用硅酸盐玻璃 NIST SRM 610 为外标, ^{91}Zr 为内标. 激光束的束斑为 $30\ \mu\text{m}$. 详细仪器参数及分析技术见文献[29]. 原始数据使用 ICPMS DataCal7.2 软件进行处理. 实验获得的数据采用文献[30]的方法进行同位素比值的校正, 以扣除普通 Pb 的影响. 锆石的 U-Pb 年龄结果使用 Isoplot3.0 软件^[31]计算.

4 测试结果

对出露于黑龙江省东部牡丹江地区长英质糜棱岩中的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究, 显微镜下锆石呈无色透明或略具浅黄色, 其形态主要为半自形柱状至圆形, 锆石粒度约为 $50\sim 80\ \mu\text{m}$, 长:宽=1:1~3:1. CL 研究结果显示所测锆石主要呈自形晶和半自形晶, 内部结构清晰. 这些锆石多数发育震荡环带, 主体显示为岩浆成因(图 3a); 部分锆石颗粒显示昏暗色调, 具弱分带或面状分带, 可能为后期重结晶作用影响所致.

本研究对样品锆石进行了 37 次分析(表 1), 测试结果显示年龄数据平均分布在谐和线附近(图 3b-e), 并得到年龄介于 $252\sim 2\,369$ Ma. 锆石的 Th/U 比值

为 $0.01\sim 1.67$, 变化较大. 具体年龄分布情况如下: 22 颗锆石年龄分布在 $(252 \pm 26)\sim (275 \pm 3)$ Ma 之间, 锆石 U-Pb 年龄谐和度高, 集中度较好, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 269 ± 1.9 Ma (MSWD=0.93); 9 颗锆石年龄分布在 $(490 \pm 18)\sim (518 \pm 5)$ Ma 之间, 锆石 U-Pb 年龄谐和度较高, 集中度较好, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 509.4 ± 7.1 Ma (MSWD=1.3); 有 2 颗锆石的同位素年龄大于 1.0 Ga, 其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 谐和年龄分别为 $2\,420 \pm 71$ 、 $2\,459 \pm 60$ Ma, 为典型的古元古界年龄(图 3f).

5 讨论

5.1 黑龙江杂岩的形成时代

传统上黑龙江群被认为形成于元古宙, 为含蓝闪-绿片岩矿物组合的高压型绿片岩相变质岩系^[7]. 20 世纪 90 年代以来, 众多学者^[3-5, 8-13]对黑龙江杂岩进行了详细的地质研究, 明确提出了原黑龙江群是由不同时代、不同变质特征、不同构造背景岩石形成的构造混杂体, 形成时代为早古生代. 近年来, Wu 等^[17]则认为黑龙江群可能代表了一个侏罗纪的增生杂岩. 周建波等^[18]认为黑龙江杂岩形成于三叠纪前后^[18, 27]. 综上, 目前对黑龙江杂岩形成时代依然存在不同认识.

牡丹江地区黑龙江杂岩中长英质糜棱岩 37 次锆石测年的谐和年龄显示, 谐和年龄主要分布在两个区间(图 3), 其中最年轻一组年龄区间为 $252\sim 275$ Ma, 峰期年龄为 271 Ma. 同时该组年龄碎屑锆石晶形呈半自形或自形, CL 图像具有清晰的振荡环带, 并具有高

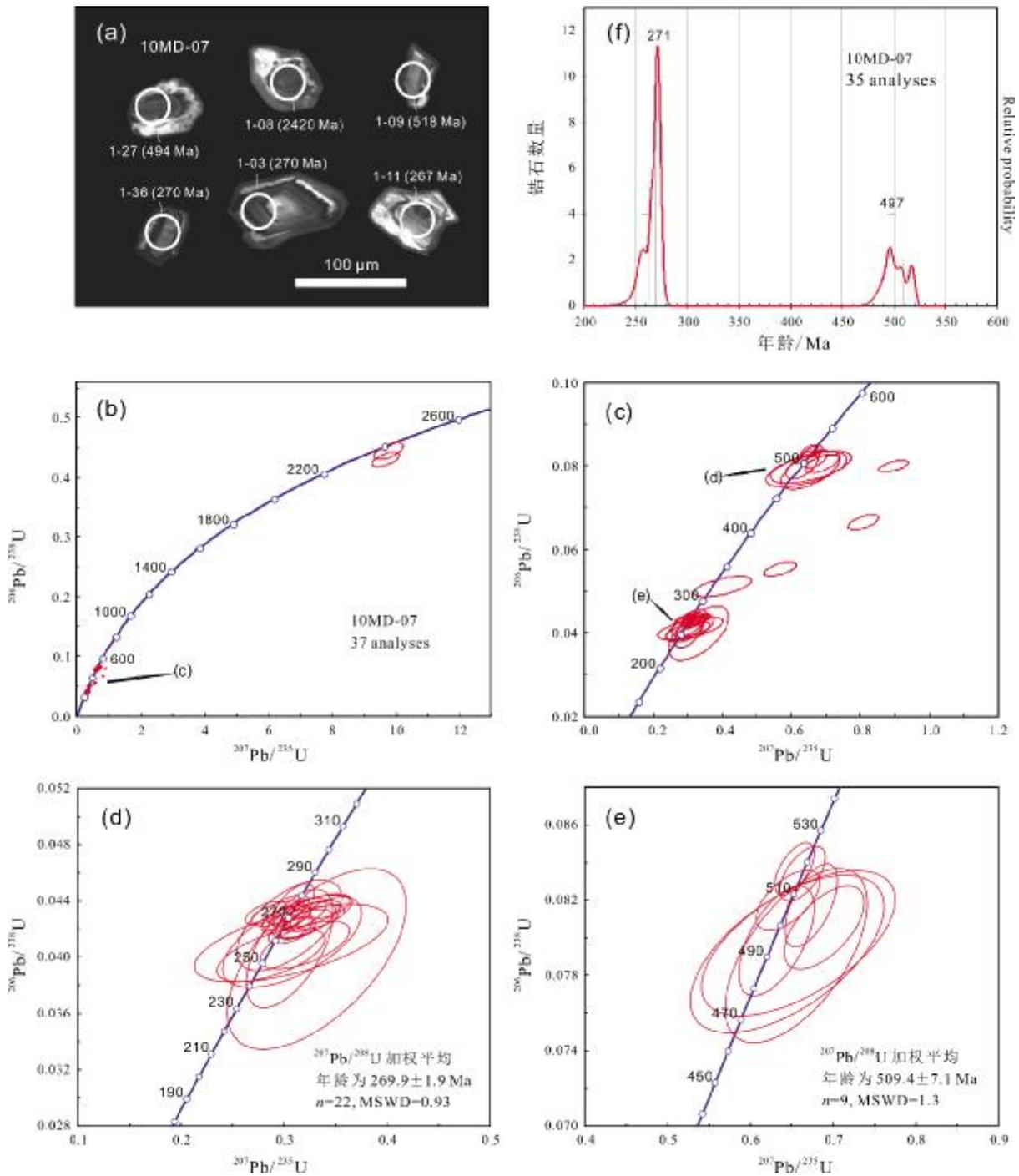


图 3 黑龙江杂岩中长英质糜棱岩的锆石 CL 图像和 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

Fig. 3 CL image and LA-ICP-MS U-Pb dating of the zircons from felsic mylonite in Heilongjiang complex

Th/U 比值(0.01~1.67,平均大于 0.4),具有岩浆锆石典型特征,说明来自岩浆岩的物源区. 以上结果表明黑龙江杂岩长英质糜棱岩原岩主体形成时代应该小于 252 Ma,而 275 Ma 的年龄应该代表其形成的上限年龄.

此外,结合在牡丹江磨刀石地区长英质片岩中获得峰期 261 Ma 的 SHRIMP 碎屑锆石年龄^[17],在穆棱

地区石英片岩中获得 244~254 Ma 的 LA-ICP-MS U-Pb 碎屑锆石年龄^[32],以及在桦南地区石榴石云母钠长片岩中获得峰期 274 Ma 的 LA-ICP-MS U-Pb 碎屑锆石年龄^[20],说明区域上黑龙江杂岩基质中碎屑锆石年龄在误差范围内相一致,表明黑龙江杂岩基质主体沉积时代为晚二叠世,而不是先前认识的元古宙.

表 1 黑龙江杂岩样品(10MD-07)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄数据表
 Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating data of Heilongjiang complex sample 10MD-07

测试点位	元素含量/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma						Conc.
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	1σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
10MD-07-1-01	318.5	695.8	0.46	0.0535	0.0030	0.3211	0.0191	0.0426	0.0009	350	126	283	15	269	5	95%
10MD-07-1-02	277.8	468.4	0.59	0.0535	0.0027	0.3079	0.0151	0.0419	0.0006	346	113	273	12	264	4	96%
10MD-07-1-03	252.3	633.2	0.40	0.0508	0.0026	0.3015	0.0155	0.0427	0.0006	232	120	268	12	270	4	99%
10MD-07-1-04	295.0	719.7	0.41	0.0503	0.0022	0.3034	0.0135	0.0434	0.0007	209	102	269	11	274	4	98%
10MD-07-1-05	359.2	875.2	0.41	0.0546	0.0031	0.3273	0.0180	0.0431	0.0006	394	130	288	14	272	4	94%
10MD-07-1-06	621.0	1477.7	0.42	0.0565	0.0021	0.3447	0.0129	0.0435	0.0005	472	81	301	10	275	3	90%
10MD-07-1-07	137.7	267.4	0.51	0.1612	0.0041	9.6725	0.2787	0.4303	0.0082	2468	43	2404	27	2307	37	95%
10MD-07-1-08	144.7	300.0	0.48	0.1566	0.0036	9.7653	0.3024	0.4441	0.0093	2420	40	2413	29	2369	42	98%
10MD-07-1-09	542.5	2654.5	0.20	0.0559	0.0013	0.6534	0.0156	0.0837	0.0009	456	54	511	10	518	5	98%
10MD-07-1-10	104.5	2044.0	0.05	0.0569	0.0016	0.6630	0.0182	0.0834	0.0010	487	56	516	11	516	6	99%
10MD-07-1-11	73.2	608.3	0.12	0.0522	0.0053	0.3052	0.0336	0.0423	0.0021	295	233	270	26	267	13	98%
10MD-07-1-12	184.0	307.9	0.60	0.0495	0.0030	0.2940	0.0172	0.0431	0.0006	172	144	262	13	272	4	96%
10MD-07-1-13	167.4	1986.8	0.08	0.0881	0.0034	0.8096	0.0292	0.0665	0.0012	1384	74	602	16	415	7	63%
10MD-07-1-14	102.1	1020.2	0.10	0.0807	0.0027	0.8971	0.0281	0.0799	0.0009	1215	67	650	15	496	6	73%
10MD-07-1-15	173.1	825.8	0.21	0.0566	0.0052	0.3056	0.0279	0.0406	0.0028	476	236	271	22	257	17	94%
10MD-07-1-16	338.4	410.5	0.82	0.0514	0.0027	0.3027	0.0155	0.0428	0.0006	257	120	268	12	270	4	99%
10MD-07-1-17	261.1	766.0	0.34	0.0518	0.0019	0.3095	0.0134	0.0436	0.0011	280	85	274	10	275	7	99%
10MD-07-1-18	160.2	396.7	0.40	0.0475	0.0023	0.2825	0.0132	0.0431	0.0005	72	117	253	10	272	3	92%
10MD-07-1-19	184.8	672.6	0.27	0.0564	0.0077	0.4005	0.0559	0.0510	0.0016	478	307	342	41	321	10	93%
10MD-07-1-20	748.7	1544.9	0.48	0.0532	0.0017	0.3121	0.0102	0.0421	0.0005	339	38	276	8	266	3	96%
10MD-07-1-21	11.8	93.6	0.13	0.0702	0.0185	0.3320	0.0573	0.0399	0.0042	1000	532	291	44	252	26	85%
10MD-07-1-22	630.0	377.7	1.67	0.0520	0.0062	0.2874	0.0345	0.0402	0.0012	283	317	257	27	254	8	98%
10MD-07-1-23	104.1	154.7	0.67	0.0601	0.0058	0.3202	0.0287	0.0409	0.0011	609	211	282	22	258	7	91%
10MD-07-1-24	117.5	134.7	0.87	0.0581	0.0045	0.3306	0.0234	0.0432	0.0009	600	164	290	18	272	5	93%
10MD-07-1-25	812.9	2353.1	0.35	0.0584	0.0058	0.6445	0.0773	0.0791	0.0028	546	214	505	48	491	16	97%
10MD-07-1-26	1172.5	2750.8	0.43	0.0594	0.0016	0.6735	0.0210	0.0817	0.0015	583	57	523	13	506	9	96%
10MD-07-1-27	249.3	717.4	0.35	0.0593	0.0062	0.6581	0.0773	0.0797	0.0025	576	230	513	47	494	15	96%
10MD-07-1-28	136.8	370.6	0.37	0.0569	0.0022	0.6456	0.0254	0.0820	0.0011	487	87	506	16	508	6	99%
10MD-07-1-29	1.1	81.1	0.01	0.0627	0.0125	0.3079	0.0445	0.0411	0.0022	698	432	273	35	260	13	95%
10MD-07-1-30	276.8	1003.6	0.28	0.0571	0.0029	0.6315	0.0301	0.0798	0.0019	498	114	497	19	495	12	99%
10MD-07-1-32	36.8	87.1	0.42	0.0745	0.0040	0.5677	0.0309	0.0552	0.0011	1054	108	457	20	346	7	72%
10MD-07-1-35	3.8	173.6	0.02	0.0547	0.0104	0.3072	0.0619	0.0410	0.0018	467	309	272	48	259	11	95%
10MD-07-1-36	320.3	767.9	0.42	0.0552	0.0029	0.3324	0.0175	0.0428	0.0006	420	151	291	13	270	3	92%
10MD-07-1-37	265.8	255.3	1.04	0.0542	0.0034	0.3178	0.0192	0.0424	0.0007	389	145	280	15	268	4	95%
10MD-07-1-38	139.0	446.4	0.31	0.0613	0.0028	0.6892	0.0319	0.0805	0.0015	650	100	532	19	499	9	93%
10MD-07-1-39	197.9	305.7	0.65	0.0601	0.0059	0.6555	0.0567	0.0790	0.0031	606	208	512	35	490	18	95%
10MD-07-1-40	206.8	688.1	0.30	0.0539	0.0026	0.3189	0.0146	0.0431	0.0007	369	111	281	11	272	5	96%

5.2 牡丹江地区黑龙江杂岩的锆石年龄谱

黑龙江杂岩样品锆石的 LA-ICP-MS 年代学除了峰期年龄为 271 Ma 一组外,在 490~518 Ma 的年龄区间,在谐和图上为一组特征年龄;另外还存在两个古元古代锆石年龄(分别为 $2\,420\pm 71$ 和 $2\,459\pm 60$ Ma)。

上述黑龙江杂岩的锆石年龄峰期与佳木斯地块区域岩浆事件存在较好的对应关系。其中 252~275 Ma (峰期年龄为 271 Ma) 对应佳木斯地块与周围块体或佳木斯地块内部块体间的拼合作用有关的晚古生代花岗岩。目前在佳木斯地块上发育大量的二叠纪岩浆岩,对牡丹江以北的柴河、青山岩体和鸡西地区的石场岩体等 4 个岩体的 SHRIMP U-Pb 年代学研究表明其形成时代为 270~254 Ma^[26, 33-34],均为二叠纪晚期至三叠纪早期的产物。同时沿着张广才岭—小兴安岭一侧,发育巨量的中生代岩浆岩,其时代主体为三叠纪前后^[16, 33]。这些岩浆岩的特点说明黑龙江杂岩主要物源区的主体应为分布在佳木斯地块内部及附近的二叠纪—三叠纪前后的岩浆岩。物源区距佳木斯地块西南缘牡丹江地区的距离较近,因而该地区的黑龙江杂岩保留了大量的原岩信息。主要分布在 490~518 Ma 的年龄(峰期年龄为 497 Ma)与佳木斯地块基底的麻山杂岩的时代相一致。Wilde 等^[3, 15, 24]从变形的花岗片麻岩中获得 502 ± 10 Ma 和 $(515\pm 8)\sim(523\pm 8)$ Ma 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄。以上数据说明佳木斯地块的基底组成岩石也曾作为黑龙江杂岩的重要物源区。另外两颗古元古代锆石年龄——分别为 $2\,420\pm 71$ 和 $2\,459\pm 60$ Ma——来自较老的锆石核部,有相对较低的 U、Th 含量和较高的 Th/U 比值,具有典型岩浆锆石特点。这些年龄结果显示,黑龙江杂岩主要来源于佳木斯地块区及周缘地块。

5.3 大地构造意义

黑龙江杂岩由基质和岩块两部分组成。基质主体为长英质糜棱岩,约占黑龙江杂岩的 70%,其原岩为一套由杂砂岩、亚杂砂岩组成的沉积岩,形成于活动大陆边缘的构造环境^[10]。牡丹江地区的黑龙江杂岩中的变基性岩以形成于大洋板块内的洋中脊型玄武岩为主^[27]。此外,在牡丹江地区发现大量具枕状构造的变玄武岩,以及在黑龙江杂岩中普遍含有的富锰硅质岩,特别是含几丁虫等微体化石的千枚岩的发现^[11],说明黑龙江增生杂岩具有变质蛇绿混杂岩的特点,代表了板

块拼合带的物质组成^[10]。

本文黑龙江杂岩中最老年龄 2 420、2 459 Ma 的研究结果说明有来自古元古代的物质。其中获得的 500 Ma 峰期年龄,与佳木斯地块结晶基底——麻山群高级变质作用年龄相一致,表明黑龙江群具有泛非期高级变质作用事件的碎屑锆石,即有新元古代—早古生代造山作用的记录。而获得的最为显著的峰期 271 Ma 碎屑锆石年龄,被认为是长英质糜棱岩原岩形成的上限年龄。该年龄与牡丹江磨刀石、穆棱以及桦南地区的黑龙江杂岩分布区长英质糜棱岩基质中的碎屑锆石年龄相一致^[17, 20, 32],表明黑龙江杂岩基质主体沉积时代为晚二叠世。这与代表西拉木伦—长春—延吉缝合带的最终闭合时间——吉林大玉山花岗岩(248 ± 4 Ma)形成时代相一致^[35],可能为古亚洲洋闭合的产物。另外,Zhou 等^[19]在牡丹江磨刀石地区获得大洋中脊型变玄武岩 213 和 224 Ma 锆石年龄,依兰地区获得洋岛型蓝片岩 258 和 259 Ma 锆石年龄;吕长禄等^[32]在依兰地区获得变玄武岩 243 Ma 及堆晶辉长岩 251 和 252 Ma 锆石年龄。这些年龄资料说明,佳木斯地块与松嫩地块之间的洋盆在二叠纪末—三叠纪初(274~213 Ma)依然存在。

6 结论

(1)黑龙江杂岩长英质糜棱岩原岩主体形成时代应该小于 252 Ma,而峰期 271 Ma 的年龄应该代表其形成的上限年龄,表明黑龙江杂岩变形基质形成于二叠纪晚期之后。

(2)获得两组锆石年龄(峰期 271 Ma、509 Ma),表明黑龙江杂岩主要来源于佳木斯地块区及周缘地块。

参考文献(References):

- [1]董申保. 中国蓝闪石片岩带的一般特征及其分布[J]. 地质学报, 1989, 63(3): 273-275.
Dong S B. The general features and distributions of the glaucophane schist belts of China[J]. Acta Geologica Sinica, 1989, 63(3): 273-275.
- [2]Yan Z Y, Tang K D, Bai J W, et al. High pressure metamorphic rocks and their tectonic environment in northeastern China[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1989, 3(1/4): 303-313.
- [3]Liou J G, Maruyama S, Wang X, et al. Precambrian blueschist terranes of the world[J]. Tectonophysics, 1990, 181(1/4): 97-111.

- [4]刘静兰. 佳木斯中间地块绿岩带特征及其大地构造环境浅析[J]. 黑龙江地质, 1991, 2(1): 33-48.
Liu J L. Analysis of characteristics of greenstone belt of Jiamusi medianmassif and its geotectonic setting [J]. Heilongjiang Geology, 1991, 2(1): 33-48.
- [5]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, 1992:1-137.
Cao X, Dang Z X, Zhang X Z, et al. The Jiamusi complex terrane [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 1992: 1-137. (in Chinese)
- [6]党廷松, 李德荣. 关于佳木斯地块前寒武纪同位素地质年代学问题的讨论[J]. 长春地质学院学报, 1993, 23(3): 312-318.
Dang T S, Li D R. Discussion on isotopic geochronology of Precambrian Jiamusi Block [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1993, 23(3): 312-318.
- [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, 1993.
Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. (in Chinese)
- [8]张兴洲. 黑龙江岩系——古佳木斯地块加里东缝合带的证据[J]. 长春地质学院学报, 1992, 22(S1): 94-101.
Zhang X Z. Heilongjiang mélange: The evidence of Caledonian suture zone of the Jiamusi massif [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1992, 22(S1):94-101. (in Chinese)
- [9]张兴洲, 张元厚. 蓝片岩与绿片岩共存: 龙江岩系构造演化的新证据[J]. 长春地质学院学报, 1991, 21(3): 277-282, 348.
Zhang X Z, Zhang Y H. Coexistence of blueschist and greenschist: New evidence for tectonic evolution of the Longjiang Suites [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1991, 21(3): 277-282, 348.
- [10]张兴洲. 佳木斯地体的早期碰撞史——黑龙江岩系的构造-岩石学证据[D]: 长春: 长春地质学院, 1992.
Zhang X Z. Early collision history of Jiamusi terrain: The tectonic-petrologic evidences of Heilongjiang Mélange [D]. Changchun: Changchun University of Earth Science, 1992. (in Chinese)
- [11]李锦轶, 牛宝贵, 宋彪, 等. 长白山北段地壳的形成与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1999:1-136.
Li J Y, Niu B G, Song B, et al. Crustal formation and evolution of northern Changbai Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:1-136. (in Chinese)
- [12]Li J Y. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26(3/4): 207-224.
- [13]唐克东, 王莹, 何国琦, 等. 中国东北及邻区大陆边缘构造[J]. 地质学报, 1995, 69(1): 16-30.
Tang K D, Wang Y, He G Q, et al. Continental-margin structure of Northeast China and its adjacent areas [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(1): 16-30.
- [14]Wilde S A, Zhang X Z, Wu F Y. Extension of a newly identified 500 Ma metamorphic terrane in Northeast China: Further U-Pb SHRIMP dating of the Mashan complex, Heilongjiang Province, China [J]. Tectonophysics, 2000, 328(1/2): 115-130.
- [15]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.
- [16]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.
- [17]Wu F Y, Yang J H, Lo C H, et al. Jiamusi massif in China: A Jurassic accretionary terrane in the western Pacific [J]. The Island Arc, 2007, 16: 156-172.
- [18]周建波, 张兴洲, Wilde S A, 等. 黑龙江杂岩的碎屑锆石年代学及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1924-1936.
Zhou J B, Zhang X Z, Wilde S A, et al. Detrital zircon U-Pb dating of Heilongjiang complex and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(8): 1924-1936.
- [19]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.
- [20]李旭平, 焦丽香, 郑庆道, 等. 黑龙江桦南地区黑龙江杂岩锆石 U-Pb 定年[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1909-1916.
Li X P, Jiao L X, Zheng Q D, et al. U-Pb zircon dating of the Heilongjiang complex at Huanan, Heilongjiang Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(8):1909-1916.
- [21]李旭平, 孔凡梅, 郑庆道, 等. 黑龙江萝北地区黑龙江杂岩年代学研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(7): 2015-2024.
Li X P, Kong F M, Zheng Q D, et al. Geochronological study on the Heilongjiang complex at Luobei area, Heilongjiang Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(7): 2015-2024.
- [22]姜继圣. 麻山群孔兹岩系主期区域变质作用及演化[J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(2): 97-110.
Jiang J S. Regional metamorphism and evolution of Mashan khondalite series [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1992, 11(2): 97-110.
- [23]卢良兆, 徐学纯, 刘福来. 中国北方早前寒武纪孔兹岩系[M]. 长春: 长春出版社, 1996: 126-194.
Lu L Z, Xu X C, Liu F L. The early Cambrian khounds series in northern China [M]. Changchun: Changchun Publishing House, 1996: 126-194. (in Chinese)

- [24]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 Liuniao, Heilongjiang Province, China[C]. Proceedings of the 30th IGC: Precambrian Geol Metamorphic Petrol, Amsterdam: VSP International Science Publishers, 1997, 17: 59-74.
- [25]Wilde S A, Dorsett-Bain H L, Lennon R G. Geological setting and controls on the development of graphite, sillimanite and phosphate mineralization within the Jiamusi massif: An exotic fragment of Gondwanaland located in North-Eastern China? [J]. Gondwana Research, 1999, 2(1): 21-46.
- [26]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(3): 443-452.
Wu F Y, Wilde S A, Sun D Y. Zircon SHRIMP U-Pb ages of gneissic granites in Jiamusi massif, northeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(3): 443-452.
- [27]周建波, 韩杰, 张兴洲, 等. 牡丹江地区蓝片岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(1): 93-103.
Zhou J B, Han J, Zhang X Z, et al. Geochemical Characteristics of the Mudanjang blueschists in the NE China and its tectonic implications[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(1): 93-103.
- [28]Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2003, 200(1/2): 155-170.
- [29]Liu X M, Gao S, Diwu C R, et al. Simultaneous in-situ determination of U-Pb age and trace elements in zircon by LA-ICP-MS in 20 μm spot size [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(9): 1257-1264.
- [30]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59-79.
- [31]Ludwig K R. User's manual for IsoPlot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley, USA: Berkeley Geochronology Center, 2003: 71.
- [32]吕长禄, 肖庆辉, 冯俊岭, 等. 黑龙江依兰地区变玄武岩及变堆晶辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(7): 1081-1094.
Lv C L, Xiao Q H, Feng J L, et al. LA-ICP-MS U-Pb ages of zircons from metamorphic basalt and metamorphic accumulated gabbro in Yilan area, Heilongjiang Province, and their geological implications [J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(7): 1081-1094.
- [33]Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, et al. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China[J]. Tectonophysics, 2000, 328(1/2): 89-113.
- [34]Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. The nature of basement beneath the Songliao Basin in NE China: Geochemical and isotopic constraints [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 2001, 26(9/10): 793-803.
- [35]孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩岩体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 174-181.
Sun D Y, Wu F Y, Zhang Y B, et al. The final closing time of the West Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone: Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(2): 174-181.

(上接第 455 页/Continued from Page 455)

- [13]童勤龙, 刘德长. 刚果(金)加丹加省遥感地质解译与矿产勘查战略选区[J]. 世界地质, 2015, 34(2): 531-542.
Tong Q L, Liu D C. Remote sensing geological interpretation and target area delimitation of mineral exploration in Katanga Province, Congo (DRC) [J]. Global Geology, 2015, 34(2): 531-542.
- [14]陶则熙. 刚果(金)加丹加铜矿带地质特征及成矿前景[J]. 地质与勘探, 2016, 52(2): 392-398.
Tao Z X. Geological characteristics and metallogenic prospect of the copper mineralization belt in the Kadanga area of the Democratic Republic of Congo [J]. Geology and Exploration, 2016, 52(2): 392-398.
- [15]王洪亮. 刚果(金)加丹加省科卢韦齐铜矿床地质特征及矿床成因[J]. 地质学刊, 2015, 39(1): 143-148.
Wang H L. Geological characteristics and genesis of the Kolwezi copper deposit in Katanga Province, Congo (COD) [J]. Journal of Geology, 2015, 39(1): 143-148.
- [16]刘焕然. 非洲刚果(金)加丹加铜钴成矿带地质构造特征[J]. 资源环境与工程, 2010, 24(2): 137-140.
Liu H R. Characteristics of geological structure of Katanga copper-cobalt metallogenic belt in Congo (DRC) [J]. Resources Environment & Engineering, 2010, 24(2): 137-140.
- [17]李向前, 闫艳玲, 徐宪立. 刚果(金)加丹加省堪苏祁铜钴矿床铜钴矿物赋存状态研究[J]. 矿产与地质, 2009, 23(3): 253-257.
Li X Q, Yan Y L, Xu X L. Occurrence of Cu-Co minerals of the Kansuki copper-cobalt deposit in the Katanga Province, D.R. Congo [J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(3): 253-257.
- [18]付俊或, 李伟, 张志斌, 等. 大兴安岭成矿带某地铜多金属矿床的发现及远景分析[J]. 地质与资源, 2010, 19(2): 99-104.
Fu J Y, Li W, Zhang Z B, et al. The discovery and prospects of a copper-polymetallic deposit in Daxinganling metallogenic province [J]. Geology and Resources, 2010, 19(2): 99-104.
- [19]杜玉龙, 方维萱, 鲁佳. 玻利维亚 Tupiza 铜矿床碱性火山岩的岩相地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 2020, 47(2): 315-333.
Du Y L, Fang W X, Lu J. Lithofacies geochemistry characteristics of alkali volcanic rocks and prospecting in Tupiza copper deposit, Bolivia [J]. Geology in China, 2020, 47(2): 315-333.