

吉林和龙长仁铜镍矿区含矿橄榄辉石岩年代学 及其地质意义^{*}

吴琼¹, 孙丰月^{2**}, 刘金龙³, 田力丹², 范兴竹²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 吉林大学地球科学学院,
吉林长春 130061; 3 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110000)

摘要 长仁铜镍矿床位于华北克拉通铜镍硫化物矿床成矿带-吉黑成矿亚带, 为一处岩浆硫化物矿床, 成矿作用与镁铁质-超镁铁质岩体密切相关。文章对吉林省长仁铜镍矿区Σ11基性-超基性岩体中橄榄辉石岩进行了锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学的研究, 获得谐和年龄为(226±1)Ma, 为印支晚期, 限定长仁铜镍矿成岩成矿时代为晚三叠世, 与红旗岭、漂河川、茶尖岭等矿床为同期岩浆活动的产物。结合区域内前人研究成果, 认为古亚洲洋最终闭合时间为晚二叠世到早三叠世, 晚三叠世已进入古亚洲洋闭合后伸展环境, 长仁矿区成岩成矿大地构造背景为古亚洲洋闭合后的造山后伸展环境。

关键词 地球化学; 锆石U-Pb测年; 长仁铜镍矿; 橄榄辉石岩; 古亚洲洋

中图分类号:P618.41; P618.63

文献标志码:A

Zircon U-Pb geochronology of ore-bearing olivine-pyroxenite of Changren Cu-Ni mining area in Helong, Jilin, and its geological significance

WU Qiong¹, SUN FengYue², LIU JinLong³, TIAN LiDan² and FAN XingZhu²

(1 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 3 Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110000, Liaoning, China)

Abstract

This paper presents geochronology date of ore-bearing olivine-pyroxenite from Σ11 basic-ultrabasic rock mass of Changren Cu-Ni deposit in Helong, Jilin Province. Zircon LA-ICP-MS U-Pb analysis yields an age of (226±1)Ma for the ultramafic rock, indicating that these rocks were formed during the Late Triassic (Late Indo-sinian stage). Changren deposit was coeval with Hongqiling, Piaohechuan and Chajianling deposit, formed in the same tectonic setting. Based on the previous research results in this area, we consider that the final closing time of Paleo Asian Ocean was from the late Permian to the early to middle Triassic. The study area was dominated by post-collisional extensional setting during the late Triassic. The basic-ultrabasic rock mass of Changren was formed in post-collisional extensional setting after the closure of Paleo Asian Ocean.

Key words: geochemistry, Zircon U-Pb dating, Olivine-pyroxenite, Changren Cu-Ni Deposit, Paleo Asian ocean

* 本文得到国家重点研发计划“南岭成矿带典型成矿系统的深部过程和成矿模式”(编号:2016YFC0600205)项目资助

第一作者简介 吴琼,女,1991年生,博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:qiongwu0525@126.com

** 通讯作者 孙丰月,男,1963年生,教授,博士生导师,主要从事热液矿床成矿理论与预测、区域成矿作用研究。Email:sfy@jlu.edu.cn

收稿日期 2017-11-30; 改回日期 2018-09-08。赵海杰编辑。

长仁铜镍矿床位于吉林省中部地区,属于华北克拉通北缘东段,受到古亚洲洋构造域和古太平洋构造域叠加转换的影响,研究区的成岩成矿作用复杂,吉林省也是中国重要的镁铁-超镁铁质岩体发育区之一,同时也形成了中国重要的铜镍硫化物矿床成矿带之一—华北克拉通铜镍硫化物矿床成矿带—吉黑成矿亚带(冯守忠,2004;吕林素等,2007a;2017b;赵新运,2015),具有巨大的镍矿储量,带内分布的典型铜镍硫化物矿床包括红旗岭、三道岗、茶尖岭、长仁、漂河川、二道沟等。随着近年来研究的不断深入以及高精度定年技术的不断发展,许多科研人员采用辉钼矿Re-Os法、锆石SHRIMP U-Pb法、锆石LA-ICP-MS U-Pb法对带内许多岩体进行了新一轮的研究,新的年龄数据表明许多过去被认为是晚古生代海西期的矿床,其实为印支晚期成矿作用的

产物(秦宽,1995)。长仁铜镍矿区岩体的定年工作仅在上世纪九十年代有学者对其进行了K-Ar定年(陈子诚,1991;李文渊,1996),此后再无更新的年代学数据,因此本次对Σ11岩体进行锆石LA-ICP-MS进行年代学研究,以期获得可信的年代学数据,同时结合区域研究资料,初步推断长仁铜镍矿形成的构造背景。

1 地质背景

研究区位于华北克拉通北缘东段,兴蒙造山带的东段,处于两大大地构造单元的衔接部位(Zhang et al., 1984; 刘金龙,2016)(图1)。

区内主要出露地层为下古生界奥陶系青龙村群,为一套经历中级变质的浅海相海底-火山喷发沉

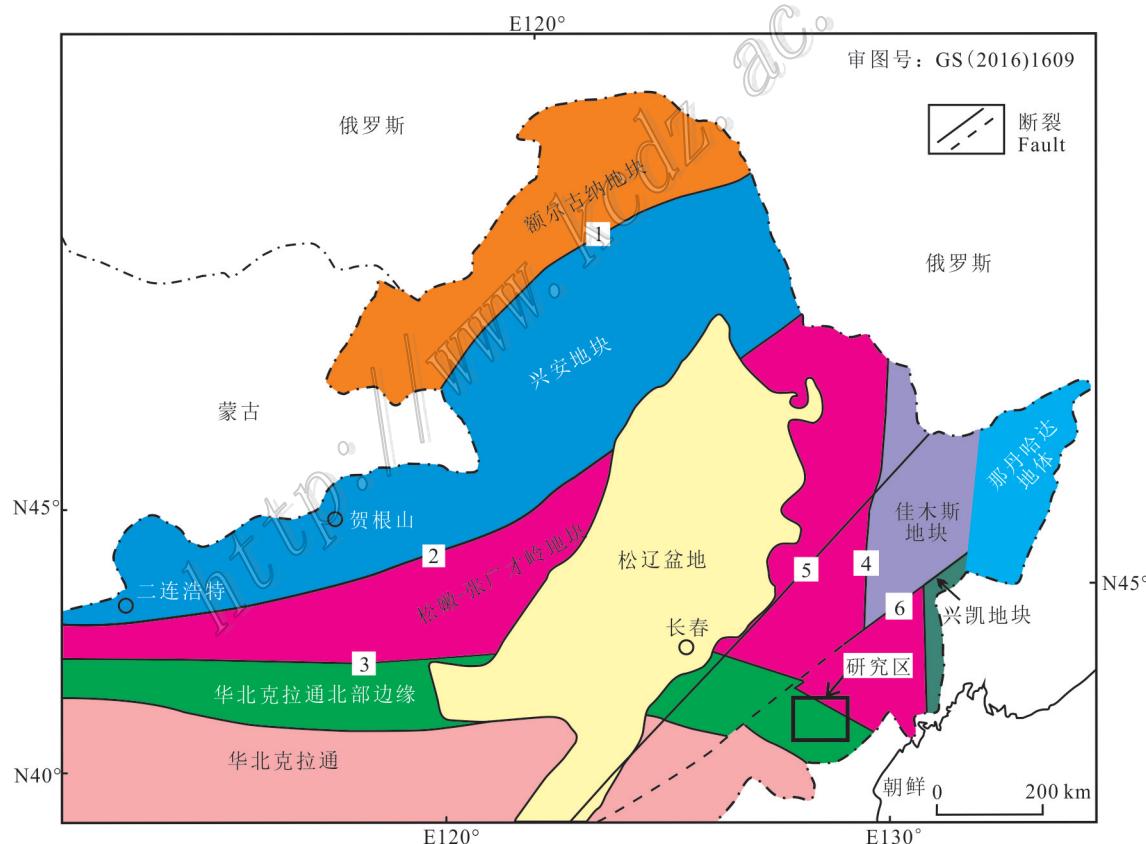


图1 中国东北部构造示意图(据Wu et al., 2007; Xu et al., 2014)

1—喜桂图-塔源缝合带;2—爱尔格音索木-锡林浩特-黑河缝合带 3—索伦-西拉木伦-长春-延吉缝合带;4—嘉荫-牡丹江断裂;
5—伊通-伊兰断裂;6—敦化-密山断裂

Fig. 1 Geological sketch map of the Northeast China (after Wu et al., 2007; Xu et al., 2014)

1—Xiguitu-Tayuan Suture Zone; 2—Aiergeyinsuomu-Xilinhot-Heihe Suture Zone; 3—Suolun-Xilamulun-Changchun-Yanji Suture Zone;
4—Jiayin-Mudanjiang Fault; 5—Yitong-Yilan Fault; 6—Dunhua-Mishan Fault

积建造,可分为上、中、下3段,分别由角闪斜长片麻岩、方解石或硅质条带大理岩以及具中深成变质的片麻岩组成(朴景道等,2011)(图2),其变质作用时间为二叠纪末到三叠纪初期(张春艳等,2007;于介江等,2008)。该套地层主要出露于长仁-青龙-獐项地区,呈NE向带状展布。

区域内经历了多期次规模强烈的构造运动,形成了一系列深大断裂,北西向古洞河断裂带为华北地台和吉黑地槽边界断裂带,由一系列平行逆断层组成,具有规模大、切割深、多期活动的特点(赵东根等,1986;刘永祥,1989),是区内镁铁-超镁铁质岩浆运移的主要通道,构成了区域内主要的构造格架和

第一级导岩构造。北西向的长仁-青龙断裂和獐项断裂分布于长仁背斜的核部,平行于褶皱轴向,为向西南突出的弧形断褶带的一部分,与古洞河深断裂在卧龙至河西洞一带斜接,为矿区内的主要储岩构造。受断裂控制,长仁矿区岩体及矿体多呈北西向到北北西向的似层状、透镜状、不规则状分布。区域内还分布北西向至北东向的成矿后断裂,总体对岩体或矿体破坏作用不大。

区域内发育多种类型岩石,包括中基性、中酸性火山岩,镁铁质-超镁铁质岩石及发生变质变形的花岗质岩石。岩浆型铜镍硫化物矿床往往与镁铁-超镁铁质岩体密切相关,受岩体控制成群成带分布。

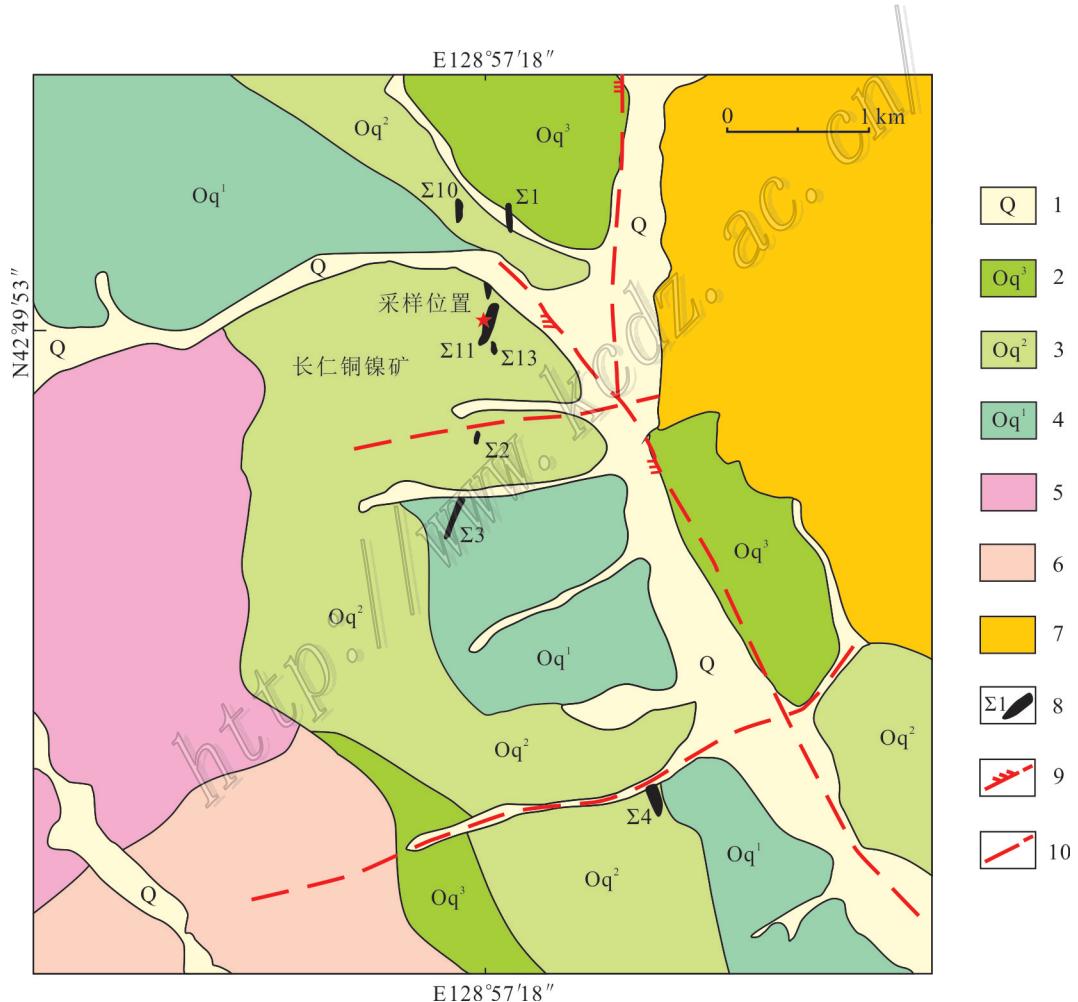


图2 长仁矿区地质图(据朴景道等,2011)

1—第四系;2—角闪斜长片麻岩、黑云石英片麻岩;3—硅质条带大理岩、方解石大理岩;4—黑云斜、长片麻岩夹薄层大理岩;
5—黑云母斜长花岗岩;6—闪长岩;7—辉长岩;8—镁铁质-超镁铁质岩体及编号;9—断层;10—推断断层

Fig. 2 Geological map of Changren mining area (after Piao et al., 2011)

1—Quaternary; 2—Amphibole plagioclase gneiss, biotite quartz gneiss; 3—Siliceous banded marble, calcite marble; 4—Biotite plagioclase gneiss intercalated with thin layer marble; 5—Biotite plagiogranite; 6—Diorite; 7—Gabbro; 8—Mafic-ultra-mafic rock and serial number;
9—Fault; 10—Inferred fault

本次研究区獐顶—长仁矿田已知有22个基性-超基性岩体,按照其空间组合形式自北至南可划分为7个小岩带,均展布于深断裂以北的泥盆系青龙村群中。

2 矿区内岩体及矿体

长仁矿区内共分布有10个超基性岩体和几个基性岩体,其中以 $\Sigma 11$ 、 $\Sigma 13$ 、 $\Sigma 4$ 岩体的含矿性最佳,构成了长仁铜镍矿床。下面对几个重要的含矿岩体进行简要介绍:

$\Sigma 11$ 号岩体:地表出露长度为320 m,宽度40~60 m,厚50~70 m,最大厚度106 m,延深550 m,最大斜长1400 m,向北西倾斜,倾角40°~50°向南西侧伏,侧伏角15°~25°,出露面积0.33 km²,岩体在平面上呈串珠状,剖面形态为似板状、似透镜状等。

$\Sigma 13$ 号岩体:地表出露长度为200 m,斜长840 m,厚度20~30 m,最大厚度78 m,延深近400 m,在平面上为月牙状,剖面形态为透镜状,面向南西西。倾角35°~50°。向南西侧伏,倾伏角15°~20°。

$\Sigma 4$ 岩体:岩体形态为不规则的透镜状,北部被断裂所切割,地表出露长度240 m,宽度30~60 m,出露面积0.015 km²,岩体走向350°,向西倾斜,倾角40°~50°,向南西侧伏。

本次采样的长仁 $\Sigma 11$ 岩体属于辉石岩-二辉橄榄岩型,岩体由中部底部的橄榄岩相渐变过渡为边部和上部的辉石岩相,其中橄榄岩相占岩体的85%,为主要含矿岩相,岩石类型包括辉石橄榄岩、含长辉石橄榄岩,边部主要岩性为橄榄辉石岩(图3b)、辉石岩、含长辉石岩等。岩体中矿石矿物富集到一定规模时构成矿体。矿体类型主要有3种:地表氧化带型矿体、浸染状熔离矿体以及贯入矿体。矿石构造以浸染状构造为主,其次还有斑点状、细脉状和致密块状,矿石结构主要为他型粒状结构、半自形晶粒结构,其次还有固溶体分离结构、环状交代结构及海绵陨铁结构等,矿石矿物主要为镍黄铁矿、红砷镍矿、雌黄铁矿、黄铜矿等。

3 样品描述及测试方法

3.1 样品描述

本次取样位置为吉林省和龙市长仁铜镍矿区,坐标为128°57'18"E, 42°49'53"N。样品岩性为长仁铜镍矿 $\Sigma 11$ 基性-超基性岩体中橄榄辉石岩。

岩石样品为块状构造,他形粒状结构到半自形粒状结构。主要矿物包括单斜辉石,含量约35%,粒度1~2 mm,部分可见单斜辉石包裹橄榄石颗粒;斜方辉石,含量约25%,粒度1~3 mm;橄榄石,含量约30%,粒度2~4 mm,橄榄石颗粒发育裂纹。此外镜下还可以见少量发育聚片双晶的斜长石,局部发育有滑石、皂石等蚀变矿物。副矿物尖晶石、磷灰石和少量金属矿物等。

3.2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学测试方法

锆石挑选在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室完成,利用标准重矿物分离技术进行分选。在双目镜下进行仔细挑选,选出晶型完好具有代表性的锆石,将不同特征的锆石粘在双面胶上,用无色透明的环氧树脂进行固定。待其固化之后,将表面抛光至锆石中心。在测试前,通过反射光和CL图像仔细研究锆石的晶体形态与内部结构特征,以选择最佳测试点。锆石制靶、反射光、阴极发光以及锆石U-Pb年龄测定和痕量元素分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行。本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为32 μm,激光剥蚀样品的深度为20~40 μm;实验中采用He作为剥蚀物质的载气。锆石年龄采用国际标准锆石91500作为外标,元素含量采用NIST SRM610作为外标,²⁹Si作为内标元素(锆石中w(SiO₂)为32.8%,袁洪林等,2003),分析方法见文献(Yuan et al., 2004);普通铅校正采用Anderson推荐的方法(Anderson, 2002);样品的同位素比值及元素含量计算采用ICP-MS-DATACAL程序(Liu et al., 2008; 2010),年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot程序(Ludwig, 2003)。

4 分析结果-锆石 LA-ICP-MS 年代学

根据锆石CL图像显示(图5),岩石样品中的锆石晶型较好,呈短柱状-长柱状(图4)。锆石w(U)= 311×10^{-6} ~ 17300×10^{-6} , w(Th)= 139×10^{-6} ~ 8687×10^{-6} , Th/U比值介于0.38~5.03(仅7、16号点为0.38),显示其岩浆成因(李长民, 2009)。个别数据点Th/U比值偏高,Wang X等(2011)通过长英质到镁铁质岩中锆石的w(Th)、w(U)和Th/U比值发现,岩浆温度越高, Th在锆石中的含量会相对U会更高,因此会导致镁铁质岩石中锆石的Th/U比值高于长英质岩石,并且在锆石结晶过程,随着温度、压力等结晶条件的变化,也会出现不平衡结晶的现象,因此个别锆石的Th/U可能出现较低或较高值。本次共测试20个样

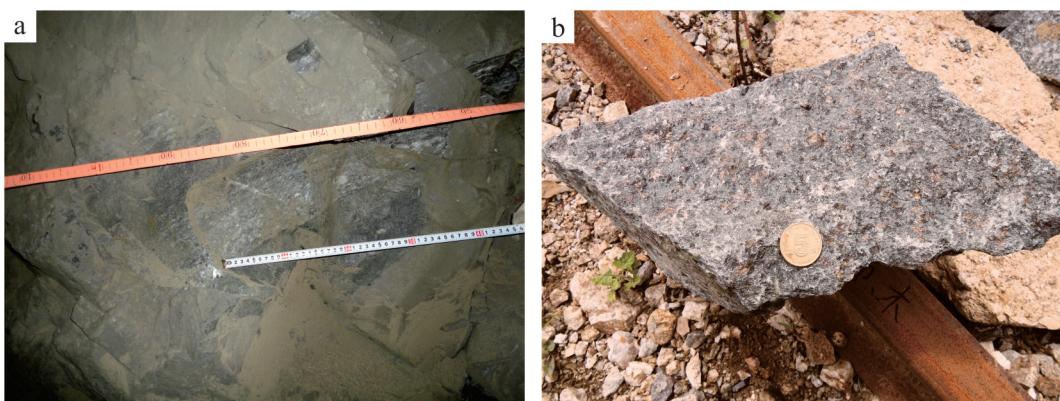


图3 长仁Σ11岩体围岩以及岩体和矿石的手标本

a. 片麻岩;b. 橄榄辉石岩

Fig. 3 Photographs of wall rock of Changren Σ11 rock mass and ore rock

a. Gneiss; b. Olivine-pyroxenite

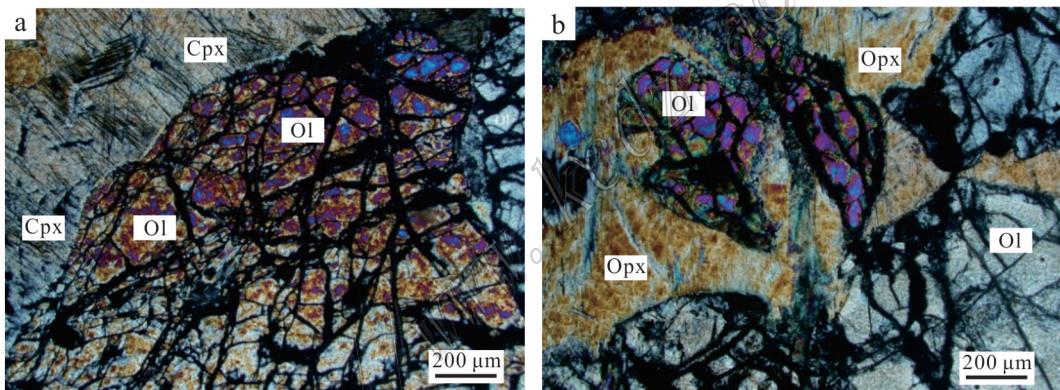


图4 长仁橄榄辉石岩镜下照片

Cpx—单斜辉石 Opx—斜方辉石 Ol—橄榄石

Fig. 4 Microphotographs(+) of Changren Olivine-pyroxenite

Cpx—Clinopyroxene; Opx—Orthopyroxene; Ol—Olivine

品点,测试点谐和性好,均落在谐和线上,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(226\pm1)\text{Ma}$,MSDW=0.47,谐和年龄值为 $(226\pm1)\text{Ma}$,MSDW=0.83(图6),二者误差范围内一致,因此226 Ma可以代表了岩浆结晶年龄,为晚三叠世。

5 讨 论

5.1 岩体形成时代及地质意义

吉林省和龙市长仁铜镍硫化物矿床位于中国北

方造山带,属于华北北缘的成矿区带中的吉黑成矿亚带,其形成与造山作用密切相关。吉林省典型的铜镍硫化物矿床包括红旗岭矿床、茶尖岭矿床、三道岗矿床及漂河川矿床,前三者共同构成红旗岭矿田,为中国第二大铜镍硫化物矿集区(Wu et al., 2004; 郝立波等, 2013)。相比长仁铜镍矿床,红旗岭矿田以及漂河川矿床的镁铁-超镁铁质岩体以及相关铜镍矿床的成矿机制已有诸多学者进行了研究(Wu et al., 2004; 郜爱华等, 2005; 杨言辰等, 2005; 张广良等, 2005; 周树亮等, 2009; 2010; 郝立波等, 2013;

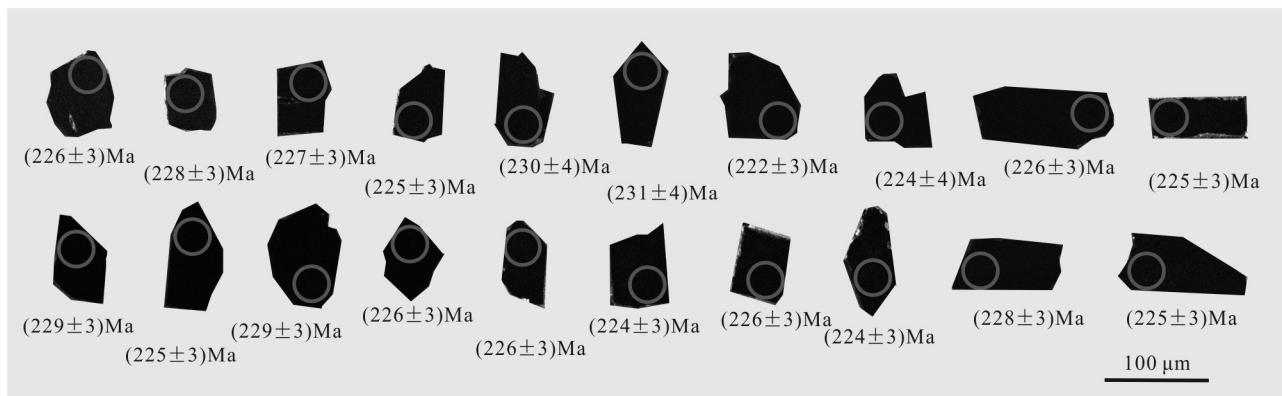


图5 长仁橄榄辉石岩锆石CL图像

Fig. 5 CL images of zircons of Changren olivine-pyroxenite

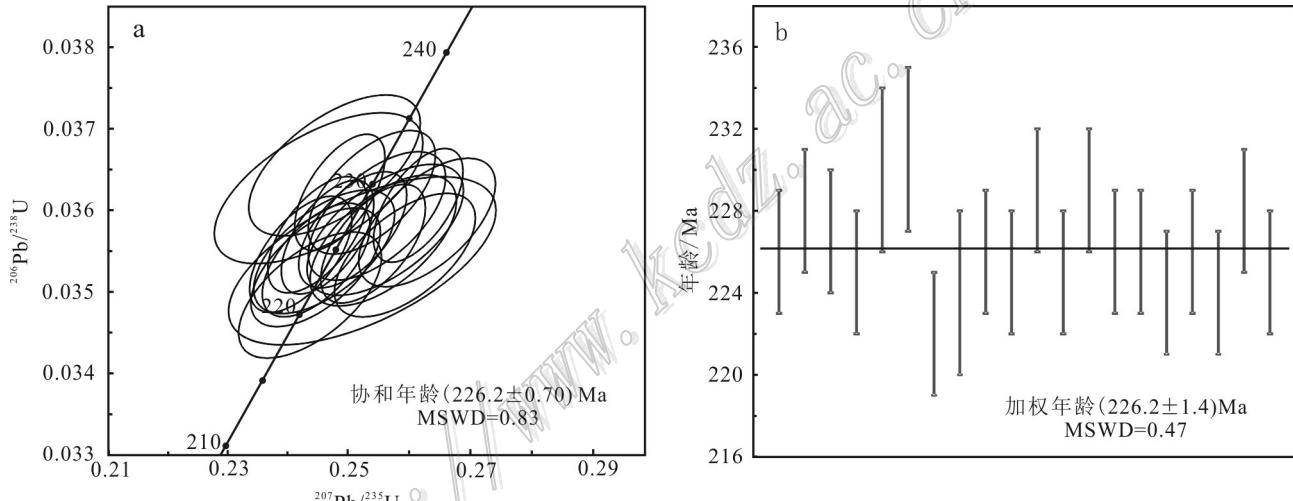


图6 长仁橄榄辉石岩锆石U-Pb年龄谐和图(a) 锆石U-Pb年龄加权图(b)

Fig. 6 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and zircon weighted average ages of Changren olivine-pyroxenite

Wei et al., 2014;曹希英,2016)。近年来由于高精度测试手段的不断发展,红旗岭、漂河川、茶尖岭、三道岗等过去被认为形成于海西期(350~330 Ma)的矿床(秦宽,1995),均被证实形成于印支期,年龄见表2。过去陈子诚(1991)和李文渊(1996)对长仁Σ11岩体进行全岩K-Ar定年,测试结果为361 Ma,之后再无年代学数据更新。然而对于深成条件下形成的辉石往往含有非放射成因的过剩Ar,可能会造成年龄值偏大(戴樟漠,1981)。而此次对长仁矿区与成矿关系密切Σ11岩体进行的锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学测结果表明,Σ11基性-超基性岩体中橄榄辉石

岩形成时代为(226±1) Ma,MSDW=0.47,为印支晚期产物,而非前人认为的海西期产物。长仁与红旗岭、漂河川、茶尖岭、三道岗等矿床为同一时代成矿事件。

5.2 构造背景

上述年代学数据表明,吉林省中部在晚三叠世发育了一条近东西向的镁铁质-超镁铁质岩浆岩带,这些岩体形成的构造背景是什么?因为本次并未对长仁矿区的橄榄辉石岩进行地球化学方面的研究,只能结合区域内资料初步对其形成的构造环境进行判别。研究区北部与佳木斯-兴凯地块相接,南部毗

表1 长仁橄榄辉石岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytic data and Ti geological temperature calculation of Changren olivine-pyroxenite

测点	$w(B)/10^{-6}$		Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma	
	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
HLCR-2-1	2489	3736	0.67	0.05206	0.00221	0.25608	0.0081	0.03563	0.00053	226	3
HLCR-2-2	2070	3664	0.56	0.05142	0.00211	0.25502	0.0076	0.03593	0.00052	228	3
HLCR-2-3	956	202	4.73	0.05323	0.00215	0.26343	0.00757	0.03585	0.00052	227	3
HLCR-2-4	420	139	3.02	0.05621	0.00226	0.27739	0.0079	0.03576	0.00052	225	3
HLCR-2-5	2239	4848	0.46	0.049	0.00271	0.24524	0.01155	0.03627	0.00061	230	4
HLCR-2-6	3182	4419	0.72	0.04916	0.00235	0.24791	0.0095	0.03655	0.00057	231	4
HLCR-2-7	648	1685	0.38	0.05055	0.00218	0.2438	0.00791	0.03496	0.00051	222	3
HLCR-2-8	4549	2467	1.84	0.05175	0.00341	0.25256	0.01481	0.03538	0.00068	224	4
HLCR-2-9	1877	1060	1.77	0.05231	0.00195	0.25843	0.00633	0.03582	0.00049	226	3
HLCR-2-10	962	713	1.35	0.05183	0.00187	0.25437	0.0058	0.03559	0.00048	225	3
HLCR-2-11	6608	1313	5.03	0.0498	0.00171	0.24879	0.005	0.03622	0.00047	229	3
HLCR-2-12	17300	7932	2.18	0.04953	0.00181	0.24224	0.00566	0.03546	0.00047	225	3
HLCR-2-13	5164	1227	4.21	0.05089	0.00201	0.25416	0.00704	0.03622	0.0005	229	3
HLCR-2-14	1157	454	2.55	0.05199	0.00229	0.25641	0.00866	0.03576	0.00053	226	3
HLCR-2-15	1184	1275	0.93	0.04977	0.00178	0.24503	0.00549	0.0357	0.00047	226	3
HLCR-2-16	2325	6095	0.38	0.05334	0.00216	0.26069	0.00758	0.03544	0.0005	224	3
HLCR-2-17	331	348	0.95	0.05017	0.00174	0.24674	0.00512	0.03567	0.00046	226	3
HLCR-2-18	1480	2892	0.51	0.05227	0.00195	0.25575	0.00632	0.03548	0.00048	224	3
HLCR-2-19	5270	8687	0.61	0.05268	0.00177	0.26195	0.00495	0.03606	0.00046	228	3
HLCR-2-20	531	955	0.56	0.05313	0.00218	0.25971	0.0078	0.03545	0.0005	225	3

表2 吉林地区岩浆矿床成矿年龄

Table 2 metallogenetic age of magmatic ore deposit in Jilin Province

矿床名称	测年方法	测试岩石、矿物	年龄/Ma	资料来源
三道岗	LA-ICP-MS U-Pb 法	锆石	~232	汪志刚, 2012
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法	黑云母	~226	郗爱华等, 2005
	SHRIMP U-Pb 法	锆石	~216	张广良等, 2005
	LA-ICP-MS U-Pb 法	锆石	~221	冯光英等, 2011
红旗岭	Re-Os 等时线年龄	染状矿石	~215	郝立波等, 2014
	SHRIMP U-Pb 法	锆石	~212	郝立波等, 2014
漂河川	SHRIMP U-Pb 法	锆石	~217	Wu et al., 2004
	SHRIMP U-Pb 法	锆石	~222	颤颜强等, 2007
山门	LA-ICP-MS U-Pb 法	锆石	~225	郗爱华等, 2008
长仁	LA ICP MS U-Pb 法	锆石	~226	本文

邻华北克拉通, 属于兴蒙造山带的东端, 遭受古亚洲洋构造域和古太平洋构造域叠加作用的影响。(Li, 2006; Wu et al., 2007; 2011; Meng et al., 2010; 郝立波等, 2013)。

早古生代末期到早二叠世, 华北北缘存在一条东西向展布的钙碱性火成岩组合, 吉中地区到延吉地区也发育一条早二叠世钙碱性火山岩带(Zhang

et al., 2009; 曹花花等, 2012), 吉林色洛河地区和珲春地区发现有形成于俯冲板片部分熔融形成的高镁安山岩(252 ± 5) Ma 和高镁安山岩(241~240) Ma(李承东等, 2007; 付长亮等, 2010), 表明此时华北北缘处在古亚洲洋向华北板块之下俯冲的活动大陆边缘环境中。二叠世末—三叠世初, 吉中-汪清-珲春地区形成一条近东西向分布的同碰撞花岗岩和埃达

克质岩带,如大玉山岩体(~ 248 Ma)、和龙勇新岩体(~ 243 Ma)、百里坪二长花岗岩(($249\sim 245$) Ma)、柳树沟二长石花岗岩(245 Ma)等(孙德有等,2004; Zhang et al., 2004; Wang et al., 2015; 关庆彬等2016)。结合青龙村群、呼兰群、五道沟群、色洛河群均遭受了二叠世末到三叠世初的区域变质作用,呼兰群顺时针演化的PTt轨迹也显示挤压造山成因(郗爱华等,2003;孙德有等,2004;张春艳等,2007;于介江等,2008)。吉林东部长春—延吉一线晚二叠世至三叠纪初期的碎屑岩研究显示其具有华北克拉通北缘及北部陆块的双向物源区,且其中碎屑锆石(~ 233 Ma)退变质年龄可能代表碰撞作用的高峰期(Zhou et al., 2017)。因此,笔者认为古亚洲洋在该区域闭合碰撞作用可能最晚于晚二叠世开始,持续至早三叠世末到中三叠世结束。

本文测得长仁铜镍矿形成年龄为226 Ma,区域上东西向展布的镁铁-超镁铁质岩体均形成于晚三叠世期间(($230\sim 210$) Ma Wu et al., 2004; 吕林素等,2007a; 2007b; 冯光英等,2011)。结合晚三叠世广泛发育的A型花岗岩、流纹岩,以及该时期广泛的磨拉石建造(Wu et al., 2007, 2011; Xu et al., 2009; 魏红艳等,2012; 郗爱华,2006),笔者认为晚三叠世研究区处于古亚洲洋闭合碰撞后强烈的伸展环境。

综上所述笔者认为长春-延吉带应属于古亚洲洋闭合后的缝合线,长仁与红旗岭、漂河川、茶尖岭、三道岗均为同时期内相同构造背景下的产物,产在为古亚洲洋碰撞后伸展环境(Wu et al., 2004; 2007; 郗爱华等,2006; 冯光英等,2011; 汪志刚,2012),可能为受到岩石圈拆沉作用影响导致地幔部分熔融上涌形成基性-超基性岩浆,岩浆在不同构造空间中运移、熔离贯入成矿。

6 结 论

(1) 长仁Σ11岩体LA-ICP-MS年龄为(226 ± 1) Ma,MSDW=0.47,为印支晚期,限定长仁铜镍矿成矿时代为晚三叠世,与红旗岭、漂河川、茶尖岭等矿床为同期成矿事件。

(2) 结合区域内二叠世末到早三叠世同碰撞型花岗岩分布、区域变质作用发生和中-晚三叠世A型花岗岩以及镁铁-超镁铁质岩的分布,文章认为长仁铜镍矿形成于古亚洲洋闭合后的强烈伸展环境。

Reference

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 192(1-2): 59-79.
- Cao H H, Xu W L, Pei F P, Guo P Y and Wang F. 2012. Permian tectonic evolution of the eastern section of the northern margin of the North China Plate: Constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(9): 2733-2750(in Chinese with English abstract).
- Cao X Y. 2016. An understanding of the age of some ore-bearing rock mass in Hongqiling-Chajianling ore belt: To understand the age of ore-bearing mafic-ultramafic rock mass from perspectives of continental crust and lithosphere[J]. Mineral Resources and Geology, 30(2): 278-283(in Chinese with English abstract).
- Chen Z C. 1991. Geological characteristics and mineralogical pattern of magmatic Cu-Ni sulphide deposits in Jilin[J]. Geology and Prospecting, 27(10): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Dai T M. 1981. The first lecture of Geochronology——K-Ar dating[J]. Earth and Environment, 1: 50-53(in Chinese).
- Feng G Y, Liu S, Feng C X, Jia D C, Zhong H, Yu X F, Qi Y Q and Wang T. 2011. Zircon U-Pb age, Sr-Nd-Hf isotope geochemistry and the petrogenesis of the ultramafic pluton in Hongqiling, Jilin Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(6): 1594-1606(in Chinese with English abstract).
- Feng S Z. 2004. Metallogenetic regularities of copper-nickel sulphide deposits in Jilin Province[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 24(1): 7-13(in Chinese with English abstract).
- Fu C L, Sun D Y, Zhang X Z, Wei H Y and Gou J. 2010. Discovery and geological significance of the Triassic high-Mg diorites in Hunchun area, Jilin Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(4): 1089-1102 (in Chinese with English abstract).
- Guan Q B, Li S C, Zhang C, Shi Y and Li P C. 2016. Zircon U-Pb dating, geochemistry and geological significance of the I-type granites in Helong area, the eastern section of the southern margin of Xing-Meng Orogenic Belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(9): 2690 - 2706(in Chinese with English abstract).
- Hao L B, Sun L J, Zhao Y Y and Lu J L. 2013. SHRIMP zircon U-Pb dating of Chajian mafic-ultramafic rocks in Hongqiling mine field, Jilin Province, and its implications[J]. Earth Sciences(Journal of China University of Geosciences), 38(2): 233-240(in Chinese with English abstract).
- Hao L B, Wu C, Sun L J, Jiang Y M, Zhao Y Y, Lu J L and Li J. 2014. Re-Os isotope characteristics of Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit in Jilin Province and its significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Sciences), 44(2): 507-517(in Chinese with English abstract).
- Li C D, Zhang F Q, Miao L C, Xie H Q and Xu Y W. 2007. Zircon SHRIMP geochronology and geochemistry of late Permian high-Mg andesites in Seluohe area, Jilin Province, China[J]. Acta Petro-

- logica Sinica, 23(4): 767-776(in Chinese with English abstract).
- Li C M. 2009. A Review on the mineralogy and *situ* microanalytical dating techniques of zircons[J]. Geological Survey and Research, 32(3): 161-174(in Chinese with English abstract).
- Li J Y. 2006. 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, 26(3-4): 207-224.
- Li W Y. 1996. Metallogenesis series and geochemistry of copper nickel sulfide deposits in China[M]. Xian: Xian Map Publishing House. 1-228(in Chinese).
- Liu J L. 2016. Study on tectonic evolution and metallogenesis in the region between China and North Korea[D]. tutor: Sun F Y. Jilin: Jilin University, 245p (in Chinese).
- Liu Y X. 1989. Characteristics of Huifahe-Gudonghe ductile shear zone and its control effect on gold mineralization[J]. Global Geology, 8(1): 59-71(in Chinese).
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G and Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257(1-2): 34-43.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q and Wang D B. 2010. 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, 51(1-2): 537-571.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Special Publication No. 4a. Berkeley Geochronology, Berkeley, CA.
- Lü L S, Liu J, Zhang Z H and Xie G Q. 2007a. Temporal-spatial distribution and geodynamic settings of magmatic Ni-Cu(PGE) sulfide deposits in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2561-2594 (in Chinese with English abstract).
- Lü L S, Mao J W, Liu J, Zhang Z H, Xie G Q and Chai F M. 2006. An approach to the tectonic settings of typical magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposits in eastern Jilin Province[J]. Mineral Deposits, 25(S1): 83-86(in Chinese with English abstract).
- Lü L S, Mao J W, Liu J, Zhang Z H and Xie G Q. 2007b. Geological characteristics, geochronology and tectonic Settings of typical magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposits in the northern margin of the North China Craton[J]. Acta Geoscientia Sinica, 28(2): 148-166(in Chinese with English abstract).
- Meng E, Xu W L, Pei F P, Yang D B, Yu Y and Zhang X Z. 2010. Detrital-zircon geochronology of late Paleozoic sedimentary rocks in eastern Heilongjiang Province, NE China: Implications for the tectonic evolution of the eastern segment of the Central Asian Orogen[J]. Tectonophysics, 485(1): 42-51.
- Piao J D, Gao X S, Xu M F and Wu F Y. 2011. Geologic features and genesis of Changren copper-nickel deposit in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 30(2): 70-74(in Chinese with English abstract).
- Qin K. 1995. Geological features of magmatic sulfide Cu-Ni deposit at the Hongqiling, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 14(03): 17-30(in Chinese with English abstract).
- Sun D Y, Wu F Y, Zhang Y B and Gao S. 2004. 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), 34(02): 174-181(in Chinese with English abstract).
- Wang X, Williams L G, Chen J, Huang P Y and Li X. 2011. U and Th contents and Th/U ratios of zircon in felsic and mafic magmatic rocks: Improved zircon-melt distribution coefficients[J]. Acta Geological Sinica, 85(1): 164-174(in Chinese with English abstract).
- Wang Z G. 2012. Study on metallogenesis of Mesozoic endogenetic metal deposits in the eastern part of Jilin Province[D]. Tutor: Sun F Y. Jilin: Jilin University, 205p.
- Wang Z J, Xu W L, Pei F P, Wang Z W, Li Y and Cao H H. 2015. Geochronology and geochemistry of middle Permian-Middle Triassic intrusive rocks from central-eastern Jilin Province, NE China: Constraints on the tectonic evolution of the eastern segment of the Paleo-Asian Ocean[J]. Lithos, 238: 13-25.
- Wei B and Wang C Y. 2014. Formation of the Piaohechuan Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit and insights into the magma plumbing system in the Hongqiling-Piaohechuan region, NE China[J]. Acta Geologica Sinica, 88(S2):328-329.
- Wei H Y, Sun D Y, Ye S Q, Yang Y C, Liu Z H, Liu X M and Hu Z C. 2012. Zircon U-Pb ages and its geological significance of the granite rocks in the Yichun-Hegang region, Southeastern Xiao Hinggan Mountains[J]. Earth Science(Journal of China University of Geosciences), 37(S1): 50-59(in Chinese with English Abstract).
- Wu F Y, Wilde S A, Zhang G L and Sun D Y. 2004. Geochronology and petrogenesis of the post-orogenic Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complexes in Jilin Province, NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23(5): 781-797.
- Wu F Y, Zhao G C, Sun D Y, Wilde S A and Yang J H. 2007. The Hulan Group: Its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 30(3-4): 542-556.
- Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, Zhang Y B, Grant M L, Wilde S A and Jahn B M. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in north-eastern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 41(1): 1-30.
- Xi A H, Cai Y F, Ge Y H, Sun G S and Li B L. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Longwang gabbro of Shannmen silver deposit in Siping city and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 27 (1): 57-63(in Chinese with English abstract).
- Xi A H, Gu L X, Li X J and Zheng Y C. 2006. The magmatic sulphide Cu-Ni deposits and their earth dynamics setting in North Orogenic Belt of China-A case study of Hongqiling Deposits[J]. Acta Geological Sinica, 80(11): 1721-1729(in Chinese with English abstract).
- Xi A H, Gu L X, Li X J, Ye S Q and Zheng Y C. 2005. Discussion on metallogenetic epoch of Hongqiling Cu-Ni sulfide deposit, Jilin

- Province[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 54-59(in Chinese with English abstract).
- Xi A H, Ren H M, Zhang B F, Wang Y X, Shi S B and Zhi X J. 2003. Isotopic chronology of the Hulan Group and its geological significance in the central Jilin Province[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 33(01): 15-18(in Chinese with English abstract).
- Xie H Q, Zhang F Q, Miao L C, Li T S and Liu D Y. 2007. Characteristics of the Piaohechuan mafic-ultramafic complex, central Jilin, northeast China: Constraints on the nature and evolution of the northeastern North China marginal tectonic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(7): 810-822(in Chinese with English abstract).
- Xu B, Zhao P, Bao Q Z, Zhou Y H, Wang Y Y and Luo Z W. 2014. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt(XMOB)[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1841-1857.
- Xu W L, Ji W Q, Pei F P, Meng E, Yu Y and Yang D B. 2009. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin Provinces, NE China: Chronology, geochemistry, and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 392-402.
- Yang Y C, Sun D Y, Ma Z H and Xu W L. 2005. The forming mechanisms of Hongqiling mafic and ultramafic intrusive bodies and Cu-Ni sulfide deposits[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(05): 593-600(in Chinese with English abstract).
- Yu J J, Men L J, Chen L, Zhao J K, Liang S N, Chen D and Feng W. 2008. SHRIMP U-Pb Ages of zircon and its geological implications from metamorphic dacite of the Wudaogou Group in Yanbian area[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(3): 363-367(in Chinese with English abstract).
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, Li H M, Gunther D and Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353-370.
- Yuan H L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P and Sun D Y. 2003. Zircon Laser Probe U-Pb ages dating and REE component analysis of Cenozoic intrusions in NE China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511-1520(in Chinese with English abstract).
- Zhang C Y, Zhang X Z and Qiu D M. 2007. Zircon U-Pb isotopic ages of amphibolite of Qinglongcun Group in Yanbian area and its geological significance[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(4): 672-677(in Chinese with English abstract).
- Zhang G L and Wu F Y. 2005. Geochronology significances of the post-orogenic mafic-ultramafic rocks in Hongqiling area of Jilin Province, NE China[J]. *Seismology and Geology*, 27(4): 600-608(in Chinese with English abstract).
- Zhang S H, Zhao Y, Kröner A, Liu X M, Xie L W and Chen F K. 2009. Early Permian plutons from the northern North China Block: Constraints on continental arc evolution and convergent margin magmatism related to the Central Asian Orogenic Belt[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1441-1467.
- Zhang Y B, Wu F Y, Wilde S A, Zhai M G, Lu X P and Sun D Y. 2004. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of 'Early Paleozoic' granitoids at Yanbian, Jilin Province, northeast China[J]. *Island Arc*, 13(4): 484-505.
- Zhao D G and Wang H D. 1986. Geological characteristics and genesis of Changren Cu-Ni deposit[J]. *Jilin Geology*, (1): 15-28 + 85(in Chinese).
- Zhang Z M, Liou J G and Coleman R G. 1984. An outline of the plate tectonics of China: Discussion and reply[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 95(3): 295-312.
- Zhao X Y. 2015. Platinum group element geochemistry and metallogenetic potential of mafic-ultramafic intrusions from the eastern area of Jilin Province[D]. Tutor: Hao L B. Jilin: Jilin University, 141p.
- Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, Zhao G C, Zheng C Q, Wang Y J and Zhang X H. 2009. The onset of Pacific margin accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt[J]. *Tectonophysics*, 478(3): 230-246.
- Zhou S L, Zhang X D, Li H B, Xin Y H, Jing Z G, Jia N. 2009. Geological characteristics and prospecting guide of the mafic-ultramafic intrusive bodies in Chajian ore district, Jilin Province[J]. *Geology and Resources*, 18(3): 170-176(in Chinese with English abstract).
- Zhou S L, Wan W Z, Sun X F, Zhang J and Du Y Q. 2010. Geochemistry and prospecting implication of the mafic-ultramafic rocks in Chajian ore district, Jilin Province[J]. *Geology and Resources*, 19(2): 109-114+98(in Chinese with English abstract).
- Zhou Z B, Pei F P, Wang Z W, Cao H H, Xu W L, Wang Z J and Zhang Y. 2017. Detrital zircons from late Permian to Triassic sedimentary rocks of Jilin Province, NE China: Constraints on the timing of final closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 14:82-109.

附中文参考文献

- 曹花花, 许文良, 裴福萍, 郭鹏远, 王枫. 2012. 华北板块北缘东段二叠纪的构造属性: 来自火山岩锆石U-Pb年代学与地球化学的制约[J]. *岩石学报*, 28(9): 2733-2750.
- 曹希英. 2016. 红旗岭—茶尖岭矿带部分含矿岩体时代认识——从陆壳、岩石圈角度认识含矿镁铁-超镁铁质岩体时代[J]. *矿产与地质*, 30(2): 278-283.
- 陈子诚. 1991. 吉林省岩浆铜镍硫化物矿床地质特征及成矿模式[J]. *地质与勘探*, 27(10):1-10.
- 戴樟漠. 1981. 地质年代学第一讲——K-Ar法地质年龄测定[J]. *地质地球化学*, 50-53.
- 冯光英, 刘燊, 冯彩霞, 贾大成, 钟宏, 于晓飞, 齐有强, 王涛. 2011. 吉林红旗岭超基性岩体的锆石U-Pb年龄、Sr-Nd-Hf同位素特征及岩石成因[J]. *岩石学报*, 27(6): 1594-1606.
- 冯守忠. 2004. 吉吉林省岩浆铜镍硫化物矿床成矿规律[J]. *桂林工学院学报*, 24(1):7-13.
- 付长亮, 孙德有, 张兴洲, 魏红艳, 苟军. 2010. 吉林珲春三叠纪高镁闪长岩的发现及地质意义[J]. *岩石学报*, 26(4): 1089-1102.
- 关庆彬, 李世超, 张超, 时溢, 李鹏川. 2016. 兴蒙造山带南缘东段

- 和龙地区 I 型花岗岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 32(9): 2690-2706.
- 郝立波, 孙立吉, 赵玉岩, 陆继龙. 2013. 吉林红旗岭镍矿田茶尖岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 38(2): 233-240.
- 郝立波, 吴超, 孙立吉, 蒋艳明, 赵玉岩, 陆继龙, 李杰. 2014. 吉林红旗岭铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素特征及其意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 44(2): 507-517.
- 李承东, 张福勤, 苗来成, 颜颂强, 许雅雯. 2007. 吉色彩洛河晚二叠世高镁安山岩 SHRIMP 锆石年代学及其地球化学特征[J]. 岩石学报, 23(4): 767-776.
- 李长民. 2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 32(3): 161-174.
- 李文渊. 1996. 中国铜镍硫化物矿床成矿系列与地球化学[M]. 西安: 西安地图出版社. 1-228.
- 刘永祥. 1989. 辉发河-古洞河韧性剪切带特征及其对形成金矿床的意义[J]. 世界地质, 8(1): 59-71.
- 刘金龙. 2016. 中朝邻区地质及成矿作用对比研究[D]. 导师: 孙丰月. 吉林: 吉林大学, 245 页.
- 吕林素, 毛景文, 刘珺, 张作衡, 谢桂青, 柴凤梅. 2006. 吉林东部岩浆 Ni-Cu-(PGE) 硫化物矿床地球动力学背景初探[J]. 矿床地质, 25 (S1): 83-86.
- 吕林素, 刘珺, 张作衡, 谢桂青. 2007a. 中国岩浆型 Ni-Cu-(PGE) 硫化物矿床的时空分布及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23(10): 2561-2594.
- 吕林素, 毛景文, 刘珺, 张作衡, 谢桂青. 2007b. 华北克拉通北缘岩浆 Ni-Cu-(PGE) 硫化物矿床地质特征、形成时代及其地球动力学背景[J]. 地球学报, 28(2): 148-166.
- 朴景道, 高岫生, 徐明芳, 吴福元. 2011. 吉林长仁铜镍矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 吉林地质, 30(2): 70-74.
- 秦宽. 1995. 红旗岭岩浆硫化铜镍矿床地质特征[J]. 吉林地质, 14 (3): 17-30.
- 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 高山. 2004. 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体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 34(2): 174-181.
- 汪志刚. 2012. 吉林东部中生代内生金属矿床成矿作用研究[D]. 导师: 孙丰月. 吉林: 吉林大学, 205 页.
- 魏红艳, 孙德有, 叶松青, 杨言辰, 刘志宏, 柳小明, 胡兆初. 2012. 小兴安岭东南部伊春-鹤岗地区花岗质岩石锆石 U-Pb 年龄测定及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 37(S1): 50-59.
- 郗爱华, 任洪茂, 张宝福, 王永祥, 史书宝, 支学军. 2003. 吉林中部呼兰群同位素年代学及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 33(1): 15-18.
- 郗爱华, 顾连兴, 李绪俊, 叶松青, 郑远川. 2005. 吉林红旗岭铜镍硫化物矿床的成矿时代讨论[J]. 矿床地质, 24(5): 54-59.
- 郗爱华, 顾连兴, 李绪俊, 郑远川. 2006. 中国北方造山带岩浆铜镍硫化物矿床及其地球动力学背景——以吉林红旗岭矿床为例[J]. 地质学报, 80(11): 1721-1729.
- 郗爱华, 蔡元峰, 葛玉辉, 孙国胜, 李碧乐. 2008. 四平山门 Cu-Ni 矿化辉长岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 27(1): 57-63.
- 颜颂强, 张福勤, 苗来成, 李铁胜, 刘敦一. 2007. 吉林中部漂河川镁铁-超镁铁质杂岩带的特征: 对华北东北缘构造带性质和演化的约束[J]. 地质通报, 27(7): 810-822.
- 杨言辰, 孙德有, 马志红, 许文良. 2005. 红旗岭镁铁-超镁铁岩侵入体及铜镍硫化物矿床的成岩成矿机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 35(5): 593-600.
- 于介江, 门兰静, 陈雷, 赵俊康, 梁树能, 陈冬, 逢伟. 2008. 延边地区五道沟群变质英安岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 38(3): 363-367.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511-1520.
- 张春艳, 张兴洲, 邱殿明. 2007. 延边地区青龙村群斜长角闪岩中锆石 U-Pb 同位素年龄及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 37(4): 672-677.
- 张广良, 吴福元. 2005. 吉林红旗岭地区造山后镁铁-超镁铁岩体的年代测定及其意义[J]. 地震地质, 27(4): 600-608.
- 赵东根, 王宏达. 1986. 长仁铜镍矿地质特征及成因分析[J]. 吉林地质, (1): 15-28+85.
- 赵新运. 2015. 吉林省东部镁铁-超镁铁质岩体铂族元素地球化学特征及其成矿潜力分析[D]. 导师: 郝立波. 吉林: 吉林大学, 141 页.
- 周树亮, 张向东, 李海斌, 辛永辉, 荆振刚, 贾楠. 2009. 吉林省茶尖矿区镁铁-超镁铁质岩体地质特征及找矿方向[J]. 地质与资源, 18 (3): 170-176.
- 周树亮, 万文周, 孙雪峰, 张剑, 杜艳秋. 2010. 吉林省红旗岭茶尖矿区镁铁-超镁铁岩石地球化学特征及找矿意义[J]. 地质与资源, 19(2): 109-114+98.