

韦延兰, 杨言辰, 刘娜, 等. 黑龙江省跃进山铜金矿床花岗斑岩锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 169-179.  
Wei Yanlan, Yang Yanchen, Liu Na, et al. The dating of ore-bearing granite porphyry in the Yuejinshan skarn Cu-Au deposit, Heilongjiang Province, and its tectonic significance[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 169-179(in Chinese with English abstract).

## 黑龙江省跃进山铜金矿床 花岗斑岩锆石 U-Pb 定年及地质意义

韦延兰<sup>1,2</sup> 杨言辰<sup>1</sup> 刘娜<sup>3</sup> 韩世炯<sup>1</sup> 王庆双<sup>1</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004;  
3. 中国地质调查局发展研究中心(国土资源部矿产勘查技术指导中心), 北京 100120)

**摘要:**跃进山铜金矿床是完达山活动带的典型矿床,位于密山—敦化深断裂北侧。本文对含矿花岗斑岩开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年、主量和微量元素的研究,厘定岩体的形成时代,探讨了成矿构造背景。结果表明与成矿密切相关的花岗斑岩的年龄为(109.17±0.91)Ma。它们为过铝质钙碱性系列岩石,富集 Rb、Ba、La、Nd、Hf 等元素,亏损 Nb、Sr、P、Ti 等元素,具俯冲带岩浆岩的基本特征,这些暗示它们形成于岛弧或活动大陆边缘环境。结合岩体的地球化学特征和完达山成矿带的构造岩浆演化,认为该矿床形成于岛弧构造背景,其形成与中生代太平洋的俯冲及早白垩世晚期东亚东部岩浆活动陆缘迁移、构造单元转化有关。

**关键词:**黑龙江省;跃进山铜金矿;花岗斑岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;构造意义

**中图分类号:**P588.12<sup>+</sup>1;P597 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2015)01-0169-11

## The dating of ore-bearing granite porphyry in the Yuejinshan skarn Cu-Au deposit, Heilongjiang Province, and its tectonic significance

WEI Yan-lan<sup>1,2</sup>, YANG Yan-chen<sup>1</sup>, LIU Na<sup>3</sup>, HAN Shi-jiong<sup>1</sup>, Wang Qing-shuang<sup>1</sup>

(1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*; 2. *Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, Guangxi, China*; 3. *Technology Guiding Center of Mineral Prospecting, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** The Yuejinshan Cu-Au deposit, located in southeast Heilongjiang Province, is a typical deposit which occurs in the north of Mishan-Dunhua Deep fracture of the Wandashan metallogenic belt. The authors carried out LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of main and trace elements in the granite porphyry, and discussed the chronology of the rock mass and the tectonic setting. The results indicate that the ore-related Yuejinshan granite porphyry has a concordia LA-ICP-MS zircon U-Pb age of (109.17±0.91) Ma, which is basically in good consistency with the weighted average age. The Yuejinshan granite porphyry has a geochemical affinity with subduction magmas, characterized by peraluminous nature, enrichment of LILs (Rb, Ba, La, Nd and Hf), and depletion of

收稿日期:2014-05-09;改回日期:2014-10-18

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212011120342, 12120113098300)资助。

作者简介:韦延兰,女,1987年生,硕士生,矿产普查与勘探专业;E-mail: weiyatlan@163.com。

通信作者:杨言辰,男,1965年生,教授,主要从事矿产勘查与矿床学方面的科研与教学;E-mail: yyc@jlu.edu.cn。

HFSE (Nb, Sr, P and Ti). The geochronologic and geochemical characteristics of the Yuejinshan granite porphyry, combined with tectonic evolution of the Wandashan metallogenic belt, suggest that the deposit was formed in a island arc or active continental margin setting and that its formation was probably related to the subduction of the Paleo-Pacific Ocean during the Mesozoic.

**Key words:** Heilongjiang Province; Yuejinshan Cu-Au deposit; granite porphyry; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; tectonic significance

**About the first author:** WEI Yan-lan, female, born in 1987, master candidate, majors in mineral resource prospecting and exploration; E-mail: weiyalan@163.com.

**About the corresponding author:** YANG Yan-chen, born in 1965, male, professor, engages in the study of the mineral resources survey and ore deposits; E-mail: yyc@jlu.edu.cn.

## 1 引 言

完达山成矿带位于黑龙江省东部,是西北环太平洋成矿域 Au、Cu、Fe、Ni、W、Sn 等矿产资源的重要产区<sup>[1,2]</sup>。其大地构造单元属于滨太平洋构造域的完达山—锡霍特活动带内的完达山活动带,是中三叠—早侏罗世太平洋板块俯冲拼贴的增生杂岩体,发育一套深海硅质沉积和蛇绿岩建造<sup>[3-6]</sup>。该成矿带主要经历了印支期和燕山期两期强烈的构造岩浆活动,这两期的成矿作用为区内提供了丰富的矿产资源。目前已发现四平山热泉型金矿床、跃进山矽卡岩型铁矿床、跃进山矽卡岩型铜金矿床、先锋北山火山热液型金矿床、258 高地岩金矿床、358 高地岩金矿床等中、小型矿床 6 处,永幸铜镍矿点、向阳铜矿点、曙光村铜矿点、大别山铜镍矿点、小别拉坑钨锡矿点等 20 余处矿化点<sup>[7-9]</sup>。前人从区域角度对该区的成矿系统<sup>[1,7-9]</sup>、地球物理、地质—地球化学特征<sup>[10-12]</sup>、构造演化<sup>[13-19]</sup>等开展了大量总结性研究。而对成矿带内不同成因类型矿床的研究相对薄弱,特别对区内矽卡岩型矿床的研究尚属空白,在一定程度上影响了区内的找矿工作。跃进山铜金矿为区内典型的小型矽卡岩型铜矿床,伴生矿产有金、铁。在野外观察及系统采样的基础上,本文对含矿花岗斑岩进行地球化学元素和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的测定,研究岩体的形成时代、岩石系列和构造背,为区内同类型矿床的研究提供依据,对区域成矿预测具有重要意义。

## 2 区域地质与矿床地质特征

### 2.1 区域地质特征

跃进山铜金矿床位于黑龙江省宝清县,地处密山—敦化深断裂与大和镇深断裂分割成的完达山

地体的西南端(图 1-a)。区内出露地层主要有上三叠统大佳河组,岩性为硅质岩,局部夹泥岩或粉砂岩、灰岩、硅质岩及硅质板岩;上三叠统一下侏罗统大岭桥组,该组岩性变化较大,以杂砂岩、泥岩夹薄层硅质岩为主,并夹多层镁铁质—超美铁质岩<sup>[20]</sup>;下白垩统东大岭组和第四系坡积和冲积层。

研究区经历了印支期和燕山期两期强烈的岩浆活动,主要发育晚三叠世—中侏罗世基性—超基性岩和白垩纪酸性岩浆岩。晚三叠世—中侏罗世基性—超基性岩的性岩主要为枕状玄武岩,其锆石 U-Pb 年龄为(169.19±6.48)Ma<sup>[21]</sup>;辉长岩,锆石 U-Pb 年龄为(166±1)Ma<sup>[19]</sup>;堆晶辉长岩,锆石 U-Pb 年龄为(228±18)Ma<sup>[12]</sup>、单辉橄榄岩、蛇纹石化橄榄辉石岩、角闪辉石岩等。白垩纪酸性岩浆岩主要由酸性侵入岩和酸性火山岩组成,程瑞玉(2006)获得花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为(111.0±1.0)Ma 和(114.0±1.0)Ma,与邵济安等(1992)获得花岗岩的锆石 TIMS U-Pb 年龄(115.5±1.5)Ma 基本一致;花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(116.0±1.0)Ma、(124±0.4)Ma 和(124±1)Ma<sup>[19]</sup>;酸性火山岩中流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(22.0±1.4)Ma<sup>[22]</sup>,流纹质凝灰岩、流纹质角砾岩的为(117.0±0.4)Ma(待发表)等。

受滨太平洋板块向西俯冲的应力效应,研究区的构造运动频繁,经历了印支期和燕山期两期构造运动<sup>[7]</sup>,区内褶皱、断裂构造强烈变形。区内主要发育有饶河复背斜。密山—敦化深断裂、大和镇深断裂及北西向、北东向、东西向壳内断裂。

### 2.2 矿床地质特征

矿区出露地层为上三叠统一下侏罗统大岭桥组杂砂岩、泥岩夹薄层硅质岩,镁铁质—超美铁质岩。岩层被侵入体肢解成狭长带状或大小不等的

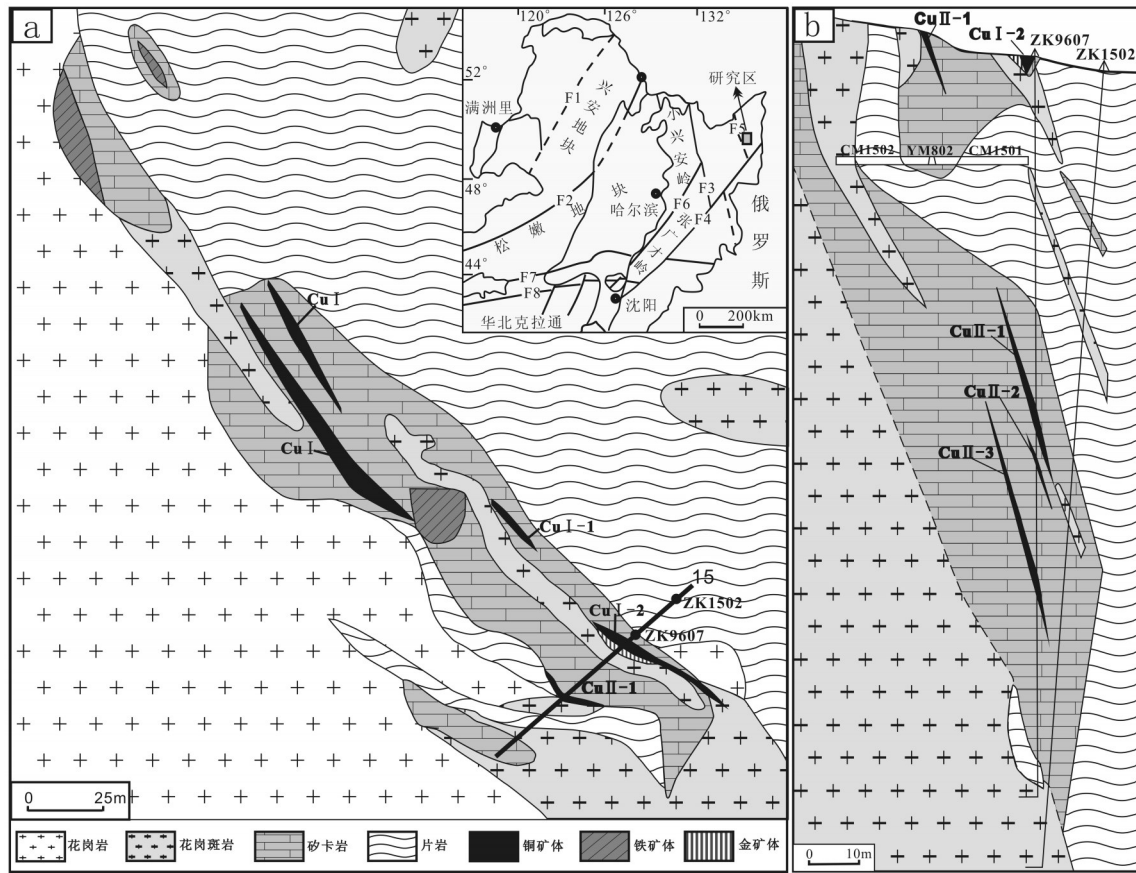


图1 跃进山铜金矿床 I 号矿化带北段地质图(a)及 15 号勘探线剖面图(b)

Fig.1 Geological sketch map of northern No. 1 mineralization zone (a) in the Yuejinshan Cu-Au deposit and geological section along No. 15 exploration line (b)

不规则状捕虏体。矿区内的地层为单斜地层,总体走向 $320^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ,倾向北东,倾角以 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 为主。区内黑云斜长角闪片岩、石英斜长角闪片岩普遍绢云母化、砂卡岩化,形成石榴子石、透辉石、阳起石等组成的砂卡岩带。

矿区发育的侵入岩主要有超基性岩、花岗岩、花岗斑岩和石英闪长岩。与成矿密切的花岗岩体侵入大岭桥组中,在接触带形成砂卡岩带及铜、金矿化。岩石为斑状结构,块状构造;斑晶主要有石英(5%)、斜长石(6%)、钾长石(4%)及黑云母(2%)等,粒径在 $0.5\sim 1.5\text{ mm}$ ,斑晶交代溶蚀结构,具有较窄的反应边,局部可见钾长石交代石英形成显微文象结构;基质为显微细粒结构,主要由细粒石英、钾长石及斜长石组成,含量约为83%(图2-a、b)。另外,斜长石发生绢云母化,黑云母发生绿泥石化。

矿区共划分了3个呈北西向展布矿化带,编号

为I、II、III号。I号矿化带位于矿区东北部,规模较大,主要产于岩体与片岩接触带的砂卡岩中,其北段共圈定出2条铜矿体和1条独立金矿体(图1-a),金矿体赋存于花岗斑岩中,平均金品位 $3.87\times 10^{-6}$ 。Cu I号矿体赋存于砂卡岩中,铜的最高品位1.23%,最低品位0.82%,平均品位0.99%。Cu II号矿体为盲矿体,铜平均品位1.37%;矿体中伴生有金,金平均品位 $0.41\times 10^{-6}$ 。I号矿化带南段伴生有铁矿体,矿体平均品位较低,为21.96%~27.53%,矿体赋存于砂卡岩中(图1-b)。II号、III号矿化带目前勘查程度较低,未发现矿体。

矿区的主要矿石类型为混合矿石,矿石矿物主要有黄铜矿、斑铜矿(图2-c)、铜蓝矿、磁铁矿、黄铁矿、褐铁矿,及少量的辉铜矿,黄铜矿和斑铜矿共生(图2-d),含铜矿物主要有黄铜矿、孔雀石,其次为斑铜矿、铜蓝矿和少量的辉铜矿。矿石主要呈自形-半

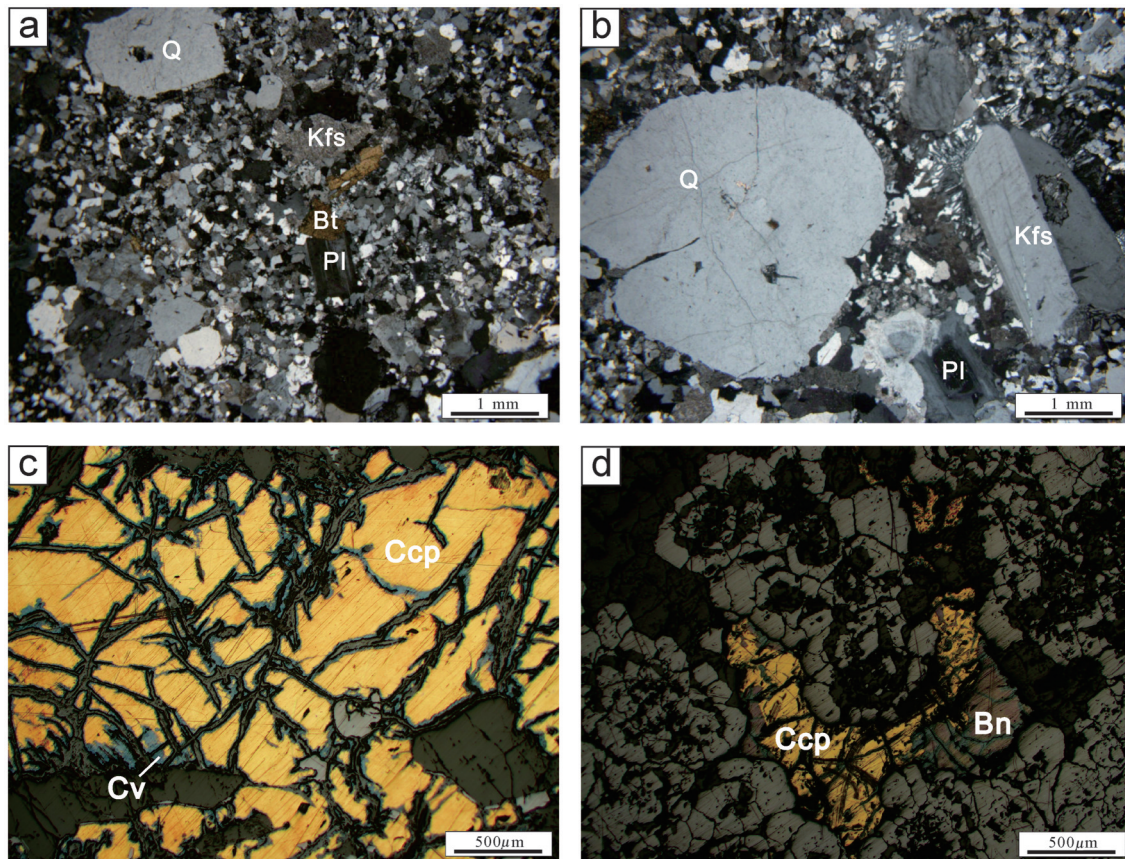


图2 跃进山铜金矿花岗斑岩及矿石显微照片

a~b—花岗斑岩显微照片;c—黄铜矿颗粒边缘环绕生长铜蓝矿;d—黄铜矿和斑铜矿共生;Q—石英;Kfs—钾长石;Pl—斜长石;Bt—黑云母;Ccp—黄铜矿;Cv—铜蓝矿;Bn—斑铜矿

Fig. 2 Photomicrographs of the granite porphyry and ores of the Yuejinshan Cu-Au deposit

a and b—Photomicrographs of granite porphyry; c—Edge of chalcopyrite particles surrounded by covellite; d—Chalcopyrite associated with bornite; Q—Quartz; Kfs—K-feldspar; Pl—Plagioclase; Bt—Biotite; Ccp—Chalcopyrite; Cv—Covellite; Bn—Bornite

自形粒状结构、交代残余结构、交代结构、填隙结构等,呈细脉状、细脉侵染状、块状构造。脉石矿物主要有石榴子石、透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石以及少量的绿泥石、方解石、石英等,多为矽卡岩矿物。

### 3 样品采集及分析方法

本次研究在跃进山铜金矿床 I 号矿化带北段共采集 6 件花岗斑岩样品,用于岩石地球化学研究,其中 1 件用于锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析。

#### 3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

锆石按照重力和磁选方法在河北省诚信地质服务有限公司完成分选;在中国地质调查局天津地质调查中心同位素地质学研究年代中心完成了锆石的制靶、锆石的透射、阴极发光(CL)显微图像的采集、U-

Pb 年龄测定。锆石样品测定采用 30 μm 的激光束斑。使用德国 Lambda Physik 公司生产的 ComPex 102 型 ArF 准分子激光器(波长 193 nm)和 Shield Torch 的 Agilent 7500a ICP-MS 仪器,用高纯的 He 气作为剥蚀物质的载体,用人工合成硅酸盐物质 NIT610 进行仪器最优化,用哈佛大学国际标准锆石 91500 作为外标标准物质进行同位素的分馏校正。U-Pb 年龄计算、和谐和图的绘制用 Isoplot 完成。

#### 3.2 岩石地球化学测试

主量、微量及稀土元素地球化学测试工作均在澳实分析检测(广州)有限公司进行。主量元素使用等离子发射光谱定量分析(ME-XRF26)测试,分析准确度和精度优于 5%;微量元素及稀土元素利用酸溶法制备样品,使用等离子体质谱法(ICP-MS)

表1 跃进山花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for the Yuejinshan granite porphyry

测点号	含量/ $10^{-6}$		同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$
YJS-1-01	6	313	0.0174	0.0002	0.115	0.0061	0.0478	0.0025	111	1	111	6	90	124
YJS-1-02	5	264	0.0173	0.0002	0.1226	0.0072	0.0513	0.0028	111	1	117	7	256	127
YJS-1-03	5	264	0.0173	0.0002	0.1169	0.0096	0.049	0.0039	111	1	112	9	146	188
YJS-1-04	8	460	0.0172	0.0002	0.1169	0.0071	0.0493	0.0026	110	1	112	7	163	124
YJS-1-05	7	367	0.0174	0.0002	0.121	0.0059	0.0505	0.0024	111	1	116	6	217	109
YJS-1-06	14	752	0.017	0.0002	0.1173	0.0036	0.05	0.0015	109	1	113	3	197	69
YJS-1-07	12	642	0.017	0.0002	0.114	0.003	0.0487	0.0013	108	1	110	3	135	61
YJS-1-08	5	238	0.0179	0.0003	0.1167	0.0086	0.0473	0.0034	114	2	112	8	64	170
YJS-1-09	8	412	0.017	0.0002	0.1173	0.005	0.0499	0.0021	109	1	113	5	191	96
YJS-1-10	6	319	0.0167	0.0002	0.1126	0.0054	0.0489	0.0023	107	1	108	5	145	111
YJS-1-11	5	288	0.0169	0.0003	0.1231	0.0064	0.0528	0.0027	108	2	118	6	319	115
YJS-1-12	21	1084	0.0168	0.0001	0.1183	0.0016	0.0512	0.0007	107	1	114	2	249	31
YJS-1-13	4	226	0.0171	0.0003	0.1112	0.008	0.047	0.0033	110	2	107	8	51	168
YJS-1-14	6	342	0.0175	0.0002	0.1213	0.0049	0.0504	0.002	112	1	116	5	211	91
YJS-1-15	9	488	0.0172	0.0002	0.1156	0.0038	0.0487	0.0016	110	1	111	4	131	76
YJS-1-16	11	609	0.0171	0.0002	0.1173	0.003	0.0498	0.0012	109	1	113	3	187	58
YJS-1-17	13	650	0.0168	0.0002	0.1159	0.0027	0.0502	0.0012	107	1	111	3	203	54
YJS-1-18	18	976	0.0166	0.0001	0.1201	0.0021	0.0525	0.0009	106	1	115	2	308	40
YJS-1-19	11	572	0.0171	0.0002	0.125	0.0034	0.0529	0.0014	109	1	120	3	325	61
YJS-1-20	10	570	0.0176	0.0002	0.1104	0.008	0.0454	0.0006	113	1	106	8	-33	30

测试,分析准确度和精度优于10%;烧失量采用重量法(GR)测试; $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 采用容量法(VOL)测试。

## 4 年代学与岩石地球化学

### 4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学

跃进山铜金矿床花岗斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果列于表1,锆石阴极发光图像(图3)可见,样品中的20个锆石宽50~100  $\mu\text{m}$ ,长80~200  $\mu\text{m}$ ,绝大部分锆石的晶形较好,发育明显的环带现象。由表1可知,样品 YJS-1 的20个锆石测试分析点的数据具有很好的和谐性, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图(图4)显示分析点均落于谐和线上及其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  的表面年龄为106~114 Ma,其加权年龄为(109.17 $\pm$ 0.91)Ma,MSWD为2.7。

### 4.2 岩石地球化学特征

#### 4.2.1 主量元素

跃进山铜金矿床含矿花岗斑岩主量元素分析结果(表2)显示:该岩体的  $\text{SiO}_2$  含量较高,在69.60%

~76.50%,平均为73.58%,富铝, $\text{Al}_2\text{O}_3=12.40\%$ ~14.00%,平均为13.16%, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$  含量变化范围在0.18%~3.02%,贫钙, $\text{CaO}=0.60\%$ ~2.45%,平均含量为1.43%,贫镁, $\text{MgO}=0.10\%$ ~1.30%,平均值只有0.61%, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  含量较高,为6.09%~7.56%,平均7.08%。在  $\text{SiO}_2$ — $\text{K}_2\text{O}$  图(图5-a)上,位于高钾钙碱性至钙碱性系列之间。在  $\text{A}/\text{CNK}$ — $\text{A}/\text{NK}$  图解(图5-b)样品投影点均落入过铝质区域。

#### 4.2.2 稀土、微量元素

花岗斑岩的稀土微量元素分析结果(表2)表明:花岗斑岩的稀土总量变化较大, $(\sum \text{REE}=121.22 \times 10^{-6} \sim 180.30 \times 10^{-6})$ ,平均为  $146.52 \times 10^{-6}$ ,稀土配分模式为轻稀土富集而重稀土亏损的右倾型(图6-a), $\text{LREE} / \text{HREE}$  为6.79~9.74,轻、重稀土元素分馏程度中等, $(\text{La}/\text{Yb})_N$  为6.79~9.97,Ce 异常不明显,明显的铈负异常, $\delta\text{Eu}$  为0.23~0.52,暗示可能存在斜长石的分离结晶。微量元素原始地幔标准化蛛网(图6-b)显示,花岗斑岩相对富 Rb、Ba、La、

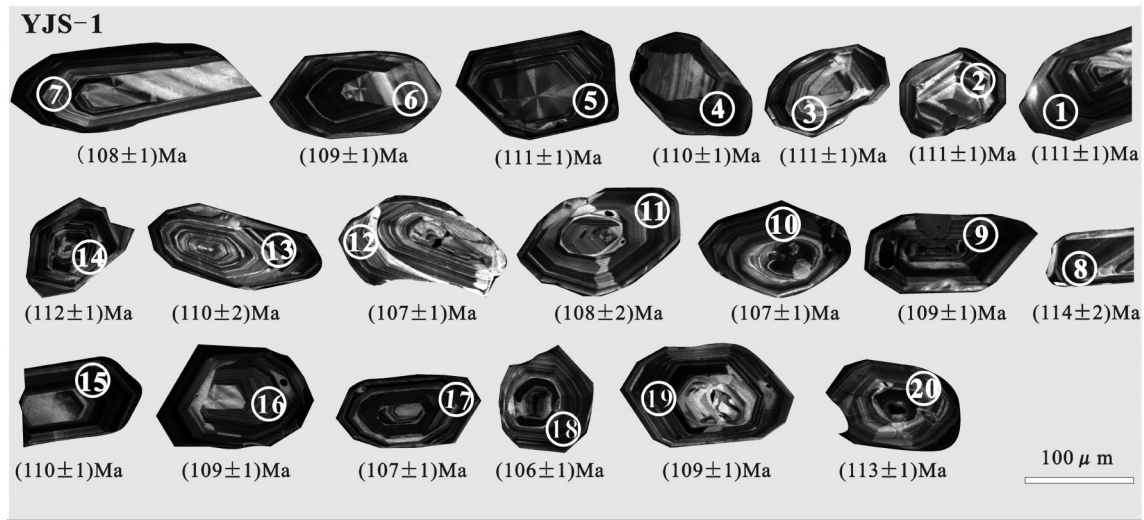


图3 跃进山铜金矿花岗斑岩锆石阴极发光图像(CL)及测试位置

Fig.3 Cathodoluminescence (CL) images and measuring positions of zircons from the granite porphyry in the Yuejinshan Cu-Au deposit

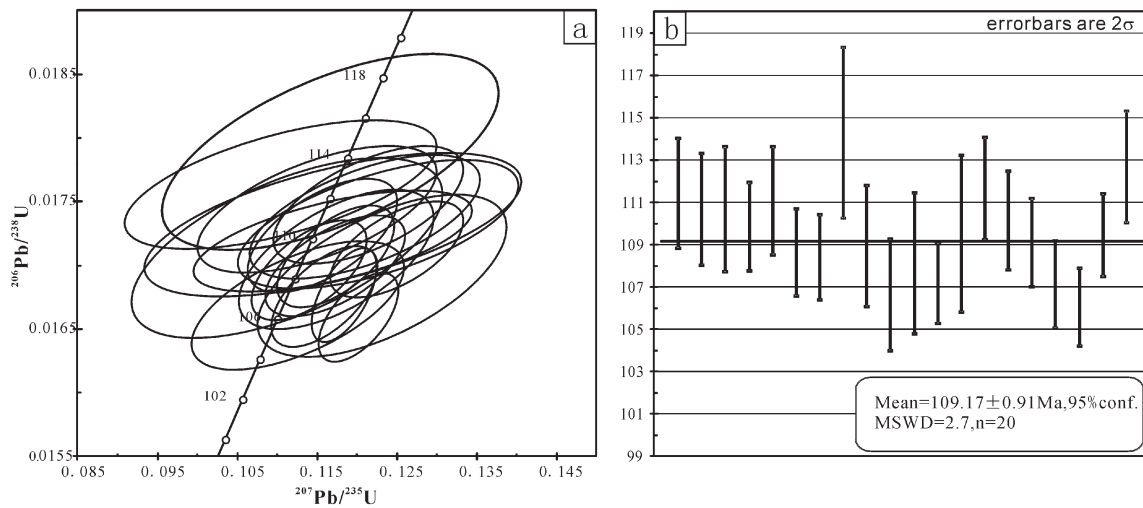


图4 跃进山铜金矿含矿花岗斑岩U-Pb谐和图(a)和加权平均年龄分布图(b)

Fig.4  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  concordia diagrams (a) and weighted mean age (b) of LA-ICP-MS zircon of the granite porphyry from the Yuejinshan Cu-Au deposit

Nd、Hf等元素,贫Nb、Sr、P、Ti等元素。

## 5 讨论

### 5.1 岩石成因

跃进山铜金矿床花岗斑岩主量元素显示高硅、过铝(A/CNK=1.49~1.62)、贫钙、贫镁、高碱( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}=6.09\% \sim 7.56\%$ )、高钾钙碱性-钙碱性系列的地

球化学特征。微量元素上相对富集Rb、Ba、La、Nd、Hf等元素,而亏损Nb、Sr、P、Ti等元素,稀土配分模式为轻稀土富集而重稀土亏损的右倾型,明显的钕负异常,表现了S型花岗岩的地球化学特征。另外跃进山铜金矿床花岗斑岩的主、微量元素地球化学特征显示其具有岛弧岩浆岩的地球化学属性。在Nb-Y双变量投影图中(图7-a),花岗斑岩落入火山

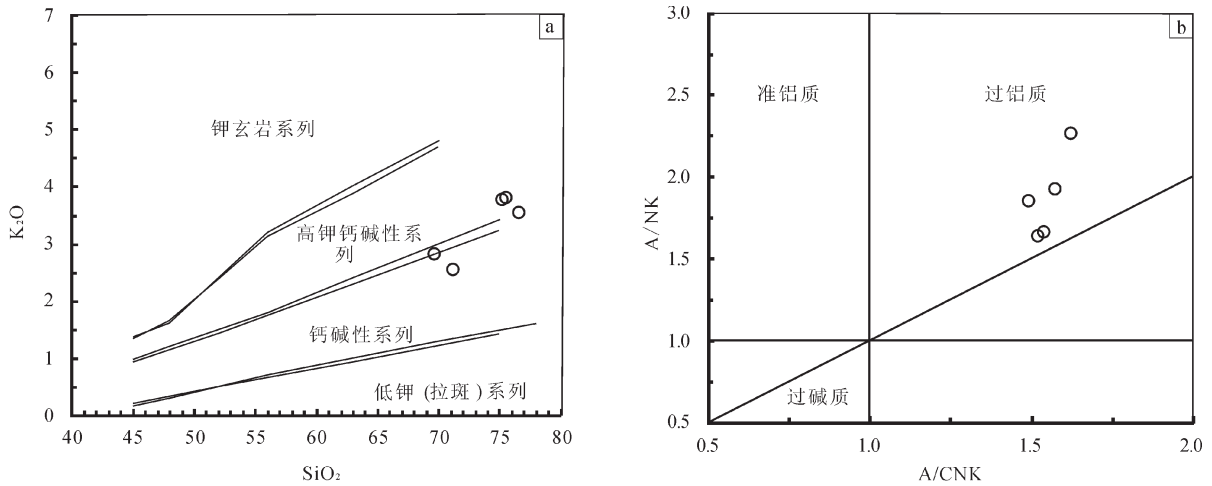


图5 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(a 据Richwood, 1989)与A/CNK-A/NK图解(b 据Maniar and Piccoli, 1989)  
 Fig. 5 K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub>(after Richwood, 1989 ) (a) and A/NK versus A/CNK (after Maniar and Piccoli, 1989 ) diagrams (b) for Yuejinshan granite porphyry

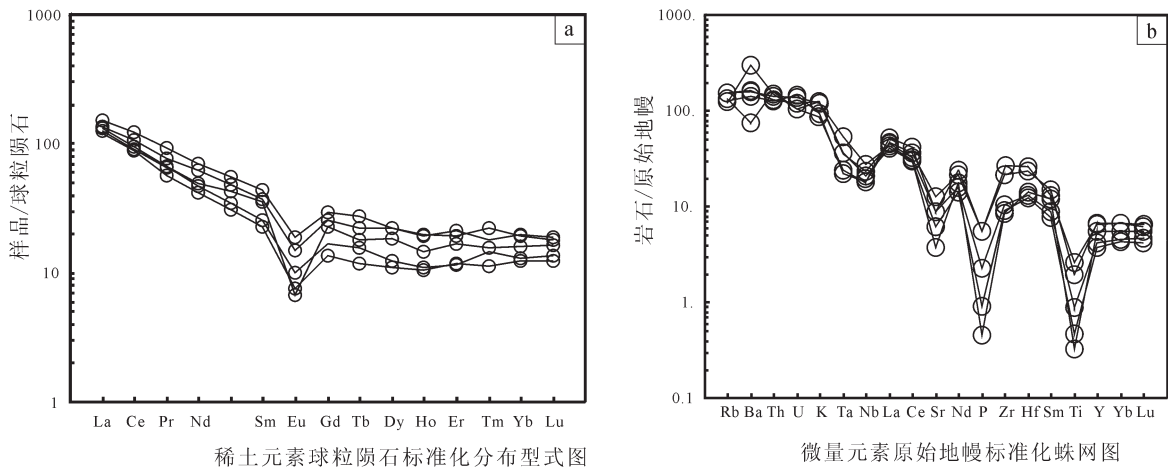


图6 跃进山铜金矿床花岗斑岩球粒陨石标准化的稀土元素配分图(a)与原始地幔标准化的微量元素蛛网图(b) (球粒陨石标准化值据 Boynton, 1984(原始地幔标准化值据 Sun Mc Donough, 1989)

Fig.6 Chondirite-normalized REE patterns (a), and primitive mantle normalized trace elements spider diagram (b) of Yuejinshan granite porphyry

弧花岗岩(VAG)以及同碰撞花岗岩(Syn-COLG)区域内,在Rb-(Y+Nb)判别图解中(图7-b),落入火山弧花岗岩区域。Nb/Th-Nb图解(图7-c)显示出花岗斑岩的岩浆源区与岛弧火山岩的一致。结合Ta/Yb-Th/Yb图解(图7-d),说明花岗斑岩可能为俯冲洋壳或地幔楔部分熔融的产物。

### 5.2 成岩成矿时代

完达山成矿带处于太平洋大陆边缘活动带,受太平洋板块的俯冲作用的影响,成矿带内构造-岩

浆活动频繁,主要发育印支期和燕山期两期岩浆事件,这两期的岩浆活动为矿床的形成提供了热液和成矿物质。燕山期与成矿有关的侵入岩主要为花岗闪长岩、花岗斑岩及闪长玢岩<sup>[7]</sup>。前人对该区燕山期花岗岩体的成岩年龄做了大量研究,黑龙江省地矿局<sup>[20]</sup>用全岩K-Ar法测得哈蚂河岩体和太平村岩体年龄分别为185~189 Ma和163~175 Ma;邵济安等<sup>[15]</sup>用TIMS U-Pb法测得哈蚂河岩体年龄为(115.5±1.5) Ma,程瑞玉等<sup>[9]</sup>认为哈蚂河岩体和太平

表2 跃进山铜金矿花岗斑岩主量元素(%)、稀土和微量元素( $10^{-6}$ )测试结果Table 2 Chemical compositions of major elements (%), trace elements and REE elements ( $10^{-6}$ ) of the Yuejinshan granite porphyry

样品号	YJS-044	YJS-15	YJS-022	YJS-2a	YJS-009
SiO <sub>2</sub>	69.60	71.15	75.50	75.16	76.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.00	13.82	12.40	13.02	12.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.02	0.65	1.94	0.18	1.45
MgO	1.09	1.30	0.14	0.41	0.10
CaO	1.68	2.45	0.60	1.76	0.65
Na <sub>2</sub> O	4.40	3.53	3.74	3.22	3.96
K <sub>2</sub> O	2.84	2.56	3.82	3.78	3.57
MnO	0.01	0.08	0.02	0.05	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.12	0.02	0.05	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.42	0.10	0.19	0.07
LOI	1.51	0.96	0.76	0.49	0.54
TOTAL	99.03	99.74	99.35	99.86	99.62
Rb	80.70	84.20	76.90	97.30	97.00
Ba	994.00	519.30	2100.00	1128.00	1110.00
Th	10.75	13.40	12.60	11.20	12.15
U	3.06	2.21	2.19	2.52	2.88
Ta	0.90	0.98	1.50	1.45	2.20
Nb	13.00	12.49	14.70	16.84	19.40
Sr	270.00	185.10	131.00	187.40	79.10
Zr	297.00	237.70	103.00	115.70	97.00
Hf	8.10	7.27	3.80	4.07	4.40
La	31.60	35.94	28.00	31.17	29.20
Ce	65.30	74.21	53.40	57.67	55.30
Pr	7.19	8.73	5.37	6.28	6.29
Nd	28.70	32.49	19.30	21.68	23.60
Sm	5.74	6.69	3.43	3.90	5.33
Eu	0.86	1.08	0.43	0.57	0.39
Gd	5.24	5.92	2.75	3.42	4.62
Tb	0.85	1.01	0.45	0.58	0.69
Dy	5.55	5.54	2.85	3.17	4.67
Ho	1.12	1.11	0.60	0.63	0.83
Er	3.48	3.24	1.95	1.95	2.74
Tm	0.47	0.56	0.29	0.37	0.40
Yb	3.34	3.32	2.09	2.24	2.71
Lu	0.48	0.46	0.31	0.35	0.41
Y	30.00	30.49	17.00	18.95	25.00
Σ REE	159.92	180.30	121.22	133.97	137.18
LREE	139.39	159.15	109.93	121.26	120.11
HREE	20.53	21.15	11.29	12.70	17.07
LREE/HREE	6.79	7.53	9.74	9.55	7.04
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	6.79	7.77	9.61	9.97	7.73
δ Eu	0.47	0.52	0.41	0.47	0.23
δ Ce	1.02	1.00	1.00	0.95	0.95

村岩体均形成于早白垩世,蚂河岩体主要形成于131 Ma、124 Ma、115 Ma 3个阶段,太平村岩体形成于111~114 Ma。完达山地块和佳木斯地块拼接带的花岗岩类明显也存在多期的侵入,早期侵入的花岗岩形成于大陆碰撞型和大陆弧型环境,年龄为(321±5) Ma<sup>[15]</sup>;晚期侵入的花岗岩主要为造山后期型(POG)花岗岩,年龄为99.5~116.6 Ma<sup>[16]</sup>。本文对跃进山铜金矿床的花岗斑岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年,获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为(109.17±0.91) Ma,相当于早白垩世。这一定年结果与完达山活动带造山后期花岗岩的形成时代一致。

### 5.3 成矿构造背景制约

跃进山铜金矿床花岗斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年显示其成岩时代(109 Ma)为早白垩世,主量元素表明跃进山铜金矿床与成矿有关的花岗斑岩为过铝质、钙碱性-高钾钙碱性系列侵入岩,同时富集 Rb、Ba、La、Nd、Hf 等元素,亏损 Nb、Sr、P、Ti 等元素,具有俯冲带花岗质岩浆的基本特征。在 Nb-Y 双变量投影图中(图 7-a),矿区花岗斑岩样品都落入火山弧花岗岩(VAG)以及同碰撞花岗岩(Syn-COLG)区域内,在 Rb-(Y+Nb)判别图解中(图 7-b),矿区花岗岩投入点都落入火山弧花岗岩区域,暗示其形成于岛弧或活动大陆边缘环境。杨金中等<sup>[10]</sup>研究认为跃进山拼贴带的浅变质岩形成于陆缘或岛弧环境。从区域上看,中国东北地处西伯利亚板块、华北板块和太平洋板块的交汇处,中生代以来受太平洋板块的俯冲发生多次的改造和叠加增生,在侏罗纪-白垩纪之交地球动力学背景由挤压向伸展转变,使得东北地区形成了大面积的花岗岩<sup>[23,24]</sup>。完达山地块是环太平洋活动带的重要组成部分,为太平洋板块俯冲拼贴的增生杂岩体<sup>[3,18]</sup>。中一晚侏罗世完达山地块就位于佳木斯地块东缘<sup>[3,14,15,21,25]</sup>,早白垩世约 130 Ma 前完成拼贴,而后转入岛弧的构造环境<sup>[12]</sup>,早白垩世晚期(130~100 Ma)由于东亚东部活动陆缘迁移、构造单元转化,而后花岗岩的陆续侵入,使得完达山弧前盆地发生封闭、隆升变形最后造山<sup>[26]</sup>。因此,结合岩体的地球化学特征和完达山成矿带的构造、岩浆演化,笔者认为跃进山铜金矿的形成与中生代太平洋的俯冲及早白垩世晚期东亚东部岩浆活动陆缘迁移、构造单元转化有关。



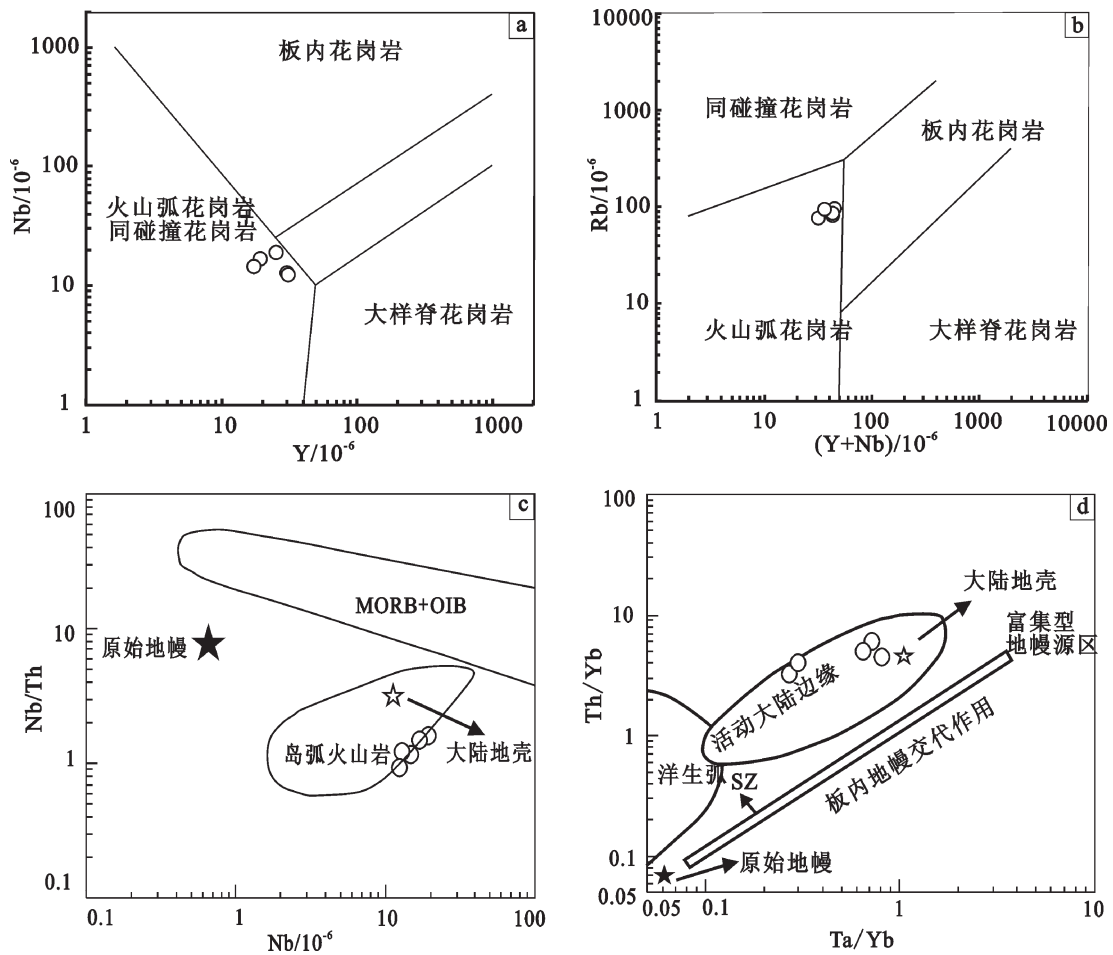


图7 跃进山铜金矿床花岗斑岩地球化学图解

a—Y-Nb; b—(Y+Nb)-Rb; c—Nb-Nb/Th; d—Ta/Yb-Th/Yb; 其中 a, b 据 Pearce et al. (1984); c, d 底图据 Boztug et al. (2007); 其中原始地幔据 Hofman (1988), 大陆地壳、MORB+OIB 及岛弧火山岩区据 Schmidberger and Henger (1999), 底图转引自杜德道等 (2011)

Fig.7 Geochemical diagrams of Yuejinshan granite porphyry

a—Y-Nb; b—(Y+Nb)-Rb; c—Nb-Nb/Th; d—Ta/Yb-Th/Yb; a, b after Pearce et al., 1984; c, d base map after Boztug et al. (2007); primary mantle after Hofman (1988), continental crust MORB+OIB and island arc volcanic area after Schmidberger and Henger (1999), base map after Du Daode et al. (2011)

## 6 结论

通过对跃进山铜金矿床的花岗斑岩的年代学以及元素地球化学的研究,得出以下结论:

(1)跃进山花岗斑岩为过铝质钙碱性系列侵入岩,富集 Rb、Ba、La、Nd、Hf 等元素,亏损 Nb、Sr、P、Ti 等元素,表现了 S 型花岗岩的地球化学特征,其形成于岛弧或活动大陆边缘环境,可能为俯冲洋壳或地幔楔部分熔融的产物。

(2)与成矿密切相关的花岗斑岩的锆石 U-Pb 年

龄为  $(109.17 \pm 0.91)$  Ma, 相当于早白垩世,与完达山活动带造山后期花岗岩的形成时代基本一致。

(3)跃进山铜金矿形成于岛弧构造背景,其形成与中生代太平洋的俯冲及早白垩世晚期东亚东部岩浆活动陆缘迁移、构造单元转化有关。

### 参考文献(References):

- [1] 谭成印. 黑龙江省主要金属矿产构造-成矿系统基本特征[D]. 2009, 北京: 中国地质大学.
- Tan Chengyin. General Characteristics of the Tectonic-Metallogenetic Systems of Main Ore Deposits in Heilongjiang

- Province, Northeast of China[D]. Beijing: Ph.D. Thesis of China University of Geosciences (Beijing), 2009(in Chinese with English abstract).
- [2] 梅燕雄, 裴荣富, 杨德凤, 等. 全球成矿域和成矿区带[J]. 矿床地质, 2009, (4): 383-389.  
Mei Yanxiong, Pei Rongfu, Yang Defeng, et al. Global metallogenic domains and districts[J]. Mineral deposits. 2009, (4): 383-389 (in Chinese).
- [3] 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): 204-216  
Mizutani S, Shao Ji'an, Zhang Qinglong. The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics on continental margins of East Asia[J]. Acta Geologica Sinica. 1989, 63(3): 204-216(in Chinese with English abstract).
- [4] 张庆龙, 水谷伸治郎, 小島智, 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).
- [5] 张旗, 周国庆, 王焰. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 1-8.  
Zhang Qi, Zhou Qingguo, Wang Yan. The distribution of time and space of Chinese ophiolites, and their tectonic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(1): 1-8 (in Chinese and English abstract).
- [6] 田东江, 周建波, 郑常青, 等. 完达山造山带蛇绿混杂岩中变质基性岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2006, 26(3): 64-70.  
Tian Dongjiang, Zhou Jianbo, Zheng Changqing, et al. Geochemical characteristics and tectonics mechanism of the meta-basic rocks for ophiolite complex in Wandashan orogenic belt[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2006, 26(3): 64-70( in Chinese)
- [7] 韩振新, 徐衍强, 郑庆道. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2004: 165-212.  
Han Zhenxin, Xu Yanqiang, Zheng Qingdao. Important Metal and Nonmetal Metallogenic Series and Evolution [M]. Harbin: Heilongjiang People's Press, 2004: 165-212(in Chinese).
- [8] 黄永卫. 黑龙江省东南部完达山—太平岭一带浅成低温热液矿床区域成矿规律及找矿前景[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.  
Huang Yongwei. Study on Metallogenic Regularities and Ore-forming Forecast of Epithermal Gold Deposits in Wandashan Mountain and Taiping Mountain Belts in Southeast of Heilongjiang Province[D]. Beijing: Ph.D. Thesis of China University of Geosciences(Beijing), 2010(in Chinese and English abstract).
- [9] 李光辉. 黑龙江完达山—太平岭成矿带成矿系列与找矿预测. [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.  
Li Guanghui. Metallogenic Series and Exploration Prediction in the Taipingling-Wandashan Metallogenic Zone of Heilongjiang Province[D]. Beijing: Ph.D. Thesis of China University of Geosciences(Beijing), 2011(in Chinese and English abstract).
- [10] 杨金中, 邱海俊, 孙加鹏, 等. 跃进山岩系及其构造意义[J]. 长春科技大学学报, 1998, (4): 380-385.  
Yang Jinzhong, Qiu Haijun, Sun Jiapeng, et al. Yuejinshan complex and its tectonic significance [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998, (4):380-385(in Chinese).
- [11] 张魁武, 邵济安, 唐克东, 等. 黑龙江省东部跃进山群中绿片岩的地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 1997, 13(2): 168-172.  
Zhang Kuiwu, Shao Ji'an, Tang Kedong, et al. The geochemical characteristics and the geological significance of green schists in Yuejinshan Group, East Heilongjiang Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(2): 168-172(in Chinese and English abstract).
- [12] 田东江. 完达山造山带的地质-地球化学组成及其演化[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
Tian Dongjiang. The Geological-geochemical Composition and Evolution of the Wandashan Orogenic Belt [D]. Changchun: Jilin University, 2007(in Chinese and English abstract).
- [13] 张世红, 施央申, 孙岩, 等. 黑龙江完达山造山带及其那丹哈达地体的关系[J]. 南京大学学报(地球科学), 1991, 3: 287-294.  
Zhang Shihong, Shi Yangshen, Sun Yan, et al. The relation between Wandashan orogenic belt and Nadanhada terrane in Heilongjiang Province[J]. J. Nanjing Uni.(Earth Sci.), 1991, 3: 287-294(in Chinese and English abstract).
- [14] 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): 744-750.  
Shao Ji'an, Tang Kedong, Wang Chengyuan, et al. The tectonic characteristics and evolution of Nadanhada Terrane[J]. Science in China(Series B), 1991, (7): 744-750(in Chinese).
- [15] 邵济安, 王成源, 唐克东. 乌苏里地区构造新探索[J]. 地质论评, 1992, 38(1):33-39.  
Shao Ji'an, Wang Chengyuan, Tang Kedong. A new approach to the tectonics in the Ussuri (Wusuli) Region[J]. Geological Review, 1992, 38(1): 33-39(in Chinese and English abstract).
- [16] 邵济安, 唐克东. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化[M]. 北京: 地震出版社, 1995.  
Shao Ji'an, Tang Kedong. Terranes in northeast China and evolution off northeast Asia continental margin[M]. Beijing: Seismological Press, 1995(in Chinese and English abstract).

- [17] 邱殿明. 黑龙江省东部岩石圈演化特征[D]. 长春: 吉林大学博士论文, 2005.  
Qiu Dianming. The Evolution of the Lithosphere in the East Part of Heilongjiang Province[D]. Changchun: Ph.D.Thesis of Jilin University (Changchun), 2005(in Chinese).
- [18] 周建波, 刘建辉, 郑常青, 等. 大别-苏鲁造山带的东延及板块缝合线: 郟庐-鸭绿江-延吉断裂的厘定[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 92-104.  
Zhou Jianbo, Liu Jianhui, Zheng Changqing, et al. Eastward extension of Dabie-Sulu orogenic belt and the suture zone of the plates: determination of Tanlu-Yalujiang-Yanji faults [J]. Geological Journal of China Universities. 2005, 11(1): 92-104(in Chinese and English abstract).
- [19] 程瑞玉, 吴福元, 葛文春, 等. 黑龙江省东部饶河杂岩的就位时代与东北东部中生代构造演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 353-376.  
Cheng Ruiyu, Wu Fuyuan, Ge Wenchun, et al. Emplacement age of the Raohe Complex in eastern Heilongjiang Province and the tectonic evolution of the eastern part of northeastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2): 353-376(in Chinese and English abstract).
- [20] 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: 130-220.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. Regional Geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 130-220(in Chinese).
- [21] 赵海玲, 邓晋福, 陈发景, 等. 黑龙江完达山地区中侏罗世火山岩特征及其形成构造背景[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(4): 428-432.  
Zhao Hailing, Deng Jinfu, Chen Fajing, et al. Petrology and tectonic setting of Middle Jurassic volcanic rocks in Wandashan, Heilongjiang Province [J]. Earth Sci-J. China Uni. Geosci: 1996, 21(4): 428-432(in Chinese).
- [22] Zhang Guobin, Yang Yanchen, Wang Jian, et al. Geology, geochemistry, and genesis of the hot-spring-type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, Northeast China[J]. International Geology Review, 2013, 55(4): 482-495.
- [23] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴蒙-吉黑地区岩石圈结构基本特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 816-823.  
Zhang Xingzhou, Yang Baojun, Wu Fuyuan, et al. The lithosphere Structure in the Hingmong-Jihei (Hinggan-Mongolia-Jilin-Heilongjiang) region, northeastern China [J]. Geology in China, 2006, 33(4): 816-823(in Chinese and English abstract).
- [24] 陈衍景, 肖文交, 张进江. 成矿系统: 地球动力学的有效探针[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1059-1073.  
Chen Yanjing, Xiao Wenjiao, Zhang Jinjiang. Ore-system as a geodynamic probe[J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1059-1073 (in Chinese).
- [25] 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 等. 中国东部中-新生代大陆构造的形成与演化[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 19-38.  
Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, et al. The formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic continental tectonics in eastern China[J]. Geology in China, 2014, 41(1): 19-38(in Chinese and English abstract).
- [26] 张传恒, 张世红. 完达山造山带原型盆地及可能的造山机制[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 25-31  
Zhang Chuanheng, Zhang Shihong. Proto-basin and possible orogenic mechanism of Wandashan orogenic belt [J]. Geoscience, 1999, 13(1): 25-31(in Chinese and English abstract).