

黑龙江永新金矿地质特征及成因

曲 晖¹, 赵忠海¹, 李成禄¹, 徐国战¹, 田 园², 孔 申¹, 王 卓¹, 谭树勋¹

(1. 黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 黑龙江永新金矿床的发现是多宝山矿集区外围地质找矿取得的一项新成果。矿床赋存在早白垩世火山盆地与古生代糜棱岩带接触地带的浅成相和潜火山岩相小侵入体及岩脉密集分布地段。潜火山相的潜英安岩、潜流纹岩等形成于成矿前或成矿期, 受蚀变矿化、浅成相的花岗斑岩、闪长玢岩等形成于成矿后, 破坏矿体。金矿体及矿化主要赋存在隐蔽爆破作用形成的蚀变角砾岩体中, 其次赋存在蚀变角砾岩体外侧的糜棱岩类围岩中。该矿床的发现显示在黑龙江省西部的古生代糜棱岩带中存在与早白垩世火山作用有关的潜火山热液型金矿, 也表明黑龙江多宝山斑岩铜矿老矿区的外围仍具有找矿潜力。

关键词: 成矿特征; 角砾岩体; 潜火山热液; 糜棱岩带; 永新金矿; 黑龙江省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2014.06.004

GEOLOGY AND GENESIS OF THE YONGXIN GOLD DEPOSIT IN HEILONGJIANG PROVINCE

QU Hui¹, ZHAO Zhong-hai¹, LI Cheng-lu¹, XU Guo-zhan¹, TIAN Yuan², KONG Shen¹, WANG Zhuo¹, TAN Shu-xun¹

(1. Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The discovery of Yongxin gold deposit in Heilongjiang Province is a new geological prospecting achievement in the periphery of Duobaoshan ore-concentrated area. The deposit occurs in an area with small intrusive bodies or dykes of hypabyssal facies and subvolcanic rock facies, located in the contact zone of the Early Cretaceous volcanic basin and the Paleozoic mylonite. The sub-dacite and sub-rhyolite of subvolcanic rock facies, which formed before or during mineralization, were highly altered; while the granite-porphry and dioritic porphyrite of hypabyssal facies, that formed after the mineralization, intruded into the ore bodies. The Au orebodies and mineralization are mainly hosted in the altered breccia, which formed from crypto-explosion, or in the mylonite in the periphery of altered breccia. The discovery of this deposit indicates the existence of the subvolcanic hydrothermal gold deposits that related to the Early Cretaceous volcanism in the Paleozoic mylonite zone in Western Heilongjiang Province. It also shows the prospecting potential in the periphery of Duobaoshan porphyry copper field.

Key words: metallogenic characteristics; mylonite zone; breccia; subvolcanic hydrothermal fluid; Yongxin gold deposit; Heilongjiang Province

永新金矿是在多宝山斑岩铜矿外围地区新发现的一个潜火山热液型金矿床。多宝山斑岩铜矿发现于上个世纪 50 年代, 是黑龙江省唯一的特大型铜矿, 其资源储量占到全省已探明铜资源储量的 78%。早年在多宝山斑岩铜矿的周围发现过 3 个大—中型铜、金矿床和十几个铜(钼、铁)矿(化)点, 构成多宝山矿集区。最近几年随着该区域矿产勘查力度加大, 在多宝山矿

集区的南侧又不断取得新的找矿成果^[1-8]。新发现的永新金矿赋存在多宝山斑岩铜矿南侧约 60 km 处。本文依据近两年永新金矿的普查资料, 简述该矿床的地质特征, 并对矿床成因做初步探讨。

1 区域地质概况

永新金矿所在的地区处于白垩纪火山盆地的边缘

收稿日期 2014-04-02, 修回日期 2014-07-30, 编辑 张哲。

基金项目: 中国地质调查局“黑龙江多宝山地区矿产远景调查”项目(1212010781024)和“黑龙江多宝山地区异常查证”项目(1212011120690)资助。

作者简介: 曲晖(1972—)男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号。

通信作者: 赵忠海(1984—)男, 工程师, 主要从事矿产勘查工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号, E-mail//zhaozhonghai_99@163.com

地带. 该区西北侧大面积分布下白垩统光华组酸性火山岩和甘河组玄武岩类, 不整合覆盖在东南侧的早石炭世侵入岩之上(图 1).

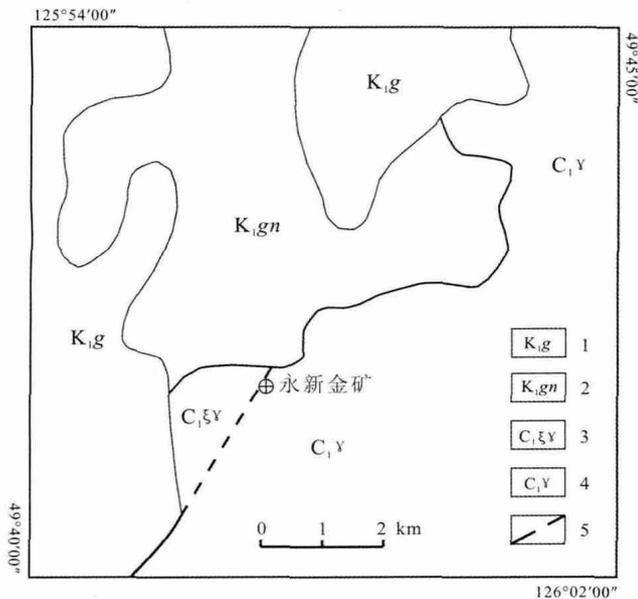


图 1 永新金矿区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map of the Yongxin gold deposit
1—早白垩世中性火山岩(Early Cretaceous intermediate-basic volcanic rock) 2—早白垩世酸性火山岩(Early Cretaceous acidic-intermediate volcanic rock) 3—早石炭世正长花岗岩(Early Carboniferous syenogranite); 4—早石炭世花岗质糜棱岩(Early Carboniferous granitic mylonite) 5—断层(fault)

下白垩统光华组岩性主要为流纹岩、流纹质岩屑玻屑凝灰岩、流纹质含角砾凝灰岩、珍珠岩及少量黑耀岩. 下白垩统甘河组不整合覆盖在光华组之上, 主要岩石类型有致密块状玄武岩、气孔状玄武岩和安山岩, 以喷溢相为主, 局部以潜火山岩相和火山通道相产出. 光华组流纹岩的 K-Ar 法同位素年龄为 $(112.0 \pm 1.0) \text{Ma}$, 甘河组块状玄武岩的 K-Ar 法同位素年龄为 $(96.23 \pm 1.98) \text{Ma}$ ^①, 相当于早白垩世晚期.

该区东南侧出露早石炭世侵入岩, 划分为早石炭世花岗质糜棱岩和早石炭世正长花岗岩, 二者间为断层接触. 早石炭世花岗质糜棱岩具糜棱结构和眼球状构造. 残斑占 15%, 成分主要为钠更长石. 糜棱基质占 85%, 多为细粒化拉长流动的长石石英微细粒集合体, 颗粒大小 0.04~0.25 mm. 细粒化绢云母、白云母呈条带状或环绕残斑分布. 正长花岗岩主要由钾长石和石英组成, 含少量斜长石, 具中细粒—中粗粒结构.

石炭纪本区发生了一次强烈的同碰撞造山型构造运动, 在挤压机制及岩浆热效应作用下, 前石炭纪构造

层发生区域变质和褶皱作用, 早石炭世花岗岩遭受韧性剪切作用, 形成长度超过 170 km, 宽度 10~30 km 的北东向糜棱岩带(新开岭—科洛混杂岩带)^[9]. 本区分布的早石炭世花岗质糜棱岩就是区域上大规模的北东向糜棱岩带的组成部分. 永新金矿就赋存在白垩纪火山盆地外侧的北东向糜棱岩带的边缘地带. 成矿部位是早石炭世正长花岗岩与花岗质糜棱岩的接触部位,

2 矿区地质特征

永新金矿区西北部出露早石炭世正长花岗岩, 西南部出露早石炭世花岗质糜棱岩. 沿早石炭世正长花岗岩和花岗质糜棱岩的接触带, 主要在花岗质糜棱岩一侧, 受构造、岩浆和热液作用形成岩性和结构特征复杂的蚀变角砾岩体, 大体对应于主要金矿体(1号矿体)的赋存部位(图 2).

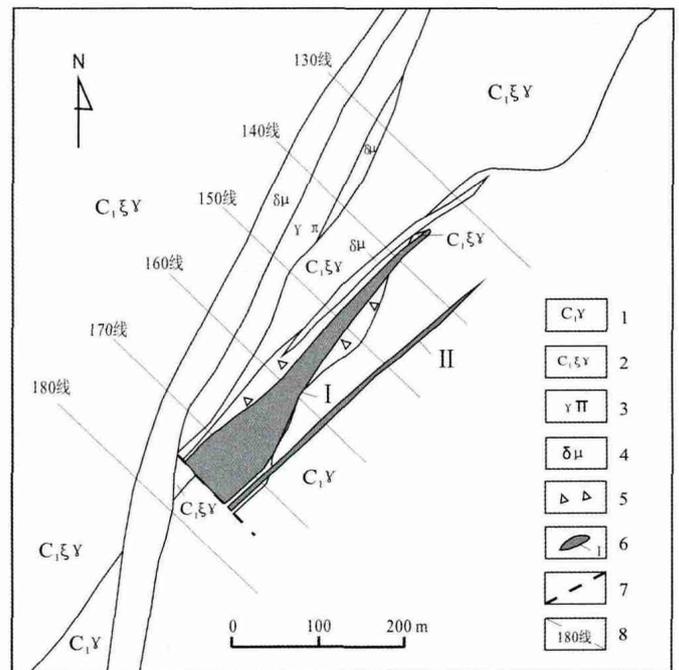


图 2 永新金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Yongxin gold field
1—早石炭世花岗质糜棱岩(Early Carboniferous granitic mylonite) 2—早石炭世正长花岗岩(Early Carboniferous syenogranite); 3—花岗斑岩(granite porphyry) 4—闪长玢岩(dioritic porphyrite) 5—蚀变矿化角砾岩(altered mineralized breccia) 6—金矿体及编号(Au orebody and code); 7—断层(fault) 8—勘探线及编号(exploration line)

蚀变角砾岩体北东向延伸, 分布在 140~180 线之间, 控制长度 300 m 左右. 平面上呈不规则楔形, 向北东收缩以致尖灭, 向南西膨大. 蚀变角砾岩体在 140~150 线的出露宽度分别为 50 m 左右, 在 170 线的出露

①黑龙江省地质调查研究总院. 霍龙门沟等 4 幅 1:5 万区域地质矿产调查报告. 2011.

宽度增大为 90 m 左右. 由于受北西向断裂的切割, 在 180~170 线之间(靠近 170 线), 蚀变角砾岩体在膨大部位突然消失. 蚀变角砾岩体与周围早石炭世花岗质糜棱岩及正长花岗岩的接触关系, 由于构造和蚀变作用的影响不够清楚. 可见蚀变角砾岩体与正长花岗岩之间为岩脉所隔, 也见有蚀变角砾岩体与花岗质糜棱岩呈渐变过渡关系.

蚀变角砾岩体中的角砾大小混杂, 大者在 10 cm 以上, 小的仅数毫米, 被更细小的碎屑物质或岩粉胶结. 角砾成分复杂, 大体上靠近正长花岗岩的部位, 正长花岗岩的角砾较多. 靠近花岗质糜棱岩的部位, 花岗质糜棱岩的角砾较多. 此外见有脉岩和蚀变岩的角砾. 许多角砾由于受强烈构造和热液作用形成碎裂蚀变岩, 无法辨认其原岩.

矿区内大量发育中—酸性岩脉及小侵入体, 其岩石类型复杂, 穿切于早石炭世花岗质糜棱岩、正长花岗岩和蚀变角砾岩体中. 岩脉及小侵入体的形成时间与金矿形成时间大体一致, 部分形成于成矿前或成矿期, 部分形成于成矿后. 潜火山相的潜英安岩和潜流纹岩呈脉状产出, 多具有较强的硅化、绢云母化及金矿化, 个别矿化较强者含金在边界品位以上, 多为成矿前或成矿期的岩脉. 浅成侵入相的闪长玢岩和花岗斑岩小侵入体和岩脉大多蚀变较弱或无蚀变, 对矿体有破坏作用, 多形成于成矿后. 矿区内已发现的规模最大的花岗斑岩小侵入体控制长度 600 m 左右, 控制宽度 160 m 左右, 岩石蚀变微弱, 无矿化显示, 对金矿体有显著破坏作用.

矿区构造以北东向为主, 表现为北东向的岩体接触带、断裂带、糜棱岩带、角砾岩体和蚀变矿化带. 近南北断裂次之. 地表工程中见许多北东向及近南北断裂破碎带、节理、小断层及石英细脉. 金矿体受北东向和近南北向构造的控制, 赋存在北东向糜棱岩带与南北向断裂交汇处. 矿区内存在北东向和北西向成矿后断裂. 破坏矿体的花岗斑岩、闪长玢岩等小侵入体和岩脉主要受北东向成矿后断裂控制.

3 矿体特征

金矿体赋存在早石炭世正长花岗岩与早石炭世糜棱岩接触部位的蚀变角砾岩体中及其附近, 金矿体大体平行排列, 成群出现, 走向 40~60°, 倾向北西, 倾角 20~50°.

矿体岩石主要为强烈蚀变的角砾岩、碎裂岩、碎粒岩等构造岩类, 统称角砾岩类. 该类矿石多呈灰白色,

局部见有深灰色, 破碎角砾结构, 呈块状构造. 含金角砾岩体中的角砾大小不一, 形态复杂多样. 角砾形态多为不规则棱角状、三角状、多角状至次圆状, 基本无旋转和位移, 并具有一定的定向性和可拼性. 角砾成分主要为钾长石和石英, 部分为正长花岗岩. 角砾分选差, 其长轴长度多数集中在 2 cm 以下, 个别大于 2 cm. 角砾自浅部向深部粒径变小, 角砾与围岩主要经含硅质热液充填胶结. 胶结物以脉状、网脉状充填于角砾间的空隙或围岩的裂隙中, 与角砾界线明显. 其次为蚀变糜棱岩类矿体. 糜棱岩类也见有不同程度的构造破碎. 矿体中及矿体外围发育成矿前和成矿后的多种脉岩, 还见有多条宽窄不一的石英脉及强硅化带. 矿体部位的主要蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化、高岭土化等. 金矿体与硅化黄铁矿化关系密切, 尤其与烟灰色面状硅化关系最为密切.

2012 年, 在系统的槽探揭露基础上, 通过对矿体和矿化体的综合研究和分析, 依据最能反映矿化体特征以及合理圈定矿体自然边界的原则, 参考当时的黄金价格和露天开采的要求, 以 0.6×10^{-6} 为边界品位在矿区地表圈出两个主要的金矿体(号和 号金矿体).

号金矿体是矿区的主要矿体, 在地表的形态呈锥形, 北东向展布. 矿体长约为 375 m, 最宽 73.4 m, 最窄 6.8 m. 由于受北西向断裂的破坏, 在 180~170 线之间(靠近 170 线), 矿体在膨大部位突然消失, 与金矿体相伴出现的化探金异常也随之消失.

矿体赋存在早石炭世正长花岗岩和花岗质糜棱岩的接触带, 与沿接触带部位形成的蚀变角砾岩体有大致对应的关系. 矿体基本限于蚀变角砾岩体的范围内, 仅在 140 线附近金矿体延伸到蚀变角砾岩体之外. 地表出露的蚀变角砾岩体约一半面积为金矿体(金含量 $\geq 1 \times 10^{-6}$), 其余部分为金矿化体($0.3 \times 10^{-6} \leq$ 金含量 $< 1 \times 10^{-6}$). 矿体主要岩性为强烈蚀变的角砾岩和碎裂岩. 矿体的地表平均品位 1.9×10^{-6} , 最高品位为 9.28×10^{-6} .

号金矿体呈长条状, 矿体延长约为 375 m, 矿体最宽为 5.90 m, 最窄 1.00 m, 平均品位为 1.44×10^{-6} , 最高品位为 4.61×10^{-6} . 矿体主要岩性为蚀变糜棱岩.

除 号和 号金矿体之外, 矿区内还在地表发现了一些单工程控制的规模较小的金矿体和范围较大的金矿化. 较大的金矿化体分布在蚀变角砾岩体的东南边缘外侧的蚀变糜棱岩中, 矿化体长约 300 m, 宽 2.0~4.7 m. 矿化体平均品位 0.70×10^{-6} , 最高品位 0.92×10^{-6} . (表 1).

表 1 永新金矿区地表工程见矿情况一览表
Table 1 The orebodies revealed by surface exploring in the Yongxin gold deposit

矿体编号	槽探工程编号	宽度/m	品位/ 10^{-6}			长度/m
			最高	单工程平均	地表平均	
号	E170TC19	73.40	9.28	2.13		375
	E160TC33	25.20	5.26	1.40	1.9	
	E150TC31	7.60	2.79	1.54		
	E140TC25	6.80	7.11	1.58		
号	E170TC19	4.70	4.61	2.24		375
	E160TC33-1	5.90	2.21	1.26	1.44	
	E150TC31-1	1.00	1.02	1.02		
	E140TC25-1	5.10	2.31	1.0		

深部钻探工程控制显示, 深部矿体主要赋存在中粗粒正长花岗岩与糜棱岩基础部位的蚀变角砾岩中。角砾岩中混有正长花岗岩和糜棱岩两种成分的角砾, 发育强烈的硅化、黄铁矿化等蚀变, 与地表所见的矿体特征基本一致。矿体在剖面上呈不规则的漏斗形状, 倾向北西, 倾角 25° 左右(图 3)。

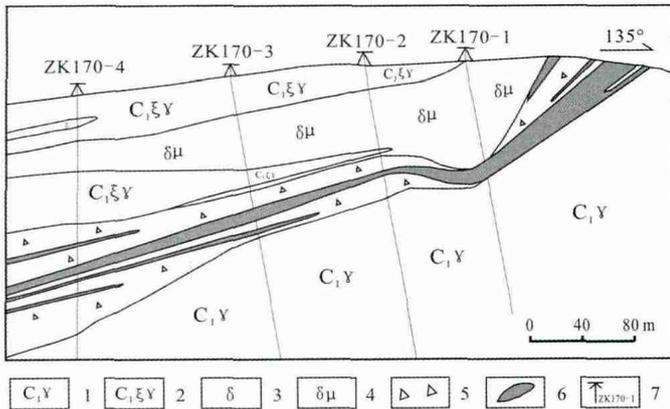


图 3 永新金矿区 170 号勘探线剖面图

Fig. 3 Geological section along No. 170 exploration line in the Yongxin gold deposit

1—早石炭世花岗质糜棱岩(Early Carboniferous granitic mylonite) 2—早石炭世正长花岗岩(Early Carboniferous syenogranite); 3—闪长岩(diorite) 4—闪长玢岩(dioritic porphyrite) 5—蚀变矿化角砾岩(altered mineralized breccia) 6—金矿体(Au orebody) 7—钻孔及编号(drill hole and code)

号金矿体在 170、160、150 和 140 等 4 条勘探线(线距 100 m) 的钻孔中都可见到。在 170 线施工的几个钻孔中, 对应于 号金矿体的见矿(化)厚度为 16.16~36.65 m。其中存在连续多条厚度不等的矿体, 矿体最厚达 11.16 m, 最高品位 14.25×10^{-6} , 单工程平均品位最高 4.77×10^{-6} 。160 线钻孔中对应于 号金矿体的见矿(化)厚度 1~18 m 不等, 其中存在多条厚 1~3 m

不等的金矿体, 品位多集中在 1.01×10^{-6} ~ 4.34×10^{-6} 之间, 最高品位 29.66×10^{-6} 。150 线对应于 号金矿体的见矿(化)厚度为 10~20.5 m 间, 其中有多条金矿体, 品位相对较低, 最高 1.52×10^{-6} 。140 线对应于 号金矿体的见矿(化)厚度在 9~50 m 之间, 其中存在多条矿体, 最高品位 3.5×10^{-6} 。总的来看, 矿体深部品位比地表品位偏高一些。

4 矿床成因探讨

永新金矿在发现之初曾被认为是与早石炭世韧性剪切作用有关的糜棱岩型金矿。随着普查工作深入, 取得了较多有助于确定矿床成因及成矿时代的地质资料。目前认为成矿作用与早白垩世火山作用关系密切, 主要考虑以下因素:

1) 矿区位于早白垩世火山盆地的边缘, 矿体赋存部位距离下白垩统光华组流纹岩类出露区仅数百米, 显示矿区处于早白垩世火山作用影响范围内, 有利于发生与火山活动有关的成矿作用。

2) 永新金矿区与周围不含矿的地段相比, 是一个浅成相和潜火山岩相小侵入体和岩脉的密集分布区。这些小侵入体和岩脉有些形成于成矿前, 受强烈蚀变和矿化, 个别形成金矿体; 有些形成于成矿后, 对矿体有明显破坏作用。虽然对于这些侵入体和岩脉尚未取得同位素测年数据, 但根据它们的产出部位、岩石组合及岩貌特征分析, 认为这些小侵入体和岩脉与下白垩统光华组火山岩是同源岩浆产物, 形成于大体相同的时代, 并且与金的成矿时间基本一致, 显示成矿作用与早白垩世的火山和潜火山活动有关。

3) 矿体分布未显示受糜棱岩带的内部构造及分带特征控制, 而明显受蚀变角砾岩体的控制。矿区内主要金矿体(及接近边界品位的金矿化)的分布范围与蚀变角砾岩体的范围基本一致。岩石特征显示, 蚀变角砾岩体并非与普通断裂作用有关的构造角砾岩, 而是与火山-潜火山活动有关的隐蔽爆破角砾岩。

4) 矿区内发育硅化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化等蚀变类型, 具有火山成因金矿的一般围岩蚀变特征。

5) 成矿组分单一, 仅形成金矿, 不伴生其他金属矿产, 符合黑龙江省早白垩世金矿的一般成矿特征^[10]。

6) 普查工作中在 号金矿体中采取了一个黄铁矿化石英脉样品, 经中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室测定, 其 K-Ar 法同位素年龄为 $(102.7 \pm 4.6) \text{Ma}$, 与下白垩统光华组流纹岩的 K-Ar 法

同位素年龄(112.0 ± 1.0)Ma 比较接近,显示成矿作用发生于早白垩世。

从以上分析,初步认为永新金矿是一个早白垩世形成的潜火山热液型金矿。该矿床的发现显示在黑龙江省西部的古生代糜棱岩带中存在与早白垩世火山作用有关的金成矿作用,也表明多宝山斑岩铜矿老矿区的外围仍具有找矿潜力。

参考文献:

- [1]谭成印,王根厚,李永胜.黑龙江多宝山成矿区找矿新进展及其地质意义[J].地质通报,2010,29(2/3):436—445.
- [2]赵忠海,曲晖,郭艳,等.黑龙江多宝山成矿区金成矿规律及找矿方向[J].地质与资源,2011,20(2):89—95.
- [3]赵忠海,郑卫政,曲晖,等.黑龙江多宝山地区铜金成矿作用及成矿规律[J].矿床地质,2012,31(3):601—614.

- [4]王喜臣,王训练,王琳,等.黑龙江多宝山超大型斑岩铜矿的成矿作用和后期改造[J].地质科学,2007,42(1):124—133.
- [5]武广,朱群,赵财胜,等.大兴安岭北部上黑龙江拗陷区金铜矿床类型及地质特征[J].矿床地质,2002,21(增刊):261—264.
- [6]杨继权,孔含泉,胡建文.黑龙江省多宝山—宽河成矿带 Cu—Au 成矿规律与成矿预测[J].地质与资源,2005,14(3):192—196.
- [7]尹冰川,冉清昌.多宝山超大型铜矿床的成矿构造环境[J].矿物学报,1997,17(2):220—224.
- [8]赵元艺,马志红,仲崇学.多宝山铜矿床成矿作用地球化学研究[J].西安地质学院学报,1997,19(1):28—34.
- [9]苗来成,范蔚茗,张福勤,等.小兴安岭西北部新开岭—科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义[J].科学通报,2003,48(22):2315—2323.
- [10]李成禄,曲晖,赵忠海,等.黑龙江省浅成低温金矿床成矿地质特征及矿床成因[J].黄金,2013,34(2):10—15.

(上接第 519 页 / Continued from Page 519)

参考文献:

- [1]马杏垣,刘和甫,王维襄,等.中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J].地质学报,1983(1):22—31.
- [2]李思田,杨士恭,吴冲龙,等.中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系[J].中国科学 B 辑,1987(2):185—195.
- [3]高名修.中国东部盆地体系与美国西部盆地山脉构造对比及其成因机制探讨[A]//朱夏,编.中国中、新生代盆地构造和演化.北京:科学出版社,1983:65—77.
- [4]杜德莉,曾维军,吴能友.南海及邻域中、新生代盆地类型与油气资源关系探讨[J].地质评论,1998,44(6):580—589.
- [5]刘文龙.大庆探区外围盆地构造演化与油气资源赋存方式[J].大庆石油地质与开发,2005,24(1):23—27.
- [6]刘永江,张兴洲,金巍,等.东北地区晚古生代区域构造演化[J].中国地质,2010,37(4):943—951.
- [7]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.
- [8]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.
- [9]沈野.黑龙江省东部中生代盆地群边界特征及盆地演化[D].长春:吉林大学,2007.
- [10]张世红,杨惠心.佳木斯地体晚侏罗世—白垩纪古地磁研究及其构造意义[J].长春地质学院学报,1996,26(2):206—210.
- [11]杨振宇.石炭纪以来地磁场倒转速率与地球动力学[J].地质力学学报,1995,1(1):25—30.

- [12]王五力,付俊或,杨雅军.中国东北晚中生代—新生代盆地体系构造演化及成因探讨[J].地质与资源,2012,21(1):17—26.
- [13]吴根耀,冯志强,杨建国,等.中国东北漠河盆地的构造背景和地质演化[J].石油与天然气地质,2006,27(4):528—535.
- [14]吴河勇,辛仁臣,杨建国.漠河盆地中侏罗统沉积演化及含油气远景[J].石油实验地质,2003,25(2):116—121.
- [15]辛仁臣,吴河勇,杨建国.漠河盆地上侏罗统层序地层格架[J].地层学杂志,2003,27(3):199—204.
- [16]李仰春,刘宝山,赵焕丽,等.内蒙古大兴安岭北部新元古代花岗岩岩石地球化学特征及构造意义[J].地质与资源,2006,15(2):98—106.
- [17]李锦轶,莫中国,和政军,等.大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J].地学前缘,2004,11(3):157—168.
- [18]邵济安,张履桥,牟保磊.大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J].地学前缘,1999,6(4):339—346.
- [19]董晓伟,曹成润,冯明.三江盆地缓滨断陷地质特征及煤层气资源潜力[J].世界地质,2006,25(4):390—395.
- [20]孙晓猛,刘永江,孙庆春,等.敦密断裂带走滑运动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学证据[J].吉林大学学报 地球科学版,2008,38(6):965—972.
- [21]曹成润,董晓伟.东北北部中生代盆地群构造与深部结构特征[J].煤田地质与勘探,2008,36(2):1—5.
- [22]周永胜,王东坡,杨丙中,等.伊舒地堑的构造—沉积演化及其聚油条件[J].岩相古地理,1993,13(5):1—15.