

黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床中生代侵入岩 及其对成矿作用的制约*

周传芳,王献忠,李向文,杨华本,宋贵斌,段明新,郭宏宇

(中国人民武装警察部队黄金第三支队,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要 宝兴沟金矿床为近年来在漠河前陆盆地南缘新发现的大型金矿床。区内发育石英闪长岩、闪长玢岩、花岗细晶岩等侵入岩,矿体主要产于石英闪长岩、闪长玢岩内部及其与二十二站组砂岩的内外接触带中。地球化学研究表明,石英闪长岩具高钾、低钛、富碱特征,花岗细晶岩具高硅、高钾、低钛、富碱特征,二者均为高钾钙碱性系列岩石,富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Sr 等,亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti 和重稀土元素 Yb、Y,但二者稀土元素特征和配分曲线差异较大,不具成因联系。矿石与石英闪长岩、闪长玢岩具有相似的微量元素、稀土元素组成和稀土元素配分曲线,表明石英闪长岩、闪长玢岩为成矿提供了热液和成矿物质等,与成矿具有密切的成因联系。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果显示,石英闪长岩成岩时间为 118.13~121.77 Ma,限定了宝兴沟金矿床的形成时间不早于 118 Ma,为早白垩世,形成于太平洋板块俯冲后的伸展环境。漠河前陆盆地除中-晚侏罗世侵入岩外,早白垩世酸性侵入岩对区域成矿也具有重要作用,是今后找矿的重要方向之一。

关键词 地球化学 锆石 U-Pb 测年 成矿作用 中生代侵入岩 宝兴沟金矿床

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

Mesozoic intrusive rocks and their constraints on mineralization in Baoxinggou gold deposit in Tahe County, Heilongjiang Province

ZHOU ChuanFang, WANG XianZhong, LI XiangWen, YANG HuaBen, SONG GuiBin,
DUAN MingXin and GUO HongYu

(No.3 Gold geological Party, CAPF, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract

The Baoxinggou gold deposit is a large-sized gold deposit discovered in south Mohe foreland basin in recent years. Gold mineralization has close relationship with quartz diorite and dioritic porphyrite in this area. Orebodies mainly occur within the intrusion and its contact zone with the sandstone. A study of the geochemistry of this deposit shows that major elements in quartz diorite are characterized by high potassium, low titanium, and high alkali. Major elements in aplite granite are characterized by high SiO₂, high potassium, low titanium, and high alkali. They both belong to the high-K calc-alkaline series. They have such geochemical features as relatively enrichment of large ion lithophile elements like Rb, Ba and Sr, depletion of high field strength elements like Nb, Ta, Ti and HREE Yb and Y. However, the characteristics and distribution curve of REE of the quartz diorite and the aplite granite show obvious differences, suggesting that they have no genetic relationship. As for trace element ratio on the cobweb map and the REE map, the trace elements and the REE distribu-

* 本文得到中国地质调查局重要矿产资源调查计划(编号:[2015]02-14-03-002)资助

第一作者简介 周传芳,男,1985年生,硕士研究生,工程师,主要从事金及多金属矿床找矿勘探工作。Email:546011015@qq.com

收稿日期 2017-02-04;改回日期 2017-10-19。张绮玲编辑。

tion curves are close to curves of quartz diorite and dioritic porphyrite. They provided hydrothermal solution, mineralization material for ore-forming process, suggesting intimate relationship with mineralization. Zircon LA ICP MS U-Pb isotope dating shows that the rock-forming time of the quartz diorite is 118.13~121.77 Ma, indicating Early Cretaceous. This deposit was formed in an extension environment resulting from subduction of the Pacific plate to the Eurasian plate. Therefore, the mineralization of the Baoxinggou gold deposit was not earlier than 118 Ma. Besides the intrusive rocks of the middle-Late Jurassic, the medium acidic intrusion in Early Cretaceous also played an important role in regional mineralization, and hence it is one of the important prospecting directions in the future.

Key words: geochemistry, zircon U-Pb dating, gold mineralization, Mesozoic intrusive rocks, Baoxinggou gold deposit

宝兴沟金矿床是近年来在漠河前陆盆地新发现的大型金矿床。该矿床的赋矿围岩为蚀变砂岩、蚀变石英闪长岩(或闪长玢岩)等,矿体产于二十二站组、漠河组砂岩与侵入岩内外接触带及岩体内部,明显受中生代侵入岩的控制,与漠河前陆盆地内砂宝斯金矿床、砂宝斯林场金矿床、二十一站铜金矿床、十五里桥金矿床等具有相似的成矿地质条件、成矿特征和矿床成因。前人对盆地内典型金及多金属矿床的矿床成因、物质来源及成矿时代上存在争议,基本观点有:①与燕山晚期由挤压转为伸展环境时所产生的构造-岩浆-热事件有关的浅成中低温热液矿床(李向文,2010;李向文等,2012;王献忠,2014);②与中生代蒙古-鄂霍次克陆-陆碰撞有关的中-浅成造山型金矿床(武广等,2006,2008a;王献忠等,2010;张国宾等,2013);③与早白垩世蒙古-鄂霍次克造山带后碰撞阶段的挤压向伸展转换期有关的金矿床(刘军等,2013);④成矿物质来源于前寒武系基底兴华渡口岩群变质岩和二十二站组砂岩及深部岩浆,成矿流体主要由岩浆热液的浅成低温热液型金矿床(赵春荣等,2008;宋丙剑等,2010;怀宝峰等,2010;周传芳,2012);⑤漠河推覆构造控制了盆地金矿床的时、空分布,为含金沉积建造金元素初步富集的动力因素,提供了使矿源层中金元素活化、迁移的介质和动能(王晓勇等,2008)。为了推进研究,本文对与宝兴沟金矿床成矿关系密切的中生代侵入岩进行了地球化学研究及LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,探讨了该期侵入岩与区域成矿作用的关系及成矿环境等。

1 区域地质矿产概况

1.1 区域地质概况

宝兴沟金矿床大地构造位置属于古亚洲成矿域与古太平洋成矿域的叠加部位(赵广江等,2006),处

于兴蒙造山带北东端大兴安岭弧盆系之漠河前陆盆地秀水山逆推带内(图1a、b)。该区经历了古亚洲洋陆缘增生演化阶段、古太平洋板块活动阶段及滨太平洋大陆边缘活动阶段。燕山早期形成了侏罗纪前陆盆地,燕山中期受环太平洋构造域影响,区域上表现为剪切-拉张,受深大断裂控制,形成早白垩世火山构造盆地。燕山晚期至新生代早期,北东向和近东西向断裂的继承性活动,形成了新生代断陷盆地。

区域内出露地层主要有中元古界兴华渡口群变质岩,中侏罗统绣峰组、二十二站组、漠河组和下白垩统九峰山组沉积岩,上侏罗统一白垩统塔木兰沟组、甘河组玄武岩、安山玄武岩及白音高老组、光华组流纹岩、流纹质凝灰岩等。区域构造较为发育,褶皱构造为走向东西、形态宽缓的复褶皱,断裂构造以北东向为主,且控制了区域矿床(体)的展布。岩浆活动强烈,主要为晚侏罗世—早白垩世火山岩和侵入岩,该期岩浆的侵入对区域有色金属及贵金属矿床的形成具有明显的控制作用,为成矿提供了热源、赋矿空间及部分成矿物质来源(武广,2006;李向文等,2012;公维国,2014)。

1.2 区域矿产概况

区域矿产以金及多金属为主,主要发育有砂宝斯金矿床、砂宝斯林场金矿床、八里房金矿床、三十二站金矿床、老沟金矿床、二根河金矿床、洛古河多金属矿床、二十一站铜金矿床、十五里桥金矿床等(图1b)。

砂宝斯金矿床位于漠河前陆盆地北西部,赋矿围岩为中侏罗统二十二站组砂岩,区内脉岩发育,且与成矿有密切的时空关系。成矿早期以岩浆热液为主,晚期为混合热液,成矿物质来自深部岩浆和二十二站组砂岩,成矿时代为早白垩世,是与早白垩世岩浆活动密切相关的中温热液型金矿床(赵春荣等,2008;武广等,2008,2014;李向文,2015)。

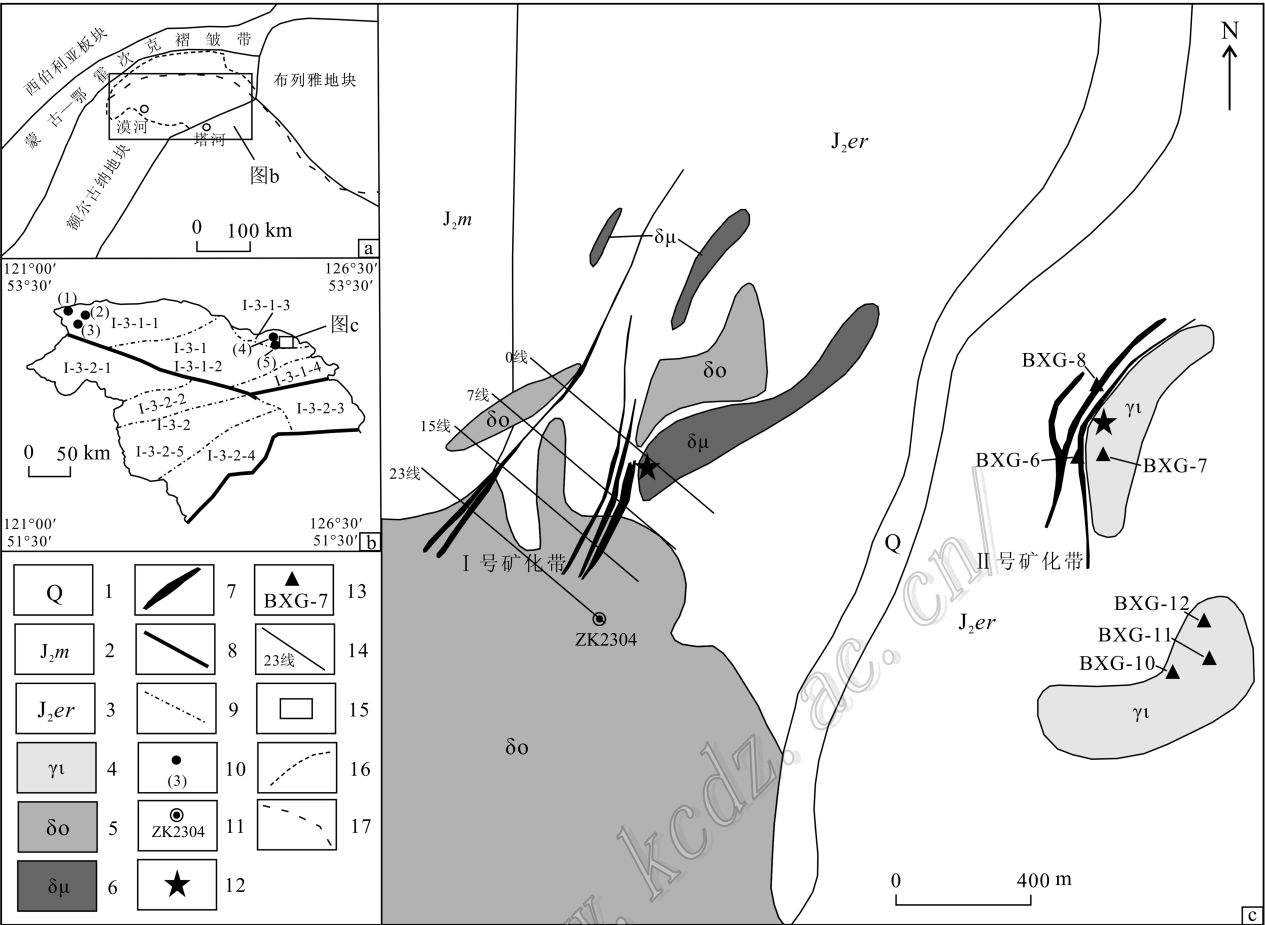


图 1 宝兴沟金矿床大地构造位置示意图(a,b)及矿区地质图(c)

1—第四系; 2—中侏罗统漠河组; 3—中侏罗统二十二站组; 4—花岗细晶岩; 5—石英闪长岩; 6—闪长玢岩; 7—金矿化蚀变带; 8—三级构造单元界线; 9—四级构造单元界线; 10—区域典型矿产及编号; 11—钻孔位置及编号; 12—U-Pb 测年采样位置(李向文,2012); 13—主量、稀土元素样品采样位置及编号; 14—勘探线及编号; 15—研究区范围; 16—漠河盆地边界; 17—黑龙江

典型矿床: (1)—洛古河多金属矿床; (2)—老沟金矿床; (3)—砂宝斯金矿床; (4)—十五里桥金矿床; (5)—二十一站铜金矿床

构造带: I-3-1—漠河前陆盆地; I-3-1-1—老沟逆推带; I-3-1-2—二十二站拗陷带; I-3-1-3—秀水山逆推带; I-3-1-4—富拉罕逆推带; I-3-2—额尔古纳岛弧; I-3-2-1—额尔古纳微地块; I-3-2-2—白卡鲁山火山弧; I-3-2-3—兴华微地块; I-3-2-4—环宇-新林蛇绿混杂岩带; I-3-2-5—翠岗陆表海盆

Fig. 1 Schematic tectonic map (a, b) and sketch geological map (c) of the Baoxingou gold deposit

1—Quaternary; 2—Mohe Formation of middle Jurassic; 3—Ershierzhan Formation of middle Jurassic; 4—Granite aplite; 5—Quartz diorite; 6—Diorite-porphyrityte; 7—Gold orebody; 8—The boundary between Level three tectonic units; 9—The boundary between Level four tectonic units; 10—Regional ore spot and its serial number; 11—Drill hole position and its serial number; 12—Sampling site of U-Pb dating (Li, 2012); 13—Major element and REE sample location and its serial number; 14—Exploration line and its serial number; 15—The study area; 16—Mohe Basin boundary; 17—The Heilong jiang River Heilongjiang

Typical ore deposits: (1)—Luoguhe polymetallic deposit; (2)—Laojingou gold deposit; (3)—Shabaosi gold deposit; (4)—Shiwuliqiao gold deposit; (5)—Ershiyizhan copper-gold deposit

Tectonic zone: I-3-1—Mohe foreland basin; I-3-1-1—Laogou thrust-nappe belt; I-3-1-2—Ershierzhan depression belt; I-3-1-3—Xiushuishan thrust-nappe belt; I-3-1-4—Fulahan thrust-nappe belt; I-3-2—Eerguna island arc; I-3-2-1—Eerguna massif; I-3-2-2—Mt. Baikalu volcanic arc; I-3-2-3—Xinghua massif; I-3-2-4—Huanyu-Xinlin ophiolite melange belt; I-3-2-5—Cuigang epeiric sea basin

洛古河多金属矿床:位于漠河前陆盆地北西部,矿体主要呈层状、似层状和透镜状,赋存于额尔古纳河组大理岩与黑云母二长花岗岩接触带附近。是在蒙古—鄂霍次克洋俯冲闭合后造山后伸展的构造背景,早白垩世强烈构造岩浆作用下,形成的以黑云母二长花岗岩为成矿岩体的接触交代型多金属矿床

(孙琦等,2015)。

二十一站铜金矿床位于漠河前陆盆地东部,金矿体分布于二十一站岩体西南接触带,北西向展布;铜矿体分布于二十一站岩体内,北东向展布。二十一站铜、金矿是壳幔源混合岩浆经一定分异作用后,三次侵入固结成形。在第一侵入期花岗闪长岩体内、外接触带的构造有利部位形成金矿体,在第二侵入期花岗闪长斑岩周围形成铜矿体(赵广江等,2006)。

十五里桥金矿床位于漠河前陆盆地东部,赋存于安山岩火山地层内,主要以脉状形式产出,金矿化与石英脉关系密切,矿体受北东向断裂构造和角砾岩带控制,其成矿物质来源于以安山岩为主的火山岩地层,深部岩浆活动和区内脉岩为金矿化提供了热源,是早白垩世伸展环境下形成的浅成中低温热液型金矿床(李向文等,2014;李向文,2015)。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质特征

宝兴沟金矿区内地层出露简单,仅有中侏罗统二十二站组(J_2^{er})、漠河组(J_2^m)及第四系(Q)(图1c)。二十二站组在矿区东部广泛出露,主要岩性为灰黑色—浅灰绿色粗中粒岩屑长石砂岩、中粒长石砂岩、中粒长石岩屑砂岩、含砾长石岩屑粗粒砂岩、泥质粉砂岩,底部为砾岩、粗砂岩;漠河组仅在矿区西北部出露,与二十二站组整合接触,岩性为黑灰色—灰黄色中粗长石岩屑砂岩、砾岩、细粒砂岩、泥质粉砂岩夹煤层。区内断裂构造主要有北东向的依西肯—二十站断裂、绥安站—十五里桥断裂,及北东向、北西向次级断裂,北东向次级断裂控制了北东向脉岩及金矿化蚀变带的展布,是主要的控矿构造。

根据前人及本次同位素年龄数据,矿区内侵入岩主要分为2期:第一期为花岗细晶岩,出露于矿区东部,地表可见2个小岩株,面积较小,花岗细晶岩主要由石英、钾长石和斜长石组成,Ⅱ号矿化蚀变带位于北部的花岗细晶岩西侧(图1c);第二期为石英闪长岩、闪长玢岩。其中,石英闪长岩出露于矿区中西部,地表呈不规则岩株状、脉状,深部呈岩脉(群)穿插于二十二站组、漠河组砂岩内(图2),产状与金矿化蚀变带基本一致。岩石多呈浅杂灰色、绿灰色,主要由斜长石、角闪石、黑云母、石英等组成,岩石蚀变后常见微晶石英或微晶石英集合体;闪长玢岩呈

脉状与石英闪长岩相伴产出(图1c),规模较小,与砂岩呈侵入接触或断层接触,钻孔ZK0709中可见闪长玢岩脉穿插于石英闪长岩内,闪长玢岩一侧有冷边和褪色现象,推测两者为同期岩浆活动的产物,闪长玢岩侵位略晚于石英闪长岩。岩石多呈灰色,矿物成分由斑晶($40\% \pm$)和基质($60\% \pm$)组成,斑晶主要为斜长石、角闪石、黑云母,基质主要由斜长石、角闪石和少量石英、磁铁矿等组成。Ⅰ号矿化蚀变带位于石英闪长岩、闪长玢岩内及与二十二站组、漠河组砂岩内外接触带(图1c),该期侵入岩是宝兴沟金矿床的主要控矿岩体。

2.2 矿体特征

宝兴沟金矿床主要以Ⅰ号、Ⅱ号金矿化蚀变带为主,近矿围岩主要为砂岩、石英闪长岩、闪长玢岩。金矿化蚀变带内矿体与围岩界线多数不清楚,矿体及近矿围岩都发生了较强的蚀变,主要以样品分析品位区分围岩与矿体界线。

Ⅰ号金矿化蚀变带位于矿区西侧,矿化蚀变带产于石英闪长岩、闪长玢岩内以及二十二站组、漠河组砂岩与石英闪长岩、闪长玢岩内外接触带。金矿化蚀变带长1120 m,宽2.6~90 m,圈定46条金矿体,平均品位 $w(\text{Au})$ 为 $1.46 \times 10^{-6} \sim 1.60 \times 10^{-6}$,最高品位为 23.09×10^{-6} (王献忠等,2014)。钻孔深部资料显示,该金矿化蚀变带具尖灭再现、膨大收缩、分支复合等现象,其产状与石英闪长岩脉、闪长玢岩脉近一致,二者关系密切。

Ⅱ号金矿化蚀变带位于矿区东侧,矿化蚀变带呈脉状产于二十二站组砂岩与花岗细晶岩接触靠近砂岩一侧,总体沿花岗细晶岩脉西侧分布,赋矿围岩为蚀变砂岩,Ⅱ号金矿化蚀变带长780 m,宽40~120 m,圈定14条金矿体,平均品位 $w(\text{Au})$ 为 $1.09 \times 10^{-6} \sim 3.54 \times 10^{-6}$,最高品位为 11.27×10^{-6} ,金矿化蚀变带地表出露较好,深部延伸差,可能受后期断层破坏所致。

矿石类型主要有蚀变砂岩型、蚀变闪长岩型、蚀变闪长玢岩型及破碎蚀变岩型,少量石英脉型。围岩蚀变主要为硅化、碳酸盐化、高岭土化,金属矿化以毒砂、黄铁矿为主,含少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、脆硫锑铅矿、磁黄铁矿等,次生铜矿物主要为辉铜矿、铜蓝、黝铜矿,金矿物组成主要为自然金,微量银金矿。脉石矿物以石英、长石为主,次为绢云母、绿泥石、方解石、石墨、锆石、高岭土、铁镁石类等。

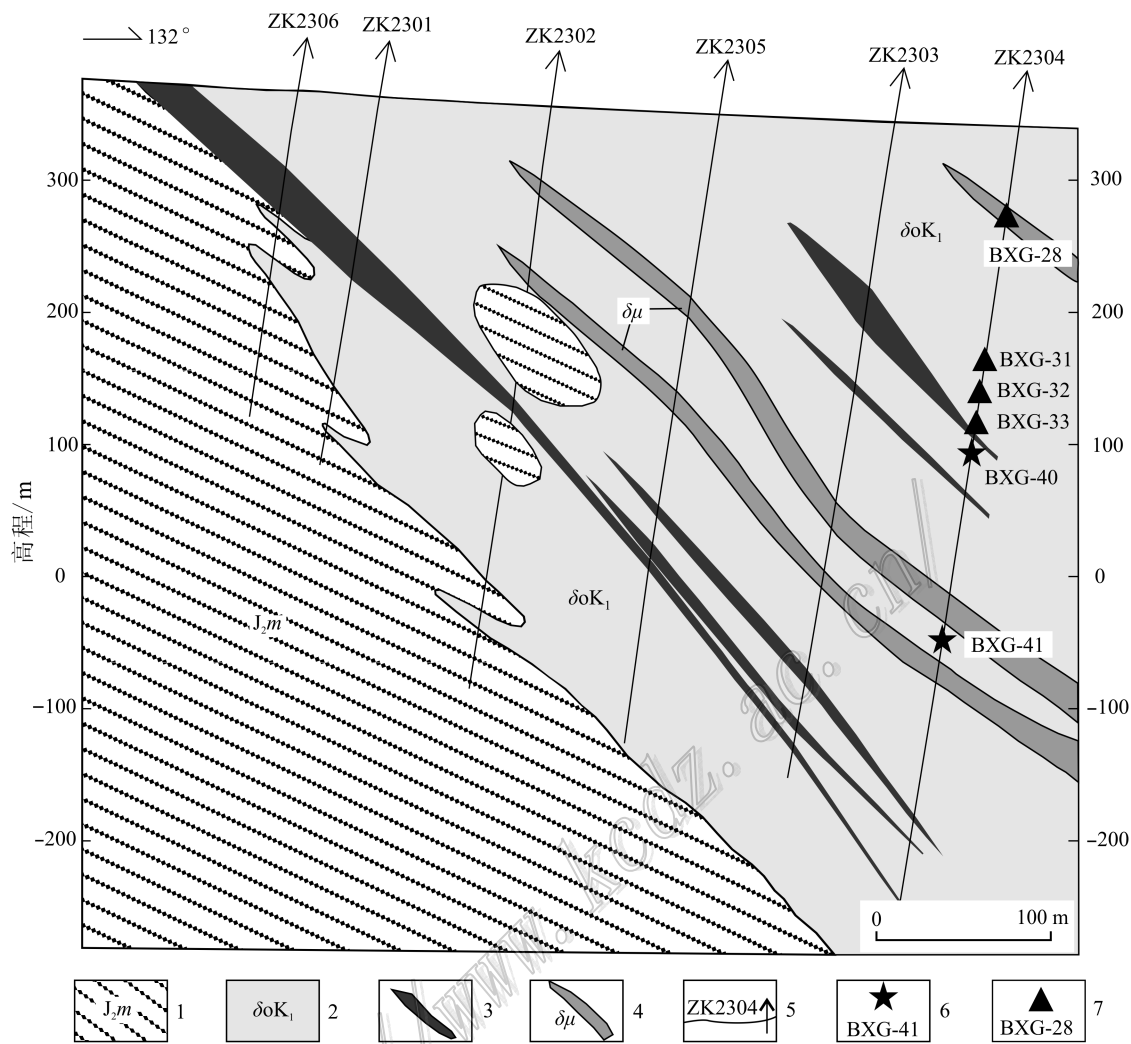


图 2 宝兴沟金矿床 23 线剖面图与采样位置

1—漠河组砂岩；2—早白垩世石英闪长岩；3—金矿化蚀变带；4—闪长玢岩脉；5—钻孔及编号；6—测年样品采样位置及编号；7—主量、稀土元素样品采样位置及编号

Fig. 2 Geological line along No. 23 exploration line in the Baoxinggou gold deposit and the sampling location
1—Ershierzhan Formation sandstone; 2—Early Cretaceous quartz diorite; 3—Alteration of Au; 4—Diorite-porphyrite vein; 5—Serial number of drill hole; 6—Sampling site of U-Pb dating and its serial number; 7—Major element and REE sample location and its serial number

矿石结构有他形晶粒状结构、半自形晶结构、碎裂结构、骸晶结构和交代残余结构、交代溶蚀结构、包含结构、填隙结构、固溶体分离结构等；构造包括稀疏浸染状构造、浸染状构造、稠密浸染状构造、细脉状构造、网脉状构造、块状、团块状构造。

通过系统的野外观察与地质研究基础上，依据金属矿物组合差异及脉体穿切关系，将金成矿作用大致划分为 4 个阶段，其中②、③阶段为主要成矿阶段。

① 浸染状黄铁矿-石英阶段：该阶段矿物共生组合简单，硫化物较少，仅为星点状、浸染状自形立方

体黄铁矿为主，含矿性差。

② 黄铁矿±毒砂-石英阶段：该阶段黄铁矿呈半自形-他形，或呈集合体分布，或沿矿石的微裂隙呈细脉状分布，偶见其沿毒砂裂隙呈脉状交代穿插毒砂，石英为烟灰色-乳白色致密块状集合体。

③ 多金属硫化物-石英阶段：为主成矿阶段，形成黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等矿物组合，以单体或集合体形式，呈细粒浸染状分布，以半自形-他形为主；石英则呈乳白色细网脉状、细脉状，脉宽 1~5 mm。

④ 少硫化物-碳酸盐阶段，矿物组合以石英-方解

石为主,方解石一般呈脉状或细网脉不规则状,表现为后期沿岩石节理裂隙充填所致,脉壁和岩石中见少量的自形晶立方体黄铁矿,未见其他金属矿物。

3 样品采集及实验分析方法

3.1 样品采集及岩石学特征

本次研究样品采自宝兴沟金矿床 I 号、II 号金矿化蚀变带。采集主量元素、稀土元素分析样品 10 件,其中 BXG-6、BXG-8 为矿石(蚀变砂岩)采于 II 号金矿化蚀变带探槽;BXG-7、BXG-10、BXG-11、BXG-12 为花岗细晶岩,采于花岗细晶岩体内;BXG-28 为闪长玢岩,采于钻孔 ZK2304,孔深 45 m;BXG-31、BXG-32、BXG-33 为石英闪长岩,采于钻孔 ZK2304,孔深分别为 124 m、137 m、146 m。采集 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年样品 2 件,BXG-40、BXG-41 为石英闪长岩,采于钻孔 ZK2304,孔深分别为 151 m 和 253 m(图 2)。

矿床地质特征表明石英闪长岩和闪长玢岩与金矿化关系密切,因此选择石英闪长岩进行年龄测定,以确定矿区内岩浆活动的时限,并以此限定金矿床的形成时限。

石英闪长岩(BXG-40、BXG-41):主要矿物成分有斜长石、石英、钾长石、黑云母及角闪石等。斜长石主要为更-中长石,呈半自形板状、粒状,颗粒晶面弱泥化而略显混浊,聚片双晶清晰,个别具板条状机械双晶,含量约为 60%。石英为他形粒状,含量为 15%±。钾长石主要为正长石,部分为条纹长石(具条纹结构),呈半自形-自形板状、板粒状,颗粒晶面泥化而不均匀混浊,含量为 15%±。黑云母为半自形-不规则片状,含量为 8%±。角闪石含量约为 2%。副矿物为磁铁矿、黄铁矿、榍石等。

3.2 实验分析方法

锆石挑选由河北地勘局廊坊实验室完成。将挑选锆石样品置于用环氧树及做成的样品靶上,制成靶并抛光至锆石厚度的近一半,拍摄透射光和阴极发光照片。锆石 LA-ICP MS U-Pb 测年由天津地质矿产研究完成。用阴极发光(CL)研究锆石形态,U-Pb 同位素组成在激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP MS)仪上完成。分析采用激光剥蚀孔径 32 μm,剥蚀深度 20~40 μm,激光脉冲为 10 Hz,能量为 32~36 mJ,同位素组成用锆石 91500 进行外标校正。

常量元素、稀土元素的分析测试由中国人民武装警察部队黄金指挥部测试中心完成。常量元素采用 PW4400 型 X 射线荧光光谱(XRF)分析,分析准确度和精度优于 2%~3%;稀土元素采用等离子体质谱法(X2 型 ICP-MS),准确度和精度优于 10%。

4 测试结果

4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

石英闪长岩样品锆石同位素分析结果见表 1。2 个样品锆石颗粒均较小(50~150 μm),长宽比为 1:1.5~1:2,振荡韵律发育(图 3)。样品 BXG-40 和 BXG-41 锆石的 Th/U 比值分别为 0.65~1.14(平均为 0.89)和 0.45~0.91(平均为 0.51),Th/U 比值为均大于 0.10,表明其为岩浆成因(Belousova et al., 2002; Moller et al., 2002)。

用 Isoplot3.0 程序对样品锆石进行了谐和曲线的投影和²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄的计算。BXG-40 石英闪长岩锆石样品在谐和图(图 4a)中数据分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近,计算求出其加权平均年龄为(118.13±0.86) Ma(MSWD=1.8, n=23);

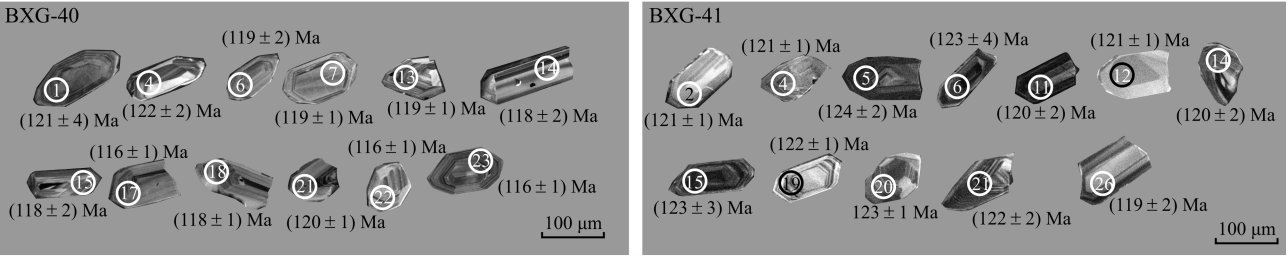


图 3 宝兴沟金矿床石英闪长岩代表性锆石 CL 图

Fig. 3 Representative CL images for zircons from quartz diorite in the Baoxinggou gold deposit

表 1 宝兴沟金矿石英闪长岩锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 U-Pb compositions of zircon grains from the quartz diorite in the Baoxinggou gold deposit

分析点	$w(\text{B})/10^{-6}$		Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma	
	Pb	U		测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ
BXG-40													
40-1	1	43	0.7983	0.0190	0.0006	0.1292	0.0148	0.0493	0.0056	121	4	123	14
40-2	1	43	0.9608	0.0191	0.0005	0.1510	0.0250	0.0574	0.0094	122	3	143	24
40-3	4	160	1.0275	0.0193	0.0002	0.1415	0.0118	0.0531	0.0044	123	1	134	11
40-4	2	84	1.1080	0.0191	0.0003	0.1266	0.0153	0.0481	0.0057	122	2	121	15
40-5	3	122	0.7185	0.0191	0.0002	0.1283	0.0120	0.0488	0.0044	122	2	123	11
40-6	1	65	1.0193	0.0186	0.0004	0.1256	0.0215	0.0490	0.0083	119	2	120	21
40-7	4	205	0.8345	0.0186	0.0001	0.1317	0.0055	0.0514	0.0021	119	1	126	5
40-8	1	62	1.0448	0.0186	0.0004	0.1523	0.0243	0.0593	0.0101	119	3	144	23
40-9	1	67	0.7326	0.0184	0.0004	0.1300	0.0212	0.0513	0.0080	117	2	124	20
41-10	1	43	0.7841	0.0194	0.0006	0.1350	0.0204	0.0505	0.0077	124	4	129	19
40-12	2	106	0.9301	0.0183	0.0003	0.1361	0.0178	0.0540	0.0065	117	2	130	17
40-13	3	121	0.6924	0.0186	0.0002	0.1458	0.0103	0.0568	0.0040	119	1	138	10
40-14	2	102	0.8528	0.0185	0.0003	0.1376	0.0139	0.0538	0.0054	118	2	131	13
40-15	2	73	0.7785	0.0186	0.0004	0.1138	0.0120	0.0445	0.0049	118	2	109	12
40-17	3	135	0.9772	0.0182	0.0002	0.1251	0.0108	0.0498	0.0043	116	1	120	10
40-18	3	144	0.8381	0.0185	0.0001	0.1428	0.0085	0.0558	0.0033	118	1	136	8
40-19	2	82	0.9563	0.0180	0.0003	0.1291	0.0162	0.0519	0.0066	115	2	123	16
40-20	1	43	0.9537	0.0192	0.0005	0.1508	0.0204	0.0568	0.0094	123	3	143	19
40-21	2	109	0.6821	0.0189	0.0002	0.1534	0.0107	0.0590	0.0041	120	1	145	10
40-22	3	166	0.6504	0.0182	0.0002	0.1198	0.0100	0.0478	0.0038	116	1	115	10
40-23	6	276	1.1390	0.0182	0.0001	0.1438	0.0060	0.0572	0.0024	116	1	136	6
40-24	4	194	1.0366	0.0183	0.0002	0.1248	0.0093	0.0496	0.0035	117	1	119	9
40-25	2	77	0.9714	0.0183	0.0004	0.1185	0.0219	0.0471	0.0084	117	2	114	21
BXG-41													
41-1	2	67	0.5477	0.0194	0.0003	0.1510	0.0256	0.0565	0.0088	124	2	143	24
41-2	4	157	0.5691	0.0190	0.0002	0.1417	0.0095	0.0541	0.0036	121	1	135	9
41-3	4	157	0.9098	0.0191	0.0001	0.1480	0.0080	0.0561	0.0029	122	1	140	8
41-4	6	236	0.7288	0.0191	0.0002	0.1538	0.0061	0.0584	0.0023	122	1	145	6
41-5	2	78	0.6840	0.0194	0.0003	0.1502	0.0170	0.0561	0.0059	124	2	142	16
41-6	3	114	0.5046	0.0193	0.0002	0.1497	0.0114	0.0563	0.0043	123	1	142	11
41-7	3	114	0.6764	0.0191	0.0002	0.1411	0.0099	0.0536	0.0037	122	1	134	9
41-8	2	72	0.5139	0.0194	0.0003	0.1442	0.0151	0.0539	0.0057	124	2	137	14
41-9	2	73	0.5220	0.0194	0.0003	0.1463	0.0182	0.0546	0.0066	124	2	139	17
41-10	2	111	0.6075	0.0190	0.0002	0.1391	0.0110	0.0531	0.0042	121	1	132	10
41-11	2	74	0.5159	0.0187	0.0003	0.1504	0.0164	0.0582	0.0065	120	2	142	16
41-12	3	147	0.7623	0.0189	0.0002	0.1582	0.0085	0.0607	0.0032	121	1	149	8
41-14	2	101	0.4501	0.0188	0.0003	0.1356	0.0151	0.0524	0.0058	120	2	129	14
41-15	1	62	0.6275	0.0193	0.0004	0.1508	0.0187	0.0567	0.0071	123	3	143	18
41-16	2	84	0.6167	0.0193	0.0003	0.1390	0.0158	0.0523	0.0059	123	2	132	15
41-17	2	73	0.5464	0.0189	0.0003	0.1536	0.0213	0.0588	0.0084	121	2	145	20
41-18	2	94	0.5895	0.0186	0.0005	0.1421	0.0323	0.0554	0.0076	119	3	135	31
41-19	2	95	0.6207	0.0191	0.0002	0.1387	0.0109	0.0528	0.0042	122	1	132	10
41-20	3	157	0.5433	0.0192	0.0002	0.1526	0.0102	0.0576	0.0038	123	1	144	10
41-21	2	74	0.6586	0.0191	0.0003	0.1438	0.0145	0.0547	0.0056	122	2	136	14
41-22	2	90	0.7442	0.0180	0.0003	0.1214	0.0178	0.0489	0.0074	115	2	116	17
41-23	1	57	0.5955	0.0179	0.0004	0.1498	0.0210	0.0607	0.0090	114	3	142	20
41-24	1	73	0.7077	0.0180	0.0003	0.1262	0.0201	0.0509	0.0085	115	2	121	19
41-25	2	83	0.9030	0.0183	0.0003	0.1536	0.0211	0.0610	0.0085	117	2	145	20
41-26	2	72	0.6330	0.0186	0.0004	0.1512	0.0200	0.0589	0.0081	119	2	143	19

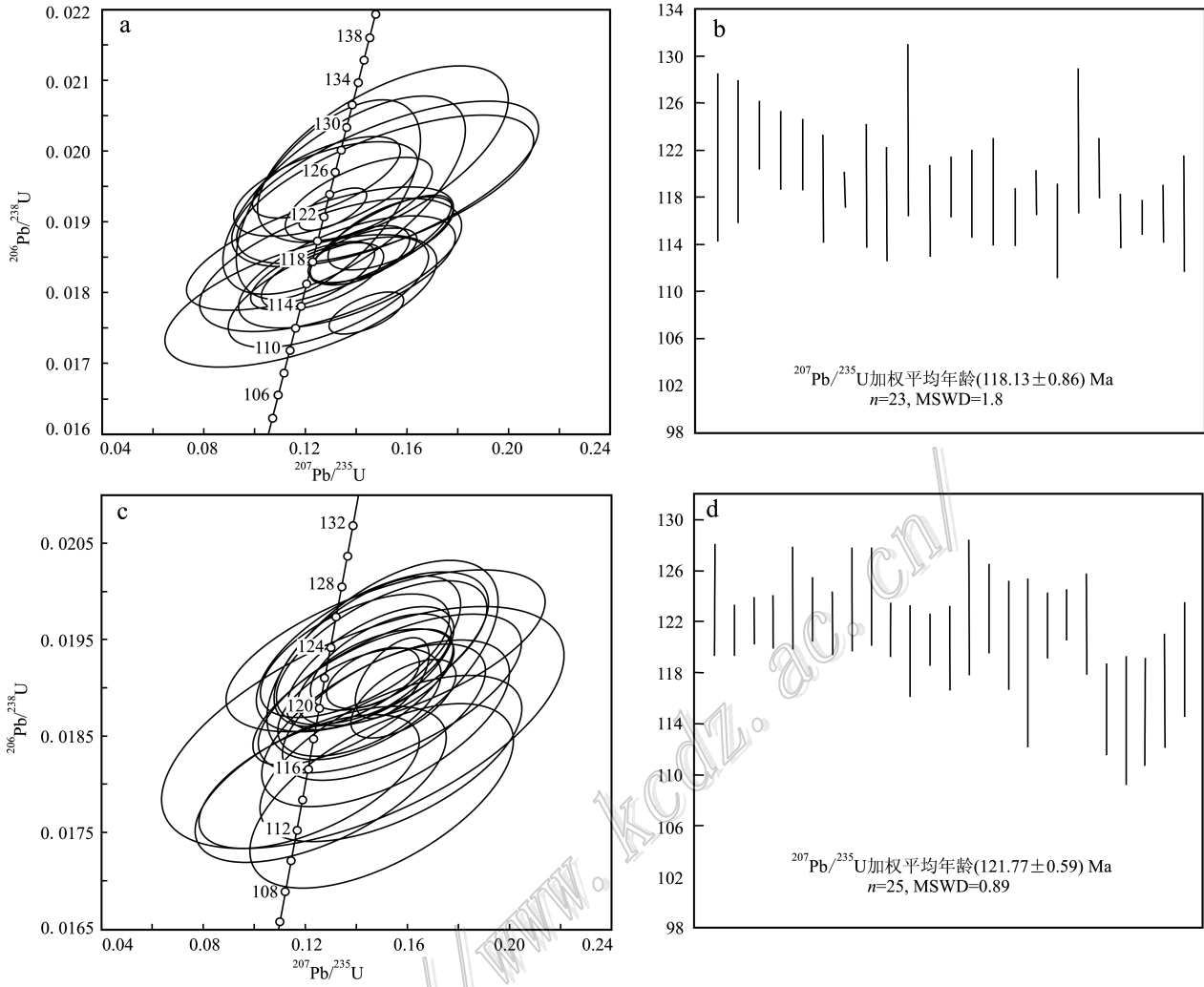


图 4 宝兴沟金矿石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

a、b. BXG-40 石英闪长岩; c、d. BXG-41 石英闪长岩

Fig. 4 Concordia age of zircons from quartz diorite in the Baoxinggou gold deposit

a、b. BXG-40 quartz diorite; c、d. BXG-41 quartz diorite

BXG-41 石英闪长岩锆石样品在谐和图(图 4c)中数据分析点均位于 U-Pb 谐和线或其附近, 计算出其加权平均年龄为 (121.77 ± 0.59) Ma (MSWD = 0.89, $n = 25$), 2 个样品的锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄在 120 Ma 左右, 基本代表了石英闪长岩的结晶年龄, 这一年龄与李向文(2012)所做的石英闪长岩年龄(124.92 Ma)相近。

4.2 主量元素特征

中生代侵入岩主量元素分析结果见表 2。石英闪长岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 介于 50.14% ~ 63.69% 之间, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 15.04% ~ 16.98%, $w(\text{TiO}_2)$ 为 0.58% ~ 1.03%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 介于 5.38% ~ 7.14% 之

间, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 1.02 ~ 2.23, 平均为 1.29, A/CNK 为 0.78 ~ 0.97。岩石具高钾、低钛、富碱特征。花岗细晶岩 $w(\text{SiO}_2)$ 介于 71.43% ~ 72.38% 之间, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 15.10% ~ 15.38%, $w(\text{TiO}_2)$ 为 0.05% ~ 0.06%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 介于 10.50% ~ 11.81% 之间, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 1.29 ~ 1.43, 平均为 1.38, A/CNK 为 0.89 ~ 1.03。岩石具高硅、高钾、低钛、富碱特征。在 TAS 图解(图 5a)中, 石英闪长岩主要为亚碱性-碱性之间, 花岗细晶岩为碱性系列, 石英闪长岩主要投点在二长闪长岩和二长岩范围, 花岗细晶岩主要投点在花岗岩区域; 在 SiO_2 - K_2O 图解(图 5b)中, 石英闪长岩和花岗岩细晶岩均为高钾钙碱性系列岩石。

表 2 宝兴沟矿区侵入岩及矿石主量元素($w(B)/\%$)和稀土元素($w(B)/10^{-6}$)分析结果及特征参数

Table 2 The composition of major elements ($w(B)/\%$) and rare earth elements ($w(B)/10^{-6}$) for intrusive rocks and ores in the Baoxinggou deposit

组分	闪长岩				花岗岩				石英闪长岩				闪长玢岩			
	BXG-6	BXG-7	BXG-8	BXG-2*	BXG-10	BXG-11	BXG-12	BXG-29*	BXG-31	BXG-32	BXG-33	BXG-4*	BXG-17*	BXG-24*	BXG-28	BXG-20*
SiO ₂	66.83	47.07	58.98	72.05	72.11	72.38	72.27	71.43	55.61	55.06	57.02	63.69	56.34	53.71	50.14	51.76
Al ₂ O ₃	11.85	1.44	12.28	15.38	15.31	15.29	15.26	15.10	16.81	16.98	16.92	15.29	15.92	15.04	16.09	16.63
Fe ₂ O ₃	4.69	20.75	1.66	0.68	0.50	0.57	0.60	0.21	7.36	7.33	7.14	1.56	2.59	1.93	8.39	3.31
FeO	0.10	2.22	2.98	0.10	0.10	0.10	0.10	0.22	0.10	0.24	0.21	2.72	4.45	5.00	0.36	4.35
MgO	1.08	0.97	2.77	0.03	0.07	0.05	0.06	0.56	4.19	4.25	3.92	2.17	6.39	4.96	6.45	5.83
CaO	0.06	0.31	5.95	0.02	0.06	0.04	0.04	0.20	6.21	6.47	6.11	3.20	4.98	6.15	6.03	5.18
Na ₂ O	0.01	0.01	1.67	6.08	6.06	6.22	6.08	6.95	4.02	4.04	4.15	4.36	3.56	3.46	3.61	4.30
K ₂ O	6.35	0.40	2.51	4.73	4.47	4.34	4.42	4.86	2.26	2.00	2.10	2.51	2.24	1.92	3.53	1.93
MnO	0.010	0.040	0.17	0.020	0.010	0.010	0.010	0.01	0.100	0.100	0.100	0.06	0.11	0.11	0.120	0.10
P ₂ O ₅	0.120	0.010	0.08	0.010	0.010	0.010	0.040	0.03	0.220	0.210	0.210	0.18	0.34	0.23	0.330	0.36
TiO ₂	0.45	0.04	0.41	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.92	0.89	0.87	0.58	0.91	0.82	1.03	1.02
LOI	3.54	15.33	9.29	0.28	0.34	0.25	0.30	0.35	0.84	0.54	0.62	3.60	1.90	6.40	2.49	5.10
总和	95.09	88.59	98.74	99.43	99.09	99.31	99.20	99.99	98.64	98.11	99.38	99.94	99.72	99.74	98.57	99.86
La	21.03	5.33	26.64	10.51	15.10	11.26	14.22	17.05	23.81	30.07	32.56	31.92	26.39	25.16	17.77	23.29
Ce	40.11	8.17	46.07	19.85	27.65	19.27	25.77	29.41	49.43	59.04	62.31	59.52	55.87	49.84	39.80	51.10
Pr	4.74	0.98	5.01	2.28	2.97	2.28	2.89	3.07	6.35	7.30	7.75	6.80	6.76	6.06	5.55	6.40
Nd	17.90	3.67	18.67	7.40	9.16	7.24	9.19	9.77	26.75	30.11	31.72	26.74	28.30	24.55	24.75	27.71
Sm	3.20	0.62	2.98	1.38	1.66	1.26	1.68	1.77	5.00	5.41	5.78	4.43	5.24	4.53	4.71	5.20
Eu	0.79	0.16	0.64	0.36	0.51	0.34	0.48	0.52	1.43	1.52	1.76	1.21	1.57	1.29	1.45	1.59
Gd	2.67	0.58	2.43	1.04	1.29	0.91	1.30	1.00	4.34	4.75	5.05	3.37	4.42	3.75	4.11	4.28
Tb	0.36	0.07	0.35	0.10	0.13	0.08	0.13	0.12	0.58	0.64	0.66	0.43	0.59	0.54	0.60	0.57
Dy	1.73	0.31	1.84	0.36	0.43	0.24	0.46	0.46	3.11	3.30	3.33	2.08	3.22	2.88	3.32	3.04
Ho	0.30	0.06	0.33	0.05	0.06	0.03	0.06	0.06	0.54	0.59	0.58	0.34	0.58	0.52	0.63	0.51
Er	0.93	0.16	0.95	0.14	0.15	0.08	0.18	0.16	1.53	1.69	1.64	0.87	1.62	1.42	1.86	1.37
Tm	0.13	0.02	0.13	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.21	0.23	0.22	0.12	0.24	0.21	0.24	0.19
Yb	0.94	0.12	0.77	0.10	0.11	0.06	0.13	0.13	1.28	1.42	1.38	0.69	1.39	1.22	1.65	1.12
Lu	0.14	0.02	0.12	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.19	0.22	0.22	0.10	0.22	0.19	0.25	0.17
Na ₂ O+K ₂ O	6.36	0.41	4.18	10.81	10.53	10.56	10.5	11.81	6.28	6.04	6.25	6.87	5.8	5.38	7.14	6.23
Na ₂ O/K ₂ O	0.001	0.03	0.67	1.29	1.36	1.43	1.38	1.43	1.78	2.02	1.98	1.74	1.59	1.80	1.02	2.23
A/CNK	1.69	1.42	0.75	1.01	1.03	1.02	1.03	0.89	0.83	0.83	0.84	0.97	0.92	0.79	0.78	0.90
ΣREE	94.98	20.25	106.92	43.59	59.24	43.06	56.52	63.56	124.54	146.28	154.97	138.62	136.42	122.16	106.69	126.54
δEu	0.80	0.78	0.70	0.88	1.03	0.92	0.95	1.09	0.91	0.90	0.97	0.92	0.97	0.93	0.99	1.00
δCe	0.93	0.80	0.90	0.93	0.94	0.87	0.92	0.91	0.95	0.93	0.91	0.93	0.98	0.94	0.96	0.99
(La/Yb) _N	15.13	30.47	23.45	69.47	90.90	130.89	73.75	89.11	12.53	14.27	15.90	31.42	12.81	13.88	7.27	14.01
(La/Sm) _N	4.13	5.40	5.62	4.80	5.74	5.62	5.33	6.08	3.00	3.50	3.54	4.53	3.17	3.50	2.37	2.82
(Gd/Yb) _N	2.30	3.95	2.56	8.20	9.29	12.66	8.09	6.28	2.73	2.70	2.95	3.97	2.57	2.47	2.01	3.08

注：* 为李向文等，2012；其余为本文；比值单位为 1。

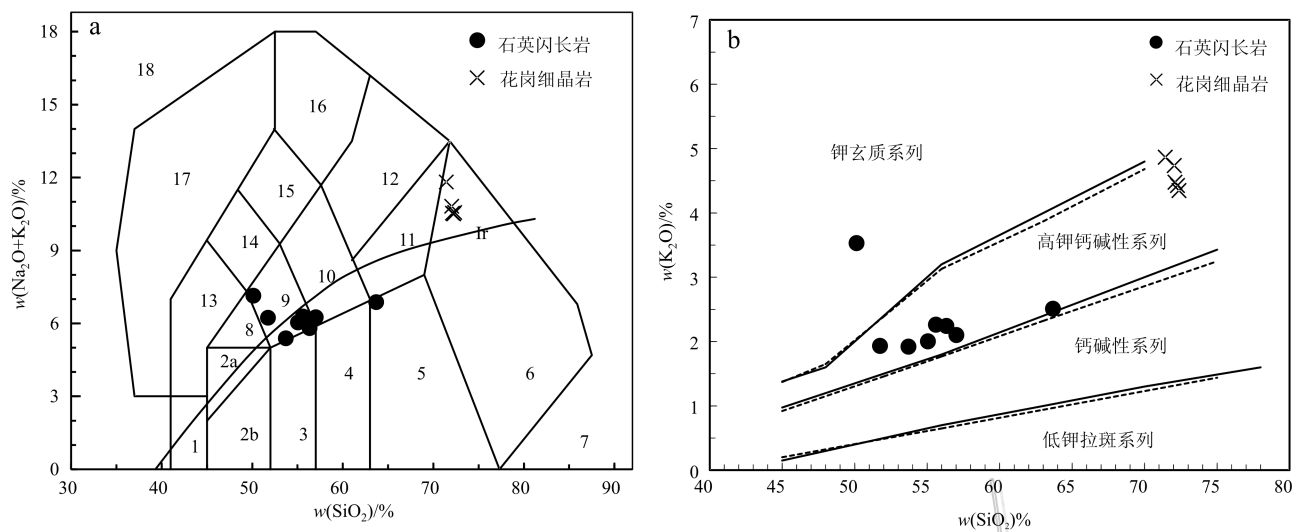


图 5 宝兴沟矿区侵入岩 TAS 图解(a,底图据 Middle, 1994)及侵入岩 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图(b,底图据 Peccerillo et al., 1976)
1—橄辉长岩; 2a—碱性辉长岩; 2b—亚碱性辉长岩; 3—辉长闪长岩; 4—辉长闪长岩; 5—花岗闪长岩; 6—花岗岩; 7—石英岩; 8—二长辉长岩; 9—二长闪长岩; 10—二长岩; 11—石英二长岩; 12—正长岩; 13—副长石辉长岩; 14—副长石二长闪长岩; 15—副长石二长正长岩; 16—副长石正长岩; 17—副长深成岩

Fig. 5 TAS diagram for the major elements(a, base map after Middle, 1984) and $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ for the intrusive rocks (b, base map after Peccerillo et al., 1976) in the Baoxinggou deposit
1—Olivine-gabbro; 2a—Alkali gabbro; 2b—Sub-alkaline gabbro; 3—Gabbro diorite; 4—Gabbro diorite; 5—Granodiorite; 6—Granite; 7—Quartz-zolite; 8—Monzogabbro; 9—Monzodiorite; 10—Monzonite; 11—Quartz monzonite; 12—Syenite; 13—Foid gabbro; 14—Foid monzodiorite; 15—Foid monzosyenite; 16—Foid syenite; 17—Foid plutonic rock

4.3 稀土元素及微量元素特征

由表 2 可知,石英闪长岩稀土元素总量 $\sum\text{REE}$ 为 $107.0 \times 10^{-6} \sim 155.0 \times 10^{-6}$,平均值为 132.0×10^{-6} ,Eu 异常不明显($\delta\text{Eu} = 0.91 \sim 1.00$,平均为 0.95),稀土元素分馏较明显($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 介于 7.27~31.42 之间,平均值为 15.26),稀土元素配分曲线为轻稀土元素富集型;花岗细晶岩稀土元素总量 $\sum\text{REE}$ 为 $43.0 \times 10^{-6} \sim 63.6 \times 10^{-6}$,Eu 异常不明显($\delta\text{Eu} = 0.88 \sim 1.09$,平均为 0.97),稀土元素分馏程度比石英闪长岩更明显($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 介于 69.47~130.89 之间,平均值为 90.82),稀土元素配分曲线为轻稀土元素富集型。从石英闪长岩和花岗细晶岩稀土元素特征和配分曲线(图 6a)形式的差异上看,说明两者区别较大,不具成因联系。矿石(除样品

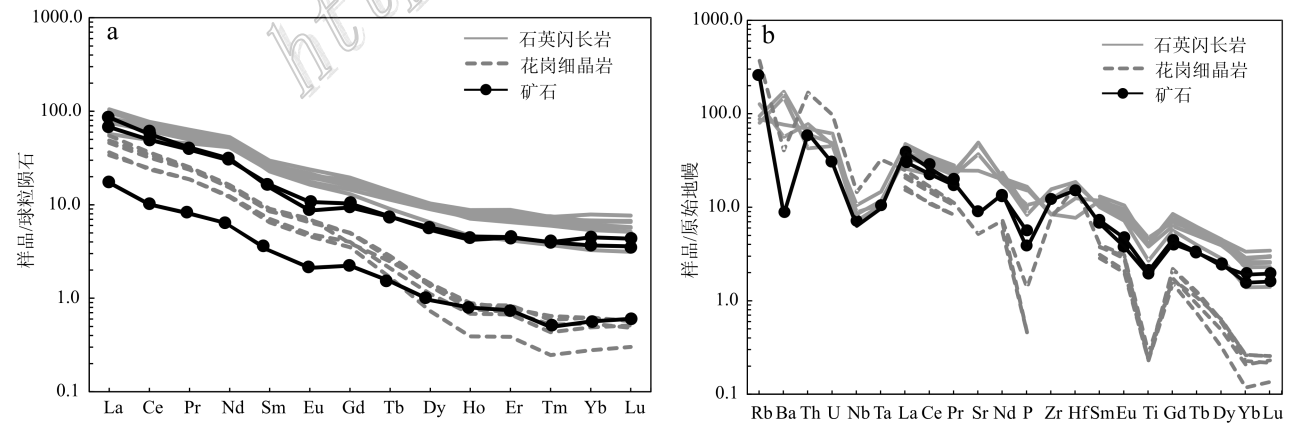


图 6 宝兴沟矿区侵入岩和矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图(a,球粒陨石标准值引自和微量元素蛛网图(b,原始地幔标准值引自 Sun et al., 1989)
Fig. 6 REE patterns of rare earth elements (a, chondrite normalization values after Boynton, 1984) and curve of trace elements (b, primitive mantle normalization values after Sun et al., 1989) in the intrusive rocks and ores in the Baoxinggou deposit

BXG-8 外)稀土元素总量 $\sum \text{REE}$ 为 $94.98 \times 10^{-6} \sim 106.92 \times 10^{-6}$, 平均值为 100.9×10^{-6} , 更接近石英闪长岩, 稀土元素分馏程度 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 介于 $15.13 \sim 23.45$ 之间, 平均值为 19.29, 石英闪长岩类似, 而与花岗细晶岩差异较大。

由表 3 可知, 石英闪长岩和花岗细晶岩均富集大离子亲石元素, 比如 Rb、Ba 和 Sr 等, 亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Ti, 花岗细晶岩富 Sr (109×10^{-6}), 低 Y (1.81×10^{-6}) 和 Yb (0.13×10^{-6}), 具有高的 Sr/Yb 比值 ($\text{Sr}/\text{Yb} = 60.2$), Eu 异常不明显, 表明岩浆可能来源于加厚的下地壳物质。花岗细晶岩比石英闪长岩更加亏损 Ti 和 Y 元素, 更富集放射性元素 Th、U。在微量元素蛛网图上(图 6b), 矿石微量元素曲线整体接近石英闪长岩的微量元素曲线。

5 讨 论

大兴安岭成矿作用主要集中于中生代晚期, 并与成岩作用(岩浆活动)关系极为密切(张德全等, 1990 赵一鸣等, 1997 张炯飞等, 2001)。大兴安岭早白垩世火山活动是中国东部早白垩世大火成岩事件的组成部分, 是中国东部岩石圈减薄事件的浅部表现。侏罗纪具有活动大陆边缘特征岩石组合, 造

成了明显的地壳加厚。早白垩世期间, 由于加厚地壳重力失稳拆沉, 拆沉作用造成软流圈地幔物质上涌, 从而造成大规模岩浆作用(张吉衡, 2009)。漠河盆地处于大兴安岭最北端, 被认为是与蒙古-鄂霍次克造山有关的前陆盆地(和政军等, 2003 李锦轶等, 2004), 其盆地基底主要为兴华渡口岩群中级变质岩、古生代中-低级变质岩及古生代花岗岩类(武广, 2005), 盆地盖层主要为一套中生代侏罗纪陆源碎屑岩(具体时代存在争议)和晚侏罗世—早白垩世火山岩等, 该期的构造-岩浆活动携带大量的成矿物质在盆地基底及盖层内形成了一系列的金及多金属矿床(点)。

宝兴沟金矿位于漠河前陆盆地的北东端, 区内存在 2 期岩浆侵入活动, 金矿床的形成与岩浆侵入关系密切。宝兴沟金矿床主要由两条金矿化蚀变带组成, I 号金矿化蚀变带产于石英闪长岩、闪长玢岩与二十二站组、漠河组砂岩内外接触带及石英闪长岩体内, II 号金矿化蚀变带产于花岗细晶岩与二十二站组砂岩接触带靠近砂岩一侧, 并沿花岗细晶岩边界分布, 在 II 号金矿化带深部 ZK3201 钻孔 205 m 处、ZK3601 钻孔 175 m 处见有石英闪长岩脉, 说明 II 号金矿化带的形成与石英闪长岩脉存在一定的时空关系。由岩、矿石地球化学特征可知, 矿石(除样品

表 3 宝兴沟矿区侵入岩微量元素 $w(\text{B})/10^{-6}$ 分析结果及特征参数(引自李向文等, 2012)
Table 3 The composition of trace elements $w(\text{B})/10^{-6}$ for the intrusive rocks in the Baoxinggou deposit (after Li et al., 2012)

样品号	Au	Ag	As	Ba	Co	Cu	Ga	Hf	Hg	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb
BXG-2	918	190	5107.1	58.5	9.87	2.7	13.87	4.73	151	1.61	4.5	28.42	9.18	158.2
BXG-4	6.3	24	16.64	394.9	10.76	5.54	20.7	5.76	10.5	0.51	7.51	12.86	11.58	80.6
BXG-17	2.44	76	5.99	1200.1	24.4	67.9	20.89	3.84	4.5	0.41	5.1	32	12.11	60.2
BXG-20	2.48	124	65.01	1049.8	27.71	51	22.08	2.38	20.5	0.46	6.3	29.36	10.78	50.7
BXG-24	2.32	447	17.65	535.2	27.23	253.8	20.56	5.5	12.5	1.2	5.98	41.69	15.76	55.4
BXG-29	1.48	278	6.2	283	0.56	2.54	20.02	5.15	18.5	0.17	10.34	2.41	13.84	234.5
样品号	Sb	Sr	Ta	Th	U	W	Zr	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La
BXG-2	94.05	181	0.4	5.24	0.62	1.67	134.19	46.07	1.84	0.95	0.64	2.43	0.33	26.64
BXG-4	2.65	519	0.6	6.58	0.97	0.94	174.93	59.52	2.08	0.87	1.21	3.37	0.34	31.92
BXG-17	1.72	1001	0.43	5.12	1.02	0.52	92.93	55.87	3.22	1.62	1.57	4.42	0.58	26.39
BXG-20	23.02	1037	0.44	3.62	0.95	0.63	93.87	51.1	3.04	1.37	1.59	4.28	0.51	23.29
BXG-24	7.68	780	0.48	5.86	1.29	1.09	137.13	49.84	2.88	1.42	1.29	3.75	0.52	25.16
BXG-29	3.39	109	1.33	14.33	2.04	0.44	86.1	29.41	0.46	0.16	0.52	1	0.06	17.05
样品号	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Y	Yb	$\sum \text{REE}$	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	δEu	δCe
BXG-2	0.12	18.67	5.01	2.98	0.35	0.13	8.36	0.77	115.28	24.95	5.77	2.62	0.72	0.91
BXG-4	0.1	26.74	6.8	4.43	0.43	0.12	8.66	0.69	147.28	33.43	4.65	4.07	0.95	0.94
BXG-17	0.22	28.3	6.76	5.24	0.59	0.24	14.99	1.39	151.41	13.63	3.25	2.63	1	1
BXG-20	0.17	27.71	6.4	5.2	0.57	0.19	12.97	1.12	139.51	14.9	2.89	3.15	1.03	1.01
BXG-24	0.19	24.55	6.06	4.53	0.54	0.21	12.91	1.22	135.07	14.77	3.59	2.54	0.96	0.96
BXG-29	0.02	9.77	3.07	1.77	0.12	0.02	1.81	0.13	65.37	94.81	6.24	6.44	1.18	0.92

注：比值单位为 1。

BXG-8 外)稀土元素总量及分馏程度与石英闪长岩类似,而与花岗细晶岩差异较大,矿石微量元素曲线整体接近石英闪长岩。区内石英闪长岩、闪长玢岩 Au、As、Ag、Cu、Mo 等成矿元素具有明显富集特征,Au 元素含量最高,花岗细晶岩本身成矿元素含量较低,其中 $w(\text{Au})$ 为 1.48×10^{-9} ,低于地壳平均值。由此可知,宝兴沟金矿的形成与石英闪长岩、闪长玢岩关系密切,与花岗细晶岩关系不大,其对成矿仅起到阻挡和富集的作用(王献忠等,2014)。宝兴沟金矿流体包裹体研究显示,主成矿多金属硫化物-石英阶段石英中发育有气液二相包裹体及少量含 NaCl 子矿物三相包裹体,均一温度变化范围为 $266.9 \sim 319.6^\circ\text{C}$,峰值为 $280 \sim 300^\circ\text{C}$,盐度为 $7.44\% \sim 14.84\%$,成矿流体为中温、中-高盐度 NaCl-H₂O 热液体系,以岩浆热液为主(王献忠等,2014)。矿石中的黄铁矿及毒砂的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $1.5\text{‰} \sim 4.2\text{‰}$ 之间,算术平均数为 2.77‰ ,具有典型的深源硫的特征,表明硫均来源于岩浆或地幔。矿石流体包裹体氢、氧同位素结果表明,所有样品均紧靠原生岩浆水范围分布,反映了本区成矿流体均主要来源于岩浆热液的特点(公维国,2014)。

本次锆石 U-Pb 测年结果显示,BXG-40 石英闪长岩的成岩年龄为 $(118.13 \pm 0.86) \text{ Ma}$,BXG-41 石英闪长岩的成岩年龄为 $(121.77 \pm 0.59) \text{ Ma}$ 。李向文等(2012)测得石英闪长岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄为 124.92 Ma ,花岗细晶岩成岩年龄为 156 Ma ,石英闪长岩与邻区十五里桥金矿床形成年龄 115 Ma (李向文等,2014)、二十一站铜金矿床含岩体 K-Ar 年龄 $107.5 \sim 133.5 \text{ Ma}$ (张炯飞等,2001),以及漠河前陆盆地内大多数与中生代侵入岩有关的金及多金属矿床(砂宝斯金矿床、老沟金矿床、洛古河铜钼多金属矿床等)成岩成矿年龄相近(刘军等,2013;武广等,2014;李向文,2015),均在早白垩世,而与花岗细晶岩差别较大。结合矿床地质、地球化学特征可知,宝兴沟金矿床的成岩成矿年龄应在 $118.13 \sim 124.92 \text{ Ma}$ 。区域上,宝兴沟金矿床与十五里桥金矿床、二十一站铜金矿床相距较近,它们具有相似的地质环境和矿床地质特征,十五里桥金矿床成矿物质来源于火山岩地层中的安山岩(李向文等,2014),二十一站铜金矿床成矿物质来源于岩浆活动(张炯飞等,2001;赵广江等,2006),因此,推断宝兴沟金矿床早白垩世石英闪长岩、闪长玢岩不仅为成矿提供了热源还提供了部分成矿物质。

综上,宝兴沟金矿床是早白垩世在蒙古-鄂霍次克造山后碰撞阶段的挤压向伸展转换期环境下,原始岩浆经强烈的结晶分异,在上侵过程中受地壳物质混染,岩浆流体交代萃取围岩的成矿物质,最终卸载成矿。岩浆的侵入为矿床的形成提供了成矿物质、热源及赋矿空间等,其成矿时代在 120 Ma 左右。漠河盆地地区早白垩世与伸展环境有关的中-酸性侵入岩与区域成矿密切相关,是区域寻找金及多金属矿床的重要方向。

6 结 论

(1) 宝兴沟金矿床主要产于石英闪长岩与砂岩的内外接触带内,石英闪长岩的侵入为金矿的形成提供了成矿物质、热源及赋矿空间。

(2) 宝兴沟金矿床受制于石英闪长岩,其成矿年龄在 120 Ma 左右,可能为蒙古-鄂霍次克造山后碰撞阶段的挤压向伸展转换期环境下的产物。

(3) 漠河前陆盆地除中-晚侏罗世侵入岩与成矿关系密切外,早白垩世中酸性侵入岩对区域成矿也具有重要的作用,是今后找矿的重要方向之一。

志 谢 匿名审稿老师指出了文中不当之处,并提出了具体的修改意见和建议,在此表示衷心感谢。

References

- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y and Fisher N J. 2002. Igneous zircon; trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 143: 602-622.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements Meteorite studies [A]. In: Henderson P, ed. *Rare earth element geochemistry* [C]. Amsterdam Elsevier. 63-114.
- Gong W G. 2014. Prospecting report on rock gold of Baoxinggou deposit, Tahe, Heilongjiang [R]. (in Chinese with English abstract).
- He Z J, Li J Y, Mo S G and Sorokin A A. 2003. Tectonic setting and provenance analysis of sandstones geochemical characteristics in Mohe foreland Basins [J]. *Science China (D-earth sciences)*, 33 (12): 1219-1226 (in Chinese with English abstract).
- Huai B F, Song B J, Yang J B, Wang X Y and Jin C F. 2010. The source of gold ore-forming matter and prospecting guide in the upper Heilongjiang basin [J]. *Geology and Resources*, 19 (4): 280-286 (in Chinese with English abstract).

- Li J Y, He Z J, Mo S G and Andrey A S. 2004. The age of conglomerates in the lower part of the Xiufeng Formation in the northern Da Hinggan Mountains, NE China, and their tectonic implications[J]. Geological Bulletin of China, 23(2): 120-129 (in Chinese with English abstract).
- Li X W. 2010. Analysis on ore-forming geological conditions and prospecting potentiality of Baoxinggou gold deposit in Tahe, Heilongjiang Province (dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Yang Y C. Changchun: Jilin University. 27-44 (in Chinese with English abstract).
- Li X W, Yang Y C, Wang X Z, Liu Z J and Gong W G. 2012. Geologic characteristics and metallogenic tectonic environment of the Baoxinggou gold deposit in Tahe, Heilongjiang Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(6): 1700-1710 (in Chinese with English abstract).
- Li X W, Yang Y C, Ye S Q, Liu Z J, Shao C L and Wei H F. 2014. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Shiwuliqiao gold deposit in Tahe, Heilongjiang Province[J]. Geology and Exploration, 50(1): 77-87 (in Chinese with English abstract).
- Li X W. 2015. Metallogenic regularities of gold deposits in upper Heilongjiang metallogenic belt and its prospecting (dissertation for doctors degree) [D]. Supervisor: Wang K Y. Changchun: Jilin University. 35-151 (in Chinese with English abstract).
- Liu J, Wu G, Qiu H N, Gao D Z and Yang X S. 2013. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of gold-bearing quartz vein from the Shabaosi gold deposit at the northern end of the great Xing'an range and its tectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 87(10): 1570-1579 (in Chinese with English abstract).
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 37(3/4): 215-224.
- Moller A, O'Brien P J, Kennedy A and Kroner A. 2002. Polyphase zircon in ultrahigh-temperature granulites (Rogaland, SW Norway): Constraints for Pb diffusion in zircon[J]. J. Metamor. Geol., 20: 727-740.
- Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58(1): 63-81.
- Song B J, Wang X Z, Liu Z J, Gong W G and Yang J B. 2010. Source beds and mineralization model of multiple metal deposits in the upper Heilongjiang basin[J]. Geology and Exploration, 46(3): 400-406 (in Chinese with English abstract).
- Sun Q, Ren Y S, Yang Q, Duan M X and Hao Y J. 2015. Ore genesis and metallogenic age of Luoguhe polymetallic deposit in Mohe area, Heilongjiang Province[J]. J. Mineral Petrol., 3(35): 20-28.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes[A]. Saunders A D and Norry M J, eds. Magmatism in Ocean Basins [C]. London: Geological Society Special Publications. 42: 313-345.
- Wang X Z, Wang X Y and Shi S X. 2010. Geological characteristic and metallogenic prognosis of gold deposit in Laogou-Ergenhe metallogenic belt, Heilongjiang [J]. Mineral Deposits, 29 (Supp.): 123-132 (in Chinese with English abstract).
- Wang X Z, Song G B, Gong W G and Yan Y S. 2014. Study on geological characteristics and fluid inclusions of Baoxinggou gold deposit in Tahe, Heilongjiang Province [J]. Gold, 4 (35): 19-24 (in Chinese with English abstract).
- Wang X Y, Liang H J, Jin T H, Yang J B and Huai B F. 2008. Mohe nappe structure, Heilongjiang and its control to gold mineralization[J]. Geotectonica et Metallogenia, 32(3): 218-225 (in Chinese with English abstract).
- Wu G. 2005. Metallogenic setting and metallogenesis of nonferrous-precious metals in northern Da Hinggan mountain (dissertation for doctors degree) [D]. Supervisor: Sun F Y. Changchun: Jilin University. 97-108 (in Chinese with English abstract).
- Wu G, Sun F Y, Zhu Q, Li Z T, Ding Q F, Li G Y, Pang Q B and Wang H B. 2006. Geological characteristics and genesis of gold deposits in Upper Heilongjiang Basin [J]. Mineral Deposits, 25(3): 215-230 (in Chinese with English abstract).
- Wu G, Li Z Q, Mei M, Liu J and Zhu M T. 2008. Characteristics of ore-forming fluid and genesis of the Shabaosi gold deposit in the northern dahinggan mountain [J]. J. Mineral Petrol., 28(1): 31-38 (in Chinese with English abstract).
- Wu G, Wang G R, Liu J, Zhou Z H, Li T G and Wu H. 2014. Metallogenic series and ore-forming pedigree of main ore deposits in northern Great Xing'an Range [J]. Mineral Deposits, 33(6): 1127-1150 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q and Bao X W. 1990. A study on the petrology, geochemistry and genesis of the Bayan Nur in intermediate-acidic volcanic-plutonic complex in eastern Inner Mongolia [J]. Geological Review, 36(4): 289-297 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G B, Yang Y C, Wang X Z, Zhang Z G, Ye S Q, Li Q L, Li X W, Li H Y and Wang Q S. 2013. Geochemistry and ore genesis of the Balifang gold deposit in Mohe, Heilongjiang Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 43(6): 1812-1827 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J H. 2009. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an range, Northeastern China (dissertation for doctors degree) [D]. Supervisor: Gao S. Beijing: China University of Geosciences. 59-63 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J F, Wang X Z, Quan H, Wu G and Zhu H C. 2001. The forming conditions of nonferrous and precious metal deposits in the north of derbugan metallogenic province [J]. Geology and Resources,

10(4):220-224(in Chinese with English abstract).

Zhao C R, Wang X Y, Hu Q X, Chen M and Liu H L. 2008. Ore-forming conditions and genesis of the Shabaosi gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Gold Science and Technology, 16(6):22-26 (in Chinese with English abstract).

Zhao Y M and Zhang D Q. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[M]. Beijing: Seismological Press. 10-150 (in Chinese with English abstract).

Zhao G J, Hou Y S and Yang J Q. 2006. Geological characteristics and metallogenic model of Ershiyuzhan gold and copper deposits in Heilongjiang Province[J]. Northwestern Geology, 39(4):33-39 (in Chinese with English abstract).

Zhou C F, Gong W G, Song B J, Dai S G, Yang Q, Yu C W and Lu C L. 2012. Geology and metallogenesis of the Baoxinggou gold deposit in Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 21(3):271-276(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 公维国. 2014. 黑龙江省塔河县宝兴沟矿区岩金矿普查报告[R].
- 和政军, 李锦轶, 莫申国, 等. 2003. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析[J]. 中国科学(D辑), 33(12):1219-1226.
- 怀宝峰, 宋丙剑, 杨吉波, 王晓勇, 靳春峰. 2010. 上黑龙江盆地金成矿物质来源及找矿方向浅析[J]. 地质与资源, 19(4):280-286.
- 李锦轶, 和政军, 莫申国, Andrey A. Sorokin. 2004. 大兴安岭北部绣峰组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义[J]. 地质通报, 23(2):120-129.
- 李向文. 2010. 黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件及找矿潜力分析(硕士论文)[D]. 导师: 杨言辰. 长春: 吉林大学. 27-44.
- 李向文, 杨言辰, 王献忠, 刘智杰, 公维国. 2012. 黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床地质特征及成矿构造环境[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(6):1700-1710.
- 李向文, 杨言辰, 叶松青, 刘智杰, 邵长来, 魏海峰. 2014. 黑龙江省塔河县十五里桥金矿床地质特征及控矿因素[J]. 地质与勘探, 50(1):77-87.
- 李向文. 2015. 上黑龙江成矿带金矿床成矿规律与找矿预测研究(博士论文)[D]. 导师: 王可勇. 长春: 吉林大学. 35-151.
- 刘军, 武广, 邱华宁, 高德柱, 杨鑫生. 2013. 大兴安岭北部砂宝斯

金矿含金石英脉 $40\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其构造意义[J]. 地质学报, 87(10):1570-1579.

- 宋丙剑, 王献忠, 刘智杰, 公维国, 杨吉波. 2010. 上黑龙江盆地多金属矿源层及成矿模式分析[J]. 地质与勘探, 46(3):400-406.
- 孙琦, 任云生, 杨群, 段明新, 郝宇杰. 2015. 黑龙江省漠河县洛古河多金属矿床成因与成矿时代[J]. 矿物岩石, 35(3):20-28.
- 王献忠, 王晓勇, 石书校. 2010. 黑龙江省老沟二根河成矿带金矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿床地质, 29(增刊):123-132.
- 王献忠, 宋贵斌, 公维国, 闫永生. 2014. 黑龙江塔河宝兴沟金矿床地质特征及流体包裹体研究[J]. 黄金, 4(35):19-24.
- 王晓勇, 梁海军, 金同和, 杨吉波, 怀宝峰. 2008. 黑龙江省漠河推覆构造特征及其与金成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 32(3):218-225.
- 武广. 2005. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用(博士论文)[D]. 导师: 长春: 吉林大学. 97-108.
- 武广, 孙丰月, 朱群, 李之彤, 丁清峰, 李广远, 庞庆帮, 王宏博. 2006. 上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3):215-230.
- 武广, 李忠权, 糜梅, 刘军, 朱明田. 2008. 大兴安岭北部砂宝斯金矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 矿物岩石, 28(1):31-38.
- 武广, 王国瑞, 刘军, 周振华, 李铁刚, 吴昊. 2014. 大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J]. 矿床地质, 33(6):1127-1150.
- 张德全, 鲍修文. 1990. 内蒙古白音诺中酸性火山深成杂岩体的岩石学、地球化学与成因研究[J]. 地质评论, 36(4):289-297.
- 张国宾, 杨言辰, 王献忠, 张志国, 叶松青, 李庆录, 李向文, 李海洋, 王庆双. 2013. 黑龙江漠河县八里房金矿床地球化学特征及成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(6):1812-1827.
- 张吉衡. 2009. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究(博士论文)[D]. 导师: 高山. 武汉: 中国地质大学. 59-63.
- 张炯飞, 王显忠, 权恒, 武广, 祝洪臣. 2001. 得尔布干成矿区(北片)成矿条件初步研究[J]. 地质与资源, 10(4):220-224.
- 赵春荣, 王晓勇, 胡琴霞, 陈满, 刘洪利. 2008. 黑龙江省砂宝斯金矿床成矿条件及成因探讨[J]. 黄金科学技术, 16(6):22-26.
- 赵广江, 侯玉树, 杨继权. 2006. 黑龙江二十一站金、铜矿床地质特征及成矿模式[J]. 西北地质, 39(4):33-39.
- 赵一鸣, 张德全. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 10-150.
- 周传芳, 公维国, 宋丙剑, 戴曙光, 杨强, 于成伟, 鹿传磊. 2012. 黑龙江省宝兴沟金矿成矿地质条件及成因探讨[J]. 地质与资源, 21(3):271-276.