

黑龙江 258 高地金矿区侵入岩锆石 U-Pb 年代学 及地球化学特征*

谈艳^{1,2}, 杨言辰^{1**}, 王建¹, 黄永卫³, 全传顺³

(1 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 青海省地质调查局, 青海 西宁 810000;

3 黑龙江省第一地质勘察院, 黑龙江 牡丹江 157011)

摘要 258 高地金矿床地处黑龙江省完达山成矿带东部, 矿化与岩浆侵入活动密切相关。文章利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法, 对 258 高地金矿区的二长花岗岩、花岗闪长岩及闪长玢岩进行了年代学研究, 获得 258 金矿区花岗闪长岩的成岩年龄为 (118.3 ± 1.1) Ma; 3 件二长花岗岩样品的成岩年龄分别为 (130.5 ± 0.8) Ma、 (122.1 ± 0.7) Ma、 (118.0 ± 0.9) Ma; 2 件闪长玢岩的成岩年龄分别为 (119.5 ± 1.3) Ma、 (107.4 ± 2.2) Ma, 表明本区中酸性岩体侵位时代介于 131~107 Ma, 与西太平洋构造域的早白垩世演化有关。定年结果同时表明矿区存在 3 期岩浆活动, 其中 122~118 Ma 的二长花岗岩与花岗闪长岩、闪长玢岩的年龄在误差范围内一致, 且与金矿成矿关系密切。岩石地球化学显示区内的中酸性侵入岩均为高钾钙碱性过铝质岩石, 花岗闪长岩和二长花岗岩具有重熔型岩浆岩的特征, 可能是加厚地壳物质部分熔融的产物; 闪长玢岩脉具有典型壳幔源岛弧岩浆岩的特点。综合研究认为 258 高地金矿床形成于与板块俯冲有关的活动大陆边缘环境。

关键词 地球化学; 中酸性侵入岩; 锆石 U-Pb 定年; 258 高地金矿床; 完达山成矿带

中图分类号: P 618.51

文献标志码: A

Zircon U-Pb chronology and geochemical characteristics of intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit, Heilongjiang Province

TAN Yan^{1,2}, YANG YanChen¹, WANG Jian¹, HUANG YongWei³ and QUAN ChuanShun

(1 College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 2 Qinghai Geological Survey, Xining 810000, Qinghai, China; 3 The First Institute of Geological Exploration of Heilongjiang, Mudanjiang 157011, Heilongjiang, China)

Abstract

The No.258 Hill gold deposit is located in the eastern part of the Wandashan metallogenic belt, and the gold mineralization is closely related to the magmatic intrusion activities. The authors conducted the U-Pb dating of the zircons from granodiorite, monzogranite, and diorite porphyry by LA-ICP-MS. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that the ages of granodiorite, three pieces of monzogranite samples, and two pieces of diorite porphyre samples are (118.3 ± 1.1) Ma, (130.5 ± 0.8) Ma, (122.1 ± 0.7) Ma, (118.0 ± 0.9) Ma, and (119.5 ± 1.3) Ma, (107.4 ± 2.2) Ma, respectively. The result demonstrates that the emplacement of intermediate-acidic magma activities occurred between 131 and 107 Ma, due to the subduction of Western Pacific during the Early Cretaceous. Meanwhile, there are three obvious magma intrusive activities in the ore district, the ages $(122 \sim 118)$ Ma of granodiorite, monzonitic granite and diorite porphyrite are consistent in the error limits, and

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212011120342、1212010786005)的资助

第一作者简介 谈艳, 女, 1990 年生, 硕士, 主要从事成矿规律与成矿预测等方面研究。Email: jlytandk@163.com

** 通讯作者 杨言辰, 男, 1965 年生, 教授, 主要从事矿床学与矿产勘查等方面研究。Email: yyc@jlu.edu.cn

收稿日期 2015-05-17; 改回日期 2016-04-19。苏杭编辑。

are closely associated with gold mineralization. The intermediate-acid intrusive rocks are chemically high-K calc-alkaline rock and peraluminous, the granodiorite and monzonitic granite are characterized by partial melting of thickened crust, which might be the product of thickened crust material. And the diorite porphyrite is the typical mantle source arc magmatic rocks. It is considered that the No. 258 Hill gold deposit formed in a continental margin environment related to the subduction of the Pacific plate.

Key words: geochemistry, intermediate-acid intrusive rocks, zircon U-Pb dating, No. 258 Hill deposit, Wandashan metallogenic belt

完达山成矿带位于那丹哈达-比金地体内,地处完达山-锡霍特-阿林造山带中部西缘,西邻布列亚-佳木斯地块,南部为兴凯地块。受太平洋板块向西俯冲的影响,区内构造运动和岩浆活动频繁,成矿作用独具特色。主要成矿时代为印支晚期和燕山期,属于中国东部滨太平洋成矿带的一部分(水谷伸治郎等,1989;邵济安等,1991;韩振新等,2004;黄永卫,2010)。

区内与早白垩世岩浆活动有关的金及铜、铁等矿床、矿点发育,矿床成因类型包括中低温热液型、矽卡岩型、岩浆熔离型、火山热液型及热泉型等(谭成印,2009;李光辉,2011;薛明轩,2012;Zhang et al.,2013)。258高地金矿床地处完达山成矿带的北部中俄边界附近,是近年来发现的具有较大找矿潜力的中低温岩浆热液型金矿床。矿区侵入岩发育,主要为二长花岗岩、花岗闪长岩及闪长玢岩等(任海东等,2011;梁树昌,2013)。金矿成矿与二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长玢岩有关,但目前尚缺乏上述岩石的形成时代、岩石成因、形成环境的研究。笔者根据详细野外地质调查,在岩石学研究的基础上,对258高地金矿区的二长花岗岩、花岗闪长岩及闪长玢岩等进行了地球化学特征研究及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 精确定年,确定矿区成岩成矿时代及构造演化背景,为该矿床地质特征研究及进一步找矿预测提供依据。

1 地质背景

完达山成矿带位于黑龙江省东部,东与俄罗斯毗邻,行政区划属饶河县,地处虎林县北部和宝清县东部。成矿带位于滨太平洋大陆边缘活动带,大地构造单元属于由太平洋构造域的锡锡霍-阿林特活动带内的那丹哈达-比金地体(图1a)。受滨太平洋板块俯冲作用的影响,使中三叠世—早侏罗世的洋

壳推覆并与佳木斯地块拼贴,形成了饶河蛇绿岩带和宝清蛇绿岩带的构造侵位。后期岩浆岩沿断裂带上侵,形成了蛤蟆河花岗闪长岩及太平村正长花岗岩岩体。岩层褶皱形成南北走向的饶河复背斜,背斜两翼逆冲断层发育,且呈明显的对冲形式,并发育NE向和NW向断层束,与NNE向断层相伴的NW向构造的容矿作用明显(汪新文,1997;程瑞玉等,2006;程瑞玉,2006;田东江,2007;黄永卫,2010;张兴洲等,2012;全传顺等,2014)。

258高地金矿区位于完达山优地槽褶皱带与三江新断陷接壤部位,是在板块俯冲带的延伸线上,控制着花岗岩体的构造与后期断裂活动区(黄永卫,2010),饶河杂岩体中蛤蟆河花岗岩体分布面积达630 km²,是完达山地块白垩纪规模最大的花岗岩体之一。区域内出露地层主要为三叠系中、上统,由硅质页岩建造和硅质岩-泥岩交替沉积,分别为中三叠统十八垸地组(T_{2s});上三叠统大坝北山组(T_{3d});上三叠统大佳河组(T_{3dj});上三叠统一下侏罗统大岭桥组(T_{3-J1d})。下侏罗统永福桥组(J_{1y}),岩性主要为砂岩、板岩互层。该区东南部见有呈阶地展布的第四系更新统顾乡屯(Q_{pg})和全新统温泉河组(Q_{hw})冲积物。侵入岩主要为燕山期蛤蟆河岩体,及少量北东向展布的超镁铁质-镁铁质岩(图1b)(黑龙江省地质矿产局,1993)。

研究区位于饶河复背斜的东翼北段,地处蛤蟆河岩体中。蛤蟆河岩体主要岩石类型有黑云母花岗闪长岩、中细粒含堇青石黑云母花岗闪长岩、似斑状黑云母正长花岗岩、似斑状二长花岗、黑云母二长花岗岩及少量斜长花岗岩等,具有一定的岩相变化(程瑞玉等,2006)。受后期构造作用影响,在蛤蟆河花岗岩体中发育NE向、NNE向断裂构造及NW向的次级构造,主要表现为破碎蚀变带。大量闪长玢岩脉、辉长岩脉等沿NW向构造带产出(图2)。

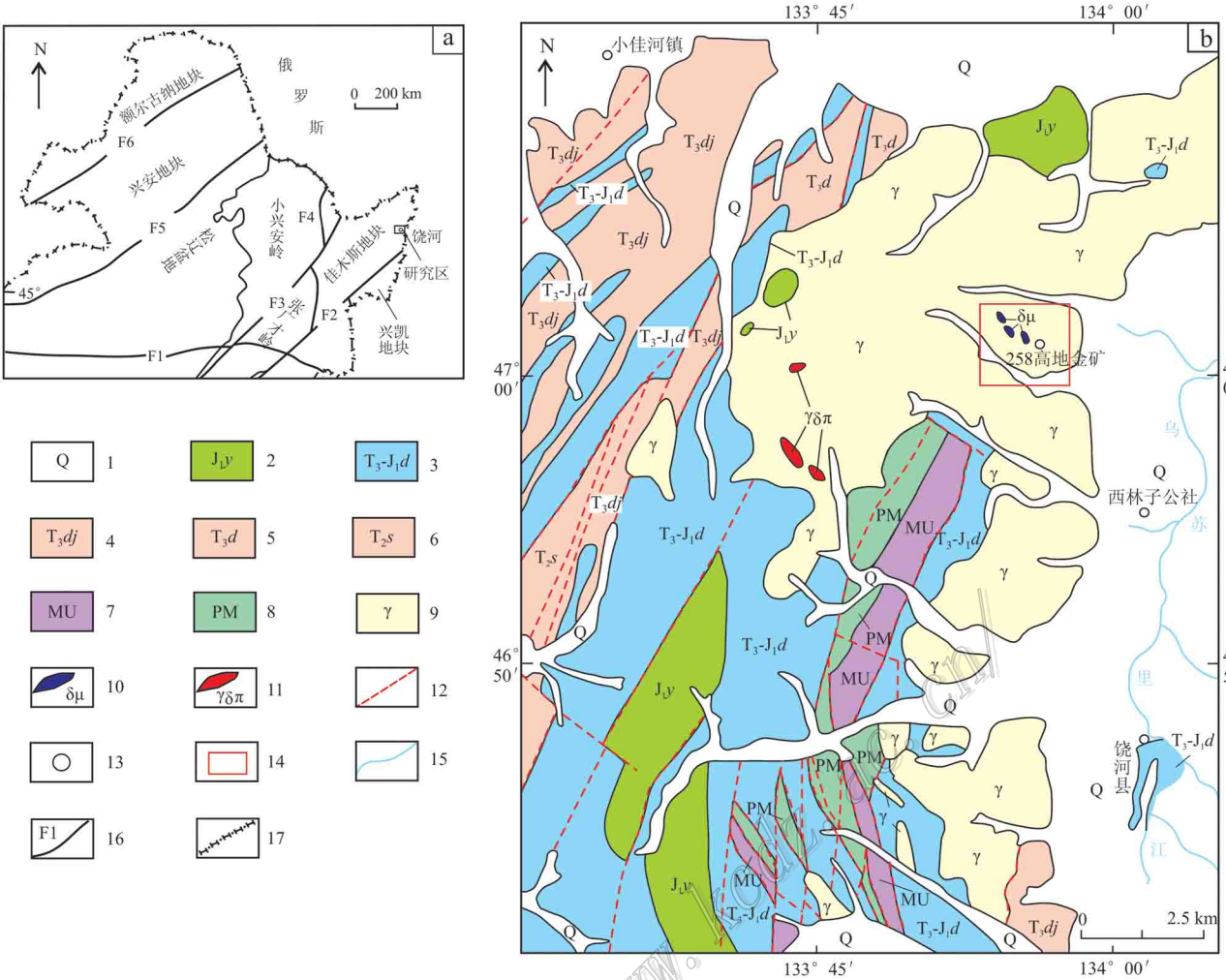


图 1 大地构造位置图(a)、258 高地金矿区区域地质图(b)(据黑龙江省第一地质勘查院,2012 修改)

1—第四系冲积物; 2—下侏罗统永福桥组; 3—上三叠统一下侏罗统大岭桥组; 4—上三叠统大佳河组; 5—上三叠统大坝北山组; 6—中三叠统十八响地组; 7—超镁铁质堆晶杂岩; 8—镁铁质堆晶杂岩、枕状熔岩; 9—早白垩世花岗岩闪长岩; 10—闪长玢岩; 11—花岗闪长斑岩脉; 12—实测及推测断层; 13—地名; 14—研究区范围; 15—河流; 16—断裂; 17—国界线

F1—西拉木伦-长春断裂; F2—敦化-密山断裂; F3—伊通-依兰断裂; F4—牡丹江断裂; F5—贺根山-黑河断裂; F6—塔源-喜桂图断裂

Fig. 1 Tectonic location map (a), geological sketch map of No. 258 Hill gold deposit (b) (modified after The First Institute of Geology Exploration of Heilongjiang Province, 2012)

1—Quaternary alluvium; 2—Lower Jurassic Yongfuqiao Formation; 3—Upper Triassic to Lower Jurassic Dalingqiao Formation; 4—Upper Jurassic Dajiahe Formation; 5—Upper Triassic Dababeshan Formation; 6—Middle Triassic Shibashangdi Formation; 7—Ultramafic cumulate; 8—Mafic cumulate and pillow lava; 9—Early Cretaceous granodiorite; 10—Diorite porphyrite; 11—Granite diorite porphyry vein; 12—Fault and inferred fault; 13—Geographical names; 14—Range of the study area; 15—River; 16—Fault; 17—National boundary

F1—Xilamulun-Changchun Fault; F2—Dunhua-Mishan Fault; F3—Yitong-Yilan Fault; F4—Mudanjiang Fault; F5—Hegenshan-Heihe Fault; F6—Tayuan-Xiguitu Fault

258 高地金矿区内金矿化带及矿体展布受 NW 向构造控制,赋存于早期蛤蟆河二长花岗岩(图 3a)及花岗闪长岩(图 3b)中的 NW 向构造破碎蚀变带内,矿化与 NW 向雁行式排列的闪长玢岩脉(图 3c)密切相伴,多数闪长玢岩发生蚀变及矿化,直接构成矿(化)体,晚阶段较新鲜的闪长玢岩切穿矿(化)体或不构成矿(化)体。与成矿有关的围岩蚀变呈 NW 向带状展布,蚀变类型为硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化,蚀变分带不明显。其中黄铁矿化零星分布于围岩中,形成了碎裂蚀变

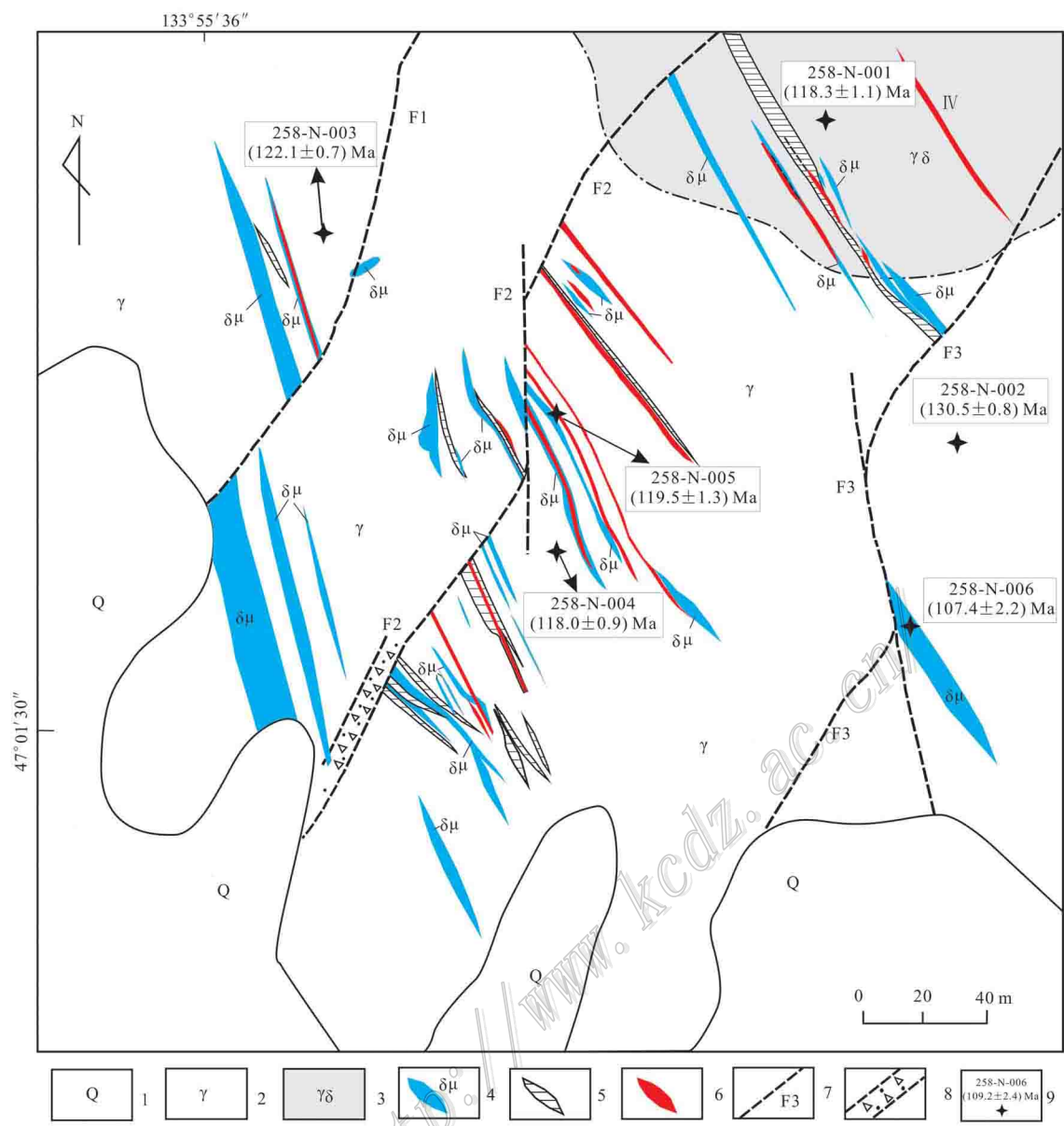


图 2 258 高地金矿区地质简图(据黑龙江省第一地质勘查院,2012 修改)

1—第四系冲积物; 2—二长花岗岩; 3—花岗闪长岩; 4—闪长玢岩; 5—蚀变碎裂花岗岩; 6—金矿体; 7—断层及编号; 8—构造破碎带; 9—采样位置、样品年龄及其编号

Fig. 2 Regional geological map of No. 258 Hill gold deposit (modified after The First Institute of Geological Exploration of Heilongjiang Province, 2012)

1—Quaternary alluvium; 2—Monzogranite; 3—Granodiorite; 4—Diorite porphyry; 5—Altered cataclastic granite; 6—Gold orebody; 7—Fault and its serial number; 8—Fractured shatter zone; 9—Sampling position, age and serial number

岩型、含硫化物蚀变花岗岩型、蚀变闪长玢岩型、石英脉型及强硅化构造蚀变岩型, 矿石多呈脉状、稀疏浸染状及囊状构造, 矿石矿物以黄铁矿为主, 其次为黄铜矿、闪锌矿。勘查发现金矿化蚀变带及金矿体 10 余条, 其中 3 条金矿体长 40 m 左右, 宽度分别为 1.70 m、1.80 m、2.00 m, 金品位分别达

1.75×10^{-6} 、 3.08×10^{-6} 、 11.62×10^{-6} ; 发现金矿化体 3 条, 宽度分别为 1.00 m、1.40 m、2.00 m, 金品位分别达 0.41×10^{-6} 、 0.67×10^{-6} 、 0.92×10^{-6} 。其间还发现 3 条低品位钼矿体, 钼品位 0.03%~0.05% (黑龙江省第一地质勘查院, 2012; 梁树昌, 2013)。

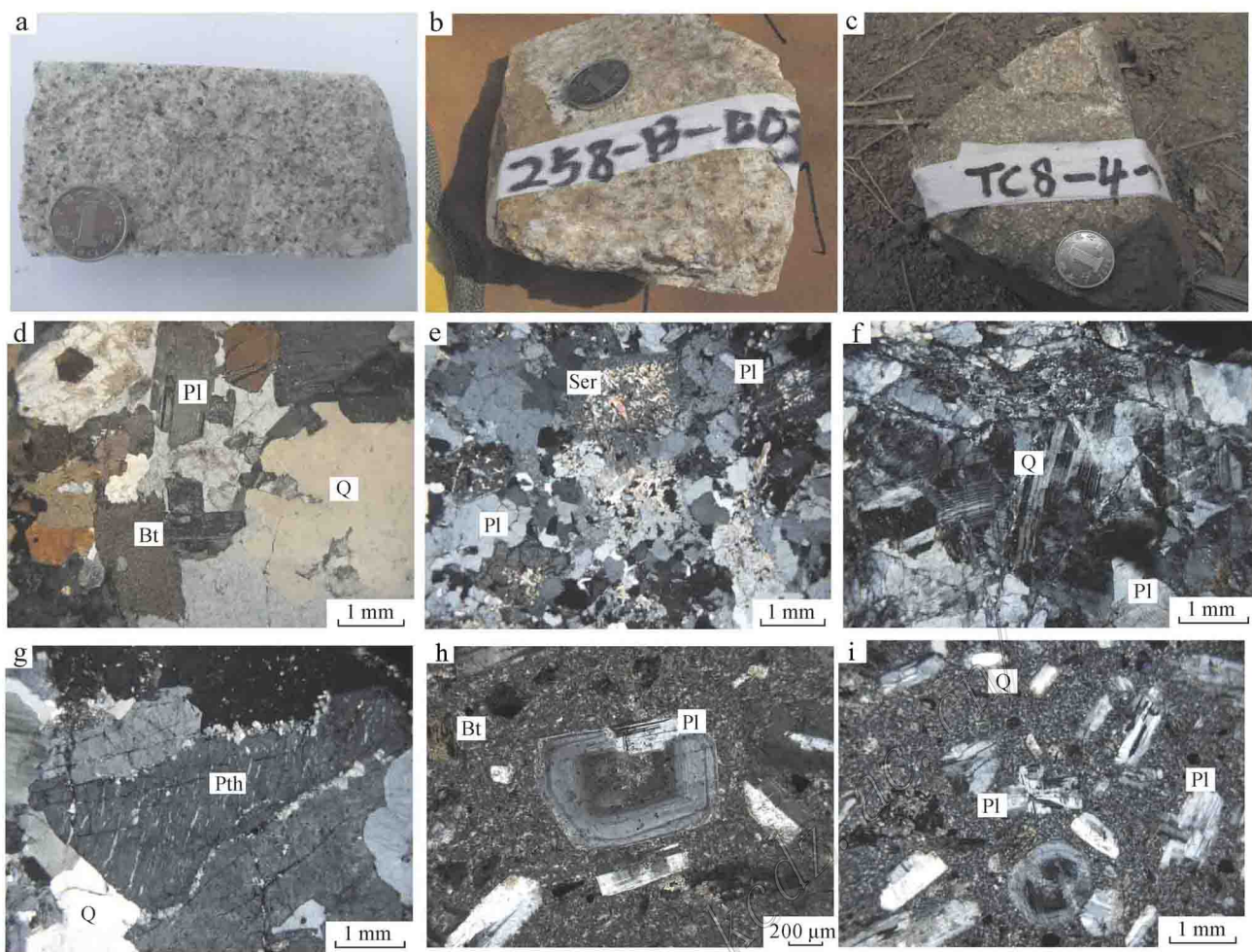


图 3 258 高地金矿区花岗闪长岩、二长花岗岩及闪长玢岩手标本及显微照片
a. 花岗闪长岩; b. 二长花岗岩; c. 闪长玢岩; d, e. 花岗闪长岩(+); f, g. 二长花岗岩(+); h, i. 闪长玢岩(+)
Qz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Ser—绢云母; Pth—条纹长石

Fig. 3 Photos of hand specimen and micrograph of granodiorite, monzogranite and diorite-porphyrite in No. 258 Hill gold deposit

a. Granodiorite; b. Monzogranite; c. Diorite-porphyrite; d, e. Granodiorite(+); f, g. Monzogranite(+); h, i. Diorite porphyrite
Qz—Quartz; Pl—Plagioclase; Bt—Biotite; Ser—Sericite; Pth—Perthite

2 样品及分析方法

2.1 样品岩相学特征

本文用于分析测试的 3 类岩石样品均采自 258 高地矿区地表露头,对应的采样位置见图 2。

花岗闪长岩:岩石呈浅灰白色,块状构造,中细粒结构(图 3a),主要组成矿物为石英(25%~30%)、斜长石(35%~40%)、碱性长石(15%)、黑云母(10%),副矿物有锆石、磷灰石等;岩石具硅化、绿泥石化、绢云母化、黏土化(图 3d、e)。

二长花岗岩:岩石呈肉红色,块状构造,中细粒结构(图 3b),个别岩石具斑状结构(取样位置不同显示岩相特征不同),主要矿物组合为石英(25%~30%)、斜长石(30%~35%)、碱性长石(25%~30%)、黑云母(5%~20%),副矿物有黄铁矿、磁铁矿、榍石、磷灰石等。其中,斜长石发育聚片双晶、卡钠联合双晶,且大多具绢云母化、碳酸盐化;碱性长石主要有条纹长石,钾长石已高岭土化;黑云母局部具绿泥石化。个别岩石整体破碎,具硅化、褐铁矿化、绢云母化,其中长石类矿物保留双晶,石英发生形变,发育机械双晶(图 3f、g)。

闪长玢岩:岩石呈灰绿色,块状构造,斑状结构(图 3c),斑晶组成矿物为斜长石(40%~45%)、角闪石(35%~40%)、黑云母(5%~10%)、石英(5%~10%)及少量黄铁矿(<5%),基质为显微晶质。其中,斜长石呈半自形—他形,粒径 0.5~2.5mm,偏中酸性,可见聚片双晶、环带状构造,个别岩石可见由斜长石聚斑形成的钠长石双晶的集合体,具绢云母化、钠黝帘石化;角闪石呈自形-半自形,长柱状、板状,粒径 0.25~0.50mm,具绿泥石化、黑云母化;黑云母呈片状,粒径 0.125~0.250 mm,局部发育绿泥石化(图 3h、i)。

2.2 测试方法

本文对 258 高地矿区 6 件侵入岩样品(花岗闪长岩 1 件,258-N-001;二长花岗岩 3 件,258-N-002,258-N-003,258-N-004;闪长玢岩 2 件,258-N-005,258-N-006)进行了锆石 U-Pb 年龄测定,测试分析结果见表 1。定年样品的破碎与锆石的挑选工作由河北省地质测绘院实验室完成,单矿物锆石样品靶、反射光和透射光显微照相及阴极发光照相由北京锆石年龄航科技公司完成。采集的样品经人工破碎,采用电磁方法分选出锆石,之后在双目镜下挑选出无明显裂隙、晶形完好和透明度较好的锆石颗粒作为测试对象。采用双面胶将挑选好的锆石粘附,再用无色透明环氧树脂充分固定,经磨制抛光使锆石内部得以充分暴露,最后对其进行透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,采用的仪器为 Agilent 7500a 型 ICP-MS,激光剥蚀系统为 ComPex 102 Excimer 激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)。激光束斑直径为 30 μm ,激光剥蚀样品的深度为 20~30 μm 。试验中采用高纯 He 作为剥蚀物质载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化,锆石年龄采用哈佛大学标准锆石 91500 作为外标,测试结果处理采用软件 ICPMS DataCal 完成,普通 Pb 校正采用 Anderson(2002)方法,年龄计算及谐和图的绘制均采用国家标准 Isoplot(ver3.0)(Ludwig, 1991)完成,给定的同位素比值和年龄误差均在 1σ 水平。本文样品锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果见表 1。

全岩元素地球化学样品的测试工作在中国地质科学院矿床地球化学重点开放实验室完成。主量元

素采用玻璃熔片大型 X-射线荧光光谱(ME-XRF26)分析,分析误差小于 5%;微量元素及稀土元素利用酸溶法制备样品,采用仪器 Finnigan Element 2 型电感耦合等离子质谱 ICP-MS 测得,分析精度优于 10%。本文样品的主量、微量及稀土元素的分析结果见表 2。

3 锆石 U-Pb 定年结果

3.1 花岗闪长岩

矿区花岗闪长岩样品 258-N-001 共测定 19 个锆石颗粒,其部分锆石阴极发光照片如图 4a,CL 观察显示,锆石多呈双锥长柱状(长宽比约 2:1),自形-半自形,粒度 80~150 μm ,透明度较高,具有清晰的环带结构,Th/U 比值均大于 0.1,具有典型岩浆成因锆石特征。所分析的 19 个锆石颗粒中,1 个(258-N-001.18)测点在残留锆石上,给出较老年龄(146.9 ± 1.4) Ma,其余 18 个测点的 U-Pb 年龄在误差范围内一致,谐和年龄为(118.3 ± 1.1) Ma($n = 18$, MSWD=3.9), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 124~115 Ma 之间变化,且均落于 U-Pb 年龄谐和线上(图 5a),可代表花岗闪长岩的结晶年龄为早白垩世。较老的年龄(146.9 ± 1.4) Ma 呈单点,锆石显示较好的振荡环带,但测点位置靠近测试锆石的核部,表明其可能为捕获的前期岩浆结晶锆石,或源区的物质残留。

3.2 二长花岗岩

258-N-002、258-N-003、258-N-004 号二长花岗岩的锆石 CL 图像(图 4b、c、d)显示锆石为自形-半自形粒状和长柱状(长宽比约为 2:1~3:1)2 种晶形,粒度 50~200 μm ,透明-半透明,大多具较清晰的环带结构,局部呈现较弱的环带结构。锆石 Th/U 比值均大于 0.1,具有典型岩浆成因的锆石特征。其中,258-N-002 样品所测试的 15 个锆石测点年龄在误差范围内一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 133~128 Ma 之间(图 5b),加权平均年龄为(130.5 ± 0.8) Ma (MSWD=2.5)。258-N-003 号样品所测试的 20 个测点的年龄非常一致,加权平均年龄为(122.1 ± 0.7) Ma (MSWD=1.7), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 125~119 Ma(图 5c)。

258-N-004 样品为似斑状二长花岗岩,所测试的 20 粒锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值变化于 151~115 Ma,组成了 2 组年龄结果(图 5d),其中 1 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$

表 1 258 高地金矿区侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit

测点号	$\omega(B)/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$\pm 1\sigma$	年龄/Mya	
	Th	U												
258-N-001.1	150.7231	487.9745	0.31	0.0561	0.0027	0.0027	0.1399	0.0055	0.0181	0.0002	115.6	1.1	133.0	5.3
258-N-001.2	181.3563	494.9667	0.37	0.0553	0.0044	0.0044	0.1441	0.0104	0.0189	0.0002	120.6	1.2	136.7	9.9
258-N-001.3	144.9839	596.8109	0.24	0.0495	0.0017	0.0017	0.1251	0.0082	0.0183	0.0002	117.1	1.2	119.7	7.9
258-N-001.4	173.8049	531.5012	0.33	0.0651	0.0027	0.0027	0.1744	0.0060	0.0194	0.0002	124.0	1.4	163.2	5.6
258-N-001.5	172.0937	582.7641	0.30	0.0555	0.0034	0.0034	0.1417	0.0086	0.0185	0.0002	118.2	1.2	134.5	8.2
258-N-001.6	141.1778	511.7313	0.28	0.0489	0.0024	0.0024	0.1232	0.0066	0.0183	0.0002	116.7	1.1	117.9	6.3
258-N-001.7	131.5402	484.2177	0.27	0.0532	0.0044	0.0044	0.1375	0.0118	0.0188	0.0002	119.8	1.3	130.8	11.2
258-N-001.8	195.5697	554.1646	0.35	0.0697	0.0066	0.0066	0.1779	0.0050	0.0185	0.0002	118.2	1.1	166.3	4.7
258-N-001.9	131.7722	469.7545	0.28	0.0507	0.0018	0.0018	0.1308	0.0116	0.0187	0.0002	119.4	1.3	124.8	11.1
258-N-001.10	214.5738	688.1069	0.31	0.0509	0.0033	0.0033	0.1286	0.0096	0.0183	0.0002	117.0	1.1	122.9	9.2
258-N-001.11	458.9601	875.0931	0.52	0.0620	0.0036	0.0036	0.1592	0.0084	0.0186	0.0003	118.9	2.2	150.0	7.9
258-N-001.12	231.4347	536.7270	0.43	0.0498	0.0022	0.0022	0.1238	0.0049	0.0180	0.0002	115.2	1.0	118.5	4.7
258-N-001.13	162.5081	465.4005	0.35	0.0530	0.0037	0.0037	0.1321	0.0059	0.0181	0.0002	115.5	1.1	125.9	5.7
258-N-001.14	157.9621	507.2690	0.31	0.0494	0.0017	0.0017	0.1251	0.0048	0.0184	0.0002	117.3	1.1	119.7	4.6
258-N-001.15	203.9307	710.5499	0.29	0.0497	0.0015	0.0015	0.1278	0.0032	0.0186	0.0002	119.1	1.1	122.1	3.1
258-N-001.16	213.6817	650.9778	0.33	0.0505	0.0038	0.0038	0.1298	0.0039	0.0186	0.0002	119.0	1.0	123.9	3.7
258-N-001.17	95.20818	369.8620	0.26	0.0489	0.0033	0.0033	0.1291	0.0070	0.0191	0.0002	122.2	1.2	123.3	6.6
258-N-001.18	42.21875	672.2945	0.06	0.0492	0.0015	0.0015	0.1563	0.0035	0.0231	0.0002	146.9	1.4	147.4	3.3
258-N-001.19	293.6256	1072.4883	0.27	0.0489	0.0017	0.0017	0.1274	0.0024	0.0189	0.0002	120.8	1.1	121.8	2.3
258-N-002.1	477.0263	1397.2016	0.34	0.0491	0.0020	0.0020	0.1385	0.0054	0.0205	0.0002	131.0	1.0	132.0	5.0
258-N-002.2	283.9034	1468.5181	0.19	0.0501	0.0008	0.0008	0.1421	0.0027	0.0206	0.0001	131.6	0.9	135.0	2.0
258-N-002.3	364.9195	1223.4237	0.30	0.0533	0.0012	0.0012	0.1504	0.0034	0.0206	0.0002	132.0	1.0	142.0	3.0
258-N-002.4	318.8599	1199.9452	0.27	0.0497	0.0011	0.0011	0.1365	0.0030	0.0200	0.0002	128.0	1.0	130.0	3.0
258-N-002.5	502.4106	1723.7954	0.29	0.0492	0.0012	0.0012	0.1376	0.0033	0.0203	0.0002	129.0	1.0	131.0	3.0
258-N-002.6	547.8301	1066.4539	0.51	0.0464	0.0019	0.0019	0.1318	0.0053	0.0206	0.0002	131.6	1.0	126.0	5.0
258-N-002.7	442.3323	1450.0768	0.31	0.0509	0.0009	0.0009	0.1449	0.0030	0.0207	0.0002	132.0	1.0	137.0	3.0
258-N-002.8	261.6786	1027.9103	0.25	0.0499	0.0014	0.0014	0.1413	0.0038	0.0205	0.0002	131.0	1.0	134.0	3.0
258-N-002.9	373.4104	1252.9399	0.30	0.0517	0.0013	0.0013	0.1458	0.0036	0.0205	0.0002	131.0	1.0	138.0	3.0

续表 1-1
Cont. Table 1-1

测点号	$w(B)/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$\pm 1\sigma$	年龄/Ma		$\pm 1\sigma$
	Th	U													
258-N-002.10	409.33505	1320.2236	0.31	0.0517	0.0010	0.0010	0.1461	0.0029	0.0001	0.0205	131.0	0.7	138.0	3.0	
258-N-002.11	314.3494	1153.2303	0.27	0.0517	0.0017	0.0017	0.1452	0.0045	0.0002	0.0204	130.0	1.0	138.0	4.0	
258-N-002.12	96.3345	740.4350	0.13	0.0470	0.0014	0.0014	0.1324	0.0037	0.0002	0.0206	131.0	1.0	126.0	3.0	
258-N-002.13	308.9246	1021.5505	0.30	0.0529	0.0012	0.0012	0.1452	0.0033	0.0001	0.0200	127.7	0.7	138.0	3.0	
258-N-002.14	369.3321	1290.9689	0.29	0.0499	0.0010	0.0010	0.1415	0.0030	0.0001	0.0205	131.1	0.8	134.0	3.0	
258-N-002.15	354.7922	1271.5399	0.28	0.0523	0.0011	0.0011	0.1488	0.0030	0.0003	0.0208	133.0	2.0	141.0	3.0	
258-N-003.1	242.4955	521.6476	0.46	0.0482	0.0025	0.0025	0.1300	0.0066	0.0002	0.0196	125.0	1.0	124.0	6.0	
258-N-003.2	161.4673	544.6689	0.30	0.0497	0.0027	0.0027	0.1297	0.0070	0.0002	0.0189	121.0	1.0	124.0	6.0	
258-N-003.3	145.4472	487.7164	0.30	0.0467	0.0024	0.0024	0.1240	0.0062	0.0002	0.0193	123.0	2.0	119.0	6.0	
258-N-003.4	126.9111	426.3122	0.30	0.0474	0.0027	0.0027	0.1225	0.0067	0.0002	0.0187	120.0	2.0	117.0	6.0	
258-N-003.5	191.7674	525.6871	0.36	0.0471	0.0024	0.0024	0.1242	0.0062	0.0002	0.0191	122.0	1.0	119.0	6.0	
258-N-003.6	88.5787	339.3689	0.26	0.0526	0.0038	0.0038	0.1401	0.0099	0.0003	0.0193	123.0	2.0	133.0	9.0	
258-N-003.7	45.3983	551.0559	0.08	0.0509	0.0026	0.0026	0.1341	0.0067	0.0002	0.0191	122.0	1.0	128.0	6.0	
258-N-003.8	124.4532	439.0123	0.28	0.0461	0.0019	0.0019	0.1217	0.0048	0.0002	0.0192	122.0	1.0	117.0	4.0	
258-N-003.9	76.8989	300.8065	0.26	0.0512	0.0032	0.0032	0.1339	0.0081	0.0002	0.0190	121.0	2.0	128.0	7.0	
258-N-003.10	119.5324	442.3856	0.27	0.0498	0.0031	0.0031	0.1321	0.0081	0.0002	0.0193	123.0	1.0	126.0	7.0	
258-N-003.11	90.6642	374.1801	0.24	0.0461	0.0019	0.0019	0.1196	0.0048	0.0002	0.0188	120.0	1.0	115.0	4.0	
258-N-003.12	110.1587	406.8716	0.27	0.0483	0.0026	0.0026	0.1290	0.0067	0.0002	0.0194	124.0	1.0	123.0	6.0	
258-N-003.13	60.0110	372.9767	0.16	0.0489	0.0030	0.0030	0.1289	0.0077	0.0002	0.0191	122.0	1.0	123.0	7.0	
258-N-003.14	159.7591	520.7068	0.31	0.0491	0.0024	0.0024	0.1305	0.0067	0.0002	0.0191	122.0	1.0	125.0	6.0	
258-N-003.15	96.8846	346.0968	0.28	0.0529	0.0027	0.0027	0.1403	0.0072	0.0003	0.0195	124.0	2.0	133.0	6.0	
258-N-003.16	82.9248	293.4040	0.28	0.0520	0.0036	0.0036	0.1380	0.0093	0.0003	0.0193	123.0	2.0	131.0	8.0	
258-N-003.17	102.8395	391.0230	0.26	0.0471	0.0026	0.0026	0.1206	0.0065	0.0002	0.0186	119.0	1.0	116.0	6.0	
258-N-003.18	137.9798	398.8871	0.35	0.0522	0.0033	0.0033	0.1383	0.0086	0.0002	0.0192	123.0	2.0	132.0	8.0	
258-N-003.19	135.8266	479.0263	0.28	0.0467	0.0022	0.0022	0.1216	0.0055	0.0002	0.0189	121.0	1.0	116.0	5.0	
258-N-003.20	118.4483	457.9858	0.26	0.0486	0.0027	0.0027	0.1291	0.0071	0.0002	0.0193	123.0	1.0	123.0	6.0	
258-N-004.1	181.8831	578.0016	0.31	0.0477	0.0019	0.0019	0.1248	0.0050	0.0002	0.0183	116.7	1.1	119.4	4.8	
258-N-004.2	247.1260	832.9847	0.30	0.0489	0.0010	0.0010	0.1273	0.0027	0.0002	0.0189	120.7	1.3	121.7	2.6	

续表 1-2

Cont. Table 1-2

测点号	$w(B)/10^{-6}$		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$\pm 1\sigma$	年龄/Mya	
	Th	U		$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
258-N-004.3	113.7238	613.9482	0.19	0.0487	0.0015	0.1264	0.0040	0.0188	120.1	1.1	120.9	3.9
258-N-004.4	243.5681	628.5710	0.39	0.0488	0.0017	0.1246	0.0043	0.0185	118.3	1.1	119.2	4.1
258-N-004.5	183.2026	519.0736	0.35	0.0493	0.0023	0.1272	0.0100	0.0187	119.5	2.2	121.6	9.6
258-N-004.6	548.9974	1105.1250	0.50	0.0504	0.0009	0.1273	0.0022	0.0183	116.9	1.0	121.6	2.1
258-N-004.7	275.2440	671.6008	0.41	0.0484	0.0014	0.1255	0.0039	0.0188	120.2	1.1	120.1	3.7
258-N-004.8	285.2226	746.2277	0.38	0.0486	0.0017	0.1266	0.0059	0.0189	120.7	1.5	121.1	5.7
258-N-004.9	163.2271	476.6865	0.34	0.0489	0.0029	0.1259	0.0076	0.0187	119.4	1.1	120.4	7.3
258-N-004.10	100.3055	450.0924	0.22	0.0487	0.0023	0.1255	0.0059	0.0187	119.3	1.1	120.1	5.6
258-N-004.11	108.9061	494.4213	0.22	0.0500	0.0023	0.1269	0.0060	0.0184	117.7	1.0	121.3	5.7
258-N-004.12	240.9296	661.7862	0.36	0.0484	0.0015	0.1206	0.0036	0.0181	115.5	1.0	115.6	3.5
258-N-004.13	409.9499	821.1944	0.50	0.0500	0.0016	0.1241	0.0040	0.0180	114.9	1.0	118.8	3.8
258-N-004.14	407.0962	900.3922	0.45	0.0487	0.0016	0.1214	0.0043	0.0181	115.6	1.0	116.4	4.1
258-N-004.15	134.5988	553.6676	0.24	0.0482	0.0020	0.1260	0.0053	0.0190	121.2	1.3	120.5	5.0
258-N-004.16	187.6609	535.0962	0.35	0.0488	0.0038	0.1251	0.0113	0.0186	118.7	2.3	119.7	10.8
258-N-004.17	399.1970	809.7939	0.49	0.0489	0.0024	0.1231	0.0062	0.0183	116.8	1.1	117.9	6.0
258-N-004.18	321.9116	798.8583	0.40	0.0491	0.0009	0.1599	0.0030	0.0236	150.5	1.3	150.6	2.9
258-N-004.19	41.6293	662.9076	0.06	0.0491	0.0013	0.1246	0.0033	0.0184	117.6	1.0	119.2	3.2
258-N-004.20	350.2664	659.3969	0.53	0.0485	0.0024	0.1251	0.0065	0.0187	119.5	1.1	119.7	6.2
258-N-005												
258-N-005.1	157.1104	480.5039	0.33	0.0512	0.0028	0.1288	0.0073	0.0182	116.6	1.2	123.0	7.0
258-N-005.2	248.0542	654.7986	0.38	0.0480	0.0017	0.1274	0.0045	0.0192	122.9	1.1	121.7	4.3
258-N-005.3	417.8488	1036.6642	0.40	0.0501	0.0018	0.1264	0.0047	0.0183	116.7	1.1	120.8	4.5
258-N-005.4	174.8425	479.7960	0.36	0.0466	0.0018	0.1173	0.0045	0.0183	116.7	1.1	112.6	4.4
258-N-005.5	168.9088	786.9705	0.21	0.0495	0.0011	0.1294	0.0031	0.0190	121.1	1.1	123.6	2.9
258-N-005.6	158.6370	440.8500	0.36	0.0479	0.0028	0.1207	0.0073	0.0183	116.8	1.2	115.7	7.0
258-N-005.7	167.8849	482.6244	0.35	0.0498	0.0023	0.1253	0.0060	0.0183	116.7	1.1	119.8	5.7
258-N-005.8	415.1038	612.7059	0.68	0.0481	0.0022	0.1269	0.0059	0.0191	122.1	1.2	121.3	5.7
258-N-005.9	139.7117	541.5163	0.26	0.0493	0.0019	0.1275	0.0055	0.0188	119.9	1.2	121.9	5.2
258-N-005.10	153.3569	229.1280	0.67	0.0504	0.0019	0.1309	0.0054	0.0188	120.2	1.7	124.9	5.2
258-N-005.11	148.3893	569.8609	0.26	0.0485	0.0015	0.1254	0.0042	0.0188	119.8	1.1	120.0	4.1

表 2 258 高地侵入岩体主量元素($w(B)/\%$)和微量元素($w(B)/10^{-6}$)含量

Table 2 Content of major elements ($w(B)/\%$) and trace elements ($w(B)/10^{-6}$) of intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit

组分	花岗岩长岩					二长花岗岩					闪长玢岩								
	258-1	258-9	258-14	258-2	258-3	258-4	258-5	258-6	258-8	258-22	258-10	258-12	258-13	258-15	258-16	258-17	258-20	258-21	258-23
SiO ₂	66.80	67.06	69.70	74.60	76.20	75.60	76.03	74.91	74.52	76.40	61.50	62.30	66.80	61.40	62.28	63.62	62.5	61.35	64.30
Al ₂ O ₃	15.65	13.99	16.40	13.95	12.95	13.40	13.67	13.72	4.09	12.20	16.95	16.40	15.70	16.65	16.16	16.19	16.25	15.94	16.86
Fe ₂ O ₃	4.27	1.25	3.91	1.13	0.85	0.85	0.14	1.00	0.79	0.93	5.85	5.14	3.85	5.23	1.56	2.62	4.98	1.73	1.72
MgO	1.52	2.30	0.38	0.11	0.10	0.13	0.13	0.23	0.26	0.21	2.46	2.42	1.55	2.61	3.01	2.64	2.44	3.78	3.34
CaO	1.85	2.67	3.10	0.16	0.19	0.32	0.26	0.32	0.29	0.14	3.09	4.29	2.07	4.13	4.09	3.59	3.90	6.11	3.53
Na ₂ O	2.88	3.69	2.94	2.85	3.37	3.63	4.21	3.58	3.69	2.19	3.22	3.42	3.86	3.55	3.71	2.93	3.20	3.08	2.62
K ₂ O	3.11	2.81	3.30	5.31	4.79	5.20	4.48	4.61	4.84	6.70	3.14	3.46	3.46	3.35	3.71	2.95	4.10	2.62	2.76
MnO	0.08	0.15	0.09	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05	0.03	0.01	0.20	0.13	0.08	0.12	0.12	0.11	0.12	0.17	0.28
P ₂ O ₅	0.15	0.13	0.13	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.07	0.02	0.18	0.20	0.12	0.20	0.21	0.17	0.20	0.27	0.21
TiO ₂	0.52	0.52	0.32	0.12	0.08	0.06	0.03	0.15	0.12	0.04	0.49	0.40	0.31	0.42	0.45	0.45	0.41	0.42	0.47
ACNK	2.00	1.52	1.76	1.68	1.55	1.46	1.53	1.61	1.60	1.35	1.79	1.47	1.67	1.51	1.40	1.71	1.45	1.35	1.89
ANK	2.61	2.15	2.63	1.71	1.59	1.52	1.57	1.68	1.65	1.37	2.67	2.38	2.14	2.41	2.18	2.75	2.23	2.79	3.13
Na ₂ O+K ₂ O	5.99	6.51	6.24	8.16	8.16	8.83	8.69	8.19	8.53	8.89	6.36	6.88	7.32	6.90	7.43	5.88	7.30	5.70	5.38
K ₂ O/Na ₂ O	1.08	0.76	1.12	1.86	1.42	1.43	1.06	1.29	1.31	3.06	0.98	1.01	0.90	0.94	1.00	1.00	1.28	0.85	1.05
里特曼指数	1.51	1.76	1.46	2.11	2.01	2.39	2.29	2.10	2.31	2.59	2.19	2.45	2.25	2.59	2.86	1.67	2.73	1.77	1.36
Rb	111.00	138.00	84.90	152.00	166.00	150.00	175.00	161.00	160.00	145.00	85.40	97.70	93.90	93.40	140.00	119.00	133.00	107.00	82.60
Ba	449.00	315.10	492.00	250.00	168.00	100.00	134.00	255.00	280.00	249.00	536.00	628.00	759.00	519.00	644.00	492.00	624.00	523.00	473.00
Th	11.15	12.50	5.86	11.95	9.45	6.89	7.54	15.38	8.71	10.10	4.36	4.77	5.43	4.32	5.18	3.70	4.80	4.96	4.31
U	2.42	3.19	1.81	3.34	2.55	2.71	3.02	3.23	1.55	1.04	1.25	1.68	2.17	1.46	1.92	1.19	2.74	1.64	1.27
K	25813	23359	27390	44073	39757	43160	37203	38263	40158	55610	26062	28718	28718	27805	30830	24445	17220	20713	22241
Nb	11.70	18.46	5.10	6.70	8.10	6.70	8.34	8.46	6.56	2.10	4.60	5.50	5.20	4.60	7.99	6.07	13.60	7.19	7.68
Ta	1.30	1.40	0.80	1.60	2.90	3.10	2.11	1.55	1.80	0.70	0.50	0.60	0.30	0.60	0.58	0.43	0.3	0.53	0.49
La	30.10	32.13	16.20	17.30	11.80	7.20	7.20	16.64	14.12	10.10	17.80	18.00	15.60	15.40	18.49	16.76	15.8	17.91	17.19
Ce	59.10	68.56	29.50	38.00	23.80	15.10	14.09	54.82	30.19	22.90	31.40	32.50	27.80	27.70	36.57	33.96	30.2	33.05	29.99
Sr	166	242	188	72.50	51.90	24.80	41.40	78.90	83.90	90.10	354	479	434	459	488	380	448	421	344
Nd	27.20	27.36	11.30	15.30	11.70	6.90	7.13	15.98	12.47	10.40	14.90	15.20	11.60	12.50	16.42	15.23	13.6	16.34	15.74
P	660	589	572	220	176	264	216	207	292	88.00	792	880	528	880	917	733	440	1116	896

续表 2
Cont. Table 2

组分	花岗闪长岩					二长花岗岩					闪长玢岩								
	258-1	258-9	258-14	258-2	258-3	258-4	258-5	258-6	258-8	258-22	258-10	258-12	258-13	258-15	258-16	258-17	258-20	258-21	258-23
Zr	173	157	126	64.00	64.00	34.00	44.40	78.30	62.30	6.00	101	118	120	100	116	111	116	94.80	98.40
Hf	5.70	8.19	3.60	3.10	3.50	2.10	2.60	3.57	2.64	0.40	3.00	3.40	3.60	2.90	2.92	3.49	3.5	2.60	3.18
Sm	5.14	5.52	2.06	4.10	3.43	1.87	2.10	3.94	3.00	2.59	3.10	3.45	2.64	2.66	3.46	3.20	3.33	3.61	3.52
Eu	0.94	1.00	0.49	0.38	0.23	0.09	0.18	0.43	0.35	0.46	0.86	0.94	0.60	0.75	1.07	1.00	0.82	1.11	1.06
Ti	3120	3144	1920	720	480	360	174	899	746	240	2940	2400	1860	2520	2684	2700	2460	2419	2764.00
Gd	4.50	4.65	1.88	4.19	3.39	2.05	2.05	3.88	2.72	2.30	3.15	2.81	1.88	2.37	3.05	3.01	2.54	3.21	3.45
Tb	0.72	0.84	0.30	0.90	0.67	0.44	0.48	0.94	0.58	0.42	0.49	0.48	0.29	0.38	0.49	0.50	0.36	0.52	0.62
Y	22.70	28.61	9.50	38.00	29.80	18.90	19.48	43.94	22.96	16.50	17.80	16.10	10.50	13.40	17.95	19.52	13.5	17.54	19.71
Yb	2.25	2.88	1.14	4.54	3.86	2.70	3.15	6.31	3.43	1.61	1.65	1.83	1.47	1.45	1.99	2.09	1.90	1.95	2.23
Lu	0.32	0.44	0.15	0.65	0.56	0.38	0.48	1.02	0.52	0.20	0.32	0.26	0.22	0.20	0.33	0.32	0.33	0.29	0.32
Pr	7.23	7.57	3.06	4.32	3.07	1.77	1.88	4.44	3.39	2.88	3.79	3.99	3.15	3.36	4.31	4.01	3.50	4.09	4.08
Dy	4.28	5.34	1.80	6.27	4.72	3.07	3.13	7.40	4.12	2.67	3.11	2.86	1.92	2.26	3.10	3.41	2.42	2.84	3.48
Ho	0.81	1.03	0.35	1.29	1.00	0.64	0.61	1.52	0.82	0.57	0.56	0.57	0.36	0.48	0.61	0.69	0.47	0.57	0.67
Er	2.44	3.06	1.07	4.02	3.00	1.95	2.06	5.19	2.66	1.79	1.82	1.77	1.09	1.29	1.88	2.03	1.56	1.74	2.09
Tm	0.35	0.47	0.18	0.71	0.57	0.39	0.43	0.91	0.48	0.24	0.28	0.27	0.24	0.19	0.29	0.32	0.27	0.30	0.36
HREE	15.67	18.70	6.87	22.57	17.77	11.62	12.39	27.17	15.32	9.80	11.38	10.85	7.47	8.62	11.74	12.36	9.85	11.42	13.22
LREE	129.71	142.14	62.61	79.40	54.03	32.93	32.58	96.25	63.51	49.33	71.85	74.08	61.39	62.37	80.33	74.15	67.25	76.11	71.58
L/H	8.28	7.60	9.11	3.52	3.04	2.83	2.63	3.54	4.14	5.03	6.31	6.83	8.22	7.24	6.84	6.00	6.83	6.66	5.41
ΣREE	145.38	160.84	69.48	101.97	71.80	44.55	44.97	123.42	78.84	59.13	83.23	84.93	68.86	70.99	92.07	86.51	77.10	87.54	84.80
(La/Yb) _N	9.02	7.51	9.58	2.57	2.06	1.80	1.54	1.78	2.77	4.23	7.27	6.63	7.15	7.16	6.27	5.41	5.61	6.18	5.20
δEu	0.58	0.59	0.75	0.28	0.20	0.14	0.27	0.33	0.37	0.56	0.83	0.90	0.79	0.90	0.99	0.97	0.83	0.98	0.92
δCe	0.94	1.02	0.94	1.03	0.93	0.99	0.90	1.51	1.02	1.01	0.88	0.89	0.90	0.89	0.95	0.97	0.94	0.90	0.84
(Sr/Y) _N	1.58	1.82	4.28	0.41	0.38	0.28	0.46	0.39	0.79	1.18	4.29	6.42	8.91	7.39	5.87	4.20	7.16	5.17	3.76
(Rb/Sr) _N	22.22	18.92	14.97	69.44	105.96	200.31	140.22	67.89	63.09	53.29	8.02	6.78	7.19	6.76	9.54	10.41	9.86	8.48	7.98
(Rb/Yb) _N	38.30	37.08	57.82	25.91	33.29	42.99	43.10	19.82	36.06	69.68	40.18	41.45	49.59	50.01	54.74	44.21	54.35	42.67	28.75
(La/Sm) _N	3.68	3.66	5.08	2.65	2.16	2.42	2.16	2.66	2.96	2.45	3.61	2.99	3.28	3.72	3.64	3.36	3.30	2.98	3.12
(Gd/Lu) _N	1.75	1.32	1.56	0.80	0.75	0.67	0.53	0.48	0.65	1.43	1.22	2.40	1.34	1.06	1.47	1.16	1.15	0.96	1.40

注:比值单位为1。



图 4 258 高地金矿区侵入岩部分锆石阴极发光(CL)图像

a. 花岗闪长岩部分锆石阴极发光图; b, c, d. 二长花岗岩部分锆石阴极发光图; e, f. 闪长玢岩部分锆石阴极发光图
Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images of selected zircons from intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit
a. CL images of zircons from the granodiorite; b, c, d. CL images of zircons from the monzogranite; e, f. CL images of zircons from the diorite porphyrite

年龄为(150.5 ± 1.3) Ma(258-N-004.18),其余 19 个²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(118.0 ± 0.9) Ma (MSWD=2.9),前者可能代表二长花岗岩中捕获锆石的年龄,后者代表二长花岗岩的形成时代为早白垩世晚期。

3.3 闪长玢岩

研究区内选取与矿化密切伴生的闪长玢岩(258-N-005)和晚阶段较新鲜的闪长玢岩(258-N-006)为锆石年龄测定的样品。闪长玢岩的锆石由自形-半自形粒状和长柱状(长宽比约为 2:1~4:1)2

种晶形锆石组成,粒度 60~200 μm ,透明一半透明,具有较清晰的环带结构,局部发育条带结构,且外侧条带较清晰(图 4e),Th/U 比值均大于 0.1,具典型岩浆成因的锆石特征。样品 258-N-006 的锆石,核幔结构不发育(图 4f)。

258-N-005 样品所测 20 个锆石颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围 124~116 Ma, 锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (119.5 ± 1.3) Ma (MSWD=5.4)(图 5e),代表了闪长玢岩的结晶时代,为早白垩世晚期。

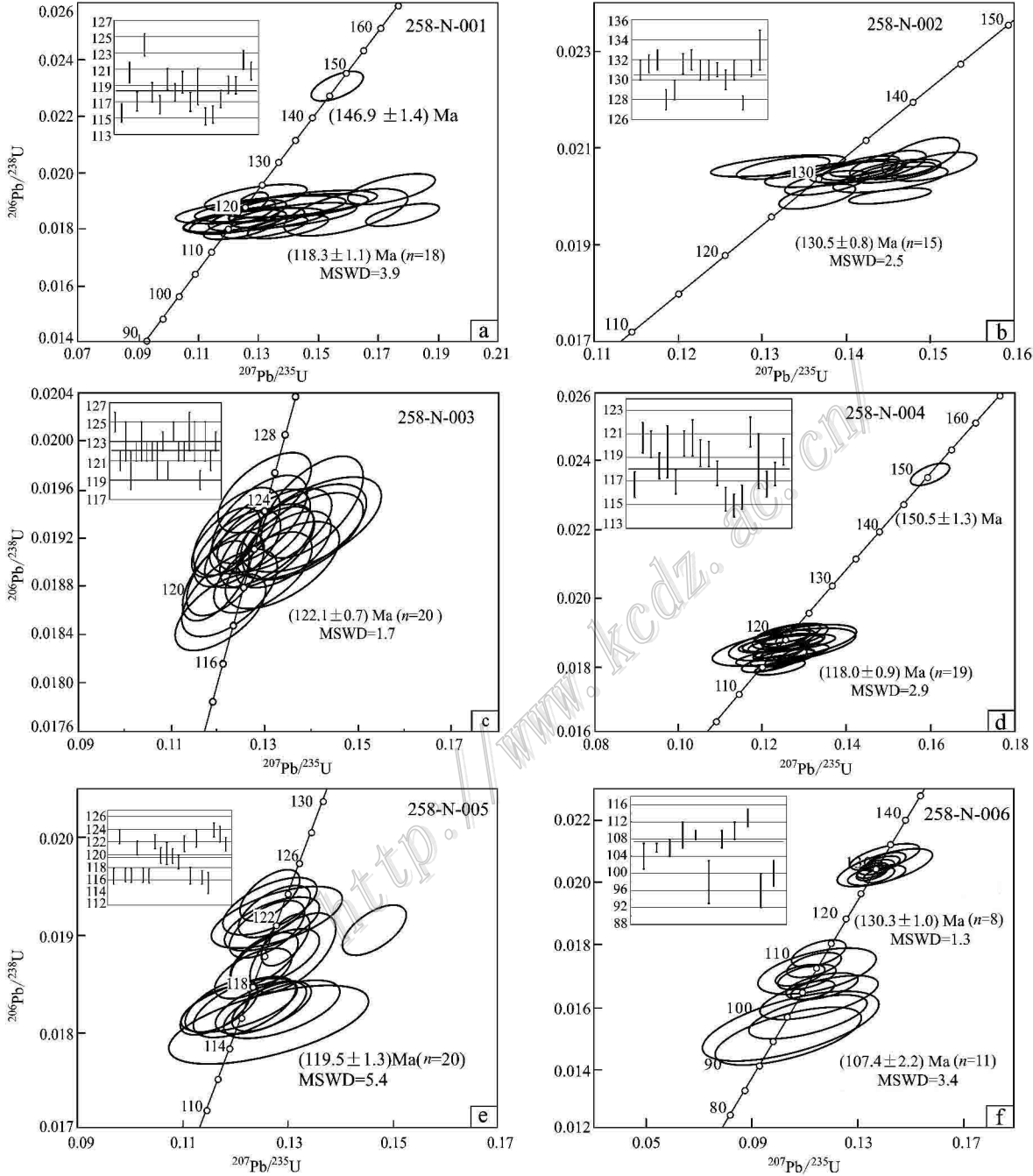


图 5 258 高地金矿区锆石 U-Pb 年龄谱和图

a. 花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄谱和图; b, c, d. 二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谱和图; e, f. 闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 5 U-Pb concordia diagrams and relative-age-probability diagram zircon data for the intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit

a. U-Pb Concordia diagrams of granodiorite; b, c, d. U-Pb concordia diagrams of monzogranite; e, f. U-Pb concordia diagrams of diorite-porphryrite

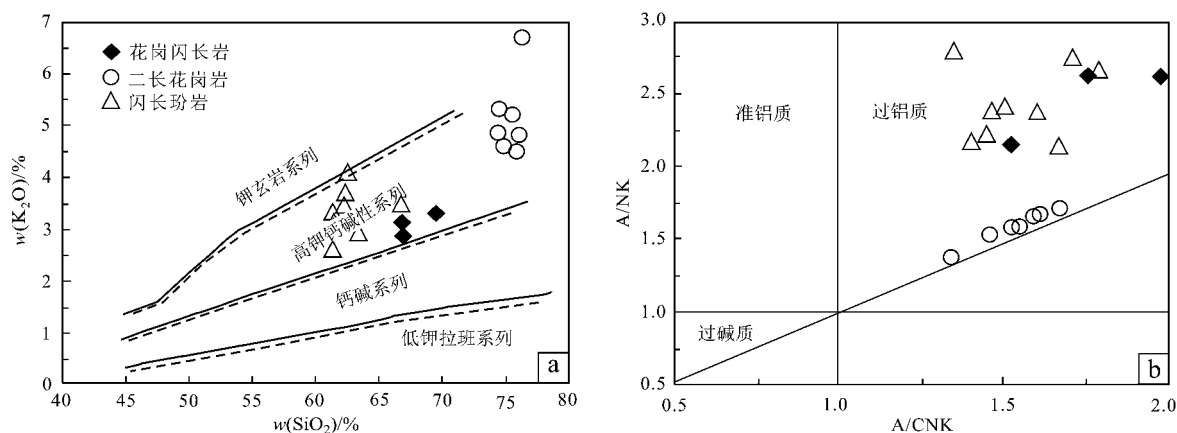


图 7 258 高地金矿区侵入岩 SiO₂-K₂O 图(a; 据 Richwood, 1989)和铝饱和指数图(b; 据 Maniar et al., 1989)

Fig. 7 SiO₂-K₂O diagram (after Richwood, 1989) and discrimination diagram of A/CNK-A/NK (after Maniar et al., 1989) of the intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit

$68.86 \times 10^{-6} \sim 92.07 \times 10^{-6}$, 均值为 81.78×10^{-6} , 稀土元素总量变化不大。闪长玢岩的稀土元素配分模式表现为轻稀土元素富集, 重稀土元素相对亏损的右倾模式 ($\text{LREE}/\text{HREE} = 5.41 \sim 8.22$), 轻重稀土元素分馏程度较明显 ($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 5.20 \sim 7.27$), 无明显负 Eu 异常 ($\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 0.99$, 均值为 0.82) (图 8e), 表明源区可能有角闪石矿物残留。从微量元素组成看 (图 8f), Rb、Ba、K 等大离子亲石元素相对富集, Nb、Ti、Ta 等高场强元素亏损, 具有低 Th 含量、高 $w(\text{Sr})$ ($344.10 \times 10^{-6} \sim 448.3 \times 10^{-6}$) 和低 $w(\text{Y})$ ($10.50 \times 10^{-6} \sim 19.71 \times 10^{-6}$) 特征, $(\text{Sr}/\text{Y})_{\text{N}} = 3.76 \sim 8.91$, $(\text{Rb}/\text{Sr})_{\text{N}} = 6.76 \sim 10.41$, $(\text{Rb}/\text{Yb})_{\text{N}} = 28.75 \sim 54.75$ 较大, 为强不相容元素强烈富集型 (图 8f)。

5 讨论

5.1 成岩、成矿年代学意义

258 高地金矿(化)体主要受与 NW 向断裂构造控制, 赋存于碎裂蚀变二长花岗岩、碎裂蚀变花岗闪长岩和蚀变闪长玢岩中, 在空间上与闪长玢岩脉密切伴生, 具有一定的成生联系, 形成了蚀变岩型金矿, 少量石英脉型金矿。因此, 对区内各类岩体年龄的确定是对该矿床成矿时代的有效制约。

有关饶河地区侵入岩体的地质年代学研究开展较早, 邵济安等 (1992) 获得的蛤蟆河岩体的锆石 TIMS U-Pb 一致年龄为 (115.5 ± 1.5) Ma; 程瑞玉 (2006) 和程瑞玉等 (2006) 通过锆石 LA-ICP-MS 定

年法, 测得岩体主体 U-Pb 年龄为 124 Ma, 局部岩石为 131 Ma, 中心部位主要为 115 Ma 左右。而关于研究区脉岩的年龄报道较少。

本次研究对矿区内地表不同位置出露的基岩和脉岩体分别进行采样, 选择锆石进行系统定年。通过精确的 LA-ICP-MS 定年方法, 得出二长花岗岩和花岗闪长岩的年龄范围在 130 ~ 118 Ma, 其中花岗闪长岩的年龄为 (118.3 ± 1.1) Ma; 二长花岗岩的 3 个年龄分别为 (130.5 ± 0.8) Ma、 (122.0 ± 0.7) Ma、 (118.0 ± 0.9) Ma; 闪长玢岩的 2 个主要年龄分别为 (119.0 ± 1.3) Ma、 (107.4 ± 2.2) Ma, 其中前者为与矿化密切相伴的闪长玢岩的年龄, 后者为晚期闪长玢岩的年龄, 岩石均形成于早白垩世。值得提出的是, 2 个花岗岩样品中存在较老的锆石, 其年龄范围为 151 ~ 147 Ma, 与饶河蛇绿混杂岩侵位时间 (170 ~ 140 Ma) 相吻合 (Kojima et al., 1987; Kojima, 1989; 张庆龙等, 1989; 杨惠心等, 1989; 邵济安等, 1990; 赵亮亮, 2011)。

研究区出露的岩体主要形成于 130 Ma、122 ~ 118 Ma、107 Ma 三个阶段, 显示该区岩体经历了多期岩浆作用的叠加。与成矿有密切关系的花岗岩和脉岩年龄集中在 122 ~ 118 Ma。晚中生代以来 (主要是 140 ~ 90 Ma), 中国东部受控于古太平洋板块向亚洲大陆板块 NE 向-NNE 向的俯冲, 岩石圈处于伸展构造背景, 大规模减薄, 诱发了大规模具有活动陆缘性质的岩浆岩的侵入与喷发, 并形成了一系列金属矿产, 尤其金矿的大规模成矿 (四平山金矿床、先锋北山金矿床、老柞山金矿床、闹枝金矿床、夹皮

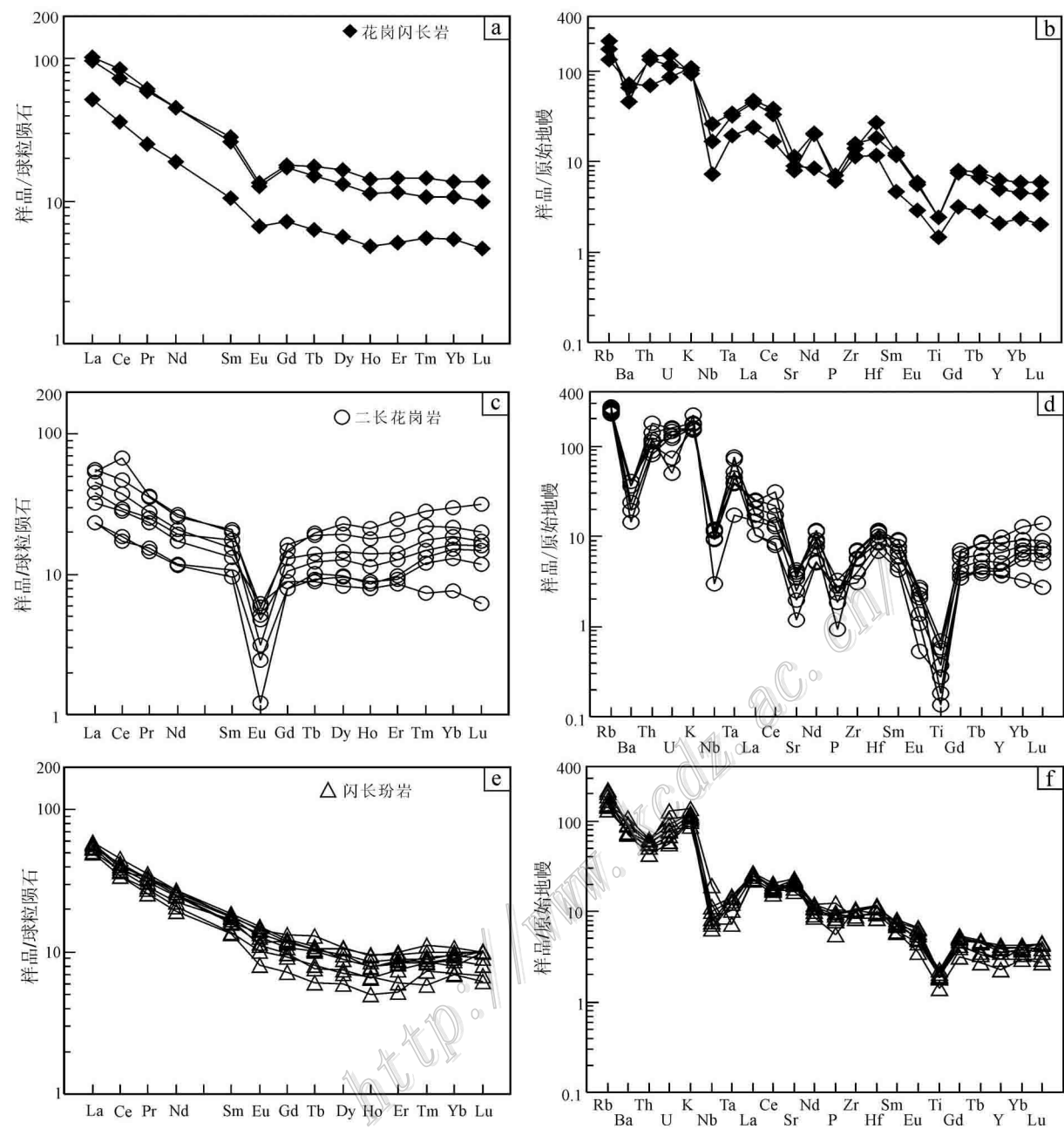


图 8 258 高地金矿区侵入岩体稀土元素球粒陨石标准化图解(a、c、e)(球粒陨石值据 Boynton,1984)及微量元素原始地幔标准化图解(b、d、f) (原始地幔值据 Sun et al. ,1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns (a, c, e) (chondrite values after Boynton, 1984) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b, d, f) (primitive-mantle values after Sun and Mcdonough, 1989) of intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit

沟金矿床、金厂金矿等),成岩成矿年龄主要集中在 130~90 Ma 之间(华仁民等,1999;吴福元,2000;MaO, 2003;Sun et al. , 2007; 孙卫东等,2008; 韩世炯等, 2013; 于介江等,2013; Zhang et al. , 2013)。根据矿体产出位置及其成因类型,推测 258 高地金矿区的

成矿时代可能为 122~118 Ma。

5.2 岩浆源区

区内出露的花岗闪长岩、二长花岗岩和闪长玢岩的主量元素特点显示,3 者均是高钾钙碱性岩石,同时 3 者的铝指数含量较高,均为过铝质岩石。

二长花岗岩的轻重稀土分馏中等,花岗闪长岩轻重稀土分异较明显,轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,均具有明显的负铕异常,二者相对富集 Rb、Th、K、La 等大离子亲石元素,亏损高场强元素 Nb、P、Ti,低 Sr、Ba,且均具有 Nb 强烈亏损和 Ta 的轻微亏损,具有重熔型花岗岩的特征。程瑞玉(2006)和程瑞玉等(2006)对蛤蚂河岩体中的花岗岩进行测年,得出具有代表成岩年龄的花岗岩样品中 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 均为正值,显示出饶河花岗岩的源区物质主要是壳源物质;单阶段 Hf 同位素亏损地幔模式年龄分别为 463 Ma、580 Ma、607 Ma、649 Ma,获得的 2 阶段模式年龄为 780~500 Ma,推断该区花岗岩岩浆来源于新元古代—古生代期间地壳物质的重熔。在 Rb-Y+ Nb 和 Nb-Y 图解上均落入了火山弧花岗岩区域(图 9),结合区域构造演化,早白垩世晚期(130~110 Ma)—古近纪区域受太平洋板块俯冲影响,加厚的地壳岩石圈减薄(葛肖虹等,2014),说明研究区花岗闪长岩和二长可能是加厚的地壳物质发生部分熔融的产物。

闪长玢岩的轻重稀土元素分异较明显,轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,没有明显的铕异常。闪长玢岩相对富集 Rb、Ba、K 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ti、Ta 等高场强元素,低 Th,高 Sr 含量($344.10 \times 10^{-6} \sim 448.30 \times 10^{-6}$),且低 Y 含量($10.50 \times 10^{-6} \sim 19.71 \times 10^{-6}$),显示了区内闪长玢岩可能是岩浆沿裂隙直接上升与地壳物质发生了微弱混染而形成的,形成于活动陆缘岛弧环境下,推断该区闪长玢岩脉岩浆可能来源于壳幔源区。

近年来的研究表明,壳幔相互作用和深部物质的参与是成矿的重要因素,特别是下地壳、岩石圈、软流圈系统相互作用和变迁对花岗质岩浆作用、成矿作用有重要的控制作用,而起源于新生下地壳重熔的岩浆更有巨大的浅成热液金矿床成矿潜力(彭渤,1994;刘凤山等,1994;Green,1995;邓晋福等,1999)。

5.3 成矿构造背景

研究区位于中国东部完达山地体内,该地体主要由一套近南北走向,向西突出的超镁铁质、镁铁质堆晶岩、基性熔岩和硅质岩及泥质岩组成,是中国东部唯一发育早中生代(169~150 Ma)深海沉积的区域(黑龙江地质矿产局,1993;赵海玲等,1996;水谷伸治郎等,1989;张勤运,1990;邵济安等,1991;邵济安等,1992;邵济安等,1995;张庆龙等,1989)。早中生代以来,晚印支运动使中三叠世—早侏罗世的洋壳推覆至完达山一带,并于中、晚侏罗世(晚侏罗中期)—早白垩世与佳木斯地块完成了拼贴(Kojima et al.,1987;Kojima,1989;杨惠心等,1989;张世红等,1991;邵济安等,1995;汪新文,1997;田东江,2007;张兴洲等,2012;Zhang et al.,2013;葛肖虹等,2014),形成了该区蛇绿岩增生杂岩带的构造侵位,并转入岛弧构造环境(田东江,2007)。258 高地金矿区 3 类岩石样品在 Rb-Y+ Nb 和 Nb-Y 图解上均落入了火山弧区域(图 9),结合区域构造演化,早白垩世晚期(130~110 Ma),古近纪区域受太平洋板块俯冲影响,加厚的地壳岩石圈减薄(葛肖虹等,2014),沿 NE-NNE 向断裂带产生了大规模中酸性火山喷发和

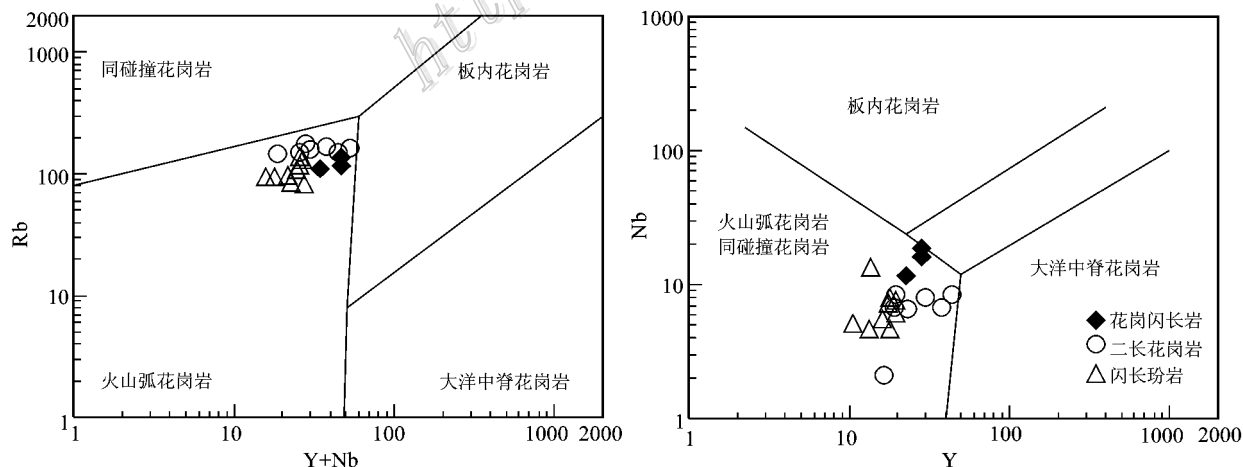


图 9 258 高地金矿区侵入岩构造判别图解(据 Pearce, 1996)

Fig. 9 Tectonic setting discrimination diagrams of intrusive rocks in No. 258 Hill gold deposit (after Pearce, 1996)

岩浆侵入活动,形成了自虎林市先锋北山至 258 高地独特的与喷发-侵入岩带一致的热液型金成矿带(李光辉,2011;李成禄等,2013),说明 258 高地金矿床形成于与板块俯冲有关的活动大陆边缘环境。

6 结 论

(1) 258 高地金矿床内出露的花岗闪长岩的成岩年龄为 (118.3 ± 1.1) Ma, 3 个二长花岗岩样品的成岩年龄分别为 (130.5 ± 0.8) Ma、 (122.1 ± 0.7) Ma、 (118.0 ± 0.9) Ma, 2 个闪长玢岩的成岩年龄分别为 (119.5 ± 1.3) Ma、 (107.4 ± 2.2) Ma。区内具有多期岩浆活动,而与成矿关系密切的年代限定为 120~118 Ma,推测金矿成矿时代为早白垩世晚期。

(2) 258 高地金矿床内出露的 3 类侵入岩石均为高钾钙碱性过铝质,花岗闪长岩和二长花岗岩,可能是地壳物质发生部分熔融的产物。闪长玢岩则是岩浆沿裂隙直接上升与地壳物质发生了微弱的混染而形成的,具有壳幔源区岩浆特征。

(3) 258 高地金矿床形成于活动大陆边缘环境的,与中生代早白垩世晚期太平洋板块俯冲有关。

References

Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[A]. In: Henderson P, ed. Rare earth elements geochemistry[C]. New York: Elsevier. 63-114.

Chen R Y. 2006. The era and petrogenesis of Raohe granites in east Heilongjiang Province[D]. Jilin: Jilin University. 1-78 (in Chinese with English abstract).

Cheng R Y, Wu F Y, Ge W C, Sun D Y, Liu X M and Yang J H. 2006. Emplacement age of the Raohe complex in eastern Heilongjiang Province and the tectonic evolution of the eastern part of northern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(2): 353-376 (in Chinese with English abstract).

Deng J F, Mo X X, Luo Z H, Zhao H L, Cao Y Q and Yu X Z. 1999. Igneous petrotectonic assemblage and crust-mantle metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers. 6(2): 259-270 (in Chinese with English abstract).

Ge X H, Liu J L, Ren S M, Yuan S H. 2014. The formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic continental tectonic in eastern China[J]. Geology in China, 41(1): 19-37 (in Chinese with English abstract).

Green T H. 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the Crust-Mantle system[J]. Chemical Geology, 120

(3-4): 347-359. doi: 10.1016/0009-2541(94)00145-X.

Han S J, Sun J G, Xing S W, Zhang Z J, Chai P, Yang F and Qiu D M. 2013. Genetic types, metallogenic epoch and geodynamic settings of endogenetic gold deposits in the continental margin, north-east China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 43(3): 716-733 (in Chinese with English abstract).

Han Z X, Xu Y Q and Zheng Q D. 2004. Metallogenetic series and evolution of important metal and nonmetal in Heilongjiang Province[M]. Harbin Heilongjiang People's Publishing House. (in Chinese).

Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resource. 1993. Regional geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese).

Huang Y W. 2010. Study on metallogenetic regularities and ore-forming forecast of epithermal gold deposit in Wandashan mountain and Taiping mountain belts in southeast of Heilongjiang Province (dissertation for doctor degree) [D]. Beijing China University of Geosciences. 1-180 (in Chinese with English abstract).

Kojima S and Mizutani S. 1987. Triassic and Jurassic radiolarian from the Nanhada range, northeast China [J]. Proceedings of the Paleontological Society of Japan, 148: 256-275.

Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China[J]. Mineral Deposits, 18(4): 300-307 (in Chinese with English abstract).

Kojima S. 1989. Mesozoic terrane accretion in northeast China, Sikhotealin and Japan regions [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 69: 213-232.

Li C L, Qu H, Zhao, Z H, Xu G Z, Zhang J F and Wang Z. 2013. Geological characteristics and genesis of the epithermal deposits in Heilongjiang Province [J]. Gold, 2(34): 10-15 (in Chinese with English abstract).

Li G H. 2011. Metallogenetic series and exploration prediction in the Taipingling-Wandashan Metallogenetic zone of Heilongjiang (dissertation for doctor degree) [D]. Beijing: China University of Geosciences. 1-133 (in Chinese with English abstract).

Liang S C. 2013. Geophysical anomalous features and study for the prospecting in the deep at the No. 258 hill multi-metallic prospecting area, Heilongjiang [J]. Mineral Exploration, 4(5): 531-537 (in Chinese with English abstract).

Liu F S and Shi Z L. 1994. Advances of the magmatic hydrothermal ore-forming theory since 1980s [J]. Geological Science and Technology Information, 13(2): 75-80 (in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 1991. Users mantle for Isoplot/Ex (rev 2.49): A geochronological tool for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology center, Special Publication, 1-55.

Mao J W, Wang Y T and Zhang Z H. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale Mineralization in North China and adjacent Areas [J]. Science in China (Series D), 46(8): 838-851.

Middlemost E A K. 1985. Magmas and magmatic rocks [J]. Essex:

- Longman Group Ltd.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 101: 635-643.
- Mizutani S, Shao J A and Zhang Q L. 1989. The Nandahada terrane in relation to Mesozoic tectonics on continental margins of East Asia[J]. Acta Geologica Sinica, 63(3): 204-216 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 19(4): 120-125.
- Peng B. 1994. Mantle-crust metallogenesis[J]. Journal of East China Geological Institute, 17(3): 206-211 (in Chinese with English abstract).
- Quan C S and Liu Z L. 2014. Study on geological characteristics and prospecting potential of the No. 258 hill gold deposit, Heilongjiang Province[J]. The Silicon Valley, 17: 158-159 (in Chinese with English abstract).
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of minor elements[J]. Lithos, 22: 247-263.
- Ren H D, Liu Z L and Yao Z. 2011. Metallogenic characteristics and prospecting perspective analysis of the No. 258 hill gold deposit[J]. Private Science and Technology, (7): 159 (in Chinese with English abstract).
- Shao J A, Wang C Y, Tang K D and Zhang Q Y. 1990. The relationship between Nandahada range strata and terrane[J]. Stratigraphy, 14(4): 286-291 (in Chinese with English abstract).
- Shao J A, Tang K D, Wang C Y, Zang Q J and Zhang Y P. 1991. The tectonic characteristics and evolution of Nandahada Terrane[J]. Science Chinese (B), (7): 744-750 (in Chinese with English abstract).
- Shao J A, Wang C Y, and Tang K D. 1992. A new approach to the tectonics in the Ussuri (Wusuli) Region[J]. Geological Review, 38(1): 33-39 (in Chinese with English abstract).
- Shao J A and Tang K D. 1995. Terranes in northeast China and evolution of northeast Asia continental margin[M]. Beijing: Seismic Press (in Chinese).
- Sun W D, Ling M X, Wang F Y, Ding X, Hu Y H, Zhou J B and Yang X Y. 2008. Pacific plate subduction and Mesozoic geological event in eastern China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 27(3): 218-225 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[A]. In: Saunders A D and Norry M J, eds. Magmatism in ocean basins[C]. Geological Society, London, Special Publication, 313-345.
- Sun W D, Ding X, Hu Y H and Li X B. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific[J]. Earth and Planetary Science Letters, 262: 533-542.
- Tan C Y. 2009. General Characteristics of the tectonic-metallogenic systems of main ore deposits in Heilongjiang Province, northeast China (dissertation for doctor degree)[D]. Beijing: China University of Geosciences. 1-261 (in Chinese with English abstract).
- Tian D J. 2007. The geological-geochemical composition and evolution of the Wandashan organic belt[D]. Jilin: Jilin University. 1-76 (in Chinese with English abstract).
- The First Institute of Geology Exploration of Heilongjiang Province 2012. Gold exploration of the No. 258 hill gold deposit in Raohe County, Heilongjiang Province: Field work summary in 2012[R]. (in Chinese).
- Wang X W. 1997. Meso-Cenozoic tectonic event and evolution of north-eastern Asia continental margin [J]. Geological Science and Technology Information, 16(4): 9-15 (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Sun D Y, Zhang G L and Ren X W. 2000. Deep geodynamics of Yanshan movement[J]. Geological Journal of China University, 6(3): 379-388 (in Chinese with English abstract).
- Xue M X. 2012. Metallogenesis of endogenic gold deposits in Heilongjiang Province (dissertation for doctor degree)[D]. Jinlin: Jilin University. 1-176 (in Chinese with English abstract).
- Yang H X, Li P W and Yu H M. 1989. Palaeomagnetic study of the main terranes, northeastern China[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 28(2): 203-205 (in Chinese with English abstract).
- Yu J J, Zhang Y L, Ge W C and Yang H. 2013. Geochronology and geochemistry of the late Cretaceous granitoids in the northern margin of the Sanjiang basin, NE China and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(2): 369-385 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X Z, Ma Y X, Chi X G, Zhang F X, Sun Y W, Guo Y and Zeng Z. 2012. Discussion on Phanerozoic tectonic evolution in northeastern China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(5): 1269-1285 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q L, Mizutani S, Kojima S and Shao J A. 1989. The Nandahada terrane in Heilongjiang Province[J]. Geological Review, 35(1): 67-71 (in Chinese with English abstract).
- Zhang S H, Shi Y S and Sun Y. 1991. The relation between Wandashan orogenic belt and Nandahada terrane in Heilongjiang Province[J]. Journal of Nanjing University (Earth sciences), 3: 287-294 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q Y. 1990. Triassic-Jurassic radiolarian fauna in Nandahada of northeastern China[J]. Chinese Academy of Geological Sciences, Bulletin of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, 21: 157-191 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G B, Yang Y C, Wang J, Wang K Y and Ye S Q. 2013. Geology, geochemistry, and genesis of the hot-spring-type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, northeast China[J]. International Geology Review, 55(4): 482-495.
- Zhao L L. 2011. The evidence of petrology and geochronology on tectonic evolution of Heilongjiang complex in eastern Heilongjiang

- Province, China (dissertation for doctor degree)[D]. Jilin: Jilin University. 1-82(in Chinese with English abstract).
- Zhao H L, Deng J F, Chen F J, Hu Q and Zhao S K. 1996. Cenozoic volcanism, deep interior processes and continental rift basin formation in the northeastern China[J]. Earth Science(Journal of China University of Geosciences), 21(6):615-619 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 程瑞玉. 2006. 黑龙江东部饶河地区花岗岩时代及其成因(硕士学位论文)[D]. 吉林: 吉林大学. 1-78.
- 程瑞玉, 吴福元, 葛文春, 孙德有, 柳小明, 杨进辉. 2006. 黑龙江省东部饶河杂岩的就位时代与东北部中生代构造演化[J]. 岩石学报, 22(2): 353-376.
- 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 赵海玲, 赵国春, 曹永清, 于学政. 1999. 火成岩构造组合与壳-幔成矿系统[J]. 地学前缘, 6(2): 259-270.
- 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 袁四化. 2014. 中国东部中-新生代大陆构造的形成与演化[J]. 中国地质, 41(1): 19-37.
- 韩世炯, 孙景贵, 邢树文, 张增杰, 柴鹏, 杨帆, 邱殿明. 2013. 中国东北部陆缘内生金矿床成因类型、成矿时代及地球动力学背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(3): 716-733.
- 韩振新, 徐衍强, 郑庆道. 2004. 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.
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 黑龙江省第一地质勘察院. 2012. 黑龙江省饶河县 258 高地及外围岩金普查: 2012 年野外工作总结[R]. 内部资料.
- 黄永卫. 2010. 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研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学. 1-180.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18(4): 300-307.
- 李成禄, 曲晖, 赵忠海, 徐国战, 张俭峰, 王卓. 2013. 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, 2(34): 10-15.
- 李光辉. 2011. 黑龙江完达山-太平岭成矿带成矿系列与找矿预测(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学. 1-133.
- 梁树昌. 2013. 黑龙江 258 高地多金属矿区物探异常特征及其深部找矿研究[J]. 矿产勘查, 4(5): 531-537.
- 刘凤山, 石准立. 1994. 国外岩浆热液成矿理论[J]. 地质科技情报, 13(2): 75-80.
- 彭渤. 1994. 幔壳成矿作用[J]. 华东地质学院学报, 17(3): 206-211.
- 全传顺, 刘兆龙. 2014. 黑龙江 258 岩金矿床地质特征及找矿潜力研究[J]. 硅谷, 17: 158-159.
- 任海东, 刘兆龙, 姚罡. 2011. 258 岩金成矿特征及找矿远景分析[J]. 民营科技, 7: 159.
- 邵济安, 王成源, 唐克东, 张勤运. 1990. 那丹哈达岭地层与地体的关系[J]. 地层学杂志, 14(4): 286-291.
- 邵济安, 唐克东, 王成源, 臧启家, 张允平. 1991. 那丹哈达地体的构造特征及演化[J]. 中国科学(B 辑), (7): 744-750.
- 邵济安, 王成源, 唐克东. 1992. 乌苏里地区构造新探索[J]. 地质论评, 38(1): 33-39.
- 邵济安, 康克东. 1995. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化[M]. 北京: 地震出版社.
- 水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 1989. 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, 63(3): 204-216.
- 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 丁兴, 胡艳华, 周继彬, 杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 218-225.
- 谭成印. 2009. 黑龙江省主要金属矿产构造-成矿系统基本特征(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学. 1-261.
- 田东江. 2007. 完达山造山带的地质地球化学组成及其演化(硕士学位论文)[D]. 吉林: 吉林大学. 1-76.
- 汪新文. 1997. 东北亚大陆边缘中新代构造事件与演化序列[J]. 地质科技情报, 16(4): 9-15.
- 吴福元, 孙德有, 张广良, 任向文. 2000. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 6(3): 379-388.
- 薛明轩. 2012. 黑龙江省内生金矿成矿作用研究(博士学位论文)[D]. 吉林: 吉林大学. 1-176.
- 杨惠心, 李朋武, 禹惠民. 1989. 中国东北地区主要地体古地磁学研究[J]. 长春科技大学学报, 28(2): 203-205.
- 于介江, 张彦龙, 葛文春, 杨浩. 2013. 三江盆地北缘晚白垩世花岗岩质的年代学、地球化学及构造意义[J]. 岩石学报, 29(2): 369-385.
- 张兴洲, 马玉霞, 迟效国, 张凤旭, 孙跃武, 郭冶, 曾振. 2012. 东北及内蒙古东部地区显生宙构造演化的有关问题[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(5): 1269-1285.
- 张庆龙, 水谷伸治郎, 小岛智, 邵济安. 1989. 黑龙江省那丹哈达地体构造初探[J]. 地质论评, 35(1): 67-71.
- 张世红, 施央申, 孙岩. 1991. 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(地球科学版), 3: 287-294.
- 张勤运. 1990. 中国东北那丹哈达地区三叠纪和侏罗纪的放射虫[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 21: 157-191.
- 赵亮亮. 2011. 黑龙江杂岩构造演化的岩石学与年代学证据(博士学位论文)[D]. 吉林: 吉林大学. 1-82.
- 赵海玲, 邓晋福, 陈发景, 胡泉, 赵世柯. 1996. 东北地区新生代火山作用、深部作用与大陆裂谷型盆地[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 21(6): 615-619.