

内蒙古图古日格金矿床二叠纪侵入岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征

丁成武¹, 戴盼¹, 聂凤军², 张照录¹, 彭云彪³, 张更信³, 李大鹏⁴, 申颖⁴

(1. 山东理工大学资源与环境工程学院, 山东 淄博 255000; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3. 核工业 208 大队, 内蒙古 包头 014010; 4. 山东省地质科学研究院, 山东 济南 250013)

摘要: 对内蒙古图古日格金矿区内的侵入岩开展了地质年代学和地球化学研究。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明, 图古日格矿区内的似斑状花岗岩、花岗岩、角闪岩和蚀变闪长岩的成岩年龄分别为 264.5 ± 1.4 Ma、 278.7 ± 1.0 Ma、 280.6 ± 1.3 Ma 和 288.0 ± 2.6 Ma, 均侵位于二叠纪。图古日格金矿床的成矿年龄 ($268 \sim 259$ Ma) 与矿区内的似斑状花岗岩的活动时间 ($276 \sim 265$ Ma) 相似, 而且矿床的矿体均产出在似斑状花岗岩中或附近, 指示它们之间可能具有密切的成因联系。图古日格金矿床内的二叠纪侵入岩为一套双峰式侵入岩, 矿区内的侵入岩都属于高钾钙碱性系列, 均具有富集大离子亲石元素 (Rb、K、Sr、Pb 等)、亏损高场强元素 (Nb、Ta、Ti 等)、轻稀土元素较富集和轻重稀土元素分异程度较低的特点。这些侵入岩虽然具有类似俯冲带侵入岩的地球化学特征, 但这可能仅仅反映了岩石源区受到了俯冲作用的影响, 不足以制约其构造背景。结合前人研究成果和双峰式侵入岩组合的地球化学特征, 认为图古日格金矿床及矿区内的二叠纪侵入岩形成的构造背景是碰撞后伸展环境。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 碰撞后伸展; 二叠纪; 侵入岩; 图古日格; 兴蒙造山带

中图分类号: P597⁺.3; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2021)02-0236-21

Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of the Permian intrusive rocks in the Tugurige gold deposit in Inner Mongolia

DING Cheng-wu¹, DAI Pan¹, NIE Feng-jun², ZHANG Zhao-lu¹, PENG Yun-biao³, ZHANG Geng-xin³, LI Da-peng⁴ and SHEN Ying⁴

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. No. 208 Geological Party, China National Nuclear Corporation, Baotou 014010, China; 4. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250013, China)

Abstract: The Tugurige gold deposit is located in the western part of the Xing'an-Mongolia Orogenic Belt (XMOB). This paper describes the geochronologic and petrological-geochemical data of the intrusive rocks in the Tugurige gold deposit. The LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from syenogranite, granite, hornblende and diorite in the Tugurige gold deposit yielded weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 264.5 ± 1.4 Ma, 278.7 ± 1.0 Ma, 280.6 ± 1.3 Ma and 288.0 ± 2.6 Ma respectively. The results show that the ages of gold mineralization ($268 \sim 259$ Ma) and syenogranite ($276 \sim 265$ Ma) are the same within error. Geological and geochronological evidence indicates that the syenogranite and gold mineralization have very close genetic relationships. The intrusive rocks in the Tugurige gold deposit are bimodal intrusive rocks, and belong to the high K calc-alkaline series. They are characterized by

收稿日期: 2020-11-03; 接受日期: 2021-02-02; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42002099, 41973048); 山东省自然科学基金青年基金(ZR2018QD002); 山东省重点研发计划项目(2019GSF109101); 山东省地质勘查项目(SDGP370000202002001782)

作者简介: 丁成武(1987-), 男, 讲师, 主要从事岩浆活动与金属成矿作用研究, E-mail: dingchengwu@163.com。

enrichment of large ion lithophile (Rb, Pb, K, Sr) and light rare earth elements (LREE) and depletion of high field strength elements (Nb, Ta, P, Ti). The intrusive rocks in the Tugurige gold deposit have some geochemical characteristics of the intrusive rocks in the subduction zone. This indicates that the source of these intrusive rocks was probably altered or affected by subduction events, but can not constrain their geological background. Combined with geological data available, the authors hold that the intrusions and gold mineralization in the Tugurige area were related to post-collisional extension of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB).

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; post-collisional extension; Permian; intrusive rocks; Tugurige; Xing-Meng Orogenic Belt

Fund support: National Natural Science Foundation of China(42002099, 41973048); Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2018QD002); Key Technology Research and Development Program of the Shandong Province(2019GSF109101); Geological Survey Project of Shandong Province (SDGP370000202002001782)

兴蒙造山带位于华北板块和西伯利亚板块之间,属中亚巨型造山带的东段,是古亚洲洋向华北板块和西伯利亚板块双向俯冲增生闭合的产物(Xu and Chen, 1997; Xiao *et al.*, 2003; Li, 2006; Windley *et al.*, 2007; Jian *et al.*, 2010; 郭磊等, 2015; 杨泽黎等, 2018; Zhang *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2020; 葛茂卉等, 2020),同时也是中蒙边境巨型成矿带的重要组成部分(聂凤军等, 2007)。目前,关于华北板块、西伯利亚板块以及它们之间的微陆块最后碰撞拼合的时间,即古亚洲洋或其它分支洋向华北板块和西伯利亚板块双向俯冲结束并闭合的时间还存在分歧。一种观点认为古亚洲洋闭合时间为晚泥盆世末至早石炭世末,之后该地区进入了碰撞和后碰撞构造演化阶段(洪大卫等, 1994; Shi *et al.*, 2004; 张晓晖等, 2010; Xu *et al.*, 2013, 2015; 徐备等, 2014; 邵济安等, 2014);另一观点则认为闭合时间为晚二叠至早三叠世(Sengör *et al.*, 1993; Chen *et al.*, 2000; Xiao *et al.*, 2003, 2009; 李朋武等, 2006; Li, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Windley, 2007; Miao *et al.*, 2008; 陈衍景等, 2009)。

近年来,在中亚造山带内发现了图古日格(268 Ma, Ding *et al.*, 2016a)、浩尧尔忽洞(又名长山壕)(270 Ma, Wang *et al.*, 2014)、毕立赫(272 Ma, 卿敏等, 2011)、朱拉扎嘎(280 Ma, Ding *et al.*, 2016b; 李俊健等, 2010)、穆龙套(Muruntau, 275 Ma, Morelli *et al.*, 2007)、库姆托尔(Kumtor, 284 Ma)和米坦(Zarmitan, 269 Ma)等多个二叠纪大型金矿床,这些大型金矿床的产出,使得兴蒙造山带显示出了良好的找矿前景和研究意义。图古日格金矿床位于兴蒙造山带西端,属于温都尔庙俯冲增生带(图1a)。该增生带是两大板块拼合及古亚洲洋闭

合的重要区域,研究其二叠纪时期侵入岩及其形成构造背景,可以为限定古亚洲洋最终闭合时限提供依据。图古日格金矿床探明的矿石量为 6.07×10^6 t,金属储量为30 t,平均品位为4 g/t(Ding *et al.*, 2016a)。前人对该矿床的矿石矿物特征、成矿流体及成矿年龄等方面开展了大量研究(丁成武, 2016; 王英德, 2016; 张锋等, 2016; 徐鹤, 2017; 赵旭东, 2018),但是对于其成矿的地球动力学背景以及矿区内广泛发育的各类侵入岩与矿床形成之间的关系还有待深入研究。本文在前人研究的基础上,对图古日格金矿床内的似斑状花岗岩、花岗岩、蚀变闪长岩和角闪石岩等侵入岩开展了U-Pb年代学和主微量元素地球化学特征的研究,探讨了它们的形成时代、成岩地球动力学背景以及与金成矿作用之间的关系,以期探讨兴蒙造山带二叠纪时期的构造背景、金矿化以及古亚洲洋最终闭合的时限提供约束。

1 地质背景

兴蒙造山带是华北板块与西伯利亚板块以及两大板块之间的许多古老微地块组成的构造拼合带(李双林等, 1998; 张万益等, 2008; 童英等, 2010; Li *et al.*, 2015; 孔令杰等, 2017; Zhang *et al.*, 2018),是目前世界上已知的构造-岩浆活动最复杂、发展历史最长的一条增生造山带(Xiao *et al.*, 2009)。随着古亚洲洋的不断收缩,这些微陆块之间以及它们与华北板块和西伯利亚板块之间先后互相碰撞拼合,最终形成一个整体(Sengör *et al.*, 1993; Jahn, 2004; Li, 2006; Liu *et al.*, 2014)。兴蒙造山带由南向北依次划分为白乃庙弧、温都尔庙俯冲增生带、二道井增生杂岩带、宝力道弧增生杂岩带、贺

根山蛇绿岩-弧增生杂岩带和乌里雅苏台活动大陆边缘,它们分别以西拉木伦断裂、索伦-林西断裂、锡林浩特断裂、二连浩特断裂和查干鄂博-鄂伦春断裂为界(图 1a, Xiao *et al.*, 2003, 2009)。

伴随兴蒙造山的构造演化,图古日格金矿区经历了多次构造活动,断裂发育,岩浆活动频繁,变形变质作用广泛。区内发育的地层主要有下元古界宝音图群石英云母片岩、大理岩、石英岩,上白垩统砖红色砂岩,古近系砂岩、粉砂岩和第四系风成砂(图 1)。区内褶皱和断层构造都较为发育,褶皱轴走向以北东向为主,次为北北东和北东东向,图古日格金矿位于一个北东向复式向斜的翼部。区域内断层多为逆断层,多呈北东向、近东西向和北西向展布,在矿区范围内未见大的断裂构造,主要以北西向的次级小断裂为主(图 2, 丁成武, 2016; 王英德, 2016)。

矿区内岩浆岩分布广泛,岩石种类复杂,从超基性岩到酸性岩均有出露。主要侵入岩类型有似斑状花岗岩、花岗岩、蚀变闪长岩、角闪石岩、片麻状花岗岩和黑云母花岗等(图 1、图 2)。似斑状花岗岩主要分布在矿区的中部,呈岩基状产出,是矿区范围内出露最大的岩体,也是主要的赋矿围岩,矿区内的绝大部分含金石英脉都呈北西向穿插其中。花岗岩在矿区范围内基本没有出露,主要分布于似斑状花岗岩的边部和深部,可能是似斑状花岗岩的边缘相产物。蚀变闪长岩主要分布在矿区的西南部、西北部和东北部,出露面积仅次于似斑状花岗岩。角闪石岩在矿区内的出露面积较小,分布在矿区西部,不连续的产出于蚀变闪长岩中(图 2)。

除侵入岩体外,区内脉岩发育,脉体沿着裂隙广泛分布,走向与构造线基本一致,主要有石英脉、花岗闪长岩脉、闪长玢岩脉、石英斑岩脉和碳酸岩脉等(图 1, Ding *et al.*, 2016a; 徐鹤, 2017)。图古日格金矿床的矿体主要为石英脉型矿体,次为夹石英细脉的蚀变岩型矿体。矿体基本上切穿了矿区内的所有岩层,如似斑状花岗岩、蚀变闪长岩、花岗岩以及宝音图群,但是主要产出在似斑状花岗岩和蚀变闪长岩中(图 2, 曹海清等, 2008; 王键等, 2016; 丁成武, 2016; 赵旭东, 2018)。

目前矿区内共圈出 14 条矿体(图 2),这些矿体的长度一般为 250~1 040 m,平均厚度为 0.76~1.53 m,平均品位为 $2.85 \times 10^{-6} \sim 9.95 \times 10^{-6}$ 。其中 2-1-1、2-1-2 和 2-1-3 为隐伏矿体,7、2、2-2、2-1、2-3、125 和

33 号矿体为石英脉型矿体,7-21、7-22、18-1、2-6、2-1-1、2-1-2 和 2-1-3 号矿体为夹石英细脉的蚀变岩型矿体。7 号矿体主要赋存在角闪岩中,2-3 号矿体赋存在下元古界宝音图群第 3 岩组中,其余矿体均产出在似斑状花岗岩中(丁成武, 2016)。图古日格金矿床的矿石可分为含金石英脉型矿石和含金蚀变岩型矿石两种,前者是该矿床最主要的矿石类型,后者为矿区内新发现的矿石类型,多位于深部,主要为蚀变的似斑状花岗岩(丁成武, 2016)。

2 样品采集及岩相学特征

主要采集了图古日格矿区内的似斑状花岗岩(TG-4、TGY-12、TG14-38、TGY-15)、花岗岩(TGY-07)、蚀变闪长岩(TGY-3、TGY-5、TG14-9、TGY-18)和角闪石岩(TGY-1、TG-17、TG-18、TG14-30)等侵入岩样品,为了保证岩体样品新鲜,排除风化等因素对测试结果的影响,所采的样品大部分是钻孔岩芯。其中,TG-4 号样品采自 2 号斜井附近;TGY-12 号样品为 2 号脉 ZK37-5 号钻孔 71.4 m 处岩芯;TGY-15 号样品为 2-1 号脉 ZK5-4 号钻孔 209.5 m 处岩芯;TG14-38 的采样位置为 $107^{\circ}34.311'E$ 、 $42^{\circ}09.814'N$ 。TGY-07 号样品为 7 号脉 ZK18-5 号钻孔 298.5 m 处岩芯。TGY-1 号样品为 7 号脉 ZK18-5 号钻孔 380 m 处岩芯;TG-17、TG-18 和 TG14-30 号样品采自 7 号脉 1 号竖井附近。TGY-3 和 TGY-5 号样品分别是 7 号脉 zk18-5 号钻孔 57 m 和 46 m 处岩芯;TGY-18 号样品为 2-1 号脉 ZK18-5 号钻孔 15 m 处岩芯;TG14-9 号样品采至 7 号脉 ZK18-5 号钻孔孔口附近(图 2)。

似斑状花岗岩整体呈灰白-浅红色,自形-半自形似斑状不等粒结构,块状构造,主要由钾长石(长条状,自形程度较高,体积分数约为 60%)、石英(半自形-自形粒状,约 25%)、斜长石(自形-半自形长条状、粒状,约 10%)以及少量黑云母(约 2%)和角闪石(约 2%)组成,斑晶为钾长石,粒径最大可达 1.5 cm(图 3a、3b、3c)。

花岗岩整体呈灰白色,中粗粒不等粒结构,块状构造,主要由斜长石(约 45%)、石英(约 20%)以及少量的角闪石(5%)和黑云母(5%)组成,其中斜长石呈半自形-自形长条状、粒状,绝大部分发生高岭土化和绢云母化,残留晶偶见聚片双晶纹,石英呈它形粒状,表面较为干净(图 3d、3e、3f)。

角闪石岩整体呈深黑色,中粗粒结构,块状构

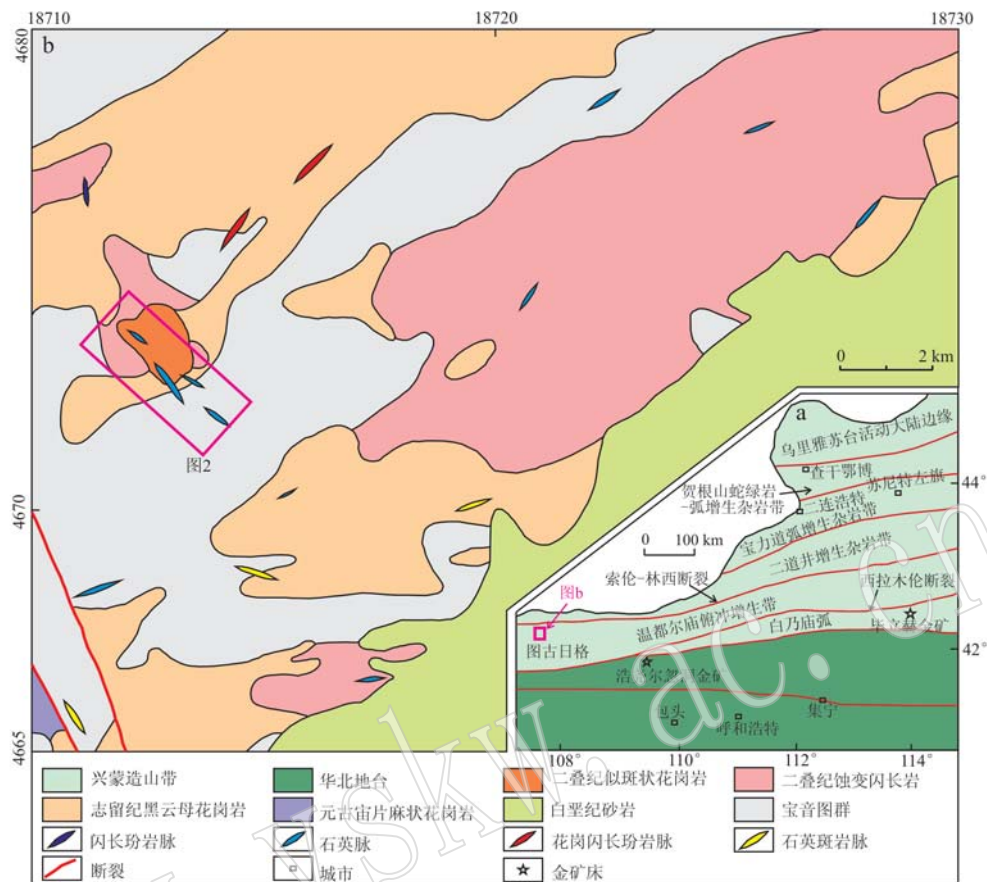


图 1 图古日格金矿床区域地质图(据 Xiao *et al.*, 2009; Ding *et al.*, 2016a)

Fig. 1 Simplified regional geological map around the Tugurige gold deposit (after Xiao *et al.*, 2009; Ding *et al.*, 2016a)

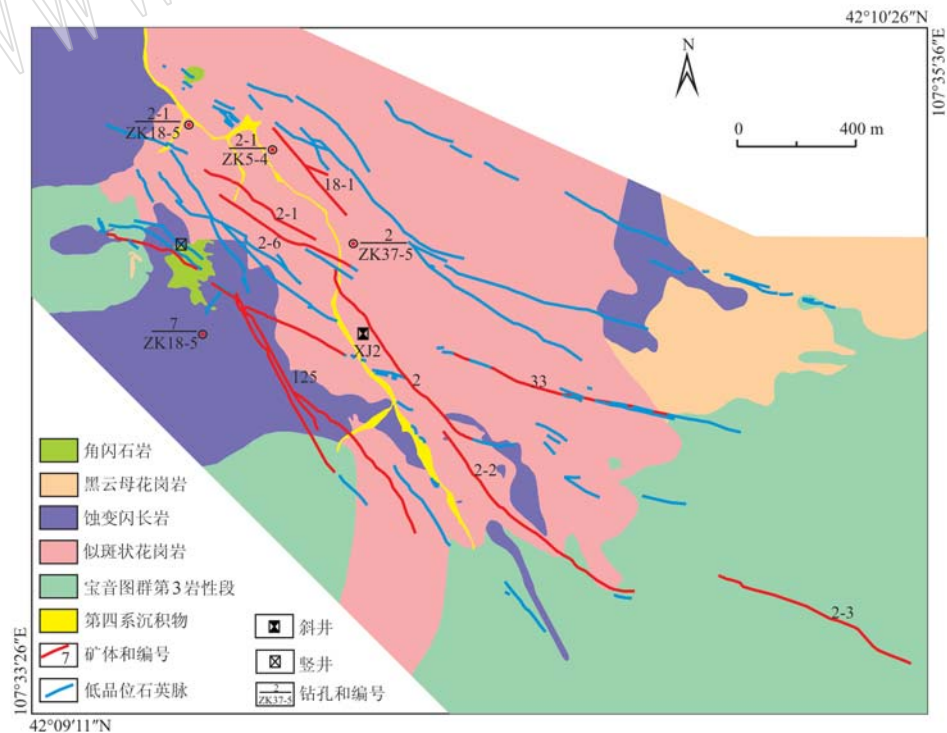


图 2 图古日格金矿床地质简图(据丁成武, 2016)

Fig. 2 Simplified geological map of the Tugurige gold deposit (after Ding Chengwu, 2016)

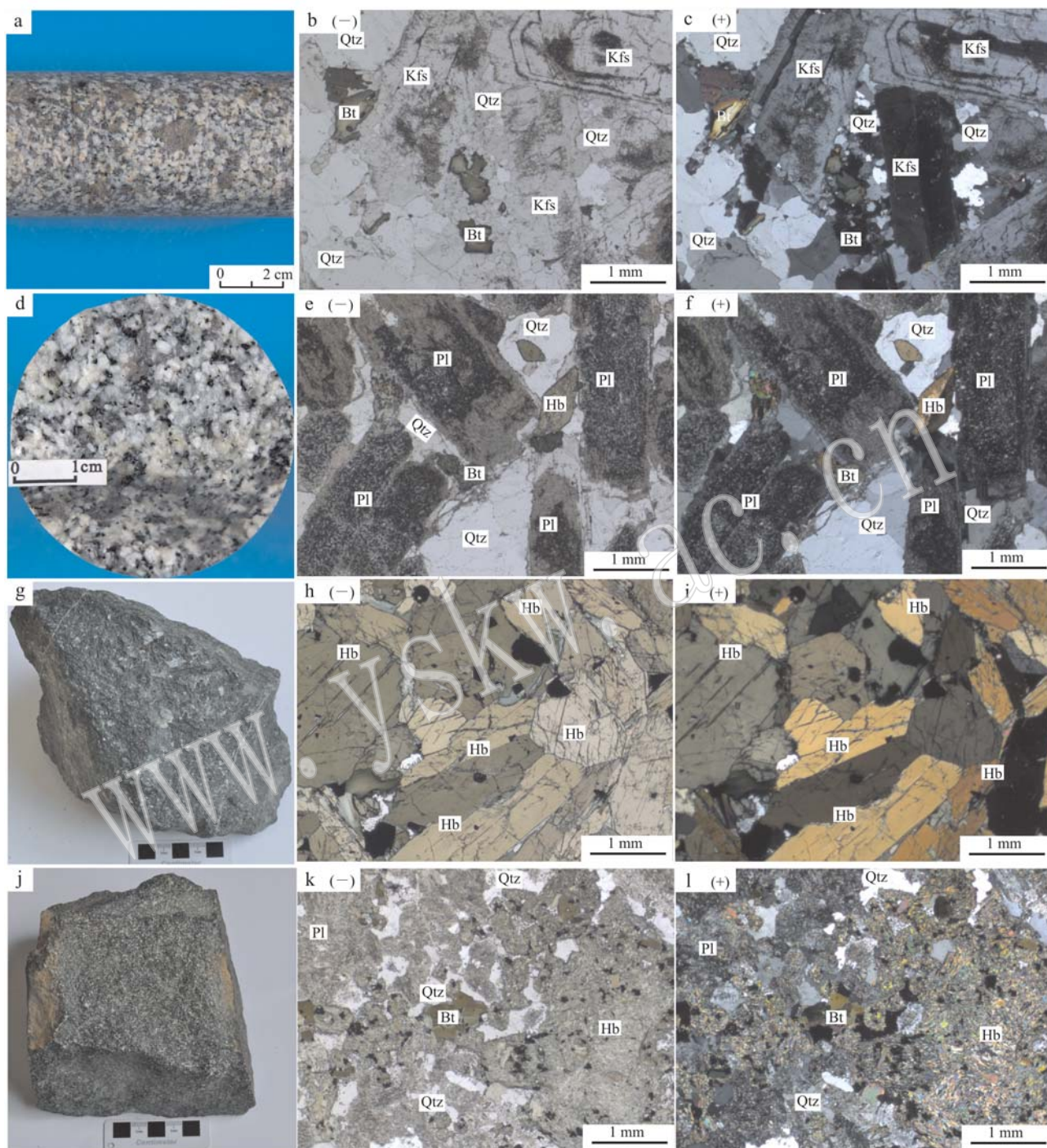


图 3 图古日格金矿床侵入岩手标本和镜下特征

Fig. 3 Hand specimen photographs and photomicrographs of the intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

a, b, c—似斑状花岗岩; d, e, f—花岗岩; g, h, i—角闪岩; j, k, l—蚀变闪长岩; Bt—黑云母; Hb—角闪石; Qtz—石英;
Pl—斜长石; Kfs—钾长石

a, b, c—porphyritic granite; d, e, f—granite; g, h, i—hornblende; j, k, l—altered diorite; Bt—biotite; Hb—hornblende; Qtz—quartz;
Pl—plagioclase; Kfs—K-feldspar

造,主要由角闪石组成(约 95%),呈中粗粒短柱状,局部颗粒可见简单双晶,部分颗粒解理发育较好处可见两组清晰的斜交解理,解理夹角为 56° ,角闪石

发生了一定程度的碳酸盐化和磁铁矿化;斜长石(约 5%)呈半自形-自形长条状、粒状,几乎全部发生绢云母化,偶有保存较好者还可见斜长石的双晶纹(图

3g、3h、3i)。

蚀变闪长岩整体呈黑色,中细粒结构,块状构造,主要由角闪石(约 55%)、斜长石(约 25%)、黑云母(约 10%)以及少量石英(约 5%)组成。其中斜长石呈半自形-自形长条状、粒状,几乎全部发生绢云母化,残留晶聚片双晶纹依然保存。角闪石蚀变较强,几乎全部蚀变为绿泥石,光性特征已不明显,仅偶可见角闪石残晶晶形(图 3j、3k、3l)。

3 测试与方法

岩石样品的前期处理和薄片磨制工作由廊坊科大岩石矿物分选技术服务公司完成。主量元素分析在核工业北京地质研究院分析测试中心采用 X 射线荧光光谱法(XRF, 飞利浦 PW2404)和化学分析法(CA)完成。其中 CA 仅用于测定样品中 FeO 的含量,测定范围>0.5%,分析误差<10%;其他主量元素含量采用 XRF 法完成,对标样(GSR-1 和 GSR-3)的测试结果显示,元素的测定精度可达 0.01%,分析误差<5%。微量元素分析在核工业北京地质研究院分析测试中心,采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS, PerkinElmer, Elan DCR-e 型等离子体质谱分析仪)完成,详细实验测试过程可参见丁成武(2016),对标样(GSR-1 和 GSR-3)的测试结果显示,微量元素含量大于 10×10^{-6} 时相对误差<5%,小于 10×10^{-6} 时相对误差<10%(Rudnick *et al.*, 2004)。

锆石挑选工作由廊坊科大岩石矿物分选技术服务公司完成。锆石制靶和光学显微镜照相在北京地时科技有限公司进行,使用的阴极发光装置为 Gatan 公司生产的 MiniCL,电子光学显微系统为德国 LEO1450VP。根据锆石的阴极发光、透射光和反射光照片为每个样品选取 25 个环带明显、干净、透明的点位。锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 LA-MC-ICP-MS 实验室完成,所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 25 μm ,频率为 10 Hz,能量密度约为 $2.5 \text{ J}/\text{cm}^2$,以 He 为载气。锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标(Nasdala *et al.*, 2008),测试过程中在每测定 5~7 个样品点就测定两次锆石 GJ1,并测量 1 次锆石 Plesovice,详细实验测试过程可参见侯可军等(2009)。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu *et al.*, 2008),锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获

得(Ludwig, 2003)。样品分析过程中,对均匀锆石颗粒 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的测试精度(2σ)均为 2%左右,对标准锆石的定年精度和准确度在 1%(2σ)左右。Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为 $336.0 \pm 1.1 \text{ Ma}$ ($n=10$, 2σ),对应的年龄推荐值为 337.13 ± 0.37 (2σ)(Slama *et al.*, 2008),两者在误差范围内完全一致。

4 结果与分析

4.1 锆石 U-Pb 年代学

TG14-38 似斑状花岗岩样品的锆石晶型比较完整,略有破碎,自形良好,晶棱晶面清晰,呈短柱状,长约 130~210 μm ,宽约 60~100 μm ,长宽比约 2.5:1~1.5:1,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带,而且在部分锆石的核部包裹有浅色的继承锆石(图 4a)。TCY-07 花岗岩样品的锆石比较完整,略有破碎,自形良好,晶棱晶面清晰,颜色较深,可能铅含量比较高,呈短柱状,长约 70~200 μm ,宽约 40~90 μm ,长宽比约 3:1~1.5:1,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带(图 4b)。TG-17 角闪岩样品的锆石较小,略有破碎,自形良好,晶棱晶面清晰,呈粒状、短柱状,长约 50~200 μm ,宽约 40~100 μm ,长宽比约 3:1~1:1,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带(图 4c)。TCY-18 蚀变闪长岩样品的锆石自形良好,晶棱晶面清晰,呈长柱状,多发生了断裂,长约 150~300 μm ,宽约 40~80 μm ,长宽比约 6:1~2:1,阴极发光图中韵律环带发育不明显(图 4d)。

在所获得的测试点数据中,为了减少继承铅、铅丢失等对年龄的影响,把在 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 图中谐和度低于 90%的年龄数据进行了剔除,最后得到的测试数据见表 1。

TG14-38 似斑状花岗岩样品共有 16 个点的谐和度高于 90%(表 1),锆石的 ^{238}U 含量为 151.94×10^{-6} ~ 601.56×10^{-6} , ^{232}Th 含量为 115.83×10^{-6} ~ 362.70×10^{-6} ,Th/U 值为 0.39~1.42,绝大多数介于 0.39~0.76 之间,获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值变化范围为 430.6~260.3 Ma,绝大多数在 269.3~260.3 Ma 之间,去掉异常测点 6 的年龄值,其他 15 个测点的年龄结果十分一致,均分布于谐和线上,且呈群分布(图 5a),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $264.5 \pm 1.4 \text{ Ma}$ ($n=15$, MSWD=0.66),代表了该组锆石的结晶

表 1 图古日格金矿床侵入岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb data of intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

样品号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值				年龄/Ma				谐和度/%								
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ									
TG14-38-1	177.70	248.53	444.64	0.56	0.055 72	0.001 43	0.320 01	0.007 85	0.042 14	0.000 44	0.010 91	0.000 35	442.6	57.4	281.9	6.0	266.1	2.7	219.3	7.0	94
TG14-38-2	120.30	167.52	428.54	0.39	0.054 31	0.002 51	0.309 06	0.013 93	0.041 36	0.000 94	0.010 82	0.000 60	383.4	103.7	273.5	10.8	261.3	5.8	217.6	12.0	95
TG14-38-3	241.60	362.70	474.15	0.76	0.053 87	0.001 31	0.309 36	0.007 29	0.041 68	0.000 30	0.010 34	0.000 29	364.9	55.6	273.7	5.7	263.2	1.9	208.0	5.8	96
TG14-38-4	153.80	204.83	407.92	0.50	0.056 76	0.007 29	0.332 03	0.044 62	0.041 93	0.001 12	0.011 47	0.000 55	483.4	287.0	291.1	34.0	264.8	7.0	230.6	11.0	90
TG14-38-5	224.10	344.35	531.08	0.65	0.055 43	0.002 33	0.315 28	0.013 18	0.041 21	0.000 48	0.010 09	0.000 39	431.5	94.4	278.3	10.2	260.3	3.0	202.9	7.7	93
TG14-38-6	217.90	215.45	151.94	1.42	0.055 74	0.001 60	0.526 18	0.014 73	0.069 07	0.000 67	0.016 29	0.000 46	442.6	64.8	429.3	9.8	430.6	4.1	326.6	9.1	99
TG14-38-7	84.70	115.83	228.04	0.51	0.053 78	0.001 77	0.307 17	0.009 76	0.041 79	0.000 45	0.011 11	0.000 38	361.2	74.1	272.0	7.6	263.9	2.8	223.3	7.6	96
TG14-38-8	113.90	155.37	317.15	0.49	0.053 31	0.001 67	0.309 67	0.009 48	0.042 46	0.000 45	0.011 50	0.000 41	342.7	39.8	273.9	7.4	268.0	2.8	231.2	8.1	97
TG14-38-9	117.40	150.36	267.64	0.56	0.054 77	0.002 28	0.317 49	0.012 39	0.042 67	0.000 60	0.012 15	0.000 47	466.7	94.4	280.0	9.5	269.3	3.7	244.0	9.3	96
TG14-38-10	138.30	185.00	223.55	0.83	0.054 50	0.001 83	0.310 43	0.010 50	0.041 52	0.000 46	0.011 63	0.000 35	390.8	71.3	274.5	8.1	262.3	2.8	233.7	7.0	95
TG14-38-11	212.40	261.77	466.62	0.56	0.055 42	0.002 66	0.317 07	0.013 43	0.042 00	0.000 77	0.012 36	0.000 49	427.8	107.4	279.6	10.4	265.2	4.7	248.2	9.9	94
TG14-38-12	140.10	192.61	197.68	0.97	0.053 01	0.001 69	0.308 90	0.009 88	0.042 41	0.000 40	0.011 00	0.000 33	327.8	72.2	273.3	7.7	267.8	2.5	221.1	6.6	97
TG14-38-13	173.00	242.34	585.50	0.41	0.052 53	0.000 94	0.302 68	0.005 31	0.041 79	0.000 26	0.010 37	0.000 30	309.3	8.3	268.5	4.1	263.9	1.6	208.6	5.9	98
TG14-38-14	154.50	202.81	360.75	0.56	0.055 11	0.001 50	0.316 49	0.008 30	0.041 77	0.000 36	0.011 11	0.000 34	416.7	61.1	279.2	6.4	263.8	2.2	223.4	6.8	94
TG14-38-15	258.20	295.08	601.56	0.49	0.055 72	0.001 43	0.320 01	0.007 85	0.042 14	0.000 44	0.010 91	0.000 35	438.9	152.8	283.4	18.2	263.3	6.0	249.9	13.5	92
TG14-38-16	195.20	223.11	437.82	0.51	0.054 31	0.002 51	0.309 06	0.013 93	0.041 36	0.000 94	0.010 82	0.000 60	500.0	172.2	285.7	17.9	263.8	6.1	251.2	13.6	92
TGY07-01	62.60	782.33	1 295.12	0.60	0.052 70	0.001 87	0.324 00	0.011 85	0.044 41	0.000 59	0.010 15	0.000 40	316.7	81.5	285.0	9.1	280.1	3.7	204.1	8.0	98
TGY07-02	55.63	641.88	1 106.40	0.58	0.052 49	0.001 22	0.318 94	0.006 94	0.044 13	0.000 44	0.012 32	0.000 38	305.6	56.5	281.1	5.3	278.4	2.7	247.5	7.7	99
TGY07-03	40.48	256.86	860.13	0.30	0.055 28	0.00120	0.337 86	0.007 09	0.044 31	0.000 33	0.013 52	0.000 45	433.4	48.1	295.5	5.4	279.5	2.1	271.4	9.1	94
TGY07-04	50.83	466.17	1 054.51	0.44	0.052 54	0.001 06	0.320 62	0.006 52	0.044 15	0.000 30	0.012 16	0.000 41	309.3	46.3	282.4	5.0	278.5	1.9	244.3	8.2	98
TGY07-05	65.74	638.13	1 349.19	0.47	0.054 89	0.001 08	0.335 33	0.006 85	0.044 17	0.000 35	0.012 14	0.000 45	409.3	42.6	293.6	5.2	278.6	2.1	243.9	8.9	94
TGY07-06	68.33	562.21	1 438.99	0.39	0.054 28	0.000 97	0.330 81	0.006 00	0.044 09	0.000 29	0.012 72	0.000 53	383.4	38.9	290.2	4.6	278.1	1.8	255.5	10.6	95
TGY07-07	53.00	381.70	1 099.84	0.35	0.057 76	0.001 29	0.354 38	0.007 10	0.044 63	0.000 38	0.013 95	0.000 55	520.4	48.1	308.0	5.3	281.5	2.3	280.1	10.9	90
TGY07-08	53.36	568.99	1 247.49	0.46	0.053 48	0.001 26	0.288 26	0.006 61	0.039 13	0.000 43	0.010 69	0.000 39	350.1	86.1	257.2	5.2	247.4	2.6	215.0	7.8	96
TGY07-09	18.04	261.90	355.61	0.74	0.049 49	0.001 44	0.301 67	0.008 70	0.044 26	0.000 45	0.011 44	0.000 40	172.3	68.5	267.7	6.8	279.2	2.8	230.0	8.0	95
TGY07-10	72.82	559.19	1 535.94	0.36	0.050 97	0.000 91	0.311 40	0.005 49	0.044 30	0.000 32	0.012 99	0.000 44	239.0	40.7	275.3	4.3	279.5	2.0	260.9	8.7	98
TGY07-11	49.08	512.60	1 001.65	0.51	0.053 61	0.001 09	0.328 10	0.006 98	0.044 36	0.000 41	0.012 70	0.000 46	353.8	78.7	288.1	5.3	279.8	2.5	255.1	9.2	97
TGY07-12	39.58	299.35	845.71	0.35	0.052 18	0.000 98	0.316 62	0.006 03	0.043 97	0.000 29	0.012 83	0.000 50	294.5	47.2	279.3	4.6	277.4	1.8	257.6	10.0	99
TGY07-13	86.96	724.04	1 785.38	0.41	0.055 71	0.000 87	0.336 80	0.005 58	0.043 76	0.000 30	0.015 35	0.002 22	442.6	35.2	294.7	4.2	276.1	1.9	307.9	44.2	93
TGY07-14	57.03	529.75	1 188.64	0.45	0.052 67	0.001 06	0.321 20	0.006 72	0.044 16	0.000 36	0.012 69	0.000 44	322.3	13.9	282.8	5.2	278.6	2.1	254.8	8.7	98
TGY07-15	46.08	414.75	974.06	0.43	0.051 46	0.001 04	0.312 44	0.006 57	0.043 98	0.000 36	0.012 60	0.000 42	261.2	46.3	276.1	5.1	277.5	2.2	253.1	8.4	99
TGY07-16	47.58	478.60	978.72	0.49	0.057 32	0.001 20	0.348 34	0.006 73	0.044 18	0.000 34	0.012 66	0.000 40	505.6	46.3	303.5	5.1	278.7	2.1	254.2	8.0	91
TGY07-17	3.82	60.20	81.63	0.74	0.048 02	0.003 22	0.254 45	0.015 31	0.039 72	0.000 74	0.012 18	0.000 53	98.2	151.8	230.2	12.4	251.1	4.6	244.6	10.7	91
TGY07-18	64.44	762.09	1 315.65	0.58	0.052 88	0.001 04	0.323 11	0.006 68	0.044 27	0.000 37	0.011 87	0.000 37	324.1	44.4	284.3	5.1	279.2	2.3	238.5	7.5	98
TGY07-19	63.16	759.51	1 500.63	0.51	0.052 91	0.001 16	0.286 90	0.006 80	0.039 29	0.000 46	0.009 59	0.000 36	324.1	48.1	256.1	5.4	248.4	2.8	192.9	7.3	96
TGY07-20	20.88	331.52	392.86	0.84	0.051 47	0.001 73	0.315 23	0.010 39	0.044 54	0.000 40	0.012 03	0.000 39	261.2	80.5	278.2	8.0	280.9	2.5	241.6	7.9	99
TGY07-21	8.06	133.12	153.45	0.87	0.053 42	0.002 66	0.322 13	0.015 58	0.044 20	0.000 55	0.011 65	0.000 43	346.4	113.0	283.5	12.0	278.8	3.4	234.0	8.5	98
TGY07-22	50.59	662.89	994.38	0.67	0.056 07	0.001 23	0.341 84	0.007 39	0.044 52	0.000 66	0.012 27	0.000 39	453.8	48.1	298.6	5.6	280.8	4.1	246.5	7.8	93

续表 1
Continued Table 1

样品号	$n_{\text{P}}/10^{-6}$			Th/U	同位素比值				年龄/Ma				谐和度								
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	1σ	度/%							
TG17-01	19.68	247.02	407.71	0.61	0.053 82	0.001 83	0.331 68	0.012 64	0.044 65	0.000 68	0.011 87	0.000 41	364.9	77.8	290.8	9.6	281.6	4.2	238.5	8.1	96
TG17-02	29.98	537.40	535.14	1.00	0.053 04	0.001 47	0.326 86	0.009 67	0.044 66	0.000 52	0.013 40	0.000 42	331.5	63.0	287.2	7.4	281.7	3.2	269.1	8.4	98
TG17-03	39.89	475.70	829.10	0.57	0.052 69	0.001 16	0.321 20	0.006 80	0.044 39	0.000 47	0.012 54	0.000 44	316.7	50.0	282.8	5.2	280.0	2.9	251.8	8.7	98
TG17-04	24.04	284.17	493.62	0.58	0.050 52	0.001 51	0.310 24	0.009 35	0.044 74	0.000 56	0.012 48	0.000 51	220.4	68.5	274.4	7.2	282.1	3.5	250.8	10.1	97
TG17-05	54.91	668.83	1 119.98	0.60	0.055 44	0.001 22	0.339 95	0.006 90	0.044 60	0.000 36	0.011 79	0.000 41	431.5	45.4	297.1	5.2	281.3	2.2	237.0	8.2	94
TG17-06	31.99	400.94	659.19	0.61	0.052 45	0.001 32	0.319 89	0.007 82	0.044 36	0.000 40	0.011 64	0.000 40	305.6	52.8	281.8	6.0	279.8	2.5	234.0	8.1	99
TG17-07	16.27	232.61	326.94	0.71	0.051 88	0.001 59	0.316 69	0.009 75	0.044 39	0.000 46	0.012 01	0.000 42	279.7	70.4	279.4	7.5	280.0	2.8	241.2	8.4	99
TG17-08	21.41	358.65	406.69	0.88	0.050 27	0.001 64	0.307 79	0.009 85	0.044 69	0.000 49	0.012 63	0.000 42	209.3	75.9	272.5	7.6	281.8	3.0	253.8	8.4	96
TG17-09	23.57	330.52	527.13	0.63	0.051 58	0.002 08	0.284 04	0.010 94	0.040 10	0.000 47	0.010 94	0.000 41	264.9	97.2	253.9	8.6	253.5	2.9	219.9	8.3	99
TG17-10	60.09	844.00	1 239.46	0.68	0.057 13	0.001 11	0.347 64	0.007 19	0.043 98	0.000 30	0.010 21	0.000 38	498.2	42.6	302.9	5.4	277.5	1.9	205.4	7.7	91
TG17-11	12.00	175.42	236.22	0.74	0.049 81	0.002 06	0.301 49	0.012 15	0.044 23	0.000 50	0.012 13	0.000 50	187.1	96.3	267.6	9.5	279.0	3.1	243.6	9.9	95
TG17-12	10.94	142.02	213.85	0.66	0.053 98	0.002 17	0.331 97	0.013 36	0.044 79	0.000 54	0.012 92	0.000 51	368.6	90.7	291.1	10.2	282.4	3.4	259.4	10.1	96
TG17-13	28.42	236.78	594.35	0.40	0.051 93	0.001 56	0.321 40	0.009 59	0.045 02	0.000 60	0.012 89	0.000 48	283.4	68.5	283.0	7.4	283.9	3.7	258.8	9.5	99
TG17-14	13.47	203.60	255.36	0.80	0.054 08	0.002 17	0.333 59	0.014 24	0.044 76	0.000 59	0.012 68	0.000 52	376.0	90.7	292.3	10.8	282.2	3.7	254.6	10.3	96
TG17-15	28.91	315.84	575.31	0.55	0.051 88	0.001 37	0.321 37	0.008 83	0.044 93	0.000 51	0.012 76	0.000 53	279.7	59.3	283.0	6.8	283.3	3.1	256.3	10.6	99
TG17-16	31.38	402.69	609.64	0.66	0.051 98	0.001 55	0.318 64	0.008 60	0.044 79	0.000 56	0.012 75	0.000 49	283.4	68.5	280.9	6.6	282.5	3.4	256.0	9.8	99
TG17-17	36.49	554.65	683.75	0.81	0.054 08	0.001 57	0.331 80	0.010 90	0.044 46	0.000 71	0.012 74	0.000 46	376.0	64.8	290.9	8.3	280.4	4.4	255.8	9.1	96
TG17-18	18.05	359.16	547.46	0.66	0.050 25	0.001 81	0.200 27	0.007 29	0.028 96	0.000 34	0.008 21	0.000 30	205.6	83.3	185.4	6.2	184.0	2.1	165.3	6.1	99
TG17-19	58.76	1 465.20	1 075.31	1.36	0.056 54	0.001 29	0.345 66	0.007 46	0.044 57	0.000 57	0.008 52	0.000 28	472.3	51.8	301.5	5.6	281.1	3.5	171.5	5.6	93
TG17-20	38.99	475.20	764.07	0.62	0.054 03	0.001 83	0.334 01	0.012 48	0.044 70	0.000 55	0.012 73	0.000 47	372.3	80.5	292.6	9.5	281.9	3.4	255.7	9.4	96
TG17-21	16.36	219.67	328.80	0.67	0.050 56	0.001 66	0.306 40	0.010 07	0.044 12	0.000 46	0.012 21	0.000 40	220.4	75.9	271.4	7.8	278.3	2.8	245.3	7.9	97
TGY18-01	34.05	601.58	582.22	1.03	0.058 64	0.003 97	0.382 41	0.027 27	0.047 13	0.000 55	0.015 34	0.000 61	553.7	148.1	328.8	20.0	296.9	3.4	307.7	12.2	90
TGY18-02	41.92	916.44	759.03	1.21	0.055 51	0.003 51	0.331 99	0.023 57	0.043 23	0.000 75	0.013 35	0.000 52	431.5	140.7	291.1	18.0	272.8	4.6	268.1	10.3	93
TGY18-03	22.65	355.18	424.50	0.84	0.056 95	0.002 36	0.355 04	0.014 08	0.045 46	0.000 46	0.014 51	0.000 53	500.0	97.2	308.5	10.5	286.6	2.9	291.2	10.6	92
TGY18-04	35.40	658.70	599.25	1.10	0.059 09	0.014 01	0.375 18	0.069 79	0.046 58	0.002 49	0.013 97	0.000 70	568.6	448.1	323.5	51.6	293.5	15.4	280.4	14.0	90
TGY18-05	38.30	798.46	641.43	1.24	0.054 95	0.001 88	0.347 23	0.011 65	0.045 85	0.000 43	0.013 33	0.000 30	409.3	75.9	302.6	8.8	289.0	2.7	267.6	6.0	95
TGY18-06	36.19	614.25	658.64	0.93	0.052 51	0.002 87	0.330 42	0.019 92	0.045 56	0.001 27	0.013 27	0.000 29	309.3	119.4	289.9	15.2	287.2	7.8	266.5	5.8	99
TGY18-07	28.41	485.17	515.80	0.94	0.053 16	0.001 66	0.333 04	0.010 78	0.045 34	0.000 39	0.013 28	0.000 23	344.5	70.4	291.9	8.2	285.8	2.4	266.7	4.5	97
TGY18-08	61.62	1 349.13	998.02	1.35	0.055 21	0.002 92	0.355 17	0.019 44	0.046 54	0.000 58	0.013 10	0.000 34	420.4	150.9	308.6	14.6	293.3	3.5	263.2	6.8	94
TGY18-09	33.88	675.01	600.39	1.12	0.052 40	0.001 41	0.326 82	0.008 67	0.045 25	0.000 37	0.012 59	0.000 28	301.9	61.1	287.1	6.6	285.3	2.3	253.0	5.5	99
TGY18-10	46.72	931.73	803.01	1.16	0.057 36	0.002 22	0.362 07	0.013 71	0.045 73	0.000 41	0.013 19	0.000 40	505.6	85.2	313.8	10.2	288.3	2.5	264.9	8.1	91
TGY18-11	51.07	1 111.11	859.45	1.29	0.054 87	0.001 53	0.348 16	0.009 50	0.045 94	0.000 41	0.013 05	0.000 41	405.6	67.6	303.3	7.2	289.5	2.5	262.0	8.2	95
TGY18-12	33.39	803.86	608.22	1.32	0.057 45	0.003 04	0.331 94	0.016 21	0.042 02	0.000 50	0.012 48	0.000 46	509.3	116.7	291.0	12.4	265.3	3.1	250.6	9.1	90
TGY18-13	40.67	730.58	689.30	1.06	0.054 43	0.003 11	0.358 04	0.009 82	0.047 86	0.002 02	0.014 69	0.000 73	387.1	134.2	310.7	7.3	301.4	12.4	294.7	14.6	96
TGY18-14	27.43	594.64	505.17	1.18	0.052 68	0.001 70	0.320 64	0.009 84	0.044 41	0.000 56	0.013 20	0.000 43	322.3	74.1	282.4	7.6	280.1	3.4	265.1	8.5	99
TGY18-15	12.41	134.54	212.31	0.63	0.058 21	0.003 82	0.418 90	0.026 86	0.052 44	0.000 78	0.017 13	0.000 75	538.9	144.4	355.3	19.2	329.5	4.8	343.3	14.9	92



图 4 图古日格金矿床侵入岩典型锆石阴极发光 (CL) 图像和 LA-ICP-MS 测试位置

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images and dating spots of zircons from the intrusive rocks in the Tugurige gold deposit

年龄 (图 5b)。点 6 (430.6 Ma) 的年龄值明显偏大, 其剥蚀位置位于锆石的核部 (图 4a), 可能代表了继承核的形成时代。

TGY-07 花岗岩样品共有 22 个点的谐和度高于 90% (表 1), 锆石的 ^{238}U 含量为 $81.63 \times 10^{-6} \sim 1785.38 \times 10^{-6}$, ^{232}Th 含量为 $60.20 \times 10^{-6} \sim 782.33 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.29 \sim 0.87$, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值变化范围为 $281.5 \sim 247.4$ Ma, 绝大多数在 $281.5 \sim 276.1$ Ma 之间, 去掉 3 个异常测点 (8、17、19) 年龄值, 其他 19 个测点的年龄结果十分一致, 均分布于谐和线上, 且呈群分布 (图 5c), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 278.7 ± 1.0 Ma ($n = 19$, $\text{MSWD} = 0.34$), 代表了该组锆石的结晶年龄 (图 5d)。点 8 (247.4 Ma)、点 17 (251.1 Ma) 和点 19 (248.4 Ma) 的年龄值明显偏小, 点 17 所处的锆石的明暗程度以及形态与其他锆石明显不同 (图 4b), 其中的铀铅含量也明显偏低 (表 1), 可能是其他成因的锆石, 代表了后期的

一些地质活动; 点 8 的年龄偏差可能是由于锆石太小 (图 4b) 而被激光打穿造成的; 从透射光照片上可以看出点 19 所处的位置在存在大量微裂隙, 这可能是造成其年龄偏差的原因。

TG-17 角闪石岩样品共有 21 个点的谐和度高于 90% (表 1), 锆石的 ^{238}U 含量为 $213.85 \times 10^{-6} \sim 1239.46 \times 10^{-6}$, ^{232}Th 含量为 $142.02 \times 10^{-6} \sim 1465.2 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.40 \sim 1.36$, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值变化范围为 $283.9 \sim 184.0$ Ma, 绝大多数年龄在 $283.9 \sim 277.5$ Ma 之间, 去掉 2 个异常测点 (9、18) 年龄值, 其他 19 个测试点的年龄结果十分一致, 均分布于谐和线上 (图 5e), 且呈群分布, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 280.6 ± 1.3 Ma ($n = 19$, $\text{MSWD} = 0.39$), 代表了该组锆石的结晶年龄 (图 5f)。点 9 (253.5 Ma) 和点 18 (184 Ma) 的年龄值明显偏小, 点 18 所处锆石的明暗程度以及形态与其他锆石明显不同 (图 4c), 可能具有不同的来源; 点 9 的年龄偏差

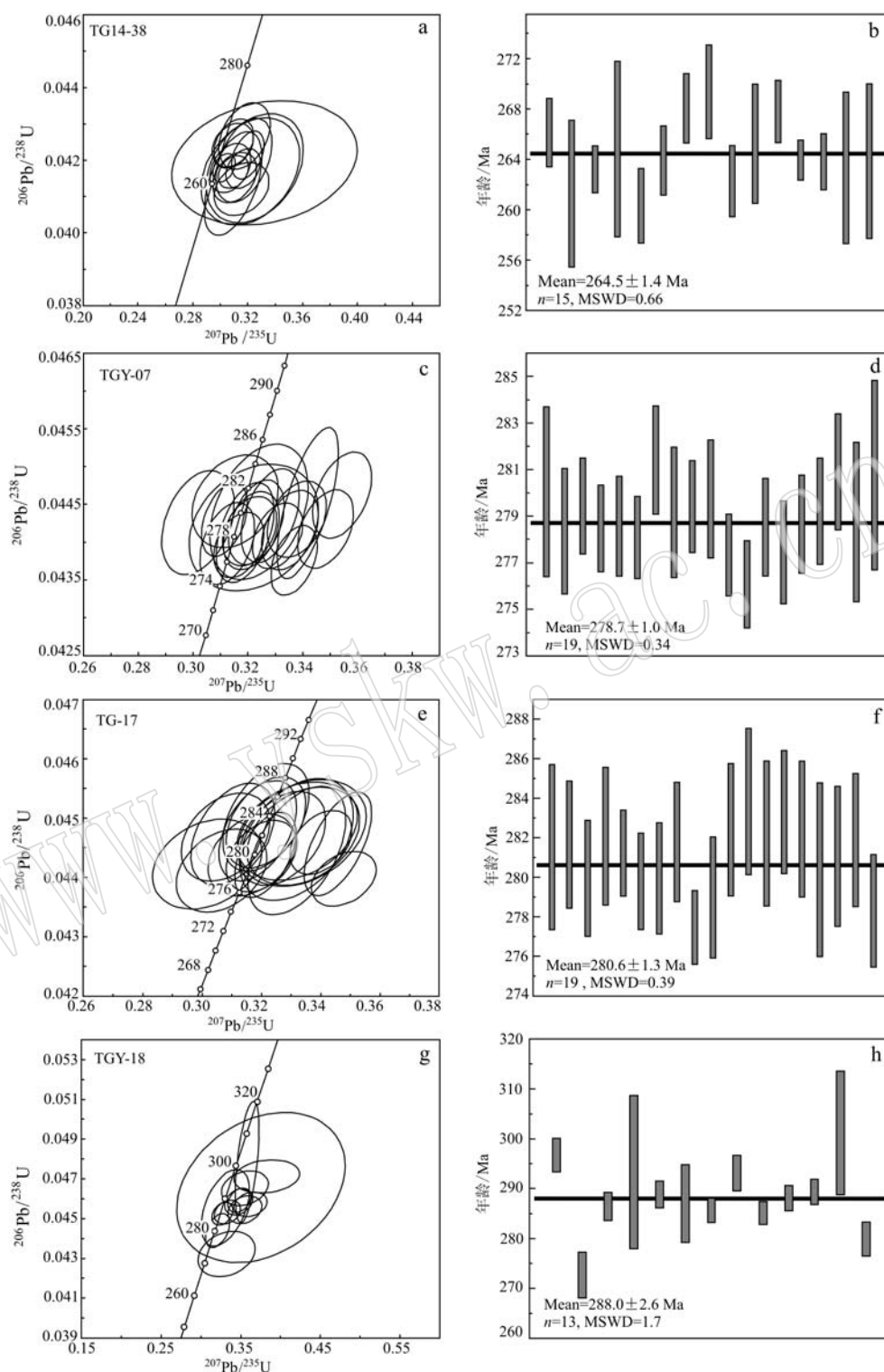


图 5 图古日格金矿床侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和线图和加权平均年龄图

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams and weighted histograms of the intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

可能是由于点位太靠近锆石边部所造成的(图 4c)。

TGY-18 蚀变闪长岩样品共有 15 个点的谐和度高于 90%(表 1), 锆石的 ^{238}U 含量为 212.31×10^{-6} ~

998.02×10^{-6} , ^{232}Th 含量为 134.54×10^{-6} ~ 1349.13×10^{-6} , Th/U 值为 0.63 ~ 1.35, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值变化范围为 329.5 ~ 265.3 Ma, 绝大多数年龄在

293.5~280.1 Ma 之间,去掉 2 个异常测点(12、15) 年龄值,其他 13 个测试点的年龄结果十分一致,均 分布于谐和线上(图 5g),且呈群分布,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 288.0±2.6 Ma ($n=13$, MSWD = 1.7),代表了该组锆石的结晶年龄(图 5h)。该样品 的测试数据中有多个测试点的谐和度不足 90%,这

可能是因为该样品的锆石在岩石蚀变过程中发生了 破碎,造成了铅的丢失所引起的;点 12(265.3 Ma) 和点 15(329.5 Ma)的年龄值明显偏小和偏大,也可 能是这种原因造成的。

4.2 主量和微量元素地球化学特征

图古日格二叠纪侵入岩的主微量元素结果见表 2。

表 2 图古日格金矿床侵入岩主量元素($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major elements ($w_B/\%$) and trace elements ($w_B/10^{-6}$) data of the intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

样品号	似斑状花岗岩			蚀变闪长岩				花岗岩	角闪石岩			
	TG-4	TGY-15	TGY-12	TGY-3	TGY-18	TGY-5	TG14-9	TGY-07	TGY-1	TG-17	TG-18	TG14-30
SiO ₂	69.21	70.16	67.38	45.21	49.2	42.04	51.96	65.05	38.06	42.48	42.23	41.31
TiO ₂	0.29	0.30	0.35	1.27	1.18	1.47	1.4	0.26	2.62	2.04	2.12	2.26
Al ₂ O ₃	15.51	15.58	16.34	17.25	15.94	17.95	14.38	18.22	12.78	13.04	13.74	12.63
Fe ₂ O ₃	0.45	0.36	0.56	10.83	1.32	2.74	3.32	0.44	8.06	4.94	3.91	4.24
FeO	1.80	1.35	2.24	1.75	6.83	9.62	6.26	1.49	11.25	10.27	9.95	8.04
MnO	0.06	0.03	0.06	0.20	0.12	0.17	0.15	0.04	0.16	0.17	0.18	0.14
MgO	1.20	0.86	1.31	6.68	6.46	7.15	7.08	1.04	11.60	11.13	11.74	13.40
CaO	2.01	2.27	2.25	9.98	4.98	11.64	7.73	2.94	9.87	10.17	10.4	11.03
Na ₂ O	4.98	4.61	4.79	2.83	3.74	1.96	2.56	5.68	1.91	2.14	2.08	2.08
K ₂ O	3.50	3.49	3.60	1.27	3.23	0.98	1.54	3.16	0.90	1.05	1.03	1.05
P ₂ O ₅	0.06	0.08	0.07	0.36	0.30	0.299	0.35	0.07	0.03	0.06	0.06	0.02
LOI	0.71	0.74	0.79	2.16	5.86	2.88	2.95	1.43	1.46	1.35	1.42	3.63
σ	2.74	2.42	2.89	7.61	7.84		1.87	3.54				
A/NK	1.29	1.37	1.39	2.86	1.65	4.19	2.44	1.43	3.11	2.79	3.03	2.77
A/CNK	0.99	1.00	1.03	0.71	0.85	0.70	0.72	1.00	0.58	0.56	0.59	0.51
Rb	128.00	118.00	149.00	32.40	155.00	19.60	45.10	87.90	14.70	16.50	16.00	8.63
Ba	650.00	634.00	902.00	346.00	629.00	305.00	800.00	902.00	253.00	273.00	315.00	345.00
Th	3.92	10.40	5.26	0.96	6.33	0.84	9.56	4.76	0.50	1.24	0.77	0.92
U	3.23	4.77	2.77	0.322	1.86	0.304	1.393	2.48	0.214	0.673	0.368	0.358
Nb	3.78	5.34	4.37	2.05	7.31	3.19	10.89	2.80	0.88	0.43	0.71	4.78
Ta	0.29	0.46	0.29	0.11	0.53	0.20	1.23	0.23	0.07	0.03	0.09	0.64
Pb	39.10	41.80	38.80	7.83	36.50	7.66	16.46	34.50	3.75	5.09	4.32	3.89
Sr	577.00	525.00	629.00	916.00	440.00	849.00	747.00	709.00	590.00	366.00	37.00	489.00
Zr	90.40	102.00	108.00	19.70	76.40	36.50	207.00	73.10	44.30	49.60	48.90	68.70
Hf	2.74	3.56	3.36	0.91	2.44	1.54	7.35	2.13	1.99	2.19	2.04	2.73
La	12.20	26.30	13.00	15.80	23.90	13.70	29.10	12.60	7.36	10.60	9.81	7.55
Ce	21.10	45.20	22.50	32.70	48.60	33.00	65.25	20.90	22.60	28.90	27.50	23.64
Pr	2.22	4.77	2.37	4.37	6.24	4.86	8.70	2.27	3.89	4.68	4.63	4.45
Nd	8.27	17.70	8.63	21.40	26.80	24.60	36.90	8.53	21.50	24.80	24.80	23.33
Sm	1.33	2.76	1.42	4.68	5.08	5.88	7.89	1.42	6.22	6.34	6.63	6.69
Eu	0.31	0.68	0.45	1.75	1.20	1.82	2.20	0.63	1.89	1.79	2.07	1.96
Gd	1.02	2.09	1.12	3.80	4.15	4.89	6.41	1.06	5.29	5.18	5.44	4.72
Tb	0.13	0.28	0.14	0.66	0.71	0.87	1.14	0.14	1.06	0.97	1.01	1.00
Dy	0.51	1.14	0.58	3.45	3.57	4.71	6.54	0.63	5.64	5.29	5.67	5.82
Ho	0.09	0.20	0.10	0.67	0.64	0.89	1.30	0.11	1.05	0.96	1.06	1.12
Er	0.29	0.59	0.33	1.91	1.88	2.58	3.29	0.32	2.94	2.59	2.92	2.67
Tm	0.04	0.08	0.05	0.27	0.30	0.37	0.56	0.05	0.425	0.39	0.41	0.46
Yb	0.26	0.53	0.31	1.60	1.79	2.05	3.16	0.27	2.31	2.16	2.38	2.47
Lu	0.04	0.07	0.05	0.23	0.25	0.28	0.51	0.04	0.30	0.30	0.31	0.39
Y	2.61	5.90	3.33	18.00	19.10	22.60	33.40	3.29	25.90	26.50	27.70	27.38
ΣREE	47.80	102.40	51.05	93.29	125.10	100.50	173.10	48.96	82.46	94.92	94.63	86.29
LREE	45.43	97.41	48.37	80.70	111.80	83.86	150.20	46.35	63.46	77.11	75.44	67.64
HREE	2.37	4.97	2.68	12.59	13.29	16.64	22.92	2.612	19	17.81	19.19	18.66
L/H	19.16	19.59	18.07	6.41	8.42	5.04	6.55	17.75	3.34	4.33	3.93	3.63
(La/Yb) _N	33.40	35.53	29.98	7.08	9.58	4.79	6.61	33.23	2.29	3.52	2.96	2.19
δEu	0.78	0.83	1.06	1.23	0.77	1.00	0.92	1.51	0.98	0.93	1.02	1.01
δCe	0.92	0.92	0.92	0.95	0.95	0.99	0.99	0.89	1.03	1.00	0.99	0.98

似斑状花岗岩的 SiO_2 含量为 67.38%~70.16%, K_2O 含量为 3.49%~3.60%, Na_2O 含量为 4.61%~4.98%, 在硅碱图(图 6)上落入石英二长岩和花岗岩的交界处, Al_2O_3 含量为 15.51%~16.34%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.70~0.76, A/CNK 值为 0.99~1.03, A/NK 值为 1.29~1.38, 里特曼指数 σ 为 2.42~2.89, 显示为钙碱性; 在 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解(图 7a)上落在准铝质和过铝质交界处; 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(图 7b)上落入高钾钙碱性区域。花岗岩的 SiO_2 含量为

65.05%, K_2O 含量为 3.16%, Na_2O 含量为 5.68%, 在硅碱图(图 6)上落入石英二长岩的区域, Al_2O_3 含量为 18.22%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.56, A/CNK 值为 1, A/NK 值为 1.43, 里特曼指数 σ 为 3.54, 显示为弱碱性; 在 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解(图 7a)上落在准铝质和过铝质交界处; 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(图 7b)上落入高钾钙碱性区域。角闪岩的 SiO_2 含量为 38.06%~42.48%, K_2O 含量为 0.90%~1.05%, Na_2O 含量为 1.91%~2.14%, Al_2O_3 含量为 12.63%~13.74%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.47~0.51。蚀变闪长岩由于经历了强烈的蚀变作用, 其主量元素含量变化较大。

似斑状花岗岩的 REE 总量为 47.80×10^{-6} ~ 102.40×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 18.07 \sim 19.59$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 29.98 \sim 35.53$, $\delta\text{Eu} = 0.78 \sim 1.06$, $\delta\text{Ce} = 0.92$, Eu 弱-无异常, Ce 弱-无异常。花岗岩的 REE 总量为 48.96×10^{-6} , LREE/HREE 为 17.75, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 33.23, δEu 为 1.51, δCe 为 0.89, Eu 正异常, Ce 弱-无异常。角闪岩的 REE 总量为 82.46×10^{-6} ~ 94.92×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.34 \sim 4.33$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 2.19 \sim 3.52$, $\delta\text{Eu} = 0.93 \sim 1.02$, $\delta\text{Ce} = 0.98 \sim 1.03$, Eu 弱-无异常, Ce 弱-无异常。蚀变闪长岩的 REE 总量为 93.29×10^{-6} ~ 173.1×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 5.04 \sim 8.42$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 4.79 \sim 9.58$, $\delta\text{Eu} = 0.92 \sim 1.23$, $\delta\text{Ce} = 0.95 \sim 0.99$, Eu 弱-无异常, Ce 弱-无异常。

似斑状花岗岩和花岗岩的稀土元素特征比较一致(表 2、图 8a), 球粒陨石标准化配分曲线都为右

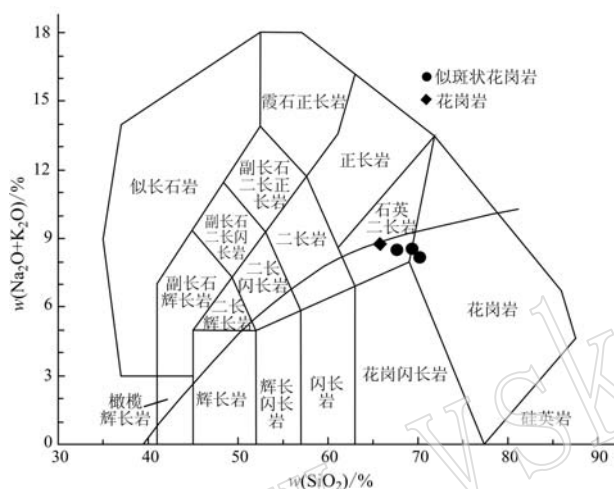


图 6 图古日格金矿床侵入岩 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 分类图(据 Middlemost, 1994)

Fig. 6 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ diagram of intrusive rocks from the Tugurige gold deposit (after Middlemost, 1994)

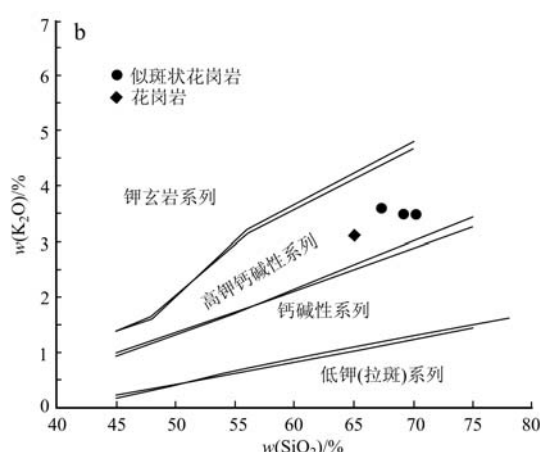
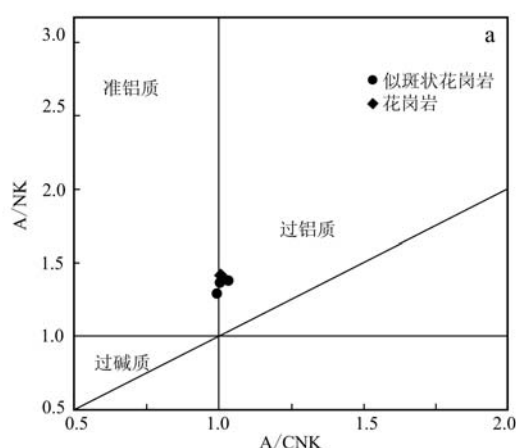


图 7 图古日格金矿床侵入岩 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解(a, 据 Rollinson, 1993)和 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(b, 据 Rollinson, 1993; Middlemost, 1994)

Fig. 7 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ (a, after Rollinson, 1993) and $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (b, after Rollinson, 1993; Middlemost, 1994) diagrams for the intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

倾型, LREE/HREE 和 $(La/Yb)_N$ 值较大, 轻稀土元素富集, 重稀土元素相对亏损, 轻重稀土元素表现出了一定的分馏特征; 不同的是, 花岗岩表现出了明显的铕正异常, 而似斑状花岗岩则表现出轻微的铕负异常, 这可能是由于花岗岩中斜长石含量较高, 铕伴随斜长石进入花岗岩而造成的。角闪石岩和蚀变闪长岩的稀土元素特征具有一定的一致性(表2、图8a), 球粒陨石标准化配分曲线为缓右倾型, LREE/HREE 和 $(La/Yb)_N$ 值较小, 轻稀土元素富集, 轻重稀土元素分馏不明显, Ce 和 Eu 基本无异常。不同的是, 角闪石岩的稀土元素配分曲线表现出了一些上凸特征, 富集中稀土元素, 这可能是由于角闪石在岩浆体系中对中稀土元素的分配系数较高造成的。

似斑状花岗岩和花岗岩的微量元素特征比较一致, 在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图8b)上可以看出, 它们的曲线基本平行(重合)且斜率较大。K、Rb、Ba、Sr、Th、U、Pb 相对原始地幔强烈富集, Dy、Ho、Er、Y、Yb、Lu 等相对原始地幔表现出亏损的特征; 此外 Th、Ce、Nb、Ta、P、Ti 具有负异常, Pb、K、U、Sr 表现出了正异常。角闪石岩和蚀变闪长岩的微量元素特征比较一致, 在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图8b)上可以看出, 它们的曲线基本平行(重合)且较为平缓, 微量元素特别是 K、Rb、Ba、Sr 和 Pb 都相对原始地幔表现出富集的特征, Th、Nb、Ta、Ti 具有负异常, Ba、K、Pb 和 Sr 具有正异常, 除此之外角闪石岩还表现出了明显的 P 负异常。

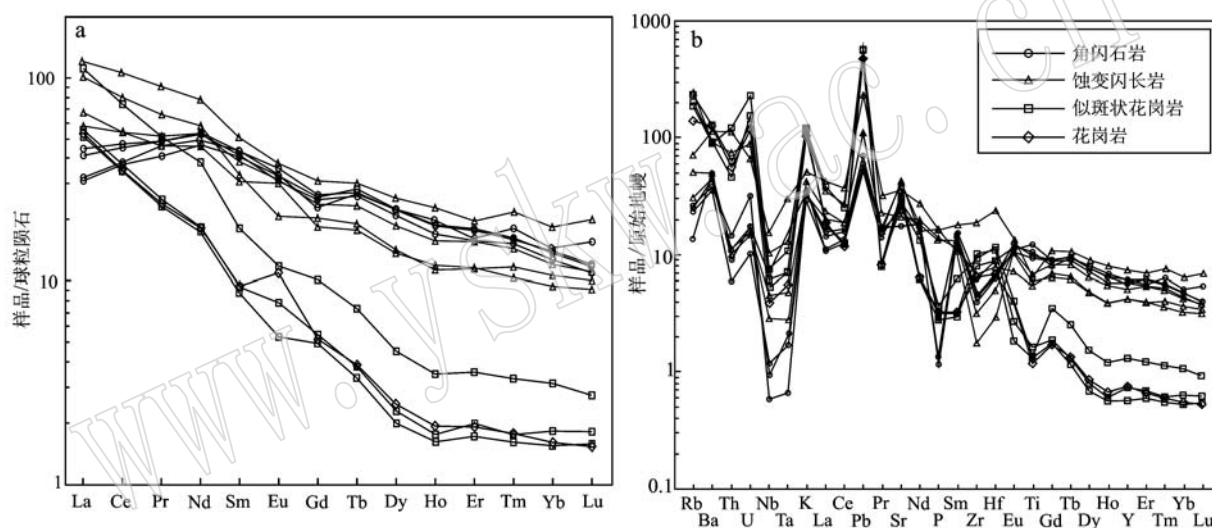


图8 图古日格金矿床侵入岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(a, 标准值据 Pearce *et al.*, 1984)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b, 标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized rare earth element patterns (a, normalized values after Pearce *et al.*, 1984) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b, normalized values after Sun and McDonough, 1989) of the intrusive rocks from the Tugurige gold deposit

5 讨论

5.1 侵入岩组合特征

TG14-38 似斑状花岗岩样品的锆石 U-Pb 年代学显示, 其锆石的结晶年龄为 264.5 ± 1.4 Ma。锆石的形态、阴极发光图中的韵律环带、锆石中的 Th/U 值(均 > 0.3) 等参数及 Th、U 含量之间具有的良好正相关关系(表1), 表明它们属于岩浆成因锆石, 所以其结晶年龄代表了岩体的侵位年龄(卜涛等, 2019; 张超等, 2019; 王建龙等, 2020)。同理, 花岗岩、角闪石岩和蚀变闪长岩的锆石结晶年龄也可以

代表它们的成岩年龄, 所以图古日格金矿床内的似斑状花岗岩的成岩年龄为 264.5 ± 1.4 Ma, 花岗岩的成岩年龄为 278.7 ± 1.0 Ma, 角闪石岩的成岩年龄为 280.6 ± 1.3 Ma, 蚀变闪长岩的成岩年龄为 288.0 ± 2.6 Ma, 均属于二叠纪。本文获得的似斑状花岗岩的年龄与前人获得的年龄(275.8 ± 1.5 Ma, Ding *et al.*, 2016a; 丁成武, 2016)具有一定的差异, 可能指示似斑状花岗岩的活动时间较长或者具有多期活动的特点。

研究表明, 岩浆结晶过程中随着结晶温度与压力的升高, 钙质角闪石的 SiO_2 含量降低, Al、Ti 和 $K_2O + Na_2O$ 的含量增加(王键等, 2016)。通常在总

压力为 5×10^8 Pa 时,斜长石、单斜辉石、角闪石依次结晶的水压力为 3×10^8 Pa,当水压接近总压力($>4.5 \times 10^8$ Pa)时,角闪石就会优先结晶析出(Eggeler *et al.*, 1972)。图古日格地区的角闪石岩一般不连续的产出在蚀变闪长岩中,角闪石岩和蚀变闪长岩的形成年龄较为相近,两者的微量元素和稀土元素标准化曲线都基本平行(重合),具有同源的特征(表2、图8)。角闪石岩中的角闪石属于钙质角闪石,角闪石中 SiO_2 含量较低,Al、Ti 和 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 的含量较高(王键等, 2016),指示较高的结晶温度与压力。此外,前人的研究表明,图古日格金矿床的角闪石岩和蚀变闪长岩都是富水岩浆演化形成的(王键等, 2016; Ding *et al.*, 2016a),因此图古日格地区的角闪石岩可能是在蚀变闪长岩结晶过程中,由于物质成分(含有大量水分的基性岩浆)和结晶条件(封闭稳定的高水压条件)非常适合角闪石的结晶析出,发生了角闪石的堆晶作用而形成的岩浆岩。花岗岩和似斑状花岗岩的形成年龄相近,花岗岩位于似斑状花岗岩的边部和深部,并且两者具有非常相似的主量元素、微量元素和稀土元素特征(图8),具有同源的特征,不同的是似斑状花岗岩更加偏酸性,岩体结晶时间较晚,且含有钾长石和石英斑晶,显示这两种岩石可能是同源岩浆不断演化的产物。

似斑状花岗岩和花岗岩的 SiO_2 含量为 65.10%~70.20%,属于酸性岩;蚀变闪长岩虽然经受了蚀变,但是在显微镜下能够鉴定出其原岩主要由角闪石、斜长石和少量的黑云母组成,同时从前文的讨论可知,蚀变闪长岩和角闪石岩是富水的基性岩浆演化形成的,所以图古日格金矿床的侵入岩的 SiO_2 含量表现出不连续性,存在明显的成分间断,构成基性和酸性两个端员。两个端员在空间上紧密伴生,年代学特征表明两者的形成时代相近,构成双峰式侵入岩组合。除了图古日格地区外,早二叠世双峰式火山岩或侵入岩在整个兴蒙造山带内也分布广泛,如在西部满都拉、中部林西和东部大石寨等地区的大石寨组(290~270 Ma)火山岩就具有双峰式特征(鲍庆中等, 2006; 赵乐强等, 2017; 吴志强等, 2020)。西乌旗罕乌拉地区发育的伊和绍荣复式岩体由辉长岩、辉石闪长岩、碱长花岗岩组成,显示出双峰式岩浆岩的特征(张晓飞等, 2018)。双峰式侵入岩通常被认为是岩石圈变薄导致地幔和地壳同时发生了部分熔融,由于地壳伸展,两种熔体来不及混合就快速上升至浅部所形成的(邓晋福等, 2007,

2015; 徐备等, 2014; 邵济安等, 2014; Xu *et al.*, 2015)。所以兴蒙造山带内的双峰式侵入岩,说明其在二叠纪处于伸展的构造背景。

5.2 成岩与成矿事件的耦合

图古日格金矿床的成矿年龄还存在较大的争议,前人获得其黄铁矿 Re-Os 同位素年龄为 268 ± 15 Ma(Ding *et al.*, 2016a),绢云母 Ar-Ar 年龄为 258.9 ± 1.6 Ma(丁成武, 2016),辉钼矿 Re-Os 年龄为 305.6 ± 4.5 Ma(张锋等, 2016)。本文获得的似斑状花岗岩的年龄(264.5 ± 1.4 Ma)与前人获得的年龄(275.8 ± 1.5 Ma, Ding *et al.*, 2016a; 丁成武, 2016)比较相近,可能指示似斑状花岗岩的活动时间为 275.8~264.5 Ma。由于图古日格金矿床的矿体通常呈脉状产出于似斑状花岗岩中,矿床的成矿时代应不早于岩体的成岩年龄,即成矿年龄不会大于 276 Ma,所以前人获得的辉钼矿 Re-Os 年龄(305.6 ± 4.5 Ma)可能不能用来代表图古日格金矿床的成矿时代,而黄铁矿 Re-Os 和绢云母 Ar-Ar 同位素年龄的可信程度较高,因此本文支持图古日格金矿床的成矿年龄为 268~259 Ma。

近年来,在中亚造山带内发现了多个二叠纪大型金矿床,这些大型金矿床的发育使得兴蒙造山带乃至整个中亚造山带成为了一个重要的金成矿带(Berger *et al.*, 1994; Goldfarb *et al.*, 2001; Yakubchuk *et al.*, 2002; Mao *et al.*, 2004; Abzalov, 2007),显示了良好的找矿前景,同时也暗示该带内存在二叠纪金成矿事件。前人研究表明,中亚造山带上的二叠纪金矿床,尽管产出位置和赋存形式存在明显的差异(Kempe *et al.*, 2001; 卿敏等, 2012; Ding *et al.*, 2016b),但均与海西晚期花岗岩类的侵入活动以及伴随的热液活动存在明显的成因联系(李俊健等, 2010; 路彦明等, 2012; Wang *et al.*, 2014),即使产于沉积岩中,也被认作是岩浆热液活动远端的产物(Morelli *et al.*, 2007; Abzalov, 2007)。

图古日格金矿床矿体的产出位置与似斑状花岗岩存在密切的空间关系,均产出在似斑状花岗岩中或附近(图2)。似斑状花岗岩的成岩年龄(276~265 Ma)与矿床的成矿年龄(268~259 Ma)相吻合。此外,同位素研究结果表明,图古日格金矿床矿石中的 Pb 和 S 元素主要来自矿区内的二叠纪侵入岩(丁成武, 2016)。流体包裹体研究结果表明,该矿床成矿流体的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $-108.8\text{‰} \sim -87.4\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为

1.1‰~6.9‰,指示其成矿流体主要为岩浆水(丁成武, 2016)。因此,图古日格金矿的矿体与矿区内的似斑状花岗岩具有紧密的时空关系,暗示它们之间可能存在密切的成因联系,也指示图古日格金矿床是中亚造山带二叠纪金成矿事件的产物。

5.3 成岩成矿背景探讨

图古日格金矿床的二叠纪侵入岩表现出了一些俯冲带侵入岩的地球化学特征,它们都属于高钾钙碱性岩系列,在花岗岩 $Rb-(Y+Nb)$ 构造环境判别图解(图 9a, Pearce *et al.*, 1984; Forster *et al.*, 1997) 中,图古日格金矿花岗质岩石都投影于火山弧区域

内。在玄武岩 $Th/Yb-Ta/Yb$ 构造环境判别图解(图 9b, Forster *et al.*, 1997) 中,蚀变闪长岩投影于活动大陆边缘和大洋岛弧区域。微量元素测试结果显示,图古日格二叠纪侵入岩都表现出了高场强元素和大离子亲石元素的解耦(图 8b),富集大离子亲石元素,而亏损高场强元素。高场强元素和大离子亲石元素都是不相容元素,通常地球化学特征比较相似,但是在流体中则会强烈富集大离子亲石元素,亏损高场强元素,所以一般认为它们的解耦与流体的参与有关,能够用来指示俯冲洋壳的脱水作用产生的流体的参与。

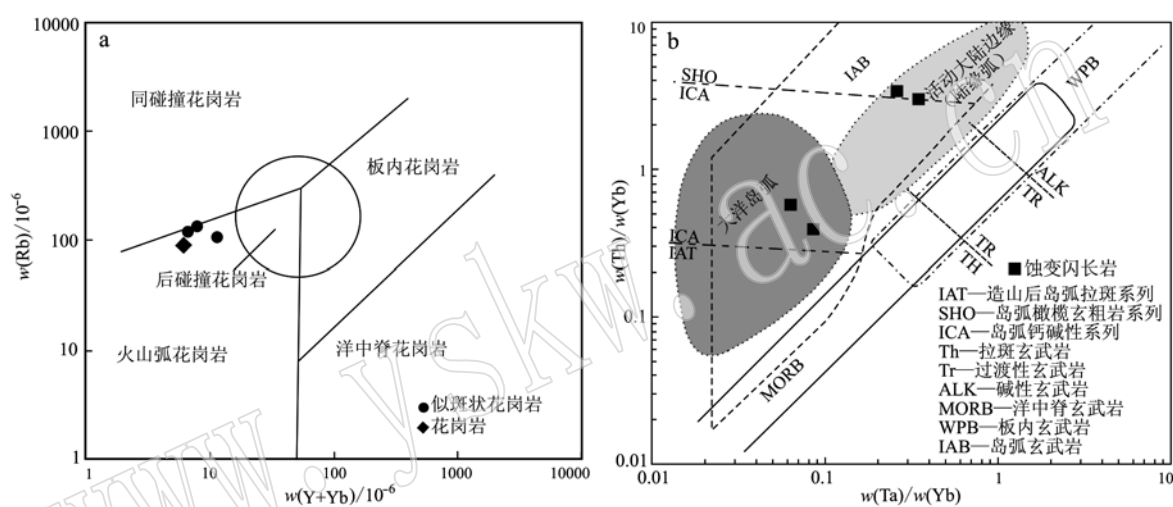


图 9 图古日格金矿床花岗岩类(a, 据 Pearce *et al.*, 1984; Forster *et al.*, 1997)和玄武岩类(b, 据 Pearce, 2008)大地构造判别图解

Fig. 9 Discrimination diagrams showing the intrusive source and tectonic setting for granites (a, after Pearce *et al.*, 1984; Forster *et al.*, 1997) and basalts (b, after Pearce, 2008) from the Tugurige gold deposit

对于具有俯冲带地球化学特征的侵入岩的成因,目前有两种解释:一种认为它们直接形成于俯冲背景下;另一种认为岩体的这些地球化学特征反映的不是其构造环境,而是仅仅反映了岩石的岩浆源区(邓晋福等, 2015),即前期的俯冲作用改造了侵入岩的源区,使源区带有了俯冲带的地球化学特征,这样的源区在碰撞后伸展环境中发生部分熔融,从而形成带有俯冲带地球化学特征的侵入岩。前人研究也显示,尽管高钾钙碱性岩石在俯冲环境下可以形成,但产出于后碰撞环境中的也很普遍(Roberts and Clemens, 1993; Liegeois *et al.*, 1998; Barbarin, 1999),而且产出于碰撞后伸展环境中的岩浆岩有时可以继承早期俯冲带成因岩石的微量元素地球化学特征(Liegeois *et al.*, 1998; Coulon *et al.*, 2002; Avanzinelli *et al.*, 2008; El-Bialy, 2010)。

侵入岩的组合特征可以反映其产出的构造环境,双峰式侵入岩组合所指示的伸展构造背景主要包括大陆裂谷带、大陆减薄区和碰撞后伸展环境(Hochatcedter *et al.*, 1990; 王焰等, 2000; 邓晋福等, 2007)。图古日格地区的侵入岩属于双峰式侵入岩,同时又具有俯冲带侵入岩的地球化学特征,所以其形成环境可能为碰撞后伸展环境。岩石地球化学数据显示,图古日格花岗质侵入岩都属于高钾钙碱性岩系列(图 7b),而且在 Na_2O-K_2O 图解(图 10a)上落入 I 型花岗岩的区域,在花岗质岩石 R_2-R_1 环境判别图解(图 10b)上落入造山晚期区域;图古日格地区的二叠纪侵入岩基本没有经受挤压变形;矿体都是一些宽厚的石英脉,这些都指示图古日格地区二叠纪侵入岩的形成环境可能为造山后伸展环境。

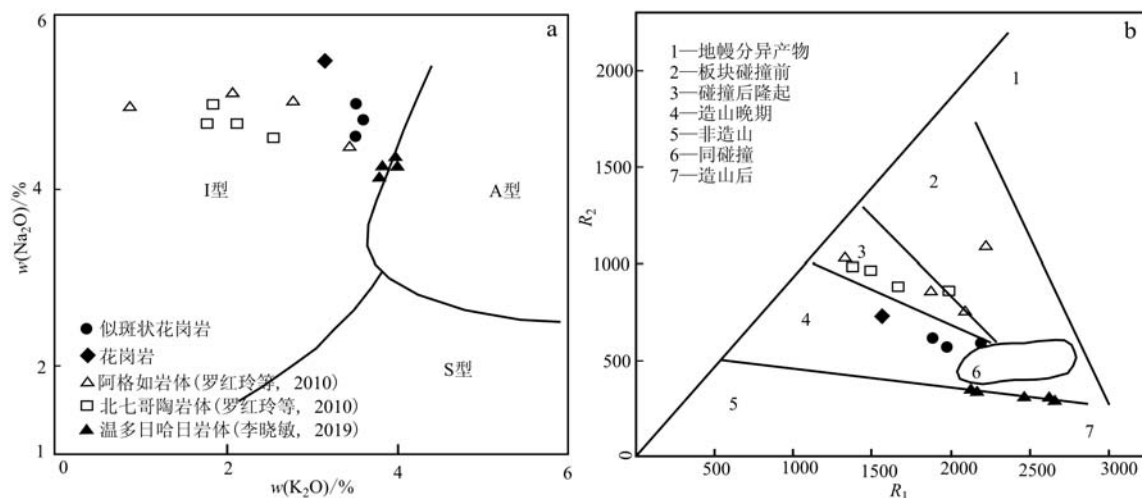


图 10 图古日格金矿二叠纪花岗质岩石 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解 (a, 据 Collins *et al.*, 1982) 和 R_2-R_1 图解 (b, 据 Batchelor and Bowden, 1985)

Fig. 10 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ (a, after Collins *et al.*, 1982) and R_2-R_1 (b, after Batchelor and Bowden, 1985) diagrams for the granitic rocks from the Tugurige gold deposit

同时,图古日格地区的二叠纪侵入岩还带有一些其他构造背景侵入岩的地球化学特征,如这些侵入岩中的铝和钾含量偏高,属于钾质侵入岩,而且在 $\text{A/NK}-\text{A/CNK}$ 图解中,样品落在准铝质和过铝质交界处(图 7a)。高钾和高铝一般是碰撞环境下侵入岩的地球化学特征(邓晋福等, 2007)。此外,区域范围内较老的二叠纪侵入岩,如温多日哈日(283 Ma)岩体,形成于后造山的环境中(图 10b),但是具有一些同碰撞花岗岩的地球化学特征(李晓敏, 2019); 区域内较年轻的岩体,如北七哥陶岩体(260 Ma)和阿格如岩体(260 Ma)则形成于后碰撞抬升的环境中(图 10b, 罗红玲等, 2010),这些岩体的形成时代和地球化学特征,可能指示兴蒙造山带在早二叠世刚刚结束碰撞,正处于由碰撞环境向碰撞后伸展环境转变的构造演化阶段。

综上所述,图古日格金矿及矿区内的二叠纪双峰式侵入岩形成于碰撞后伸展环境,俯冲带侵入岩的地球化学特征反映了这些侵入岩的岩浆源区可能受到了俯冲作用的影响。因此,兴蒙造山带在二叠纪所处的构造环境是碰撞后伸展环境,支持古亚洲洋在本区闭合时间为晚泥盆世末-早石炭世末的观点。

6 结论

(1) 图古日格金矿床内的似斑状花岗岩的成岩年龄为 264.5 ± 1.4 Ma, 花岗岩的成岩年龄为 $278.7 \pm$

1.0 Ma, 角闪石岩的成岩年龄为 280.6 ± 1.3 Ma, 蚀变闪长岩的成岩年龄为 288.0 ± 2.6 Ma, 均是二叠纪岩浆活动的产物。

(2) 图古日格金矿床的侵入岩的 SiO_2 含量表现出不连续性,存在明显的成分间断,角闪石和蚀变闪长岩具有同源的特征,花岗岩和似斑状花岗岩具有同源的特征,构成基性和酸性两个端员,因此图古日格金矿床内的二叠纪侵入岩为一套双峰式侵入岩。

(3) 图古日格金矿中的矿体与矿区内的似斑状花岗岩具有紧密的时空关系,暗示它们之间可能存在密切的成因联系,也指示图古日格金矿床是中亚造山带二叠纪金成矿事件的产物。

(4) 图古日格金矿床的二叠纪侵入岩具有一些俯冲带侵入岩的地球化学特征,但是这些特征只是反映了岩石的岩浆源区受到了俯冲作用的影响,不足以制约其构造背景。图古日格金矿及区内二叠纪侵入岩形成的构造背景是碰撞后伸展环境。

致谢 野外工作得到了核工业二零八大队图古日格金矿邵国钰、赵宇川等地质同行的大力支持和帮助; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试和数据处理过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室侯可军老师的帮助; 主微量测试过程中得到了核工业地质分析测试研究中心刘牧老师的帮助; 论文修改过程中编辑和匿名审稿专家提出了宝贵意见,在此一并感谢!

References

- Abzalov M. 2007. Zarmitan granitoid-hosted gold deposit, Tian Shan belt, Uzbekistan[J]. *Economic Geology*, 102(3): 519~532.
- Avanzinelli R, Elliott T, Tommasini S, *et al.* 2008. Constraints on the genesis of potassium-rich Italian volcanic rocks from U/Th disequilibrium[J]. *Journal of Petrology*, 49(2): 195~223.
- Bao Qingzhong, Zhang Changjian, Wu Zhili, *et al.* 2006. Carboniferous-Permian marine lithostratigraphy and sequence stratigraphy in Xi Ujimqin Qi, southeastern Inner Mongolia, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(5): 572~579 (in Chinese with English abstract).
- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 46(3): 605~626.
- Batchelor R and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 48: 43~55.
- Berger B R, Drew L J, Goldfarb R J, *et al.* 1994. An epoch of gold riches: the late Paleozoic in Uzbekistan[J]. *Central Asia. SEG Newsletter*, 16(1): 7~11.
- Bu Tao, Wang Guoqiang, Tang Zhuo, *et al.* 2019. Petrogenesis of the middle Ordovician granite in the Yaodonggou area of the North Qilian orogenic belt: Constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 38(2): 145~159 (in Chinese with English abstract).
- Cao Haiqing, Weng Limeng, Xia Qinghe, *et al.* 2008. Analysis of genesis of Bayinhanggai gold ore deposit[J]. *Mining Engineering*, 6(1): 11~13 (in Chinese with English abstract).
- Chen B, Jahn B M, Wilde S, *et al.* 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 328(1): 157~182.
- Chen Yanjing, Zhai Mingguo, Jiang Shaoyong, *et al.* 2009. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2 695~2 726 (in Chinese with English abstract).
- Collins W J, Beams S D, White A J R, *et al.* 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80(2): 189~200.
- Coulon C, Megartsi M, Fourcade S, *et al.* 2002. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): Magmatic expression of a slab breakoff [J]. *Lithos*, 62(3): 87~110.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, *et al.* 2015. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion[J]. *Geological Review*, 61(4): 717~734 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Su Shangguo, *et al.* 2007. Igneous petroectonic assemblages and tectonic settings: A discussion[J]. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 392~402 (in Chinese with English abstract).
- Ding Chengwu. 2016. Characteristics and Origin of the Tugurige Gold Deposit in Inner Mongolia, China and its Geological Significance[D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan) (in Chinese with English abstract).
- Ding C W, Nie F J, Bagas L, *et al.* 2016a. Pyrite Re-Os and zircon U-Pb dating of the Tugurige gold deposit in the western part of the Xing'an-Mongolia Orogenic Belt, China and its geological significance [J]. *Ore Geology Reviews*, 72: 669~681.
- Ding C W, Nie F J, Jiang S H, *et al.* 2016b. Characteristics and origin of the Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 73: 211~221.
- Eggler D H. 1972. Amphibole stability in H₂O-undersaturated calc-alkaline melts[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 15(1): 28~34.
- El-Bialy M Z. 2010. On the Pan-African transition of the Arabian-Nubian Shield from compression to extension: The post-collision Dokhan volcanic suite of Kid-Malhak region, Sinai, Egypt[J]. *Gondwana Research*, 17(1): 26~43.
- Forster H J, Tischendorf G and Trumbull R B. 1997. An evaluation of the Rb vs. (Y+Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks[J]. *Lithos*, 40: 261~293.
- Ge Maohui, Zhang Jinjiang, Liu Kai, *et al.* 2020. Petrogenesis of the Late Paleozoic to Mesozoic granite from the Xiao Hinggan Mountains-Zhangguangcai Mountains and its geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 39(4): 385~405 (in Chinese with English abstract).
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 18(1): 1~75.
- Guo Lei, Tong Ying, Mo Nan, *et al.* 2015. Zircon U-Pb ages and isotope characteristics of Early Permian granitoids in Eren Nur area on the southeastern margin of Central Asian Orogenic Belt and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(5): 601~619 (in Chinese with English abstract).
- Hochstaedter A G, Gill J B, Kusakabe M, *et al.* 1990. Volcanism in the Sumisu Rift: Major element, volatile, and stable isotope geochemistry

- try[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 100(3): 179~194.
- Hong Dawei and Xiao Yijun. 1994. The Permian alkaline granites in central inner Mongolia and their geodynamic significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 63(3): 219~230 (in Chinese with English abstract).
- Hou Kejun, Li Yanhe and Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser adlation-multi ion counting-ICP-MS[J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 481~492 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B. 2004. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 226(1): 73~100.
- Jian P, Liu D Y, Kroner A, *et al.* 2010. Evolution of a Permian intraoceanic arc-trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia[J]. *Lithos*, 118: 169~190.
- Kempe U, Belyatsky B, Krymsky R, *et al.* 2001. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au (-W) deposit Muruntau (Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization[J]. *Mineralium Deposita*, 36(5): 379~392.
- Kong Lingjie, Han Baofu, Zheng Bo, *et al.* 2017. Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the granites to the northeast of Erenhot, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(4): 433~457 (in Chinese with English abstract).
- Li D P, Jin Y, Hou K J, *et al.* 2015. Late Paleozoic final closure of the Paleo-Asian Ocean in the eastern part of the Xing-Meng Orogenic Belt: Constrains from Carboniferous-Permian (meta-) sedimentary strata and (meta-) igneous rocks[J]. *Tectonophysics*, 665: 251~262.
- Li Junjian, Zhai Yusheng, Yang Yongqiang, *et al.* 2010. Pe-discussion on the metallogenic age of Zhulazaga gold deposit in Alashan Area, Inner Mongolia: Evidence from zircon U-Pb SHRIMP age[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 178~184 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3): 207~224.
- Li Pengwu, Gao Rui, Guan Ye, *et al.* 2006. Palaeomagnetic constraints on the final closure time of Solonker-Linxi Suture[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36(5): 744~758 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuanglin and Ouyang Ziyuan. 1998. Tectonic framework and evolution of Xing'an Ling-Mongolian Orogenic Belt (XMOB) and its adjacent region[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 18(3): 45~54 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaomin. 2019. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Permian Granites in the Wenduorihari Area of Inner Mongolia [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, *et al.* 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids[J]. *Lithos*, 45: 1~28.
- Liu W, Zhang J, Sun T, *et al.* 2014. Application of apatite U-Pb and fission-track double dating to determine the preservation potential of magnetite-apatite deposits in the Luzong and Ningwu volcanic basins, eastern China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 138: 22~32.
- Liu Y, Hu Z, Gao S, *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257(1): 34~43.
- Lu Yanming, Pan Mao, Qing Min, *et al.* 2012. Zircon U-Pb age of gold-bearing granitic intrusive rocks in Bilihe gold deposit of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 993~1 004 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. ISOPLLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 4.
- Luo Hongling, Wu Tairan and Zhao Lei. 2010. Geochemistry and tectonic implications of the Permian I-type granitoids from Urad Zhongqi, Inner Mongolia[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 46(5): 805~820 (in Chinese with English abstract).
- Mao J, Konopelko D, Seltnann R, *et al.* 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Economic Geology*, 99(8): 1 771~1 780.
- Miao L C, Fan W M, Liu D Y, *et al.* 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 348~370.
- Middlemost E A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth Sci. Rev.*, 37(3): 215~224.
- Morelli R, Creaser R A, Seltnann R, *et al.* 2007. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re-Os-He isotopes in arsenopyrite[J]. *Geology*, 35(9): 795~798.
- Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, *et al.* 2008. Zircon M257—A homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32(3): 247~265.
- Nie Fengjun, Zhang Wanyi, Du Andao, *et al.* 2007. Re-Os isotopic dating on molybdenite separates from the Xiaodonggou porphyry Mo deposit, Hexigten Qi, Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81

- (7): 898~905 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A. 2008. Geochemical fingerprinting oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust[J]. *Lithos*, 100(4): 14~48.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25(4): 956~983.
- Qing Min, Ge Liangsheng, Tang Mingguo, *et al.* 2011. Molybdenite Re-Os isotope age of Bilihe large-size porphyry gold deposit in Sunid Right Banner of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 30(1): 11~20 (in Chinese with English abstract).
- Qing Min, Tang Mingguo, Ge Liangsheng, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age, geochemistry of andesite in Bilihe goldfield, Suniteyouqi, Inner Mongolia and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 514~524 (in Chinese with English abstract).
- Roberts M P and Clemens J D. 1993. Origin of high-potassium, talc-alkaline, I-type granitoids[J]. *Geology*, 21(9): 825~828.
- Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. New York: Longman Scientific Technical.
- Rudnick R L, Gao S, Ling W L, *et al.* 2004. Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from Hannuoba and Qixia, North China craton[J]. *Lithos*, 77: 609~637.
- Sengör A M C, Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 299~307.
- Shao Ji'an, Tang Kedong and He Guoqi. 2014. Early Permian tectono-palaeogeographic reconstruction of Inner Mongolia, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1 858~1 866 (in Chinese with English abstract).
- Shi G, Miao L, Zhang F, *et al.* 2004. Emplacement age and tectonic implications of the Xilinhot A-type granite in Inner Mongolia, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(7): 723~729.
- Slama J, Kosler J, Condon D J, *et al.* 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic micro analysis [J]. *Chem. Geol.*, 249: 1~35.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313~345.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, *et al.* 2010. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 619~641 (in Chinese with English abstract).
- Tian G C, Liu J G, Scott J M, *et al.* 2020. Architecture and evolution of the lithospheric roots beneath circum-cratonic orogenic belts—The Xing'an Mongolia Orogenic Belt and its relationship with adjacent North China and Siberian cratonic roots [J]. *Lithos*, 376~377: 105789.
- Wang J, Liu J, Peng R, *et al.* 2014. Gold mineralization in Proterozoic black shales: Example from the Haoyaoerhudong gold deposit, northern margin of the North China Craton[J]. *Ore Geology Reviews*, 63: 150~159.
- Wang Jian, Sun Fengyue, Li Bile, *et al.* 2016. Age, petrogenesis and tectonic implications of Permian Hornblende in Tugurige, Urad Zhongqi, Inner Mongolia[J]. *Earth Science*, 41(5): 792~808 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jianlong, Song Huixia, Duan Qingsong, *et al.* 2020. Zircon U-Pb-Hf isotopic characteristics of leptyne in the Fuping Group, Hebei Province, and its geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 39(3): 267~282 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yan, Qian Qing, Liu Liang, *et al.* 2000. Major geochemical characteristics of bimodal volcanic rocks in different geochemical environments[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(2): 169~173 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yingde. 2016. Metallogenesis of Gold Deposits in Tugurige of Urad Zhongqi, Inner Mongolia[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeev D, Xiao W J, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society*, 164(1): 31~47.
- Wu Zhiqiang, Ren Yunsheng, Suo Liangming, *et al.* 2020. Geochronology, geochemistry and its constraint on tectonic evolution of Late Triassic bimodal intrusive rocks in Jinshantun area of eastern Songnen Massif[J]. *Global Geology*, 39(4): 796~808 (in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 22(6): 1 484~1 505.
- Xiao W J, Windley B F, Huang B C, *et al.* 2009. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1 189~1 217.
- Xu B, Charvet J, Chen Y, *et al.* 2013. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): Framework, kine-

- matics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Gondwana Research*, 23 (4): 1 342~1 364.
- Xu B and Chen B. 1997. Framework and evolution of the middle Paleozoic orogenic belt between Siberian and North China Plates in northern Inner Mongolia[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 40 (5): 463~469.
- Xu B, Zhao P, Wang Y, *et al.* 2015. The pre-Devonian tectonic framework of Xing'an-Mongolia orogenic belt (XMOB) in north China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 183~196.
- Xu Bei, Zhao Pan, Bao Qingzhong, *et al.* 2014. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt (XMOB)[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1 841~1 857 (in Chinese with English abstract).
- Xu He. 2017. The Geological Characteristics and Metallogenic Model Research of Tugurige Gold and Cu-Ni Sulphide Deposit, Urad Zhongqi, Inner Mongolia [D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Yakubchuk A, Cole A, Selmann R, *et al.* 2002. Tectonic setting, characteristics, and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid orogenic collage: The Tien Shan province as a key example[J]. *Special Publication—Society of Economic Geologists*, 9: 177~202.
- Yang Zeli, Wang Shuqing, Hu Xiaojia, *et al.* 2018. Geochronology and geochemistry of Early Paleozoic gabbroic diorites in East Ujimqin Banner of Inner Mongolia and their geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 37 (3): 349~365 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chao, Li Zhidan, Li Xiaoguang, *et al.* 2019. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic and geochemical characteristics for K-feldspar granite in Zhaojinggou, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 38(3): 303~317 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Feng, Li Zhidan, Wang Jiaying, *et al.* 2016. Molybdenite Re-Os dating of the Tugurige gold deposit, Urad Middle Banner, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. *Geology in China*, 43(5): 1 771~1 779 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J R, Wei C J and Chu H. 2018. Multiple metamorphic events recorded in the metamorphic terranes in central Inner Mongolia, Northern China: Implication for the tectonic evolution of the Xing'an-Inner Mongolia Orogenic Belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 167: 52~67.
- Zhang S H, Zhao Y, Song B, *et al.* 2007. Carboniferous granitic plutons from the northern margin of the North China block: Implications for a late Palaeozoic active continental margin[J]. *Journal of the Geological Society*, 164(2): 451~463.
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, *et al.* 2008. Zircon SHRIMP U-Pb age of quartzdiorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27 (3): 177~184 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaofei, Zhou Yi, Cao Jun, *et al.* 2018. Geochronological and geochemical features of bimodal intrusive rocks in the Hanwula Area of Xiwu Banner, Inner Mongolia: Constraints on closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(4): 665~686 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaohui and Zhai Mingguo. 2010. Magmatism and its metallogenetic effects during the Paleozoic continental crustal construction in northern North China: An overview[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1 329~1 341 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y L, Ge W C, Sun J, *et al.* 2019. Age and composition of the subcontinental lithospheric mantle beneath the Xing'an-Mongolia Orogenic Belt: Implications for the construction of microcontinents during accretionary orogenesis[J]. *Lithos*, 326~327: 556~571.
- Zhao Leqiang, Qin Feng, Jia Fanjian, *et al.* 2017. Petrogenesis of Late Paleozoic bimodal volcanic rocks on the southern margin of the Junggar Basin and its geodynamic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2): 148~162 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xudong. 2018. The Geological Characteristics and Enrichment Regularities of Mineralization Research of Tugurige Gold Deposit in Urad Zhongqi, Inner Mongolia[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 鲍庆中, 张长健, 吴之理, 等. 2006. 内蒙古东南部西乌珠穆沁旗地区石炭纪—二叠纪岩石地层和层序地层[J]. *地质通报*, 25(5): 572~579.
- 卜涛, 王国强, 唐卓, 等. 2019. 北祁连造山带窑洞沟地区中奥陶世花岗岩成因——锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 38(2): 145~159.
- 曹海清, 翁立猛, 夏庆贺, 等. 2008. 巴音杭盖金矿成因分析[J]. *矿业工程*, 6(1): 11~13.
- 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌, 等. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题[J]. *岩石学报*, 25(11): 2 695~2 726.
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 等. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议[J]. *地质论评*, 61(4): 717~734.
- 邓晋福, 肖庆辉, 苏尚国, 等. 2007. 火成岩组合与构造环境: 讨论[J]. *高校地质学报*, 13(3): 392~402.
- 丁成武. 2016. 内蒙古图古日格金矿地质特征与成因及其区域成矿意义研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉).

- 葛茂卉, 张进江, 刘 恺, 等. 2020. 小兴安岭-张广才岭地区晚古生代至中生代花岗岩的成因及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 39(4): 385~405.
- 郭 磊, 童 英, 莫 南, 等. 2015. 中亚造山带东南缘额尔齐斯地区早二叠世花岗岩锆石 U-Pb 年代学、源区特征及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 34(5): 601~619.
- 洪大卫, 肖宜君. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 68(3): 219~230.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4): 481~492.
- 孔令杰, 韩宝福, 郑 波, 等. 2017. 内蒙古二连浩特北部花岗岩的年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 36(4): 433~457.
- 李俊健, 翟裕生, 杨永强, 等. 2010. 再论内蒙古阿拉善朱拉扎嘎金矿的成矿时代: 来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的新证据[J]. 地学前缘, 17(2): 178~184.
- 李朋武, 高 锐, 管 烨, 等. 2006. 内蒙古中部索伦-林西缝合带封闭时代的古地磁分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 36(5): 744~758.
- 李双林, 欧阳自远. 1998. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 18(3): 45~54.
- 李晓敏. 2019. 内蒙古温多日哈日地区二叠纪花岗岩地球化学特征及构造意义[D]. 成都: 成都理工大学.
- 路彦明, 潘 懋, 卿 敏, 等. 2012. 内蒙古毕力赫含金花岗岩类侵入岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 28(3): 993~1 004.
- 罗红玲, 吴泰然, 赵 磊. 2010. 乌拉特中旗二叠纪 I 型花岗岩类地球化学特征及构造意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 46(5): 805~820.
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 等. 2007. 内蒙古小东沟斑岩型钼矿床辉钼矿-钼同位素年龄及地质意义[J]. 地质学报, 81(7): 898~905.
- 卿 敏, 葛良胜, 唐明国, 等. 2011. 内蒙古苏尼特右旗毕力赫大型斑岩型金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 30(1): 11~20.
- 卿 敏, 唐明国, 葛良胜, 等. 2012. 内蒙古苏右旗毕力赫金矿区安山 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、元素地球化学特征及其形成的构造环境[J]. 岩石学报, 28(2): 514~524.
- 邵济安, 唐克东, 何国琦. 2014. 内蒙古早二叠世构造古地理的再造[J]. 岩石学报, 30(7): 1 858~1 866.
- 童 英, 王 涛, 洪大卫, 等. 2010. 北疆及邻区石炭-二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 619~641.
- 王 键, 孙丰月, 李碧乐, 等. 2016. 内蒙乌拉特中旗图古日格二叠纪角闪岩岩年龄、岩石成因及构造背景[J]. 地球科学, 41(5): 792~808.
- 王建龙, 宋会侠, 段庆松, 等. 2020. 河北阜平杂岩中阜平岩群浅粒岩锆石 U-Pb-Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 39(3): 267~282.
- 王 焰, 钱 青, 刘 良, 等. 2000. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 16(2): 169~173.
- 王英德. 2016. 内蒙古乌拉特中旗图古日格一带金矿成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学.
- 吴志强, 任云生, 索良明, 等. 2020. 松嫩地块东缘金山屯地区晚三叠世双峰式侵入岩年代学、地球化学及其对构造演化的制约[J]. 世界地质, 39(4): 796~808.
- 徐 备, 赵 盼, 鲍庆中, 等. 2014. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探[J]. 岩石学报, 30(7): 1 841~1 857.
- 徐 鹤. 2017. 内蒙古乌拉特中旗图古日格金及铜镍硫化物矿床地质特征及成矿模式研究[D]. 长春: 吉林大学.
- 杨泽黎, 王树庆, 胡晓佳, 等. 2018. 内蒙古东乌珠穆沁旗早古生代辉长闪长岩年代学和地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 37(3): 349~365.
- 张 超, 李志丹, 李效广, 等. 2019. 内蒙古赵井沟钾长花岗岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素和岩石地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 38(3): 303~317.
- 张 锋, 李志丹, 王佳营, 等. 2016. 内蒙古乌拉特中旗图古日格金矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 中国地质, 43(5): 1 771~1 779.
- 张万益, 聂凤军, 江思宏, 等. 2008. 内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 27(3): 177~184.
- 张晓晖, 翟明国. 2010. 华北北部古生代大陆壳增生过程中的岩浆作用与成矿效应[J]. 岩石学报, 26(5): 1 329~1 341.
- 张晓飞, 周 毅, 曹 军, 等. 2018. 内蒙古西乌旗罕乌拉地区双峰式侵入体年代学、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约[J]. 地质学报, 92(4): 665~686.
- 赵乐强, 秦 峰, 贾凡建, 等. 2017. 准噶尔盆地南缘晚古生代双峰式火山岩成因机制及其地球动力学背景[J]. 岩石矿物学杂志, 36(2): 148~162.
- 赵旭东. 2018. 内蒙古乌拉特中旗图古日格金矿地质特征及矿化富集规律研究[D]. 长春: 吉林大学.