

doi: 10.12029/gc20180506

向安平, 陈毓川, 余宏全, 李光明, 李应栩. 2018. 内蒙古苇莲河石英脉型黑钨矿赋矿花岗岩成岩时代、地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 45(5): 963–976.

Xiang Anping, Chen Yuchuan, She Hongquan, Li Guangming, Li Yingxu. 2018. Chronology and geochemical characteristics of granite in Weilianhe of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geology in China, 45(5): 963–976(in Chinese with English abstract).

内蒙古苇莲河石英脉型黑钨矿赋矿花岗岩成岩时代、地球化学特征及其地质意义

向安平^{1,2} 陈毓川² 余宏全² 李光明¹ 李应栩¹

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 内蒙古苇莲河地区是近年来进行黑钨矿找矿勘查的区域, 位于兴蒙造山带中东部, 大兴安岭主脊中部。矿床类型可能为典型的石英脉型黑钨矿。黑钨矿石英脉以近于直立(75°)的平直脉体产于花岗岩内或岩体与地层的外接触带, 脉体向下尖灭于岩体内部, 主要的矿化蚀变类型有钾长石化、绿帘石化、绢云母化、硅化等。本文在初步研究矿床地质特征的基础上, 对成矿岩体——花岗岩进行高精度 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及地球化学分析。U-Pb 测年结果显示, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和年龄为(145±1)Ma, 加权平均年龄为(143±1)Ma。地球化学特征显示, 岩体具有典型的富硅、富碱特征, SiO₂ 平均 74.13%, (Na₂O+K₂O) 平均 9.44%, Na₂O/K₂O 平均 0.95, 属高钾钙碱性系列岩石; Al₂O₃ 平均为 12.91%, 铝饱和指数 A/CNK 全部靠近 1.0, 为准铝质到弱过铝质花岗岩类, 相对贫 Mg; 稀土总量较低, ΣREE 变化于 122.02×10⁻⁶~235.79×10⁻⁶, 表现为右倾稀土元素配分模式, 弱富集轻稀土, 并具有强烈的负铈异常, 高场强元素 Th、U、Nd、Hf 明显富集, 而 Ba、Sr、P、Ti、Nb 显著亏损; 低 Sr, 高 Yb, Nb/Ta 比值变化于 12.12~13.78, 强不相容元素 Rb 高度富集, Rb/Sr 比值 1.25~14.58, Ti/Y 比值 42.49~114.48, Ti/Zr 比值 5.20~8.45; 总体为壳源岩浆的特征。苇莲河花岗岩侵位时代为早白垩世, 属燕山期构造岩浆活动的产物, 其可能的形成构造背景为古太平洋板块斜向俯冲后, 后退过程中的伸展滑塌背景。

关键词: 内蒙古; 苇莲河; 石英脉型; 黑钨矿; 锆石 LA-ICP-MS 年代学; 地球化学

中图分类号: P597; P588.12⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)05-0963-15

Chronology and geochemical characteristics of granite in Weilianhe of Inner Mongolia and its geological significance

XIANG Anping^{1,2}, CHEN Yuchuan², SHE Hongquan², LI Guangming¹, LI Yingxu¹

(1. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geology Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Weilianhe W deposit in eastern Ujumchin of Inner Mongolia is a quartz-vein type deposit in the mid-eastern part of

收稿日期: 2016-11-07; 改回日期: 2017-12-18

基金项目: 国家基础科研项目(2013CB429800)、中国地质调查局综合地质调查项目(121201010000150014)联合资助。

作者简介: 向安平, 1986 年生, 男, 博士, 助理研究员, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: xap2011@sina.cn。

the Central Asian Orogen. Based on spatial relationships, the authors revealed that granite is closely associated with mineralization. The authors conducted precise laser ablation inductively coupled plasma mass spectroscopy (LA-ICP-MS) U-Pb zircon dating and geochemical analysis of the granite. The U-Pb dating shows that the granite is $(145 \pm 1)\text{Ma}$, and the weighted average age is $(143 \pm 1)\text{Ma}$. Major and trace element geochemistry shows that the granite is characterized by high SiO_2 and K_2O content, a “right-inclined” shape of the chondrite normalized REE patterns, enrichment of large ion lithophile elements (LILEs), and depletion of high field strength elements (HFSEs) such as Nb, P, Ba. The granite is high-K calc-alkaline, has a strong negative Eu anomaly ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.22-0.42$), low P_2O_5 content, A/CNK near the value of 1, enriched in large-ion lithophile elements (LILEs such as Th, U, Nd, and Hf), and notably depleted in Ba, Sr, P, Ti, and Nb. These characteristics define the Weilianhe granite as a highly fractionated peraluminous granite. According to the granite age and the characteristics of granite, the authors hold that the Weilianhe deposit is related to a major Early Cretaceous mineralizing event in China known as the Yanshanian movement. The tectonic setting for the ore deposit was the post-tectonic stretching setting after the oblique subduction of the Pacific plate.

Keywords: Inner Mongolia; wolframite; geochronology; quartz vein; granite; LA-ICP-MS; geochemistry; Weilianhe

About the first author: XIANG Anping, male, born in 1986, doctor, assistant researcher, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: xap2011@sina.cn.

Fund support: Supported jointly by National Basic Research Project (No. 2013CB429800), Comprehensive Geological Survey Project(No121201010000150014).

1 引 言

内蒙古苇莲河位于内蒙古东部,大地构造位置处于兴蒙造山带中东部(Mao et al., 1999, 2003a, 2011; Wu et al., 2011; 余宏全等, 2012; 李锦轶, 2013; Xu et al., 2013, 2015a; Wang et al., 2015a),中国北方地区重要的成矿区带——大兴安岭成矿带中东部(图 1a)。古生代以来,受古亚洲构造域、蒙古鄂霍茨克构造域和古太平洋构造域联合制约(Mao et al., 1999, 2003a, 2011; Wu et al., 2011; 余宏全等, 2012; 李锦轶, 2013; Xu et al., 2013, 2015a; Wang et al., 2015a)。近年来,该成矿带找矿勘查已取得的成果主要以Cu、Mo、Fe、Pb、Zn、Au、Ag、Ni多金属为代表,代表性矿床有:朝不楞砂卡岩型铁锌矿、沙麦石英脉型黑钨矿、二道河砂卡岩型铅锌(银)矿、太平沟斑岩型钼矿、岔路口斑岩型钼(铜)矿、红花尔基砂卡岩型白钨矿、多宝山斑岩型铜钼矿(葛文春等,2007; 聂凤军等,2010; Chen et al., 2011; 向安平等, 2012, 2014; 刘军等, 2013; Liu et al., 2014; Jiang et al., 2016)。该成矿带找矿勘查工作已经取得了突破性进展,有望发展成为中国北方地区重要的成矿亚带。

苇莲河地区位于大兴安岭中段东坡,属于东乌旗至嫩江Ⅲ级成矿亚带,靠近嫩江断裂。研究区地处大兴安岭主峰,森林覆盖极其严重,交通不便,地

质物化探工作程度较低。解放前只进行了零星的路线地质调查。解放后,先后有多家地勘单位在该区开展过区域地质调查和矿产普查工作。2013—2015年内蒙古自治区第六地质矿产勘查开发院在苇莲河预查区开展了一系列预查找矿工作,但并无找矿进展。截至2015年8月,在与内蒙古自治区第六地质矿产勘查开发院(后文简称六院)合作研究过程中,笔者在综合分析预查区已有资料的基础上,在研究区进行踏勘、异常查证、预查区大比例尺简易填图的工作,并最终取得了重大找矿突破,圈定了野外原生露头矿化体,指明了下一步找矿方向。由于研究区尚处于预查阶段,研究工作展开有限,研究区岩浆岩研究匮乏,岩体与成矿的关系并不明确,赋矿花岗岩是为即成矿岩体均不明确。本文对赋矿花岗岩展开年代学及其地球化学研究,以期对研究区找矿勘查提供线索。

2 研究区地质

研究区出露地层主要为二叠系林西组 and 上侏罗统满克头鄂博组。林西组出露在研究区中南部,为一套变质中—粗粒杂砂岩、中粒长石杂砂岩夹变质粉砂岩、板岩、粉砂质板岩,为研究区花岗岩及矿体的主要围岩,地层蚀变较弱或无蚀变,仅在与岩体接触带的几米内局部可见绿帘石化、石英绢云母化、绿泥石化顺裂隙发育,并伴随有强的黄铁矿

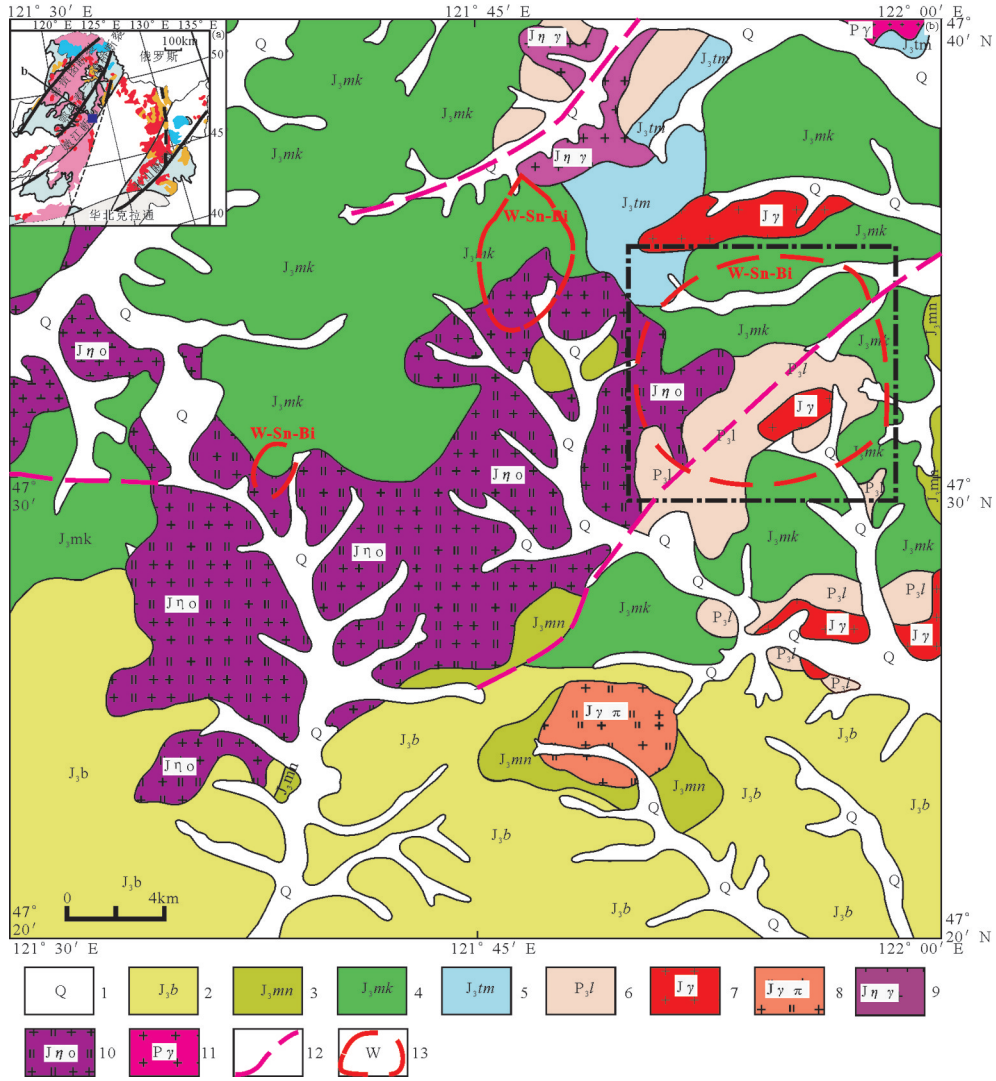


图1 苇莲河矿区区域地质图(据1:20万区域地质图修改)

1—第四系;2—侏罗系白音高老组;3—侏罗系玛尼吐组;4—侏罗系满克头鄂博组;5—侏罗系塔木兰沟组;6—二叠系林西组;7—侏罗纪花岗岩;8—侏罗纪花岗斑岩;9—侏罗纪二长花岗岩;10—侏罗纪石英二长岩;11—二叠纪花岗岩;12—断层;13—区域化探异常

Fig.1 Regional geological map of the Weilianhe W ore district (modified after 1:200000 regional geological map)

1-Quaternary; 2-Jurassic Baiyingaolao Formation; 3-Jurassic Ma' nitu Formation; 4-Jurassic Manketou' ebo Formation; 5-Jurassic Tamulangou Formation; 6-Permian Linxi Formation; 7-Jurassic granite; 8-Jurassic granite porphyry; 9-Jurassic Monzonite granite; 10-Jurassic quartz monzonite; 11-Permian granite; 12-Fault; 13-Geochemical anomaly

化。满克头鄂博组是大兴安岭地区侏罗系最主要的火山岩地层之一,为一套灰白、灰绿、灰紫色酸性含角砾凝灰熔岩、酸性含角砾、岩屑、晶屑、玻屑熔结凝灰岩、凝灰岩为主夹少许沉凝灰岩及正常沉积岩,与下伏塔木兰沟组地层呈不整合接触,与上覆玛尼吐组为整合接触,主要分布在研究区的东北和北部地区(图1b)。

研究区内侵入岩发育,分布广泛,以花岗岩类为主,已查明主要是二叠纪和侏罗纪两期岩浆岩。

二叠纪花岗岩主要分布在区域地质图(图1b)东北角,出露面积不大,以不规则岩株状产出,岩体侵入古生代地层,但被大面积侏罗纪火山岩覆盖;主要岩性为花岗岩、花岗斑岩,属重熔型花岗岩类,围岩蚀变强烈;常见硅化、角岩化、次生石英岩化、绢云母化、绿帘石化等。侏罗纪侵入岩分布广泛,岩体多呈岩基或岩株产出,主要岩性有花岗岩(J γ)、花岗斑岩(J $\gamma\pi$)、二长花岗岩(J $\gamma\gamma$)、石英二长岩(J $\eta\sigma$)等(图1b);围岩蚀变强烈,常见蚀变类型有石英岩化、绢

云母化,次生石英岩化;空间上与成矿关系最为密切的是研究区中部的花岗岩(J γ)。

花岗岩呈小岩株状侵入于二叠系林西组砂岩或杂砂岩中,出露顶部呈北东向斜卧椭圆状,出露面积1 km²,岩体与地层的内外接触带,均发生不同程度的蚀变,局部可见岩体冷凝边。

研究区位于大兴安岭主脊中段东坡,处于华北板块与西伯利亚板块之间的中亚—蒙古造山带的东部,即晚古生代东乌珠穆沁旗—嫩江褶皱带(Ⅱ级构造单元)与大兴安岭中生代火山岩区的交汇地段,受成矿带两侧头道桥—鄂伦春断裂、嫩江大断裂及大兴安岭主脊断裂的共同影响,构造极其发育,主构造线方向为北东向,主要以北东向断裂为主(图1)。

3 矿化特征

3.1 找矿进展

研究区找矿勘查一直未取得重大突破,虽然六院已经进行了为期四年的预查找矿工作,但无实质性进展。2015年8月,笔者在野外工作过程中,与六院合作完成预查区找矿勘查工作,在系统了解其前期所完成工作的基础上,深入分析其物探、化探,钻孔、探槽而后开展针对性野外踏勘、异常验证、简易的矿区填图工作,最终在矿区西北角确认了一条隐蔽的黑钨矿石英脉,并用追索法,圈定野外原生露头(矿体),地表断续可见矿脉长140 m。

圈出矿脉位于化探异常最好的区域,矿脉走向近南北,宽0.5~1 m,舒缓波状宽窄变化大,公里网坐标矿脉北端坐标(415800,5268200)、南端坐标(415800,5268060)。石英脉露头、矿体以及黑钨矿矿石可见图2。石英—黑钨矿局部侵入于二叠系林西组中,但追索其根部,在南部的山坡上可见其局部“扎根”在花岗岩中。

3.2 矿化特征及蚀变

经钻孔揭露及其地表找矿勘查工作,显示矿化主要发生在赋矿岩体——花岗岩近地表,岩体与地层的内外接触带,圈定主矿体黑钨矿石英脉一条,伴随主矿体可见发育两组相交细小含矿石英脉,一组平行于矿体近于南北走向,一组北北西走向,含矿石英细脉密集发育,两组石英脉可能近于同时形成,为含矿热液充填共轭节理沉淀而形成。

黑钨矿石英脉南北延伸大于140 m(两端不封闭,有待勘查继续进行),宽1~2 m,有膨胀收缩、尖灭再现的现象,产状近于直立,局部微倾向西,倾角近于80°。黑钨矿石英脉显著的不均匀矿化,局部黑钨矿晶体集中产出(图2b、c、d),黑钨矿单晶直径可达5 cm;局部石英脉干净无矿化。在主矿脉两侧平行密集发育大量微细石英脉,也有呈放射状产出者,微细石英脉宽约5~10 cm不等,局部可见含有黑钨矿小晶体,细小石英脉两侧局部有黑钨矿小颗粒被白钨矿交代的现象。微细含矿石英脉与大脉对应于“五层楼+地下室”模式密集细脉带和大脉带(陈毓川等,2012,2014;王登红,2010;许建祥,2008)。矿化最好处目估品味可达8%~10%。但是矿化在垂向上目前并没有很好的控制,六院虽然完成了一定工作量的钻探工程,可能由于钻孔布置的原因,钻孔全部直立或近于直立,钻孔中并未揭露到主矿体,仅在钻孔中局部可见少量微细含矿石英脉产出,微细石英脉矿化特征同于地表,偶见少量黑钨矿晶体镶嵌在石英脉边部,也呈现黑钨矿颗粒局部被白钨矿颗粒交代的现象。

研究区黑钨矿矿化主要出现在宽大石英脉两侧,岩体中少见黑钨矿直接产出,黑钨矿多呈板柱状、长柱状或三角状(图2b、c),单晶最大 $d=10$ cm,宽2 cm,与纯净石英脉紧密共生,多不均匀镶嵌其中,几乎不见其他金属矿物,偶有石英脉边部少量黑钨矿晶体被白钨矿交代的现象(图2f);黑钨矿镜在透射光单偏光镜下常显示一定的棕红色或深棕色(图2e)。

研究区矿化蚀变主要有:钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化等。其中与矿化关系最密切的是绿帘石化、钾化。

绿帘石化是研究区最普遍的矿化蚀变类型,镜下可见(图3a、b)其多为细小颗粒充填在石英、钾长石颗粒粒间,相伴发育的蚀变还有钾长石化、绢云母化和硅化;钾长石化主要发育在岩体的下部,浅地表内外接触带局部可见钾化—石英脉产出(图3d);绢云母化发育在岩体内接触带,在硅化石英脉两侧岩石普遍强烈发育(图3c、d);绿泥石化相对较少见。总体上,矿区蚀变并不强烈,岩体基本保存完好,蚀变强弱与离矿化石英脉的距离呈反比,地层中同样仅在石英脉两侧蚀变发育,随距离增加而

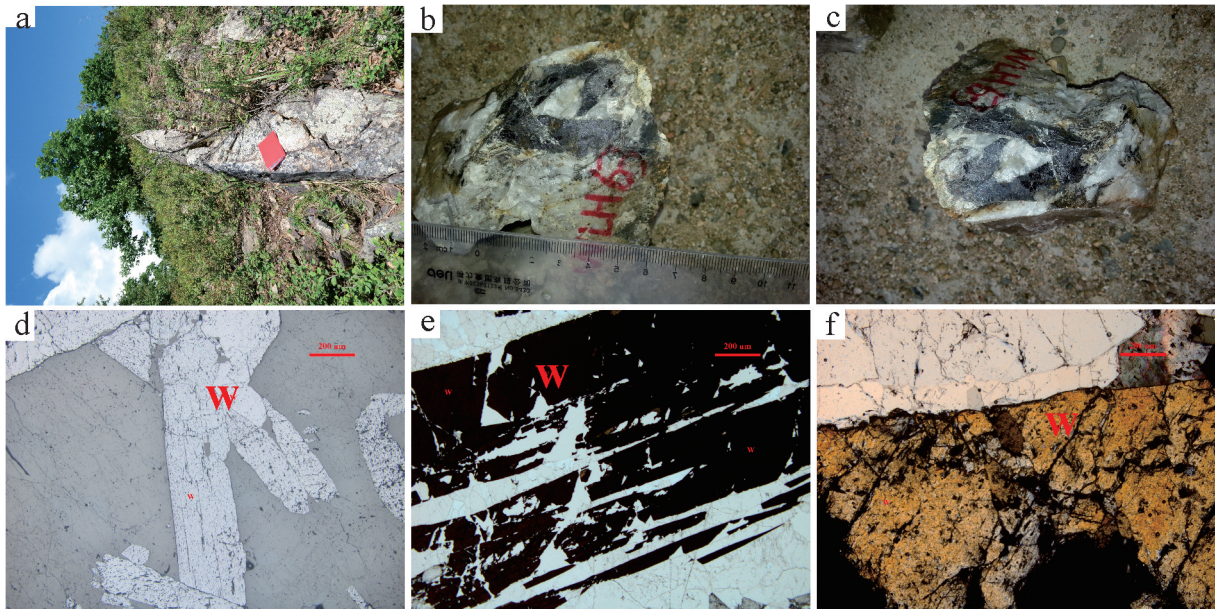


图2 苇莲河矿区黑钨矿矿脉、矿石及镜下特征

a—黑钨矿脉;b、c—黑钨矿石;d—单偏镜下黑钨矿;e—正交镜下黑钨矿;f—单偏镜下白钨矿

Fig. 2 Photographs of W ore and microphotographs of W ore in the Weilianhe W ore district

a— Wolframite quartz vein; b/c—Wolframite; d—Wolframite, plainlight; e—Wolframite, crossed nicols; f— Scheelite, plainlight

减弱。

4 测年样品、测试分析及结果

4.1 花岗岩样品及测试分析

赋矿岩体花岗岩,中粗粒花岗结构,块状构造,主要组成矿物为钾长石、石英,几乎不见暗色矿物,局部可见副矿物锆石、磁铁矿;其中钾长石占75%,钾长石板柱状半自形、自形结构,显著的条纹,发育简单双晶、信封状双晶、扇状双晶等,局部可见钾长石表面弱的泥化;石英占25%,颗粒通常较小,半自形-他形粒状,表面干净,明亮,一级白的干涉色明显区别于钾长石(图4)。依据矿体产出的空间位置,其与花岗岩的相互关系,笔者认为,黑钨矿石英脉围岩——花岗岩可能与成矿关系密切,为准确限定其形成时代,本次研究工作采集了钻孔岩芯中与黑钨矿化关系密切的花岗岩样品 WL-01,并采用高精度 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,进行 U、Pb 同位素分析。

锆石的分选工作由廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成,样品制靶及阴极发光(CL)显微照相在北京锆年领航科技有限公司完成。LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成,详细实验测试过程可参见侯可军等(2009)。样品分析

过程中,Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为 $(338.3 \pm 4.5) \text{Ma} (n=4, 2\sigma)$,对应的年龄推荐值为 $(337.13 \pm 0.37) \text{Ma} (2\sigma)$ (Slama et al, 2008),两者在误差范围内完全一致。

4.2 测年结果

花岗岩锆石 U-Pb 年代学数据列于表 1。

WL-01: 锆石均发育良好的震荡环带,几乎不含包裹体,无色透明或略显淡黄色,呈不规则粒状或板柱状,粒径为 $80 \sim 150 \mu\text{m}$,自形程度较高,长宽比多为 1:2 或者 1:3,阴极发光图像显示花岗岩锆石呈亮暗相间分布的规则环带,棱角分明,环带比较宽,多顺长轴分布,并且锆石颗粒多具有平直规则的外边界,没有不规则核,一系列特征显示所研究的锆石全部来自于岩浆冷凝固晶,无继承锆石存在(图 5)。锆石的 Th、U 含量分别为 $31.4 \times 10^{-6} \sim 614.68 \times 10^{-6}$ 和 $35.4 \times 10^{-6} \sim 319.08 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.16~0.49,比值多大于 0.2 或近于 0.2;总体上 Th、U 含量不高,也导致了其 CL 图像明显较亮(图 5),结合前述锆石形态特征,认为本次用于测试分析的样品锆石全部为岩浆锆石 (Claesson et al., 2000; Rayner et al., 2005; Rubatto, 2002)。

可能正是由于 Th、U 含量不高,测试仪器调试的原因,测试分析信号偏弱,导致数据谐和度较差,

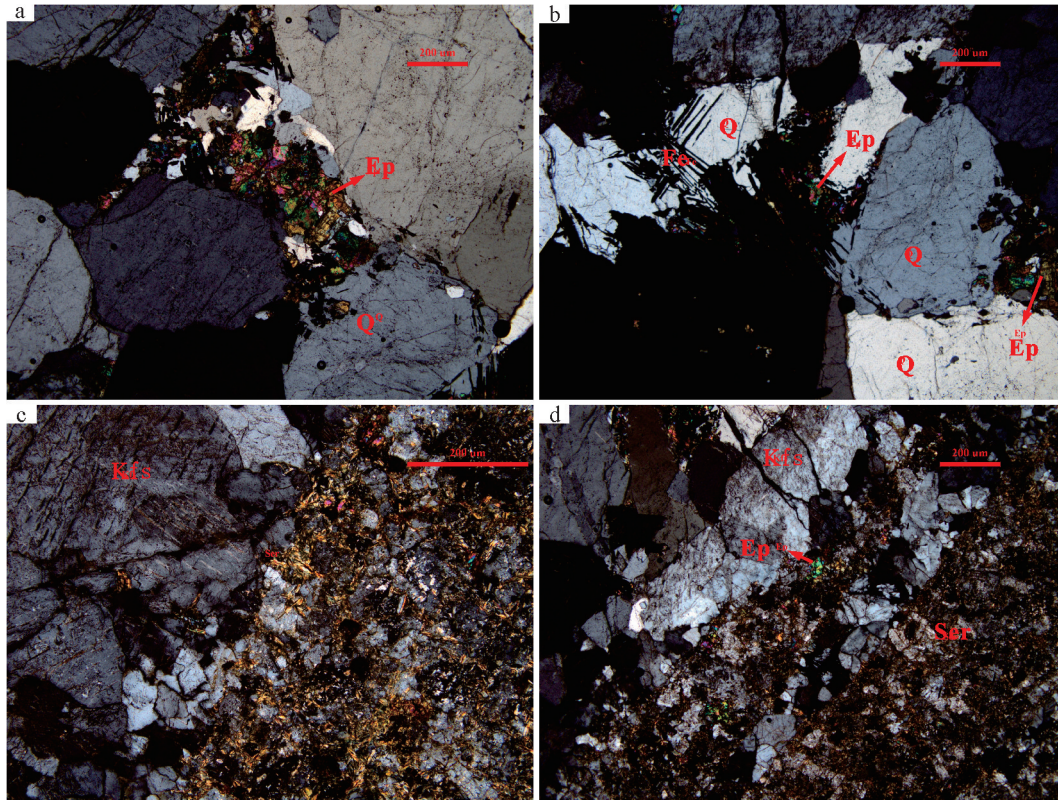


图3 苇莲河矿区围岩蚀变特征
a—绿帘石化花岗岩;b—磁铁矿化、绿帘石化花岗岩;c—云母化;d—绿帘石化、绢云母化花岗岩;Ep—绿帘石,
Ser—绢云母,Q—石英,Kfs—钾长石

Fig. 3 Alteration characteristics of wall rock in the Weilianhe W ore district

a—Epidotization of granite;b—Magnetite and Epidotization of granite;c—Sericitization;d—Epidotization and Sericitization of granite;Ep—epidote;
Ser—Sericite;Q—quartz;Kfs—potash feldspar

仅有8个点在谐和线上(图6a),谐和年龄为145 Ma,MSWD为5;而其他数据虽然谐和性不好,但是 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄很集中,均在140~150 Ma,其加权平均年龄为143 Ma(图6b),加权平均年龄跟谐和年龄在误差允许范围内是一致的,因此本论文认为这个测试数据对于成岩时代的确定是有着很好参考意义的,其可能的成岩时代就是145 Ma。

5 地球化学特征

由于研究区正在进行普查,没有研究资料的积累,本文对与成矿关系密切的花岗岩做系统的主微量元素分析。岩体主量、微量和稀土元素分析测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,仪器型号为Finnigan MAT制造,HR-ICP-MS(Element I),测试方法和依据参照DZ/T0223-2001电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法通则,实验过程中温度20℃,相对湿度30%。测试数据见表2。

苇莲河石英脉型黑钨矿区赋矿岩体花岗岩的主量、微量元素分析结果列于表2。从表中数据可以看出,赋矿花岗岩具有典型的高硅、富碱特征,其 SiO_2 含量多大于73%,变化于69.85%~76.48%(平均74.13%), $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 含量多大于9%,变化于8.55%~10.72%,平均9.44%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值0.73~1.15,平均0.95,明显富钾的特征,属高钾钙碱性系列(图7a),并有一个点到了钾玄岩系列;同时富Al, Al_2O_3 含量全部大于12%,变化于12.05%~14.19%,平均为12.91%,铝饱和指数A/CNK介于0.87~1.02,平均0.98,为准铝质花岗岩类(图7b)。相对贫Mg,Mg含量0.10%~0.45%,低P,P含量0.02~0.09%,低Ti,Ti含量0.14~0.37%。

研究区赋矿花岗岩稀土和微量数据列于表2,其配分曲线分布形式见图8,数据显示花岗岩稀土元素总量变化较大, ΣREE 变化于 122.02×10^{-6} ~ 235.79×10^{-6} ,LREE总量为 107.35×10^{-6} ~ 214.60×10^{-6} ,

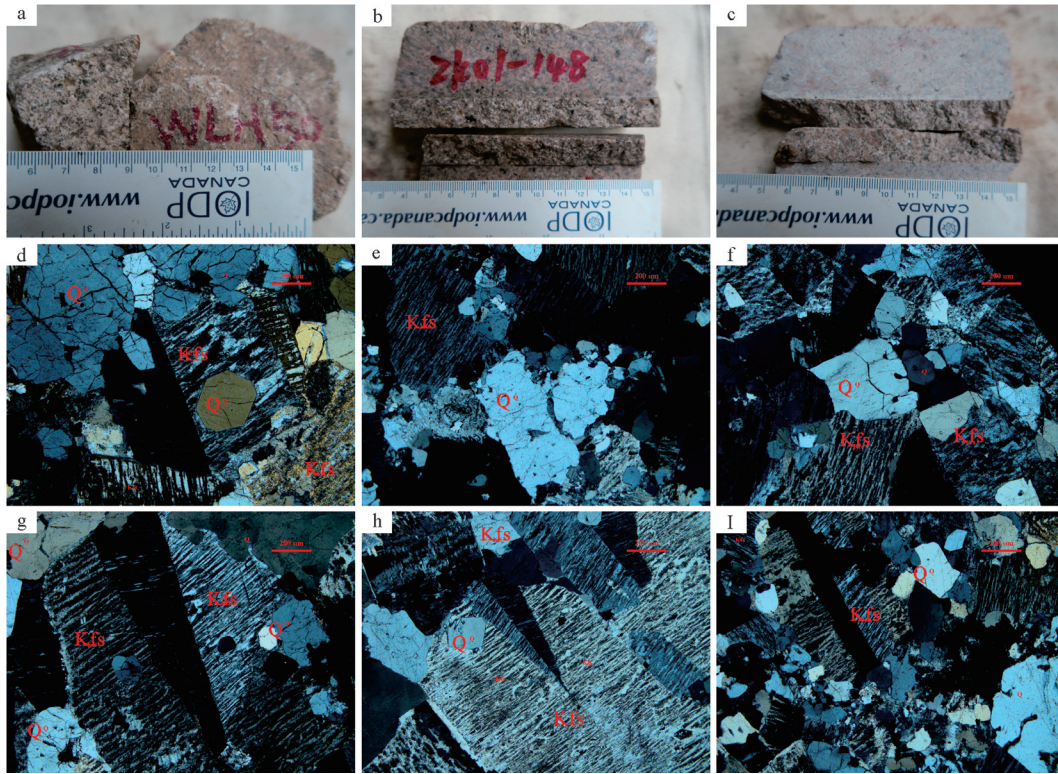


图4 苇莲河花岗岩及镜下特征
Q—石英;Kfs—钾长石

Fig. 4 Photographs and microphotographs of granite in the Weilianhe W ore district
Q—quartz; Kfs—potash feldspar

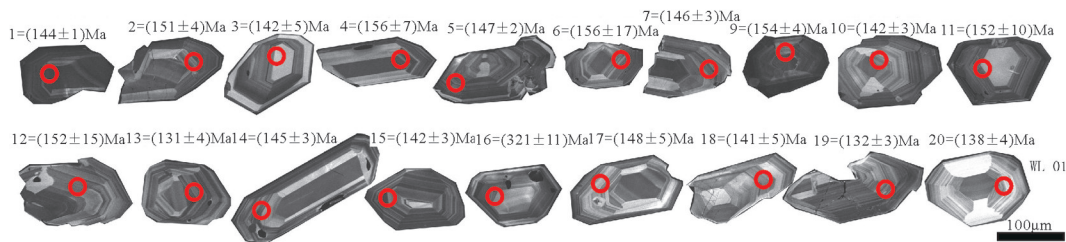


图5 苇莲河钨矿区花岗岩锆石CL图像及测年数据分析点位

Fig.5 Cathodoluminescence images of zircons from granite in the Weilianhe W ore district
Analyzed spots are circled. Numbers are $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age

HREE 总量为 $14.35 \times 10^{-6} \sim 20.83 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 比值变化于 7.18~10.52, $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 比值多大于 6, 近于 10, 变化于 6.68~10.91, 显示出轻重稀土分馏强烈; 其稀土配分曲线显示明显的右倾, 并具有显著的负铕异常, $\delta \text{Eu} = 0.23 \sim 0.77$ (图 8a)。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 8b)上, 具有相对一致的微量元素分布特征。Sr 含量变化较大, $13.38 \times 10^{-6} \sim 144.90 \times 10^{-6}$, 但总体是低 Sr (远小于 400×10^{-6}); Yb 变化幅度不大 ($2.22 \times 10^{-6} \sim 3.17 \times 10^{-6}$), 均在 $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$, 全部数据 Yb 含量 $> 2 \times 10^{-6}$, 属

于高 Yb 特征, 说明其形成的压力较低 (< 0.8 或 1.0 GPa), 残留相有斜长石无石榴石(角闪岩相) (Martin et al., 2005), 壳源特征; Nb、Ta 含量相对比较稳定, Nb 含量相对较高, 变化于 $12.31 \times 10^{-6} \sim 20.98 \times 10^{-6}$, Ta 含量较低, 变化于 $1.02 \times 10^{-6} \sim 1.63 \times 10^{-6}$, Nb/Ta 比值均在 13 左右, 变化于 12.12~13.78, 其比值全部低于幔源岩浆 17 ± 1 的比值 (Hofmann, 1988), 显著的壳源特征; 总体上表现为高场强元素 Th、U、Nd、Hf 明显富集, 而 Ba、Sr、P、Ti、Nb 显著亏损, 典型的低 Ba、Sr, 强不相容元素 Rb 高度富集,

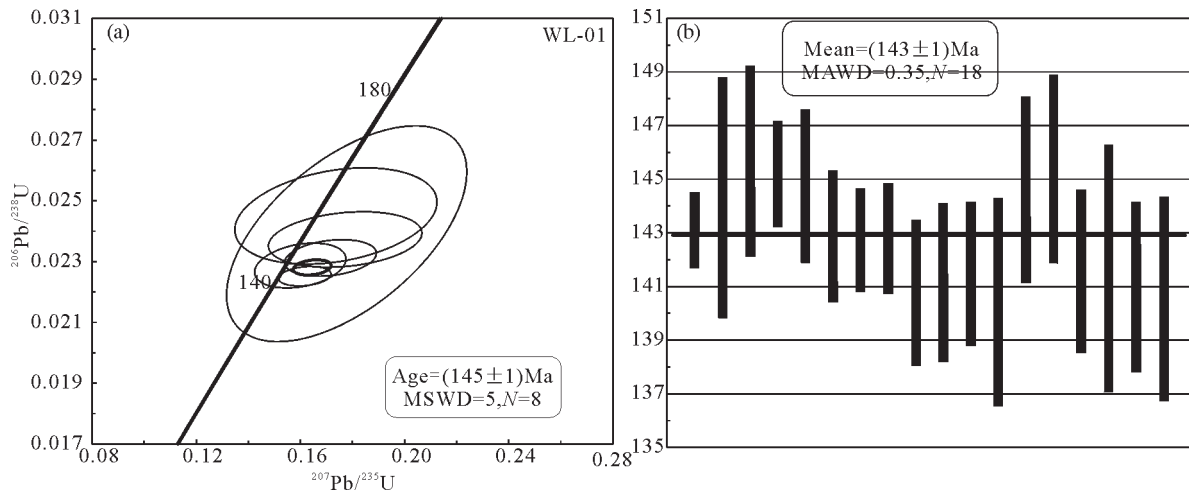


图6 苇莲河钨矿区花岗岩锆石U-Pb年龄谐和图(a)和加权平均年龄图(b)

Fig.6 Zircon LA-ICP-MS U - Pb concordia diagrams for the granite in the Weilianhe W ore district (a) and the weighted average age diagram (b)

表1 苇莲河钨矿区花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析数据

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb isotopic data for the granite from the Weilianhe W ore district

测试点	Th	U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
	/10 ⁻⁶	/10 ⁻⁶	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	Age/Ma	1 σ
WL01-1	614.68	319.08	0.1617	0.0066	0.0225	0.0002	1.93	144	1
WL01-2	110.50	116.02	0.1772	0.0195	0.0237	0.0006	0.95	151	4
WL01-3	35.86	47.17	0.3850	0.0306	0.0223	0.0009	0.76	142	5
WL01-4	183.67	135.07	0.1737	0.0256	0.0245	0.0010	1.36	156	7
WL01-5	143.82	158.53	0.1716	0.0116	0.0231	0.0004	0.91	147	2
WL01-6	89.47	97.18	0.2499	0.1387	0.0245	0.0028	0.92	156	17
WL01-7	208.02	148.70	0.1600	0.0116	0.0229	0.0005	1.40	146	3
WL01-9	110.18	102.31	0.2943	0.0193	0.0242	0.0006	1.08	154	4
WL01-10	68.69	67.91	0.2457	0.0159	0.0223	0.0005	1.01	142	3
WL01-11	62.05	68.09	0.2840	0.0747	0.0239	0.0016	0.91	152	10
WL01-12	98.79	78.89	0.1778	0.0304	0.0239	0.0023	1.25	152	15
WL01-13	75.24	60.00	0.2468	0.0183	0.0205	0.0007	1.25	131	4
WL01-14	48.55	44.97	0.3615	0.0244	0.0227	0.0005	1.08	145	3
WL01-15	72.01	47.19	0.3194	0.0168	0.0223	0.0005	1.53	142	3
WL01-16	31.40	46.94	0.4852	0.0594	0.0511	0.0018	0.67	321	11
WL01-17	45.27	59.09	0.3069	0.0347	0.0232	0.0008	0.77	148	5
WL01-18	32.90	35.40	0.4258	0.0257	0.0222	0.0008	0.93	141	5
WL01-19	84.24	78.61	0.2417	0.0113	0.0207	0.0004	1.07	132	3
WL01-20	46.26	44.35	0.3672	0.0195	0.0216	0.0006	1.04	138	4

Rb/Sr 比值 1.25~14.58, Ti/Y 比值 42.49~114.48, Ti/Zr 比值 5.20~8.45; 总体为壳源岩浆的特征。成矿带上另一个新近取得重大突破的石英脉型黑钨矿——

达亚纳石英脉型黑钨矿, 其成矿岩体黑云母花岗岩主微量元素(Xiang et al., 2016)与本文的有很高的相似性, 总体来看, 都具有壳源重熔型花岗岩的主

表2 苇莲河钨矿区花岗岩主微量元素(%)及微量(10^{-6})元素分析结果

Table 2 Major elements (%), trace elements (10^{-6}) composition of the granite in the Weilianhe W ore district

样品号	ZK01-148	ZK01-175	ZK01-211	ZK01-283	ZK01-300	ZK01-268	ZK01-189	WL50
SiO ₂	75.19	75.61	76.02	73.47	73.48	69.85	73.11	76.48
Al ₂ O ₃	12.17	12.20	12.05	13.41	13.51	14.19	13.67	12.07
TFe ₂ O ₃	2.12	2.07	2.19	2.18	2.28	2.73	2.21	2.02
CaO	0.50	0.45	0.42	0.45	0.40	1.01	0.61	0.21
MgO	0.20	0.16	0.12	0.22	0.19	0.45	0.23	0.10
K ₂ O	4.70	4.69	4.69	4.92	4.47	6.20	4.54	4.66
Na ₂ O	4.81	4.45	4.23	4.73	5.12	4.52	4.93	3.89
MnO	0.08	0.10	0.07	0.10	0.15	0.10	0.10	0.08
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.09	0.05	0.02
TiO ₂	0.16	0.14	0.14	0.25	0.24	0.37	0.26	0.14
FeO	1.42	1.42	1.42	1.77	1.53	1.89	1.42	1.00
烧失量	0.10	0.20	0.16	0.34	0.22	0.60	0.40	0.44
Total	101.48	101.51	101.51	101.87	101.63	101.98	101.51	101.10
A/CNK	0.87	0.92	0.94	0.96	0.96	0.89	0.97	1.02
A/NK	0.93	0.98	1.00	1.02	1.02	1.00	1.05	1.05
Na ₂ O/K ₂ O	1.02	0.95	0.90	0.96	1.15	0.73	1.08	0.83
Na ₂ O+K ₂ O	9.52	9.14	8.91	9.65	9.59	10.72	9.47	8.55
La	21.96	22.95	27.28	42.64	41.52	38.50	41.88	28.27
Ce	52.21	52.39	60.47	110.27	105.81	90.79	104.46	55.93
Pr	6.38	6.33	6.93	11.90	11.84	10.83	11.43	7.74
Nd	21.52	21.04	22.38	40.60	41.23	37.91	40.34	25.59
Sm	4.88	4.49	4.62	7.97	7.85	6.87	7.59	5.53
Eu	0.41	0.38	0.34	1.23	1.35	1.67	1.34	0.48
Gd	4.29	4.32	4.32	7.06	7.03	6.11	6.54	5.12
Tb	0.67	0.64	0.63	0.97	0.95	0.82	0.91	0.77
Dy	3.97	3.79	3.72	5.15	5.14	4.28	4.94	4.22
Ho	0.77	0.71	0.69	1.01	0.99	0.81	0.92	0.80
Er	2.21	2.14	2.12	2.91	2.92	2.44	2.70	2.38
Tm	0.36	0.32	0.33	0.46	0.44	0.37	0.43	0.37
Yb	2.36	2.22	2.22	3.17	2.92	2.53	2.82	2.44
Lu	0.33	0.31	0.32	0.46	0.44	0.39	0.42	0.36
ΣREE	122.31	122.02	136.37	235.79	230.43	204.31	226.73	140.00
LREE	107.35	107.58	122.02	214.60	209.60	186.57	207.05	123.54
HREE	14.95	14.44	14.35	21.19	20.83	17.74	19.67	16.46
LREE/HREE	7.18	7.45	8.50	10.13	10.06	10.52	10.52	7.51
(La/Yb) _N	6.68	7.41	8.83	9.65	10.20	10.91	10.67	8.32
δ Eu	0.27	0.26	0.23	0.49	0.54	0.77	0.57	0.27
δ Ce	1.07	1.05	1.05	1.18	1.15	1.07	1.15	0.91
Li	2.85	6.39	7.09	2.82	3.09	9.90	7.78	6.70
Be	4.20	2.92	2.67	6.72	6.37	3.77	2.74	4.83
V	16.92	12.38	13.19	13.00	13.35	19.33	14.04	11.11
Cr	33.31	27.98	36.62	29.72	48.10	20.32	26.44	23.21
Co	1.25	0.72	0.63	0.79	0.75	1.91	0.79	1.33
Ni	3.83	1.94	1.51	2.39	2.17	1.37	1.12	1.76
Cu	4.00	3.36	3.32	5.94	4.36	3.76	2.95	3.34
Zn	45.83	58.78	46.31	69.33	34.96	324.80	93.94	32.20
Ga	19.48	19.67	20.11	19.71	19.78	18.90	21.18	19.75
Rb	171.50	105.20	125.70	147.70	153.40	180.90	123.60	195.10
Sr	20.91	18.79	33.43	15.45	14.05	144.90	49.20	13.38
Y	18.01	17.71	17.75	23.32	23.26	19.39	21.87	19.77
Zr	153.55	151.20	160.79	250.86	249.11	262.80	234.83	161.51
Nb	19.38	15.72	16.08	19.02	20.98	12.31	15.77	19.42
Cs	2.85	2.43	2.26	2.78	2.77	3.37	2.95	3.27
Hf	5.94	7.17	6.92	8.69	8.21	7.98	8.97	7.06
Ba	60.57	41.16	55.76	510.14	532.26	1054.64	681.03	79.49
Ta	1.42	1.14	1.17	1.45	1.63	1.02	1.17	1.45
W	1.64	2.58	3.91	1.50	1.52	17.01	3.70	8.25
Pb	13.27	29.09	57.62	80.72	23.80	109.30	32.29	12.06
Th	11.55	8.94	14.17	13.33	14.31	14.54	13.80	14.45
U	5.61	3.34	5.90	6.24	4.16	5.70	5.98	3.15
Nb/Ta	13.63	13.78	13.73	13.16	12.86	12.12	13.49	13.39
Rb/Sr	8.20	5.60	3.76	9.56	10.92	1.25	2.51	14.58
Ti/Y	53.65	48.12	47.99	63.28	61.39	114.48	71.86	42.49
Ti/Zr	6.29	5.64	5.30	5.88	5.73	8.45	6.69	5.20

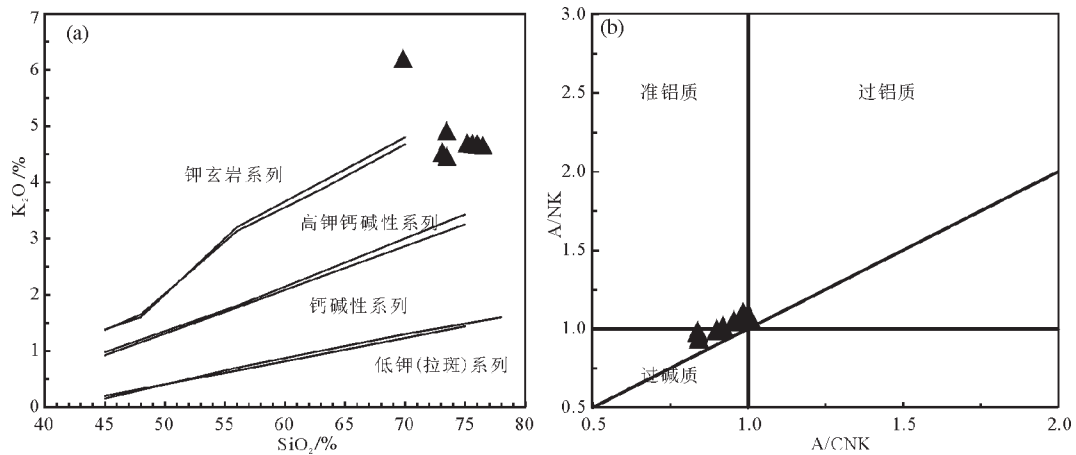


图7 苇莲河花岗岩 SiO₂-K₂O图解(a)和 A/CNK-A/NK图解(b)

Fig. 7 Classifications diagrams for the biotite granite in the Weilianhe W ore district in Inner Mongolia: (a) SiO₂-K₂O plot; and (b) A/NCK-A/NK plot

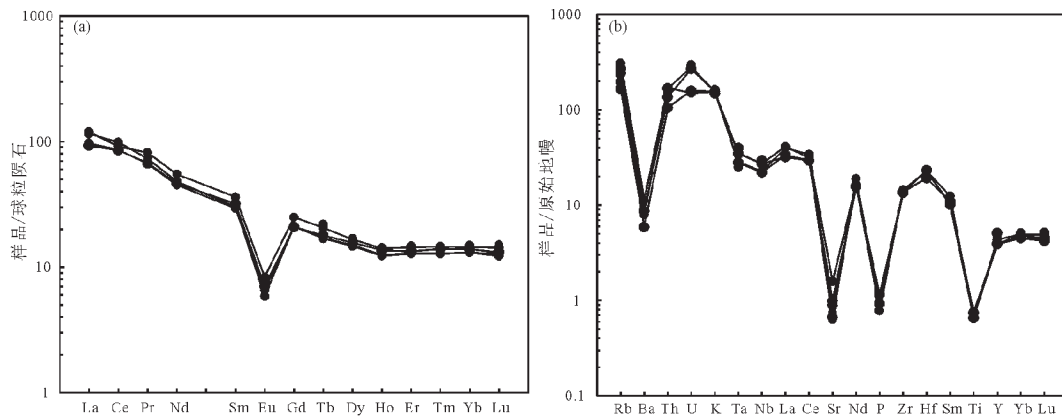


图8 苇莲河花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig.8 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spider diagram (b) for the granite in the Weilianhe W ore district in Inner Mongolia

微量元素特征。

6 花岗岩成因及其构造背景初探

6.1 岩浆物质来源

根据岩石地球化学的研究,可知其赋矿花岗岩(可能即成矿岩体)具有典型的高硅、富碱,为高钾钙碱性系列至钾玄岩系列花岗岩,准铝质,缺Mg,缺暗色矿物,主量元素特征显示其类似于达亚纳矿区黑云母花岗岩(Xiang et al., 2016),有着壳源花岗岩的特征。同时稀土元素特征显示,总稀土含量较高,轻重稀土分馏强烈,配分曲线显著地右倾,并有显著地富Eu异常;微量元素上,花岗岩有着低Sr、高

Yb,说明其形成的压力较低(<0.8或1.0 GPa),残留相有斜长石无石榴子石(角闪岩相)(Martin et al., 2005);Nb/Ta比值较高(13左右),但仍然低于幔源岩浆17±1的比值(Hofmann, 1988),高场强元素Th、U、Nd、Hf明显富集,而Ba、Sr、P、Ti、Nb显著亏损,典型的低Ba、Sr,强不相容元素Rb高度富集,Rb/Sr比值1.25~14.58,全部大于0.5;Ti/Y比值42.49~114.48,除了一个数据,全部小于100;Ti/Zr比值5.20~8.45,全部小于20,均为壳源岩浆范围(Pearce et al., 1984; Wilson, 1989);具有典型的陆壳重熔花岗岩的特点(Song et al., 2004);(Zr+Nb+Ce+Y)-[(K₂O+Na₂O)/CaO]岩浆分异判别图解上,岩体具有高分异向A型

花岗岩过渡的趋势(图9),说明岩体在岩浆结晶分异过程中经历了高度的分异演化,强烈的负Eu异常和高Nb/Ta比值也说明了这一点。根据以上分析,本文认为成矿岩体岩浆源区以壳源为主,并经历了高度的分异演化。

6.2 构造背景

苇莲河成矿岩体花岗岩在主量元素构造判别图解上(图10), R_1-R_2 对应关系图解(图10a)看出,岩体分布在⑤、⑦区域和④、⑥的过渡区,更倾向于⑤、⑦区域,为非造山的A型花岗岩和造山后的A型花岗岩区向同碰撞或晚造山区域过渡;而其 $SiO_2-Al_2O_3$ 构造环境判别图上(图10b),岩体落在后造山花岗岩区,结合岩石地球化学特征、岩相学特征,本论文认为其形成构造环境可能为造山后伸展环境或板内裂谷环境。

同时根据其微量元素构造环境判别图解:Yb+Ta-Rb关系判别图(图11a)和Yb-Ta关系判别图(图11b),全部样品落在了VAG(弧火山花岗岩),并向COCG(同碰撞花岗岩)过渡的趋势,这类似于东乌旗至嫩江成矿带几个已有研究资料的典型钨矿成矿岩体(Xiang et al., 2016; Jiang et al., 2016;),因此微量元素判别特征显示其构造环境可能为碰撞型花岗岩。

苇莲河石英脉型黑钨矿所在区域,位于东乌旗至嫩江成矿带中部,靠近东南分界线嫩江断裂带,位于

大兴安岭主脊断裂控制区,紧邻太平洋俯冲带。根据前人大量研究(Wu et al., 2011, 毛景文, 2003; 2009; Ouyang., 2013; Xu et al., 2013, 2015a, b), 以及2014年以来国家“973项目”对于研究区域构造演化的研究(Mao et al., 2003a; Wu et al., 2011; Xu et al., 2013, 2015a, b, c; Wang et al., 2015a, b, c, d; Ouyang et al., 2013;), 结合前文岩体成岩时代的研究,笔者认为苇莲河矿区成岩成矿,可能是古太平洋构造演化的产物。而前文已经论述苇莲河花岗岩源区可能为角闪岩相变质基底,考虑到成矿带上大量类似花岗岩

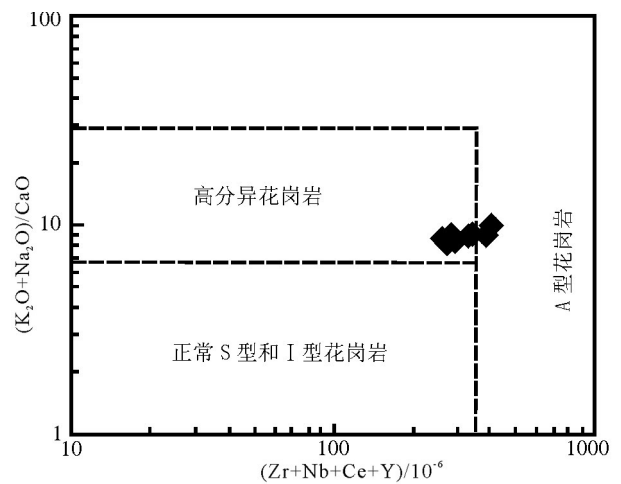


图9 (Zr+Nb+Ce+Y)-[(K₂O+Na₂O)/CaO]关系图
Fig.9 The diagram (Zr+Nb+Ce+Y)-[(K₂O+Na₂O)/CaO]

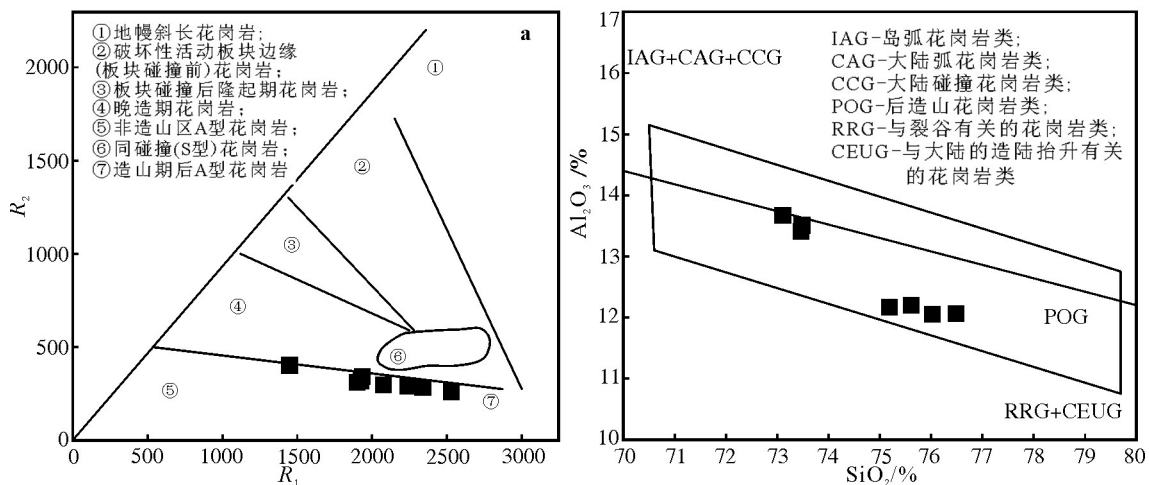


图10 苇莲河花岗岩主量元素构造判别图
a— R_1-R_2 构造判别图(据 Civetta et al., 1998; $R_1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$; $R_2=6Ca+2Mg+Al$); b— $SiO_2-Al_2O_3$ 构造判别图;
Fig.10 The major elements tectonic discrimination diagrams for the granite from Weilianhe ore district
a— R_1 versus R_2 diagram; b— SiO_2 versus Al_2O_3 diagram

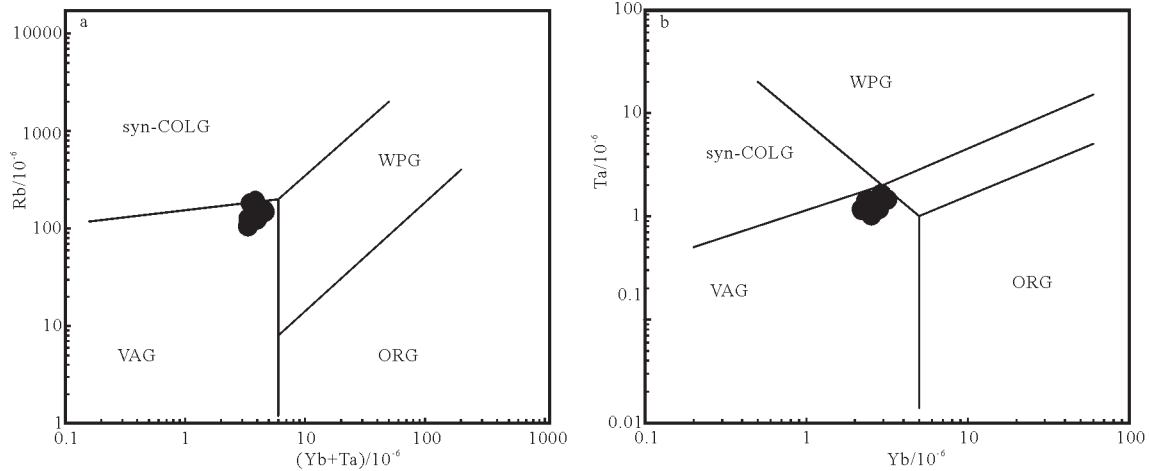


图 11 苇莲河花岗岩微量元素构造判别图解

VAG—弧火山花岗岩;COCG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;ORG—洋脊花岗岩(Pearce et al, 1984)

Fig.11 Tectonic discrimination diagrams for the granite from from the Weilianhe ore district

VAG—Volcanic arc granite; syn—COCG—syn—Collisional granite;WPG—Within plate granite;ORG—Oceanic ridge granite(after Pearce et al, 1984)

(Jiang et al., 2016, Xiang et al, 2016)均形成于此时段的减压熔融环境,本文认为,到 145 Ma,可能太平洋的斜向俯冲—碰撞造山阶段已经结束,转而是板片的后退,伸展滑塌背景。因此笔者认为,苇莲河石英脉型黑钨矿形成于晚侏罗世古太平洋的斜向俯冲后,后退过程中的伸展滑塌环境。

6.3 矿床成因初探

根据岩体与矿体的地质特征,矿脉空间上与岩体关系极为密切,矿体产出在岩体的顶部,岩体与地层的内外接触带;矿化特征显示,其为典型的石英脉型黑钨矿,而最典型的矿化蚀变是绿帘石化、钾长石化、硅化,为中高温蚀变矿物组合;而矿物学研究显示,黑钨矿有被白钨矿交代的现象,这是典型的高温矿物组合,类比达亚纳、典型西华山黑钨矿床(Xiang et al., 2016; Jiang et al., 2016; Guo et al., 2012),初步认为苇莲河研究区黑钨矿属于典型的高温热液脉型黑钨矿床。

7 结 论

(1)苇莲河地区石英脉型黑钨矿,其黑钨矿石英脉扎根于花岗岩内,并在岩体内部尖灭,岩体可能与成矿关系密切,岩体内部发育与成矿关系密切的矿化蚀变,钾长石化、绿帘石化、绢云母化等,为一新发现矿床点。

(2)花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示,锆石为典型的岩浆锆石,但其 Th、U 含量较

低,锆石 CL 图像显示,锆石颜色较浅,测年分析,信号偏弱;有效数据谐和年龄为 145 Ma,同时其加权平均年龄为 143 Ma,很好地限定了其成岩时代,年龄数据为初次报道。

(3)对花岗岩体进行系统的岩石地球化学研究,主量元素特征显示,其岩体为一套典型的高硅、富碱、准铝质,高钾钙碱性系列壳源花岗岩;同时稀土元素特征显示为壳源岩浆特征,并经历了高度的分异演化。

致谢:本论文的野外工作受到内蒙古自治区第六地质矿产勘查开发院全体员工的大力支持;在样品的测试分析中得到中国冶金地质总局第一地质勘查院测试中心、中国地质科学院矿产资源研究所国家重点实验室等相关单位和个人的大力支持与帮助,在此一并表示诚挚的感谢。

References

- Chen Yuchuan, Wang Denghong. 2012. Four Main Topics Concerning the Metallogeny Related to Mesozoic Magmatism in South China [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 315-321 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, Huang Fang. 2014. Outline of Regional Metallogeny of Ore Deposits Associated with the Mesozoic Magmatism in South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 219-229 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zh G, Zhang L Ch, Wan B, Wu H Y, Cleven N. 2011. Geochronology and geochemistry of the Wunugeshan porphyry Cu-Mo deposit in NE china, and their geological significance[J].

- Ore Geology Reviews, 43: 92–105.
- Claesson S, Vetrin V, Bayanova T, Downes H. 2000. U–Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic[J]. *Lithos*, 51 (1/2): 95–108.
- Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan, Zhang Jiheng, Xu Xuechun, Cheng Ruiyu. 2007. Zircon U–Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mountains., northeastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 423–440 (in Chinese with English abstract).
- Guo C L, Chen Y Ch, Zeng Z L, Lou F Sh. 2012. Petrogenesis of the Xihuashan granites in southeastern China: Constraints from geochemistry and in-situ analyses of zircon U–Pb–Hf–O isotopes[J]. *Lithos*, 148: 209–227.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009. In situ U–Pb zircon dating using laser ablation–multi ion counting–ICP–MS[J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 481–492 (in Chinese with English abstract).
- Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust[J]. *Earth Planetary Science Letters*, 90(3): 297–314.
- Jiang S H, Bagas L, Hu P, Han N, Chen C L, Liu Y, Kang H. 2016. Muscovite Ar–Ar, molybdenite Re–Os and zircon U–Pb ages and Sr–Nd–Hf isotopes of the highly fractionated granite–related Shamaï tungsten deposit in East Inner Mongolia, China: implications for the timing of mineralization and ore genesis[J]. *Lithos*, 261: 322–339.
- Liu J, Mao J W, Wu G, Wang F, Luo D F, Hu Y Q. 2014. Zircon U–Pb and molybdenite Re–Os dating of the Chalukou porphyry Mo deposit in the northern Great Xing’ an Range, China and its geological significance[J]. *Asian Earth Sci.*, 79: 696–709.
- Liu Jun, Mao Jingwen, Wu Guang, Luo Dafeng, Wang Feng, Zhou Zhenhua, Hu Yanqing. 2013. Zircon U–Pb dating for the magmatic rock in the Chalukou porphyry Mo deposit in the northern Great Xing’ An Range, China, and its Geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 208–226 (in Chinese with English abstract).
- Li Jingyi, Qu Junfeng, Zhang Jin, Liu Jianfeng, Xu Wenliang, Zhang Shuangquan, Guo Ruiqing, Zhu Zhixin, Li Yaping, Li Yongfei, Wang Tao, Xu Xueyi, Li Zhipei, Liu Yongqing, Sun Lixin, Jian Ping, Zhang Yu, Wang Jiali, Peng Shuhua, Feng Qianwen, Wang Yu, Wang Hongbo, Zhao Xixi. 2013. New Developments on the Reconstruction of Phanerozoic Geological History and Research of Metallogenic Geological Settings of the Northern China Orogenic Region[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(2/3): 207–219 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Cheng Yanbo, Chen Yuchuang. 2009. Mineral Deposit Models of Mesozoic Ore Deposits in South China[J]. *Geological Review*, 55(03): 347–354 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, Du A D. 1999. Re–Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the Northern Qilian Mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11/12):1815–1818.
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, Yu J J, Niu B G. 2003a. Geodynamic settings of Mesozoic large–scale mineralization in North China and adjacent areas[J]. *Science in China* 46(8):839–851
- Mao J W, Franco P, Nigel C. 2011. Mesozoic metallogeny in East China and corresponding geodynamic settings–An introduction to the special issue[J]. *Ore Geology Reviews*, 43:1–7.
- Martin H, Smithies R H, Rapp R, Moyen J F, Champion D. 2005. An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution[J]. *Lithos*, 79(1/2): 1–24.
- Nie Fengjun, Hu Peng, Jiang Sihong, Liu Yifei. 2010. Geological Features, Geochronology and Origin of the tungsten and tungsten(–molybdenum) deposits in the Shamaï–Yuguzer Mineralization Concentrated Camp along the Sino–Mongolian Border[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(3): 383–394 (in Chinese with English abstract).000
- Ouyang H G, Mao J W, Santosh M, Zhou J, Zhou Zh H, Wu Y, Hou L. 2013. Geodynamic setting of Mesozoic magmatism in NE China and surrounding regions: Perspectives from spatio–temporal distribution patterns of ore deposits[J]. *Asian Earth Sciences*, 78: 222–236.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25: 956–983.
- Rayner N, Stern R A, Carr S D. 2005. Grain–scale variations in trace element composition of fluid–altered zircon, Acasta Gneiss Complex, northwestern Canada[J]. *Contrib. Mineral. Petrol*, 148 (6): 721–734.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism[J]. *Chem. Geol.*, 184: 123–138.
- Sláma J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M S A, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N, Whitehouse M J. 2008. Plesovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. *Chemical Geology*, 249: 1–35.
- Song X Y, Zhou M F, Gao Z M, Robinson P T. 2004. Late Permian rifting of the South China Craton caused by the Emeishan mantle plume? [J]. *Journal of the Geological Society*, 161, 773–781.
- She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, Guan Jidong, Zhang Dequan, Yang Yuncheng, Tan Gang, Zhang Bin. 2012. U–Pb ages of the zircons from primary rocks in middle–northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 571–594(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Tang Juxing, Ying Lijuan, Chen Zhenhui, Xu

- Jianxiang, Zhang Jiajing, Li Shuiru, Zen Zailin. 2010. Application of "Five levels + Basement" model for prospecting deposits into depth[J]. Journal of Jilin University, (Earth Science Edition), 40(4): 733–738 (in Chinese with English abstract).
- Wang T, Guo L, Zhang L, Yang Q, Zhang J, Tong Y, Ye K. 2015a. Timing and evolution of Jurassic–Cretaceous granitoid magmatism in the Mongol–Okhotsk belt and adjacent areas, NE Asia: implications for transition from contractional crustal thickening to extensional thinning and geodynamic settings[J]. Asian Earth Sci., 97: 365–392.
- Wang F, Xu W L, Xu Y G, Gao F H, Ge W C. 2015b. Late Triassic bimodal igneous rocks in eastern Heilongjiang Province, NE China: implications for the initiation of subduction of the Paleo–Pacific Plate beneath Eurasia[J]. Asian Earth Sci., 97: 406–423.
- Wang Z Z, Han B F, Feng L X, Liu B. 2015c. Geochronology, geochemistry and origins of the Paleozoic–Triassic plutons in the Langshan area, western Inner Mongolia, China[J]. Asian Earth Sci., 97: 337–351.
- Wang Z W, Pei F P, Xu W L, Cao H H, Wang Z J. 2015d. Geochronology and geochemistry of Late Devonian and early Carboniferous igneous rocks of central Jilin Province, NE China: Implications for the tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt[J]. Asian Earth Sci., 97: 260–278.
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach[J]. London, Unwin Hyman, 466.
- Xiang A P, Chen Y C, Bagas L, She H Q, Kang Y J, Yang W S, Li C J. 2016. Molybdenite Re–Os and U–Pb zircon dating and genesis of the Dayana W–Mo deposit in eastern Ujumchin, Inner Mongolia[J]. Ore Geology Reviews 78:268–280.
- Xu B, Charvet J, Chen Y, Zhao P, Shi G Z. 2013. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): Framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Gondwana Res., 23: 1342–1364.
- Xu B. 2015a. The Central Asian Orogenic Belt in northern China: Preface[J]. Journal of Asian Earth Sciences 97, 179–182.
- Xu B, Song S, Nie F. 2015b. The Central Asian Orogenic Belt in northern China: Preface[J]. Asian Earth Sci., 97: 179–182.
- Xu B, Zhao P, Wang Y Y, Liao W, Luo Z W, Bao Z W, Zhou Y H. 2015c. 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 Jianxiang, Zen Zailin, Wang Denghong, Chen Zhenhui, Liu Shanbao, Wang Chenghui, Ying Lijuan. 2008. A new type of tungsten deposit in southern Jiangxi and the new model of "Five Floors + Basement" for prospecting[J]. Acta Geologica Sinica, 82 (7): 880–887(in Chinese with English abstract).
- Xiang Anping, Yang Yuncheng, Li Guitao, She Hongquan, Guan Jidong, Li Jinwen, Guo Zhijun. 2012. Diagenetic and metallogenic ages of Duobaoshan porphyry Cu–Mo deposit in Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposits, 31(6): 1237–1248 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Anping, Wang Yajun, Qin Dajun, She Hongquan, Han Zenggaung, Guan Jidong, Kang Yongjian. 2014. Study on the metallogenic and diagenetic age of Hong–Hua–Er–Ji tungsten polymetallic deposit in Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 02: 428–439 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川, 王登红. 2012. 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题[J]. 大地构造与成矿, 36(3):315–321.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 黄凡. 2014. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要[J]. 大地构造与成矿, 38(2):219–229.
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 张吉衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U–Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 岩石学报, 23(02): 423–440.
- 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.
- 刘军, 毛景文, 武广, 罗大锋, 王峰, 周振华, 胡妍青. 2013. 大兴安岭北部岔路口斑岩钼矿床岩浆岩锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 87(2): 208–226.
- 李锦轶, 曲军峰, 张进, 刘建峰, 许文良, 张控宏, 郭瑞清, 朱志新, 李亚萍, 李永飞, 王涛, 徐学义, 李智佩, 柳永清, 孙立新, 简平, 张昱, 王励嘉, 彭树华, 冯乾文, 王煜, 王洪波, 赵西西. 2013. 中国北方造山区显生宙地质历史重建与成矿地质背景研究进展[J]. 地质通报, 32(2/3): 207–219.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到的启示[J]. 中国科学, 33(4): 289–299.
- 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型[J]. 地质论评, 55(03): 347–354.
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 刘翼飞. 2010. 中蒙边境沙麦–玉古兹地区钨和钨(钼)矿床地质特征, 形成时代和成因机理[J]. 地球学报, 31(3): 383–394.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 关继东, 杨郟城, 张德全, 谭刚, 张斌. 2012. 大兴安岭中北段原岩锆石 U–Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 28(2):571–594.
- 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 陈郑辉, 许建祥, 张家菁, 李水如, 曾载淋. 2010. "五层楼+地下室"找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 40(4): 733–738.
- 许建祥, 曾载淋, 王登红, 陈郑辉, 刘善宝, 王成辉, 应立娟. 2008. 赣南钨矿新类型及"五层楼+地下室"找矿模型[J]. 地质学报, 82(7): 880–887.
- 向安平, 杨郟城, 李贵涛, 余宏全, 关继东, 李进文, 郭志军. 黑龙江多宝山斑岩 Cu–Mo 矿床成岩成矿时代研究[J]. 矿床地质, 2012, 06: 1237–1248.
- 向安平, 王亚君, 秦大军, 余宏全, 韩增光, 关继东, 康永建. 2014. 内蒙古红花尔基钨多金属矿床成岩成矿年代学研究[J]. 矿床地质, 02:428–439.