1000-0569/2009/025(11)-2913-23 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

大兴安岭太平沟钼矿床成矿年代学研究*

王圣文[1] 王建国[1**] 张达[1] 祁小军[1] 吴淦国[1] 赵丕忠[2] 杨宗锋[1] 刘彦兵[1]

WANG ShengWen[1], WANG JianGuo[1**], ZHANF Da[1], QI XiaoJun[1], WU GanGuo[1], ZHAO PiZhong[2], YANG ZongFeng[1] and LIU YanBing[1]

1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 北京建龙国基投资有限公司, 北京 100600

1. *State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*

2. *Beijing JL Investment Co. Ltd, Beijing* 100600, *China*

2009-04-30 收稿, 2009-10-26 改回.

Wang SW, Wang JG, Zhang D, Qi XJ, Wu GG, Zhao PZ Yang ZF and Liu YB. 2009. Geochronological study on Taipinggou molybdenum deposit in Da Hinggan Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11):2913 - 2923

Abstract The Taipinggou porphyry molybdenum deposit was recently discovered in the Da Hinggan Mountain, China. Our geochronological study of ore-bearing porphyries and orebodies yields a K-feldspar ^{40}Ar-^{39}Ar isochron age of 127.5 ± 4Ma for the ore-bearing, altered adamellite porphyry, a SHRIMP zircon U-Pb age of 131.5 ± 1.1Ma for the ore-bearing granite porphyry, and a molybdeniteRe-Os isochron age of 129.4 ± 3.9Ma for the orebodies. This suggests that the molybdenum mineralization occurred in a period of 131.5 ~ 127.5Ma; and that the porphyries and ore systems formed coevally with the regional Yanshanian tectonomagmatic event in Early Cretaceous.

Key words Da Hinggan Mountain; Taipinggou porphyry molybdenum deposit; ^{40}Ar-^{39}Ar age; Zircon SHRIMP U-Pb age; Re-Os age

摘 要 太平沟钼矿床为大兴安岭地区新发现的斑岩型钼矿床。本文的同位素地质年代学研究获得获得含矿的蚀变二长花岗斑岩的钾长石^{40}Ar-^{39}Ar等时线年龄为127.5±4Ma,花岗斑岩锆石SHRIMP U-Pb年龄为131.5±1.1Ma,矿体辉钼矿Re-Os等时线年龄为129.4±3.9Ma,表明斑岩成矿系统形成于131.5~127.5Ma,与早白垩世区域性燕山期大规模构造-岩浆事件一致。

关键词 大兴安岭; 太平沟斑岩型钼矿; ^{40}Ar-^{39}Ar年龄; 锆石SHRIMP U-Pb年龄; Re-Os年龄

中图法分类号 P588.132; P597.3; P618.65

1 引言

位于中国、蒙古、俄罗斯交界处的大兴安岭地区森林、草场覆盖严重,地质勘查工作薄弱,但矿点和矿化异常星罗棋布,邻区大型、超大型矿床聚集(图1),显示大兴安岭地区具有巨大的找矿潜力,是我国16个重点金属勘查区之一(陈衍景等, 2009)。

内蒙古太平沟钼矿床是大兴安岭腹地新发现的重要斑岩型钼矿床(图1),是认识大兴安岭腹地成矿规律、制订找矿策略的重要窗口之一,但是,该矿床地质地球化学研究非常薄弱。我们对太平沟钼矿床开展了综合地质地球化学特征和找矿预测研究,本文报道利用激光显微探针$^{40}Ar/^{39}Ar$法、SHRIMP锆石U-Pb法与辉钼矿Re-Os等时线法获得的含矿斑岩体、近矿围岩及矿石的同位素年龄,并藉此厘定太平沟斑岩钼矿床的成岩、成矿时代,探讨矿区及邻区成岩成矿与区域岩浆演化的关系。

* 本研究得到了国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403500)、内蒙古太平沟铜钼矿勘查项目(H90004)和高等学校学科创新引智计划(B07011)资助.

第一作者简介: 王圣文, 男, 1986年生, 硕士研究生, 矿床学专业, E-mail: shengwen.wang@yahoo.com.cn

** **通讯作者**: 王建国, 男, 1958年生, 博士, 教授, 主要从事金矿地质教学, 科研工作: E-mail: wjg@cugb.edu.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

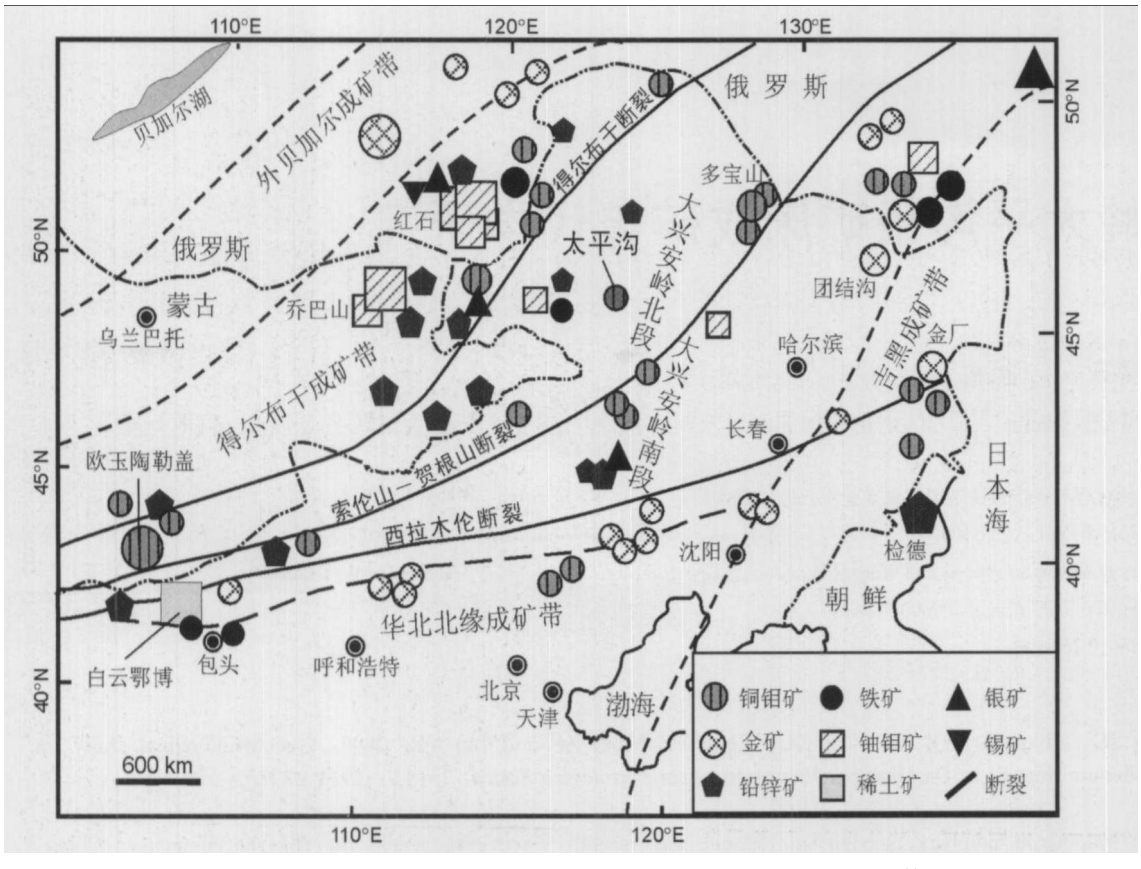

图 1 大兴安岭及邻区矿床大地构造和太平沟钼矿床位置示意图 (底图来自李诺等, 2007a)

Fig. 1 Sketch map showing metallogenic geotectonics in Da Hinggan Mountain and its vicinities and the locality of Taipinggou Mo deposit (base map from Li *et al.*, 2007a)

2 地质背景

大兴安岭是中亚造山带东段——兴蒙造山带的重要组成部分。中亚造山带由古亚洲洋长期演化及其与相邻板块相互作用形成,古亚洲洋曾存在于西伯利亚、塔里木-中朝古大陆之间,是包括了众多小洋盆和微陆块的多岛洋;古亚洲洋消减导致岩浆弧发育和大陆壳显著增生,洋盆于古生代末闭合后发生西伯利亚与塔里木-中朝古大陆之间的碰撞造山作用,形成了中亚造山带。由于大陆碰撞期间的强大挤压应力被两大陆之间的块体旋转、走滑、压剪、拉分等作用所消耗,因此,中亚造山带具有强增生、弱碰撞的特点,属强增生碰撞造山带(陈衍景等,2009)。中亚造山带不同于洋-陆俯冲作用形成的安提斯型造山带,也不同于陆-陆碰撞作用形成的阿尔卑斯-喜马拉雅型造山带,而以古生代小型陆块与缝合带相嵌、新生代山-盆耦合,构成了独特的地质构造格局,曾被称为中亚型造山带(陈衍景, 2000)。

大兴安岭位于中新生代滨西太平洋构造成矿域和古生代古亚洲构造成矿域的转换叠置部位(刘建明等,2004;陈宏威,2007;王敏等,2008),古生代增生造山作用强烈而复杂,并有多块体拼合的属性(Xiao *et al.*, 2004;葛文春等,2007;李文博等,2008)。它主要由额尔古纳、兴安、松嫩等地块或地体组成。额尔古纳地块首先形成和稳定,在早古生代沿塔源-喜桂图断裂与兴安地块拼合,额尔古纳-兴安联合地体古生代晚期沿贺根山-嫩江断裂与松嫩地块拼贴。随后,额尔古纳-兴安-松嫩复合块体在古生代末期沿西拉木伦缝合线与中朝大陆板块聚合(葛文春等,2007),古亚洲洋最终闭合,发生蒙古地块与中朝板块之间的陆陆碰撞(Sengör and Natalín, 1996; Chen *et al.*, 2007)。在上述过程中,古生代岩浆活动强烈,前中生代地层发生不同程度的变形和变质。中生代初期,上述联合块体沿牡丹江断裂与佳木斯地块拼合,并于中侏罗世开始发育山间磨拉石建造(祝洪臣等,2005),在中生代中期(中晚侏罗世和早白垩世)造山带岩石圈减压伸展与太平洋板块俯冲引发的弧后伸展叠加(Chen *et al.*, 1998, 2007;邓晋福等,1999;董树文等,2000),导致大量花岗岩类和中酸性火山岩发育(陶奎元等,1999;邵济安等1999;祁进平等,2005;武广等,2008, 2009)。晚白垩世以来,岩石圈伸展减薄,中酸性岩浆活动减弱,玄武岩类开始发育,局部发育大陆裂谷型盆地(Zorin *et al.*, 2001),伴随大规模成矿作用(毛景文等,1999;华仁民等,1999;裴荣富,1999)。总体而言,研究区构造演化复杂,经历了多期次地质作用和成矿作用的叠加,成矿条件优越,以中生代以来的构造-岩浆活动对成矿作用的控制最为明显。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 矿床地质

矿区内出露地层为白垩系下统光华组湖盆喷发沉积相的火山碎屑岩，主要分布在矿区的北部、中部和东部，岩性为凝灰质砾岩、凝灰质砂岩和流纹质凝灰岩。岩浆岩以早侏罗世宫家街花岗岩和似斑状花岗岩为主，其次为中酸性脉岩和中性脉岩，分布于矿区的西南部，中部和西部零星出露。矿区内构造较发育，主要为断裂构造，形成以北东向，北西向为主，东西向为辅的基本构造格局（图 2），对区内的岩浆热液活动、蚀变、矿化及矿体的形成和分布起着影响和控制作用。

成矿母岩为花岗（闪长）斑岩，斑晶含量约 10%，主要矿物有斜长石（约 40%）、石英（约 30%）、正长石（约 15%）与角闪石及黑云母等暗色矿物（约 15%），具有高钾钙碱性岩石的地球化学特征。地表分布较少，多以脉状产出，视厚度一般为 10～30 米，依据物探资料推断，在深部有 4 处隐伏花岗斑岩体，呈小岩株或岩枝状，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号隐伏花岗斑岩体呈串珠状、北东-南西展布。在 325 号高地段以北为Ⅵ号隐伏花岗斑岩体（图 2）。矿体主要赋存在花岗（闪长）斑岩的内外接触带（图 2），内接触带以网脉浸染状矿石为主，外接触带以细脉状为主。

矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿等，次生矿物有孔雀石、褐铁矿、蓝铜矿、赤铜矿、钼华、铜蓝等；脉石矿物有石英、斜长石、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石等。常见矿石构造有（1）浸染状构造和细脉浸染状构造（图 3a，b，c，e）：脉宽一般在 0.5～2mm，辉钼矿成薄膜状或星点状在石英

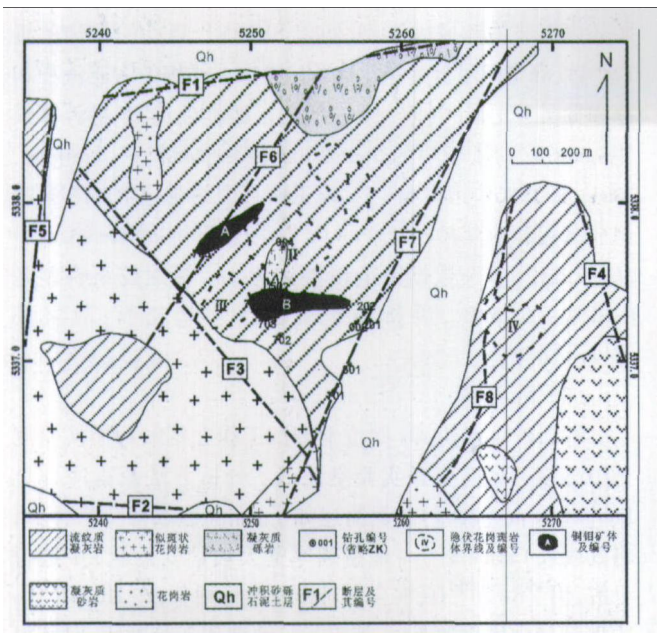

图 2 太平沟钼矿床矿区地质图（据辽宁省物测勘查院资料修编，2006①）

Fig. 2 Geological map of Taipinggou Mo deposit (Modified from Liaoning Geophysical Survey, 2006)

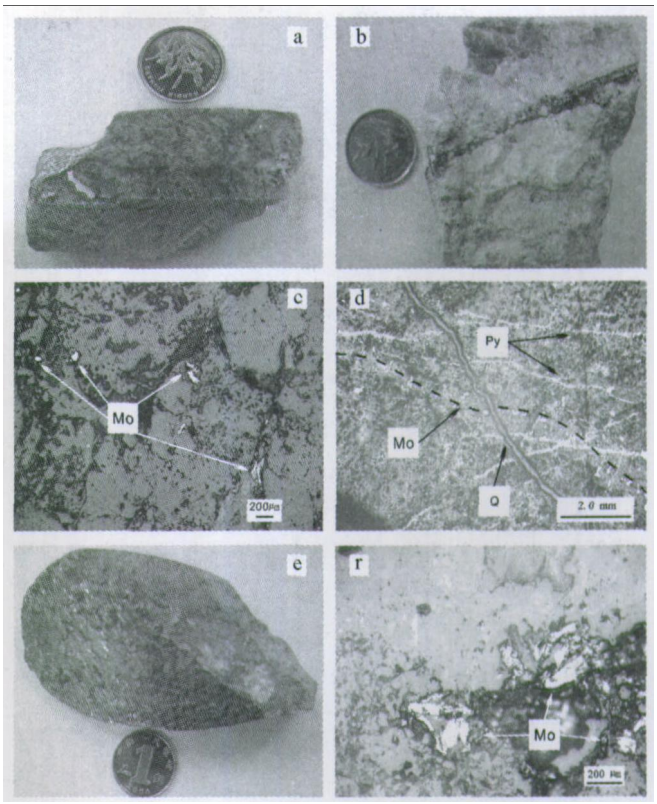

图 3 太平沟钼矿床矿石的矿相学特征

a-绢英岩化中浸染状辉钼矿（样品 ZK502-15）；b-青磐岩化中石英-辉钼矿脉（样品 ZK706-13）；c-浸染状构造（样品 ZK501-18；反光）；d-晚期石英细脉切穿早期黄铁矿（样品 ZK501-15；反光）；e-青磐岩化中薄膜状辉钼矿（样品 ZK502-21）；f-单一叶片状或叶片状集合体（样品 ZK501-18-3；反光）

Fig. 3 Photomicrographs of ores of the Taipinggou Mo deposit

a-disseminated molybdenite sericite-quartz assemblage (Sample ZK502-15); b-molybdenite-quartz veins in propylitized rock (Sample ZK706-13); c-disseminated structure (Sample ZK501-18); d-quartz veinlet cutting molybdenite-chalcopyrite veins (Sample ZK501-15); e-skinny molybdenite in propylitization (Sample ZK502-21); f-single bladed or bladed aggregation (Sample ZK501-18-3)

脉两侧分布，主要为硫化物矿石，属低品位的贫矿石；（2）片状构造：单一叶片状或叶片状集合体沿石英或钾长石粒间空隙或微裂隙（裂理）展布（图 3f）。（3）脉状穿插构造（图 3d）：构造多次活动造成围岩或早期形成的矿石产生裂隙，含矿热液也同步地多次沿其裂隙发生充填或交代矿化，从而形成各种脉状穿插构造。上述表明，太平沟矿床具有典型斑岩型成矿系统的标志性特征（陈衍景等，2007），应属斑岩型矿床。

根据野外地质观察，以及室内对 501 钻孔围岩蚀变的 20 个连续标本的光片、薄片研究，可确定得到太平沟钼矿床在垂向上由浅至深的蚀变分带：

① 辽宁省物测勘查院. 2006. 内蒙古自治区阿荣旗太平沟物化探报告. 1－30.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(1) 青磐岩化带:以绿泥石、绿帘石以及方解石等为标型矿物,其次还有黄铁矿等其他矿物组合。在501钻孔中分布段为:ZK501-14到ZK501-25,部分有较好的矿化。分布于花岗闪长斑岩与早白垩世的凝灰岩中。

(2) 绢英岩化带:绢英岩化为主,硅化,绿泥石化也较发育。黄铁矿呈稀疏浸染状产出,辉钼矿细脉沿裂隙面有较好的发育。

(3) 钾化带:产于斑岩体中,其具体表现为钾长石化和黑云母化,以及浸染状的黄铁矿化。蚀变较弱,基本无矿化。

综上,太平沟钼矿区在垂向上的蚀变分带与Lowell和Guilbert理论模型(1970)基本吻合,为较典型的斑岩型铜钼矿床。此外,在该矿床,微裂隙发育地段为矿体赋存的有利部位;铜钼矿(化)体一般赋存于花岗斑岩体内及其与凝灰岩内外接触带中(图2),一般分布范围在距花岗斑岩体接触带200~400米范围内。远离接触带矿化程度减弱,接触带附近矿化较集中;特别是硅化强烈部位钼矿化较好。在垂直剖面上蚀变分带随着剥蚀深度而异(Sillitoe *et al.*, 1982;芮宗瑶,1984),结合蚀变矿物组合,可以推断太平沟钼矿床剥蚀深度较大,已经出露中下部蚀变带。

4 同位素地质年代学研究

矿区内近矿围岩为二长花岗岩,直接容矿围岩是花岗(闪长)斑岩,对其进行年代测定有助于精确厘定该矿的成岩年龄,约束成矿年龄。

4.1 样品地质特征

本研究2件用于^{40}Ar-^{39}Ar同位素年龄测定的钾长石样品均采自钻孔岩芯,岩性为花岗斑岩:浅肉红色-灰黄色,斑状结构、块状构造。斑晶成份为:钾长石,浅肉红色,粒径2~4mm,含量约10%;石英,圆粒状,粒径2~4mm,含量约5%;局部见很少量角闪石斑晶,基质为隐晶长英质,含量小于85%。钾长石是通过全岩样品粉碎、过筛、手工淘洗、重液分离和实体显微镜检查等工序获取的,单矿物样品的纯度大于98%(体积)。

2件锆石U-Pb测年样品来自新鲜的二长花岗岩:新鲜面灰白-浅肉红色,中粗粒结构,块状构造。矿物成分:石英,它形粒状,粒径1~3mm,含量约25%;钾长石,浅肉红色-土黄色,半自形-自形,粒-厚板状,粒径1~5mm,含量约35%;斜长石,灰白色,半自形-自形,粒-板状,粒径1~5mm,含量约30%;黑云母,棕色,鳞片状集合体,含量小于10%。花岗岩呈岩基状大面积出露于矿区的西南部、中部和北西部,约占矿区面积的25%。

分选锆石流程:把0.5kg左右的样品破碎成约1cm^{3}的小块,放入振动磨样机中(1.1/0.75kW)研磨5~8s后取出。此过程反复进行到样品全部通过0.3mm孔径筛,洗去粉尘,经铝质淘砂盘富集重矿物,通过磁选、电磁选,剩下非电磁部分,再淘洗获得锆石精矿,最后在双目镜下挑选出用于定年的锆石(夏斌等,2004, 2008)。D002-1及WB-1样品的锆石形态一般呈短柱状及等粒状,透明、纯净、无色或淡黄色,自形或半自形,粒度大小一般为100μ×250μ。

4.2 实验过程和条件

(1) ^{40}Ar-^{39}Ar法

该研究在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室通过全时标全自动高精度高灵敏度$^{40}Ar/^{39}Ar$激光探针定年系统完成,其具体测试方法与流程简述如下:

将样品用自制的高纯铝罐包装,封闭于石英玻璃瓶中,置于中国原子能科学研究院49-2反应堆B4孔道进行中子照射,照射时间为24小时,快中子通量为$2.22\times10^{18}cm^2/s$。通量监测所用标样为我国周口店K-Ar标准黑云母(ZBH-25,年龄为132.7Ma)。同时对纯物质CaF_2和K_2SO_4进行同步照射,得出的校正因子参见数据。照射后的样品测试由北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室全时标全自动高精度高灵敏度激光$^{40}Ar/^{39}Ar$定年系统完成。测定采用聚焦激光对单颗粒或多颗粒的矿物岩石样品进行一次性熔融,详细实验流程参见李文博等(2008)或周刚等(2007)。系统测试过程、原始数据处理、模式年龄和等时线年龄的计算均采用美国加州大学伯克利地质年代学中心Alan L. Denio博士编写的"MASS SPEC(V.7.650)"软件自动控制。

(2) U-Pb法

锆石U-Pb年龄是在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心测定的。将样品锆石和标准锆石一起在玻璃板上用环氧树脂固定,抛光到暴露出锆石的中心面,先用反光、透光照相,然后镀金并用阴极(CL)发光照相;以确定锆石颗粒的内部结构和成因类型,圈定SHRIMP测点的最佳位置(图4),测定时尽量避开裂纹和包裹体。详细的实验流程和原理见参考文献(刘敦一等,2003)。数据处理、年龄计算采用Ludwing博士编写的Squid1.02和Isoplot程序(Ludwing, 2001, 2003),应用实测^{204}Pb校正锆石中的普通Pb,普通Pb组成采用相应年龄的地壳平均Pb同位素组成(Cumming *et al.*, 1975),单个数据点的误差均为1σ,标准校正误差是0.61%~0.62%,因所测定样品为年轻锆石,故采用$^{206}Pb/^{238}U$年龄。

(3) Re-Os法

辉钼矿样品Re-Os同位素测试工作在国家地质实验测试中心Re-Os同位素实验室完成。分析方法及程序详见Bohlkea *et al.* (2005)。现简述如下:准确称取待分析样品,将其放入Carius管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)中进行分解,用^{185}Re和^{190}Os混合剂对样品进行稀释,在HCl-HNO_3-H_2O_2溶液中使之平衡后,把Carius管细颈部分封闭,对其加热至230℃,恒温12小时。样品中Os的分离在蒸馏瓶中进行,首先将Carius管中的溶液转入蒸馏瓶中,使之加热50分钟,并用水吸收蒸出的OsO_4;样品中Re的萃取在Teflon烧杯中进行,蒸馏残液倒入Teflon烧杯中,通过阳离子交换萃

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

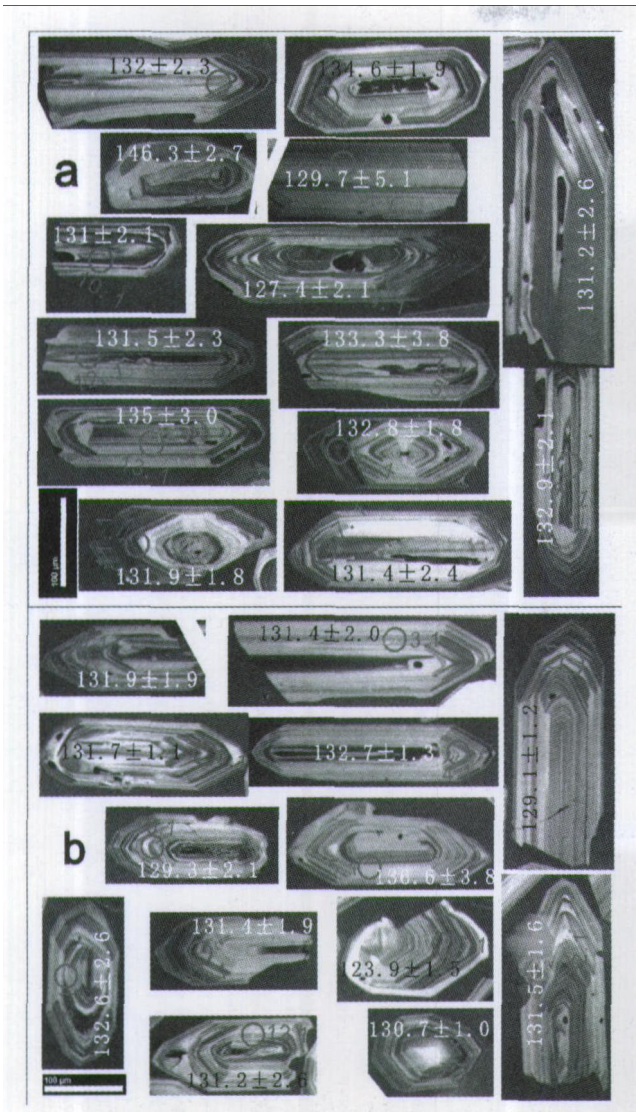

图4 样品 D001-2（a）与 WB-1（b）锆石形态、阴极发光图像及 $^{206}Pb/^{238}U$ 视年龄

Fig. 4 The morphology and cathodoluminescence images of zircons from samples D001-2 (a) and WB-1 (b), and its $^{206}Pb/^{238}U$ apparent age

取溶液中的 Re。Re、Os 同位素的测定均采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICP-MS 仪测定同位素比值。对于 Re 的测定，选择质量数 185、187，用 190 监测 Os。对于 Os 的测定，选择质量数为 186、187、188、189、190、192，用 185 监测 Re。测试中 Re、Os 和 ^{187}Os 的空白水平分别为（0.0141 ± 0.0005）ng、（0.0001 ± 0.0001）ng、（0.0000 ± 0.0000）ng。为了保证测试结果的可靠性，同时对实验标准物质 GBW04435（HLP）中的 Re 和 Os 进行了测定。

4.3 测试结果及解释

Ar-Ar 年龄测定分析结果见表 1，图 5 为钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素等时线图，两样品的尼尔值 $(^{40}Ar/^{36}Ar)_0$ 分别为 296.5 ± 0.8（2σ）与 296.4 ± 1.9（2σ），均十分接近大气氩（Faure，1986）尼尔值（295.5，据 Nier，1950），说明矿物封闭时不大可

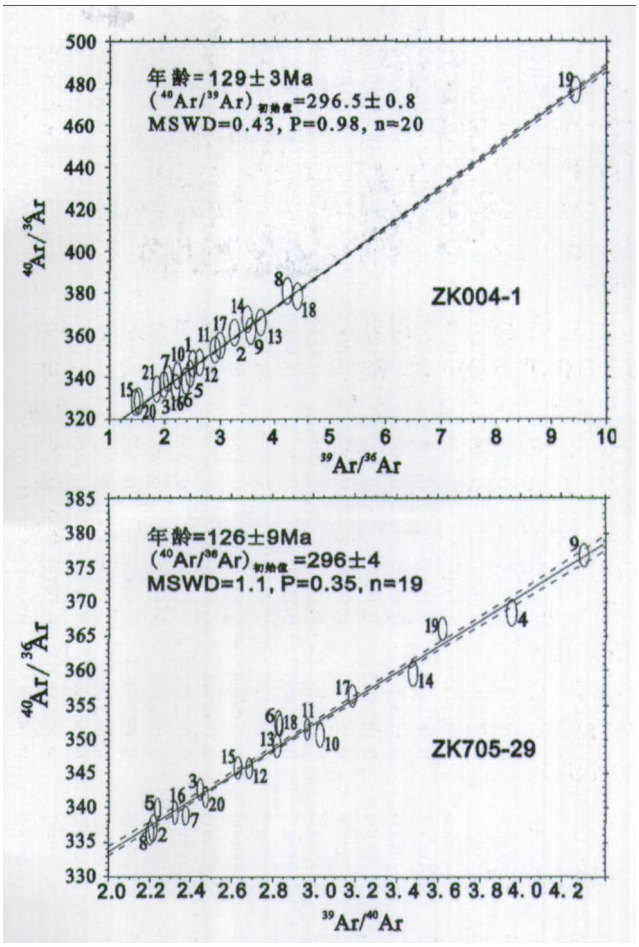

图5 太平沟钼矿床花岗斑岩钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素等时线图

（a：ZK004-14 等时线图；b：ZK705-29 等时线图）

Fig. 5 $^{40}Ar/^{39}Ar$ isochron of K-feldspar separates from granite-porphyry of Taipinggou Mo deposit

能有过剩的放射成因 ^{40}Ar 存在，等时线年龄准确可靠，单矿物 ^{40}Ar-^{39}Ar 同位素年龄记录的是被测试矿物的冷却年龄，即矿物结晶年龄或矿物后期热事件改造后 $^{40}Ar^*$（放射成因同位素）重新积累的年龄（王义天等，2001；王志良等，2004）。根据所研究钾长石的地质特征，我们认为 127.5 ± 4Ma 记录了太平沟花岗斑岩的钾长石最晚结晶年龄或热液蚀变年龄。

太平沟二长花岗岩 2 件锆石样品共 27 个 SHRIMP 测点 U-Pb 分析结果见表 2。锆石 U 含量为（91 ~ 1374）× 10^{-6}，Th 含量为（75 ~ 1056）× 10^{-6}，Th/U 比值为 0.63 ~ 1.61，具有典型岩浆锆石 Th/U 比值特征（鲁颖淮等，2009）；在阴极发光图像中（图 4），绝大多数锆石都具有密集规则的岩浆韵律环带，表明这些锆石为岩浆锆石（Rowley *et al.*，1997；Keay *et al.*，1999；Hoskin *et al.*，2000）。2 个样品中除了 3 个测点（D001-2-9.1、WB-1-5.1、WB-1-6.1）的年龄值偏离平均值较大，其它测点的年龄值相近，变化范围为 127.4 ~ 135Ma。D001-2 样品（除 D001-1-9.1 号测点外）的年龄值与 WB-1 样品（除 WB-1-6.1 号测点外）相近，并且测点的普通 Pb 含量一般在 0.17% ~ 9.14% 之间，多数小于 3%，普通铅含量不高，

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　内蒙古太平沟钼矿床花岗斑岩钾长石$^{40}Ar/^{39}Ar$分析结果

Table 1　$^{40}Ar/^{39}Ar$ analytical results of K-feldspar separates from the granite-porphyry of the Taipinggou molybdenum deposit

Sample	Run ID	%40*	Age(Ma)	±(Ma)	^{39}Ar(Moles)	^{40}Ar	±^{40}Ar	^{39}Ar	±^{39}Ar	^{38}Ar	±^{38}Ar	^{37}Ar	±^{37}Ar	^{36}Ar	±^{36}Ar
	1456-01	14.2	131.9	3.5	3.66E-15	6.381	0.002	0.04642	0.00006	0.004136	0.000025	0.0802	0.0002	0.018543	0.000018
	1456-02	18.1	130.3	2.9	2.43E-15	2.851	0.001	0.02664	0.00005	0.001895	0.000025	0.0362	0.0002	0.007915	0.000014
	1456-03	11.7	129.7	4.2	2.89E-15	5.225	0.002	0.03173	0.00006	0.003411	0.000025	0.0386	0.0001	0.015629	0.000017
	1456-04	12.0	107.8	3.5	1.74E-15	2.512	0.001	0.01906	0.00005	0.001637	0.000040	0.0493	0.0001	0.007491	0.000012
	1456-05	13.6	127.8	3.6	2.59E-15	4.856	0.002	0.03488	0.00006	0.003187	0.000026	0.0685	0.0002	0.014218	0.000016
	1456-06	13.3	126.7	3.8	1.37E-15	2.553	0.001	0.01804	0.00004	0.001612	0.000041	0.0277	0.0001	0.007502	0.000014
	1456-07	12.4	128.0	3.9	2.45E-15	4.959	0.002	0.03238	0.00006	0.003244	0.000024	0.0407	0.0001	0.014714	0.000016
	1456-08	22.0	130.2	2.3	2.84E-15	3.361	0.002	0.03827	0.00005	0.002215	0.000015	0.0360	0.0001	0.008886	0.000013
	1456-09	19.0	129.0	2.6	3.64E-15	4.012	0.001	0.03996	0.00007	0.002603	0.000019	0.0328	0.0001	0.011000	0.000015
	1456-10	13.0	129.7	3.8	3.85E-15	6.247	0.002	0.04223	0.00007	0.004110	0.000019	0.0340	0.0001	0.018401	0.000018
ZK004-14	1456-11	16.4	132.1	3.1	3.48E-15	4.566	0.001	0.03820	0.00006	0.003019	0.000024	0.1276	0.0004	0.012959	0.000015
	1456-12	14.4	130.5	3.4	3.06E-15	5.404	0.002	0.04036	0.00005	0.003548	0.000022	0.0574	0.0002	0.015661	0.000016
	1456-13	18.9	130.0	2.7	2.93E-15	3.281	0.001	0.03218	0.00006	0.002171	0.000021	0.0353	0.0001	0.009015	0.000015
	1456-14	19.2	133.6	2.7	3.02E-15	3.434	0.001	0.03324	0.00007	0.002289	0.000015	0.0404	0.0002	0.009403	0.000014
	1456-15	9.3	137.0	5.6	2.28E-15	5.497	0.002	0.02505	0.00005	0.003508	0.000031	0.0624	0.0002	0.016896	0.000017
	1456-16	12.5	135.4	4.1	2.80E-15	4.933	0.002	0.03069	0.00006	0.003181	0.000024	0.0277	0.0001	0.014613	0.000017
	1456-17	16.7	132.2	3.0	3.29E-15	4.241	0.002	0.03617	0.00007	0.002770	0.000015	0.0360	0.0001	0.011962	0.000015
	1456-18	22.0	129.0	2.3	3.03E-15	2.883	0.001	0.03324	0.00007	0.001921	0.000019	0.0159	0.0001	0.007611	0.000013
	1456-19	38.0	129.7	1.5	6.55E-15	3.628	0.002	0.07182	0.00008	0.002513	0.000034	0.0772	0.0003	0.007628	0.000012
	1456-20	9.4	138.6	5.6	2.02E-15	5.954	0.002	0.02718	0.00006	0.003808	0.000016	0.0325	0.0001	0.018261	0.000018
	1456-21	11.2	133.4	4.5	2.92E-15	5.646	0.001	0.03200	0.00005	0.003615	0.000018	0.0478	0.0001	0.016977	0.000017
	1457-01	17.3	116.7	3.7	5.05E-16	0.5498	0.0006	0.00554	0.00003	0.000351	0.000019	0.00908	0.00006	0.001541	0.000007
	1457-02	12.3	126.9	5.3	3.65E-16	0.6077	0.0005	0.00401	0.00003	0.000390	0.000019	0.00814	0.00008	0.001805	0.000007
	1457-03	13.8	130.4	3.9	1.15E-15	1.7636	0.0010	0.01262	0.00003	0.001129	0.000030	0.03151	0.00009	0.005155	0.000011
	1457-04	19.8	125.0	2.9	7.06E-16	0.8856	0.0007	0.00951	0.00004	0.000577	0.000025	0.00649	0.00006	0.002405	0.000008
	1457-05	13.0	133.8	4.3	7.83E-16	1.3053	0.0012	0.00861	0.00003	0.000816	0.000020	0.01186	0.00007	0.003845	0.000008
	1457-06	16.2	136.1	3.8	5.33E-16	0.8391	0.0008	0.00674	0.00003	0.000536	0.000019	0.00729	0.00005	0.002383	0.000007
	1457-07	12.8	123.9	3.9	8.07E-16	1.5808	0.0010	0.01109	0.00003	0.001076	0.000026	0.01710	0.00009	0.004669	0.000009
	1457-08	12.2	125.8	4.6	5.65E-16	0.9454	0.0010	0.00620	0.00003	0.000636	0.000017	0.01049	0.00006	0.002813	0.000008
	1457-09	21.6	127.6	2.5	1.49E-15	1.4287	0.0011	0.01636	0.00004	0.000947	0.000032	0.01357	0.00007	0.003797	0.000009
ZK705-29	1457-10	15.7	123.4	3.6	6.18E-16	0.9040	0.0010	0.00782	0.00003	0.000582	0.000020	0.01488	0.00007	0.002583	0.000007
	1457-11	15.9	127.7	3.2	1.39E-15	2.0808	0.0007	0.01757	0.00003	0.001329	0.000047	0.01617	0.00010	0.005926	0.000010
	1457-12	14.5	126.9	3.4	1.53E-15	2.1627	0.0009	0.01683	0.00004	0.001410	0.000037	0.03621	0.00013	0.006264	0.000010
	1457-13	15.4	128.6	3.6	8.29E-16	1.1248	0.0010	0.00911	0.00004	0.000745	0.000023	0.01200	0.00006	0.003225	0.000008
	1457-14	17.8	124.8	3.3	6.83E-16	0.7745	0.0009	0.00750	0.00003	0.000479	0.000020	0.00662	0.00004	0.002156	0.000007
	1457-15	14.6	129.7	3.8	9.94E-16	1.4346	0.0013	0.01093	0.00004	0.000909	0.000019	0.02223	0.00009	0.004153	0.000010
	1457-16	12.9	127.6	4.1	8.90E-16	1.4251	0.0008	0.00977	0.00003	0.000894	0.000023	0.01287	0.00008	0.004204	0.000009
	1457-17	17.0	128.9	3.1	1.45E-15	1.7721	0.0009	0.01588	0.00005	0.001128	0.000037	0.01985	0.00006	0.004981	0.000009
	1457-18	16.1	134.9	3.4	9.66E-16	1.5830	0.0005	0.01276	0.00004	0.000996	0.000030	0.01402	0.00008	0.004500	0.000010
	1457-19	19.3	131.8	2.9	1.14E-15	1.2615	0.0009	0.01248	0.00003	0.000777	0.000031	0.01148	0.00007	0.003450	0.000008
	1457-20	13.5	125.8	3.9	9.52E-16	1.4398	0.0006	0.01045	0.00004	0.000891	0.000035	0.01873	0.00007	0.004222	0.000009

注：测试过程中对于样品 ZK004-14，中子活化参数 J 值为 0.0038749，对于样品 ZK705-29，中子活化参数 J 值为 0.0038922；表中%40* 为放射性成因^{40}Ar百分含量；Age(Ma)和±(Ma)分别为模式年龄及其误差；^{39}Ar(Moles)为^{39}Ar的摩尔含量；^{40}Ar和±^{40}Ar为 Ar 同位素信号强度，单位为纳安(nA)，^{39}Ar和±^{39}Ar，^{38}Ar和±^{38}Ar，^{37}Ar和±^{37}Ar，^{36}Ar和±^{36}Ar，依此类推；E-n 表示 10^{-n}。

表 2　二长花岗岩样品单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 2　SHRIMP U-Pb dating results of Single-zircon from monzonitic granite

样品号	测点编号	组成				同位素比值				年龄	
		$^{206}Pb_c$%	U 10^{-6}	Th 10^{-6}	$^{206}Pb^*$	$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ ±%	$^{207}Pb^*/^{235}U$ ±%	$^{206}Pb^*/^{238}U$ ±%	$^{206}Pb/^{238}U$ Age/Ma	$^{208}Pb/^{232}Th$ Age/Ma
D001-2	D001-2-1.1	0.75	158	205	2.81	1.34	0.0641 ±8	0.182 ±8.3	0.02056 ±2	131.2 ±2.6	135.7 ±5.9
	D001-2-2.1	0.95	752	662	13.8	0.91	0.0478 ±6.5	0.139 ±6.6	0.0211 ±1.4	134.6 ±1.9	140.8 ±4.6
	D001-2-3.1	9.14	91	75	1.75	0.85	0.066 ±45	0.186 ±45	0.02033 ±4	129.7 ±5.1	157 ±38
	D001-2-4.1	1.04	324	198	5.61	0.63	0.0541 ±12	0.149 ±12	0.01995 ±1.7	127.4 ±2.1	140 ±11
	D001-2-5.1	4.97	240	329	4.52	1.42	0.041 ±53	0.118 ±54	0.02089 ±2.9	133.3 ±3.8	129 ±16
	D001-2-6.1	0.55	1158	914	20.8	0.82	0.0549 ±7.2	0.157 ±7.3	0.02081 ±1.4	132.8 ±1.8	139.5 ±3.9
	D001-2-7.1	2.65	287	315	5.22	1.13	0.0547 ±17	0.155 ±17	0.0206 ±1.9	131.4 ±2.4	132.5 ±9.7
	D001-2-8.1	1.49	185	187	3.33	1.05	0.079 ±17	0.225 ±17	0.02069 ±1.8	132.0 ±2.3	157.4 ±9.8
	D001-2-9.1	2.64	231	164	4.68	0.73	0.0493 ±18	0.156 ±18	0.02296 ±1.9	146.3 ±2.7	147 ±15
	D001-2-10.1	1.24	470	559	8.38	1.23	0.0482 ±8.4	0.136 ±8.5	0.02052 ±1.7	131.0 ±2.1	128.2 ±4.3
	D001-2-11.1	0.17	1374	838	24.4	0.63	0.0516 ±2.4	0.1471 ±2.8	0.02067 ±1.4	131.9 ±1.8	135.3 ±2.9
	D001-2-12.1	1.73	266	297	4.79	1.15	0.0557 ±14	0.158 ±15	0.02061 ±1.8	131.5 ±2.3	132.6 ±7.2
	D001-2-13.1	2.99	200	215	3.75	1.11	0.059 ±20	0.174 ±20	0.02117 ±2.3	135.0 ±3.0	146 ±12
	D001-2-14.1	1.04	261	221	4.72	0.88	0.0583 ±8.7	0.167 ±8.8	0.02082 ±1.6	132.9 ±2.1	135.9 ±6.6
WB-1	WB-1-1.1	1.29	300	324	5.29	1.11	0.0435 ±9.2	0.12 ±9.2	0.0201 ±0.85	129.1 ±1.2	133.2 ±3.9
	WB-1-2.1	2.13	338	404	6.12	1.24	0.0531 ±7.4	0.152 ±7.4	0.02078 ±0.95	131.5 ±1.6	126.7 ±6.6
	WB-1-3.1	1.45	341	339	6.12	1.03	0.051 ±7.7	0.144 ±7.8	0.02046 ±1.5	131.4 ±2.0	135.9 ±4.9
	WB-1-4.1	1.03	314	264	5.67	0.87	0.0476 ±6.3	0.134 ±6.4	0.02042 ±0.93	132.7 ±1.3	148.3 ±5.5
	WB-1-5.1	5.41	138	102	2.69	0.76	0.036 ±46	0.104 ±46	0.0209 ±1.6	136.6 ±3.8	162 ±34
	WB-1-6.1	4.02	494	413	8.58	0.86	0.0502 ±2.8	0.1388 ±2.9	0.02004 ±0.69	123.9 ±1.5	98 ±10
	WB-1-7.1	0.93	679	1056	12.1	1.61	0.043 ±3.9	0.1204 ±3.9	0.0203 ±0.59	130.7 ±1.0	134.2 ±3.5
	WB-1-8.1	2.87	345	396	6.32	1.18	0.0476 ±12	0.136 ±12	0.02077 ±0.82	131.9 ±1.9	129 ±11
	WB-1-9.1	2.79	520	427	9.48	0.85	0.0481 ±2.8	0.139 ±2.9	0.02097 ±0.67	131.7 ±1.1	117.3 ±8.4
	WB-1-10.1	1.01	304	322	5.34	1.09	0.0402 ±4.6	0.1104 ±4.9	0.0199 ±1.6	129.3 ±2.1	140.9 ±4.3
	WB-1-11.1	2.47	434	442	7.88	1.05	0.0591 ±7	0.17 ±7	0.02087 ±0.74	131.4 ±1.9	122 ±11
	WB-1-12.1	2.19	255	253	4.61	1.02	0.0493 ±4.3	0.1403 ±4.6	0.02066 ±1.8	131.2 ±2.6	128.2 ±9.0
	WB-1-13.1	2.98	268	173	4.93	0.67	0.0443 ±13	0.127 ±13	0.0207 ±0.9	132.6 ±2.6	137 ±24

注：① 误差是 1σ，Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅；

② 标准效正误差是 0.61% ~0.62%；

③ 应用实测的 ^{204}Pb 校正普通铅；由中国地质科学院地质所北京离子探针中心测定。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

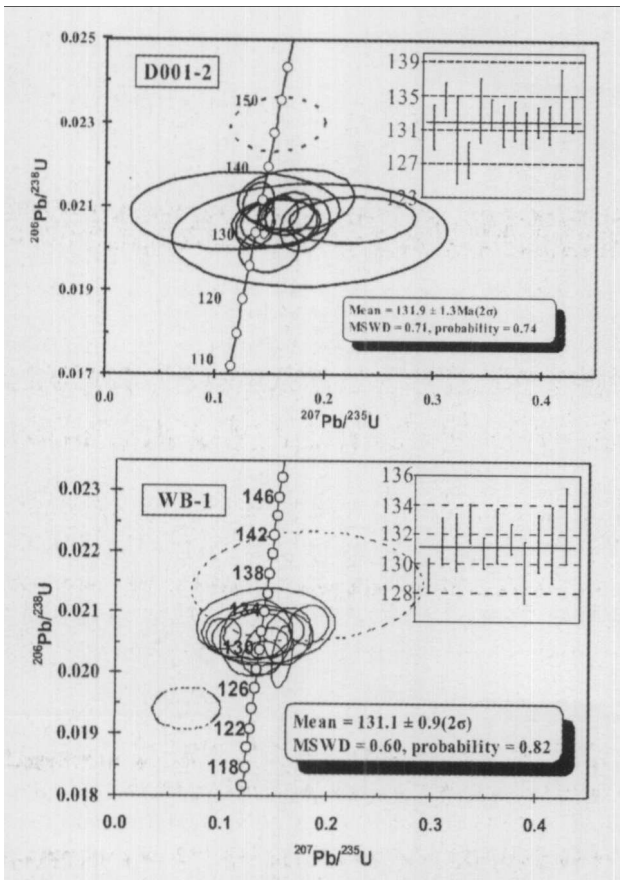

图 6 太平沟钼矿床二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图及加权平均年龄值

(a:D001-2 样品; b:WB-1 样品)

Fig. 6 The concordia diagram of U-Pb zircon from monzonitic granite and its weighted average in Taipinggou molybdenum deposit

表明本次侧年数据非常可靠。在一致曲线图中(图 6)数据点密集成群分布于一致线上或其附近,两样品的$^{206}Pb/^{238}U$比值年龄加权平均值分别为(131.9 ± 1.3) Ma(MSWD = 0.71, 2σ); (131.09 ± 0.91) Ma(MSWD = 0.60, 2σ),代表了二长花岗岩的侵位年龄。WB-1-6.1 测点年龄值明显偏小的原因可能与该锆石具有暗色边(图 4)有关,这些暗色边界可能是后期地质作用所形成的热液锆石,热液锆石的普通铅含量变化较大,引起了测年值偏小; 而 D001-2-9.1 与 WB-1-5.1 年龄值偏大可能是分析点横跨在较老继承核和岩浆生长层上的结果。

4 件辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 3,辉钼矿 Re 含量介于(9.9 ± 0.085) × 10^{-6} ~ (69.181 ± 0.616) × 10^{-6}之间,Re 与^{187}Os 含量变化较协调。利用 ISOPLOT 软件(Ludwing,2003)将 4 件数据进行等时线加权拟合,得到一条相关性很好的等时线(图 7)。求得等时线年龄为 129.4 ± 3.9Ma,平均权重方差 MSWD = 2.1(1σ 误差)较小,等时线年龄可靠。^{187}Os 初始值为 0.3 ± 1.4,十分接近于 0,辉钼矿中几乎不存在普通 Os,^{187}Os 都是^{187}Re 衰变的产物,符合 Re-Os 同位素体系模式年龄计算条件(蒋少涌等,2000; 李诺等,

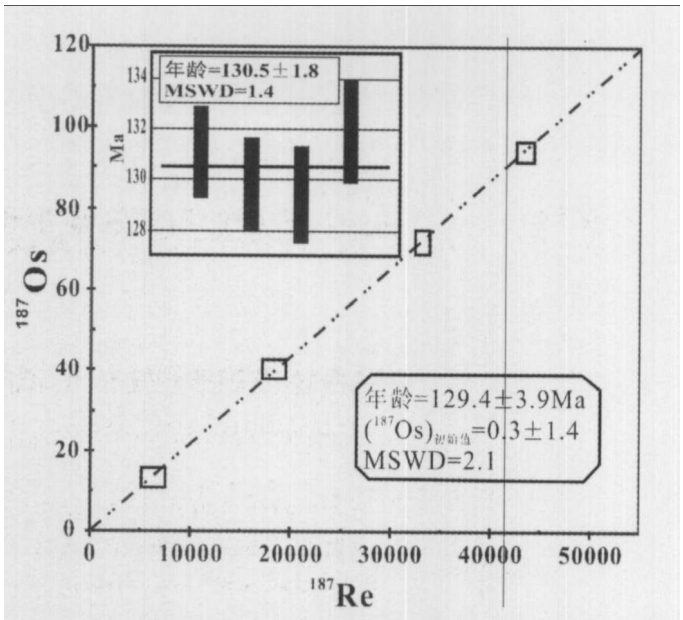

图 7 太平沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图及模式年龄加权平均值

Fig. 7 The Re-Os isotope isochron age and weighted average of model ages for molybdenites from Taipinggou Mo deposit

2009),表明所获得的模式年龄也是有效的,代表了辉钼矿的结晶时间,反映了太平沟钼矿化发生在燕山晚期。

5 讨论与结论

本次研究用于^{40}Ar-^{39}Ar 测年的钾长石来自新鲜花岗斑岩,而且来自同一岩性,应是同源岩浆结晶的产物; 样品未见构造变形和热液蚀变现象; 所测数据具有很好的线性关系(图 5)。用于 Re-Os 测年的辉钼矿采自同一期斑状花岗岩,呈稠密或稀疏浸染状产出,与黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系,其模式年龄变化小(129.4 ~ 131.9Ma,平均 130.55Ma)。显然,样品符合同位素等时线年龄拟合的条件,即样品具有同时、同源和同位素体系封闭的特点(聂凤军等,2005)。因此,花岗斑岩钾长石 127.5 ± 4Ma 的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄值代表花岗斑岩体的最晚结晶年龄或热事件年龄

锆石具有较高的封闭温度,在斑岩-流体成矿系统中记录了岩浆冷凝结晶时期的年龄,太平沟二长花岗岩锆石 U-Pb年龄为 131.5 ± 1.1Ma,代表了深成花岗岩体的侵位结晶时间。它略早于钾长石$^{40}Ar/^{39}Ar$ 等时线年龄和辉钼矿 Re-Os模式年龄以及等时线年龄,与后者分别记录了或形成于岩浆期后热液作用过程的地质特点相吻合,这些年龄之间也可相互印证,共同指示太平沟斑岩钼矿系统形成于 131.5 ~ 127.5Ma 之间。

辉钼矿 Re 含量可指示成岩或成矿物质的来源(毛景文等,1999; Stein *et al.*, 2001; 李诺等, 2007b)。与幔源、壳幔混源和壳源花岗岩类有关的钼矿床辉钼矿的 Re 含量呈数量级递减,即从 n × 10^{-4} → n × 10^{-5} → n × 10^{-6}。太平沟辉钼矿

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 太平沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年分析结果

Table 3 Re-Os isotope data for molybdenite from the Taipinggou molybdenum deposit

样号	样重(g)	Re($\times10^{-9}$)	C 普 Os $\times10^{-9}$	Re^{187}($\times10^{-9}$)	Os^{187}($\times10^{-9}$)	模式年龄(Ma)
ZK004-21	0.05056	9900 ±85	0.0096 ±0.005	6223 ±53	13.61 ±0.1	131.1 ±1.8
ZK501-43	0.09937	52795 ±477	0.0277 ±0.0141	33185 ±300	71.85 ±0.57	129.8 ±1.9
ZK502-31	0.10306	69181 ±616	0.0438 ±0.0137	43485 ±387	93.87 ±0.82	129.4 ±1.9
ZK703-22	0.00617	29204 ±263	0.0421 ±0.0171	18357 ±165	40.4 ±0.4	131.9 ±2
GBW04435（标样）		283800 ±6200			659.0 ±14	221.4 ±5.6
GBW04436（标样）		17390 ±320			25.46 ±0.60	139.6 ±3.8

注：① 由国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室测试，技术负责：杜安道，分析者：屈文俊，曾法刚；

② 表中误差为2σ，其中 Re 和 Os 含量的计算误差包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差及待分析样品同位素比值测量误差；

③ 模式年龄按 $t=1/\lambda\ln(1+{}^{187}Os/{}^{187}Re)$ 计算，其中 $\lambda({}^{187}Re)=1.666\times10^{-11}a^{-1}$（Smoliar *et al.*，1996）。模式年龄的不确定度除包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差及待分析样品同位素比值测量误差，还包括衰变常数的不确定度(1.02%)；

④ C 普 Os 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度，通过 $^{192}Os/^{190}Os$ 测量比计算得出，^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量。

中 Re 含量平均为 40.27×10^{-6}，与壳幔混源花岗岩类有关的钼矿床特征相似，表明成矿岩浆来自壳幔物质同熔，或者由新增生的不成熟地壳物质部分熔融形成。

$(^{40}Ar/^{36}Ar)_0$ 值可以反映成矿环境或成矿物质来源，样品的 $(^{40}Ar/^{36}Ar)_0$ 值越大表明流体来源越深或演化时间越长，积累过剩 ^{40}Ar 越多，也表明矿物结晶时处于封闭状态，地表水加入量少；$(^{40}Ar/^{36}Ar)_0$ 值低于或接近现代大气 Ar 值(295.5)，流体中不含过剩 ^{40}Ar，表明样品形成于开放环境或流体中有大量地表水加入（邱华宁，1999；谭绿贵等，2004）。太平沟钼矿床两样品的 $(^{40}Ar\text{-}^{36}Ar)_0$ 值分别为 296.5 ±0.8 (2σ) 和 296.4 ±1.9(2σ)，与现在大气 Ar 值非常接近，表明成矿流体中含有大量大气降水。

胡受奚等(1997)通过3013件花岗岩类年龄统计，王德滋等(1998)通过499件火山岩年龄的统计，毛景文等(2000)通过成矿年龄统计，证明了中国东部滨太平洋成矿域的大规模花岗岩类岩浆活动和成矿作用主要集中在燕山期（涂光炽等，1983），以130Ma为高峰（陈衍景等，1992），成岩成矿环境被解释为造山带岩石圈伸展与太平洋板块俯冲引发的弧后伸展叠加（Chen *et al.*，1998；邓晋福等，1999；董树文等，2000）。太平沟斑岩钼矿系统形成于于131.5～127.5Ma之间，成矿岩浆成分相当于花岗闪长岩或二长花岗岩，无论在形成时间上还是岩性组合上，均与中国东部挤压向伸展转变事件相吻合（许文良等，2004；Xu *et al.*，2004）。

致谢 野外工作得到了内蒙古太平沟铜钼矿山的支持，辽宁地质矿产调查院庞宏伟高工的帮助。陈衍景教授、莫宣学教授、武广博士、张静博士在论文撰写及修改过程中给与了很多帮助，两位匿名评审人提出了宝贵的修改建议，特致谢意！

References

Bohlkea JK, Laeter JRD, Bievre PD, Peiserb HS, Rosman KJR and Taylor PDP. 2005. Isotopic compositions of the elements. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 34(1): 57 - 67

Chen HW. 2007. Ore-forming characters and prospecting orientation of copper-polymetal deposits in the Middle and South Sections of DaHinggan Mountains. [Master Dissertation] China University of Geosciences, Beijing, 72(in Chinese with English Abstract)

Chen YJ and Fu SG. 1992. Gold mineralization in West Henan. Beijing: China Seismological Press, 12 - 34 (in Chinese)

Chen YJ, Chen HY, Zaw K, Pirajno F, Zhang ZJ. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview. Ore Geology Review, 31: 139 - 169

Chen YJ, Guo GJ and Li X. 1998. Metallogenic geodynamic background of gold deposits in granite-greenstone terrains of North China craton. Science in China series D, 41(2): 113 - 120

Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2085 - 2108 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent. Acta Petrologica Sinica, 25(11): 2695 - 2726 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ. 2000. Progress in the study of Central Asia-type orogenesis-metallogenesis in Northwest China. Geological Journal of China Universities, 6(1): 17 - 22(in Chinese with English abstract)

Cumming GL and Richards JR. 1975. Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth. Earth and Planetary Science Letters, 28: 155 - 71

Deng JF, Mo XX, Zhao HL, Luo ZH, Zhao GC and Dai SQ. 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China. Mineral Deposits, 18(4): 309 - 315(in Chinese with English Abstract)

Dong SW, Wu XH, Wu ZH, Deng JF, Gao R and Wang CS. 2000. On tectonic seesawing of the East Asia continent——Global implication of the Yanshanian Movement. Geological Review, 46(1): 8 - 13(in Chinese with English Abstract)

Faure G. 1986. Principle of isotope geology. New York: John Wiley & Sons, 66 - 92

Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Zhang JH. 2007. Ore-forming ages and geodynamic implications of porphyry copper-molybdenum deposit in Mongol-Hinggan Orogenic Belt. Chinese Science Bulletin, 52(20): 2407 - 2417(in Chinese)

Hoskin PWO and Black IP. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystalization of protolith igneous zircon. Journal of Metamorphic Geology, 18: 423 - 439

Hu SX, Zhao YY, Xu JF and Ye Y. 1997. Geology of gold deposits in North China platform. Beijing: Science Press, 1 - 220 (in Chinese)

Hua RM and Mao JW. 1999. A preliminary discussion on the mesozoic

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

metallogenic explosion in East China. Mineral Deposits, 18(4): 300 - 308(in Chinese with English Abstract)

Jiang SY, Yang JH, Zhao KD and Yu JM. 2000. Re-Os isotope tracer and dating methods in ore deposits research. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 36(6): 669 - 677(in Chinese with English Abstract)

Keay S, Steele D and Compston W. 1999. Identifying granite sources by SHRIMP U-Pb zircon geochronology: An application to the Lachlan foldbelt. Contrib Mineral Petrol, 137: 323 - 341

Li N, Chen YJ, Lai Y and Li WB. 2007a. Fluid inclusion study of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2177 - 2188(in Chinese with English abstract)

Li N, Chen YJ, Sun YL, Hu HZ, Li J, Zhang H and Ni ZY. 2009. Molybdenite ReOs isochron age of the Yuchiling porphyry Mo deposit, Henan Province and its geological implications. Acta Petrologica Sinica, 25(2): 413 - 421

Li N, Chen YJ, Zhang H, Zhao TP, Deng XH, Wang Y and Ni ZY. 2007b. Molybdenum deposits in East Qinling. Earth Science Frontiers, 14: 186 - 198(in Chinese with English abstract)

Li WB, Chen YJ, Lai Y and Ji JQ. 2008. Metallogenic time and tectonic setting of the Bainaimiao Cu-Au deposit, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 890 - 898(in Chinese with English abstract)

Liu DY, Jian P, Zhang Q, Zhang FQ, Shi YR, Shi G, Zhang LQ and Tao H. 2003. SHRIMP dating of adakites in the tulingkai ophiolite, Inner Mongolia: Evidence for the early Paleozoic subduction. Acta Geologica Sinica, 77(3): 317 - 327(in Chinese with English Abstract)

Liu JM, Zhang R and Zhang QZ. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China. Earth Science Frontiers, 11(1): 269 - 277(in Chinese with English Abstract)

Lowell JD and Guilbert JM. 1970. Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits. Economic Geology, 65: 378 - 408

Lu YH, Zhang Y, Lai Y and Wang YZ. 2009. LA-ICPMS zircon U-Pb dating of magmatism and mineralization in the Jinchang gold ore-field, Heilongjiang province. Acta Petrologica Sinica, 25(11):2902 - 2912 (in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 2001. Squid 1.02: A user's manual: Berkeley Geochronology Center Special Publication No.2, 15 - 35

Ludwig KR. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 40: 1 - 70

Mao JW, Hua RM and Li XB. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. Mineral Deposits, 18(4): 291 - 299(in Chinese with English Abstract)

Mao JW and Wang ZL. 2000. A preliminary study on the time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in East China. Mineral Deposits, 19 (4): 289 - 296 (in Chinese with English Abstract)

Nie FJ, Qu WJ, Liu Y, Du AD and Jiang SH. 2005. Re-Os isotopic age sating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, Northwestern Alxa, Western Inner Mongolia. Mineral Deposits, 24(6): 638 - 646(in Chinese with English Abstract)

Nier AO. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotope of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium. Physical Review, 77(6): 789 - 793

Pei RF, Qin XP, Yin BC and Xiong QR. 1999. The explosive anomaly of ore-forming processes and superaccumulation of metals. Mineral Deposits, 18(4): 333 - 340

Qi JP, Chen YJ and Pimjno F. 2005. Geological characteristics and tectonic setting of the epithermal deposits in the Northeast China. Journal of Mineralogy and Petrology, 25(2): 47 - 59(in Chinese with English abstract)

Qiu HN. 1999. ^{40}Ar-^{39}Ar technique for dating the fluid inclusions by crushing in vacuumandits developing applicationson determining the mineralizing ages of the ore deposits. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 18 (2): 71 - 78(in Chinese with English Abstract)

Rowley DB, Xue F and Tucker RD. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and prolith orthogneisses from the Eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochronology. Earth and Planetary Letters, 151: 191 - 203

Rui ZY, Huang CK, Qi GM, Xu J and Zhang HT. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 350(in Chinese)

Sengör AMC and Natalín BA. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of synthesis. In: Yin A and Harrison TM (eds.). The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 486 - 640

Shao JA, Zhang LQ and Mu BL. 1999. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mts. Earth Science Frontiers, 6(4): 339 - 346 (in Chinese with English Abstract)

Sillitoe RH, Jaramillo L, Damon PE, Shafiqullah M and Escovar R. 1982. Setting, characteristics and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. Economic Geology, 77(8): 1837 - 1850

Stein HJ, Markey RJ, Morgan JW, Hannah JL and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works. Terra Nova, 13(6): 479 - 486

Tan LG, Zhou TF and Yuan F. 2004. Fast eutron activation method based on the $^{40}Ar/^{39}Ar$ isotopic system and its application in geosciences. Journal of Hefei University of Technology, 27(12): 1509 - 1514(in Chinese with English Abstract)

Tao KY, Mao JR, Xing GF, Yang ZL and Zhao Y. 1999. Strong Yanshanian volcanic-magmatic explosion in East China. Mineral Deposits, 18(4): 316 - 322(in Chinese with English Abstract)

Tu GZ and Zhao ZH. 1983. On the Diversity of minerogenetic processes of the Yanshanian period. Geological Review, 29(1): 57 - 65 (in Chinese)

Wang DZ, Ren QJ and Qiu JS. 1998. Geology and ggeochemistry of mesozoic continental volcanismin and related gold metallogenesis in East China. In: Hu SX, Wang HN, Wang DZ, and Zhang JR (Eds.), geology and geochemistry of gold deposits in East China. Beijing: Science Press, 267 - 338 (in Chinese)

Wang M, Yao MH and Liu C. 2008. The application of geophysical and geochemical methods in Taiping Gou molybdeum ore prospecting, in the Northeast of Inner Mongolia. Land & Resources, 1: 112 - 113 (in Chinese)

Wang YT, Mao JW and Lu XX. 2001. ^{40}Ar-^{39}Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County, Henan Province. Geological Review, 47(5): 551 - 555(in Chinese with English Abstract)

Wang ZL, Mao JW, Yang JM, Han CM, Chen W and Zhang ZH. 2004. ^{40}Ar-^{39}Ar isotope dating of K-Feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit, Xinjiang, and its geological implication. Acta Petrologica et Mineralogica. 23 (1): 12 - 18 (in Chinese with English Abstract)

Wu G, Chen YJ, Sun FY, Li JC, Li ZT and Wang XJ. 2008. Geochemistry of the late Jurassic granitoids in the northern end area of Great Hingan Mountains and their geological and prospecting implications. Acta Petrologica Sinica, 24 (4): 899 - 910 (In Chinese with English abstract)

Wu G, Chen YJ, Zhao ZH, Zhao TP, Li ZT and Zhang Z. 2009. The geochemistry, zircon SHRIMP U-Pb age and petrogenesis of the East Luoguhe granites at the northern end of the Da Hinggan Range. Acta Petrologica Sinica, 25(2): 233 - 247(in Chinese with English abstract)

Xia B, Li JF, Li HQ, Xu LF and Wang YB. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Maila, West of the Gangdise Belt, Southern Tibet and its geological implication. Geotectonic et Metallogenia, 32 (2): 243 - 246(in Chinese with English Abstract)

Xia B, Liu HY and Zhang YQ. 2004. SHRIMP dating of agpaitic alkalic aocks in Panxi Rift Zone and its geological implications-examples for Hongge, Baima and Jijie rock bodies. Geotectonic et Metallogenia, 28(2): 149 - 154(in Chinese with English Abstract)

Xiao W, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K and Wang Z. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the Southern Altaids: Implications for the growth of Central Asia. Journal of the Geological Society, London. 161: 339 - 342

Xu WL, Wang DM, Wang QH, Pei RF and Lin JQ. 2004. $^{40}Ar/^{39}Ar$

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

dating of hornblende and biotite in mesozoic intrusive complex from the North China Block: Constraints on the yime of lithospheric thinning. Geochimica, 33(3): 221 - 231(in Chinese with English Abstract)

Xu YG, Huang XL, Ma JL, W ang YB, Iizuka Y, Xu JF, W ang Q and Wu XY. 2004. Crust-mantle interaction during the tectono-thermal reactivation of the North China Craton: Constraints from SHRMIP zircon U-Pb chronology and geochemistry of mesozoic plutons from Western Shandong. Contrib Mineral Petrol, 147: 750 - 767

Zhou G, Zhang ZC, Wang XK, Wang X, Luo SB, He B and Zhang XL. 2007. Zircon U-Pb SHRIMP and ^{40}Ar-^{39}Ar dating of the granitic mylonite in the Mayinebo fault belt of North Xinjiang and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 81(3): 359 - 369 (in Chinese with English Abstract)

Zhu HC, Zhang JF and Quan H. 2005. Two stages of mesozoic lithogenesis and mineralization in Daxing'anling Mountains. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 35(4): 436 - 442(in Chinese with English Abstract)

Zorin YA, Zorina LD, Spiridinov AM and Rutshtein IG. 2001. Geodynamic setting of gold deposits in Eastern and Central TransBaikal(Chita region, Russia). Ore Geology Reviews, 17: 215 - 232

附中文参考文献

陈宏威. 2007. 大兴安岭中南段铜多金属矿成矿特征与找矿方向. 北京：中国地质大学[硕士研究生学位论文], 72

陈衍景. 2000. 中国西北地区中亚型造山-成矿作用的研究意义和进展. 高校地质学报, 6(1): 17 - 22

陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京：地震出版社, 12 - 34

陈衍景, 倪培, 范洪瑞, F Pirajno, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同类型热液金矿床的流体包裹体特征. 岩石学报, 23(9): 2085 - 2108

陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题. 岩石学报, 25(11):2695 - 2726

邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18(4): 309 - 315

董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 邓晋福, 高锐, 王成善. 2000. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义. 地质论评, 46(1): 8 - 13

葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型Cu, Mo矿床成矿时代及其地球动力学意义. 科学通报, 52(20): 2407 - 2417

胡受奚, 赵懿英, 徐金方, 叶瑛. 1997. 华北地台金矿地质. 北京：科学出版社, 1 - 220

华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质, 18(4): 300 - 308

蒋少涌, 杨竞红, 赵葵东, 于际民. 2000. 金属矿床 Re-Os 同位素示踪与定年研究. 南京大学学报(自然科学), 36(6): 669 - 677

李诺, 陈衍景, 张辉, 赵太平, 邓小华, 王运, 倪智勇. 2007b. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景. 地学前缘, 14: 186 - 198

李诺, 陈衍景, 赖勇, 李文博. 2007a. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床流体包裹体研究. 岩石学报, 23(9): 2177 - 2188

李诺, 陈衍景, 孙亚莉, 胡海珠, 李晶, 张辉, 倪智勇. 2009. 河南鱼池岭钼矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义. 岩石学报, 25(2): 413 - 421

李文博, 陈衍景, 赖勇, 季建清. 2008. 内蒙古白乃庙铜金矿床的成矿时代和成矿构造背景. 岩石学报, 24(4): 890 - 898

刘敦一, 简平, 张旗, 张福勤, 石玉若, 施光, 张履桥, 陶华. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中的埃达克浅色岩 SHRIMP U-Pb 测年. 地质学报, 77(3): 317 - 327

刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征. 地学前缘, 11(1): 269 - 277

鲁颖淮, 张宇, 赖勇, 王艳忠. 2009. 黑龙江金厂金矿田岩浆和成矿作用的 LA-ICPMS 锆石定年. 岩石学报, 25(11):2902 - 2912

毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 18(4): 291 - 299

毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨. 矿床地质, 19(4): 289 - 296

聂凤军, 屈文俊, 刘妍, 杜安道, 江思宏. 2005. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 24(6): 638 - 646

裴荣富, 邱小平, 尹冰川, 熊群尧. 1999. 成矿作用爆发异常及巨量金属堆积. 矿床地质, 18(4): 333 - 340

祁进平, 陈衍景, Franco Pirajno. 2005. 东北地区浅成低温热液矿床的地质特征和构造背景. 矿物岩石, 25(2): 47 - 59

邱华宁. 1999. 流体包裹体^{40}Ar-^{39}Ar计时技术及其矿床定年应用. 矿物岩石地球化学通报, 18 (2): 71 - 78

芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京：地质出版社, 1 - 350

邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用. 地学前缘, 6(4): 339 - 346

谭绿贵, 周涛发, 袁峰. 2004. $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素体系及其在地学上的应用. 合肥工业大学学报(自然科学版), 27(12): 1509 - 1514

陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 杨祝良, 赵宇. 1999. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发. 矿床地质, 18(4): 316 - 322

涂光炽, 赵振华. 1983. 燕山期成矿作用的多样性. 地质论评, 29(1): 57 - 65

王德滋, 任启江, 邱检生. 1998. 中国东部与中生代陆相火山作用及其有关金成矿的地质学和地球化学. 见：胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 张景荣(主编). 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京：科学出版社, 267 - 338

王敏, 姚明和, 刘畅. 2008. 物化探方法在内蒙古东北部太平沟地区(铜)钼矿找矿中的应用. 国土资源, 1: 112 - 113

王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的^{40}Ar-^{39}Ar年代学证据. 地质论评, 47(5): 551 - 555

王志良, 毛景文, 杨建民, 韩春明, 陈文, 张作衡. 2004. 新疆巴音布鲁克乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石的^{40}Ar-^{39}Ar年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 23(1): 12 - 18

武广, 陈衍景, 孙丰月, 李景春, 李之彤, 王希今. 2008. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义. 岩石学报, 24(4): 899 - 910

武广, 陈衍景, 赵振华, 赵太平, 李之彤, 张哲. 2009. 大兴安岭北端洛古河东花岗岩的地球化学、SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和岩石成因. 岩石学报, 25(2): 233 - 247

夏斌, 李建峰, 张玉泉, 李华启, 徐力峰, 王彦斌. 2008. 藏南冈底斯带西段麦拉花岗岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义. 大地构造与成矿学, 32(2): 243 - 246

夏斌, 刘红英, 张玉泉. 2004. 攀西古裂谷钠质碱性岩锆石 SHRMIP U-Pb 年龄及地质意义——以红格、白马和鸡街岩体为例. 大地构造与成矿学, 28(2): 149 - 154

许文良, 王冬艳, 王清海, 裴福萍, 林景仟. 2004. 华北克拉通中东部中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的^{40}Ar-^{39}Ar 定年：对岩石圈减薄时间的制约. 地球化学, 33(3): 221 - 231

周刚, 张招崇, 王新昆, 王祥, 罗世宾, 何斌, 张小林. 2007. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母^{40}Ar-^{39}Ar 年龄及意义. 地质学报, 81(3): 359 - 369

祝洪臣, 张炯飞, 权恒. 2005. 大兴安岭中生代两期成岩成矿作用的元素、同位素特征及其形成环境. 吉林大学学报(地球科学版), 35(4): 436 - 442

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net