

doi: 10.12029/gc20210114

赵闯, 苏旭亮, 薛斌, 程东江, 史兴俊, 宋涛涛, 张阔. 2021. 内蒙古西部苦楚乌拉—英巴地区花岗岩锆石 U-Pb 定年及地球化学特征[J]. 中国地质, 48(1): 189–206.

Zhao Chuang, Su Xuliang, Xue Bin, Cheng Dongjiang, Shi Xingjun, Song Taotao, Zhang Kuo. 2021. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the granites in Kuchuwula-Yingba area of western Inner Mongolia [J]. Geology in China, 48(1): 189–206(in Chinese with English abstract).

内蒙古西部苦楚乌拉—英巴地区花岗岩 锆石 U-Pb 定年及地球化学特征

赵闯¹, 苏旭亮¹, 薛斌¹, 程东江¹, 史兴俊², 宋涛涛¹, 张阔³

(1. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266001; 2. 信阳师范学院, 河南 信阳 464000;
3. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 锆石 U-Pb 定年结果表明, 内蒙古西部苦楚乌拉—英巴地区花岗岩包括晚泥盆世二长花岗岩((371±2)Ma)、中二叠世钾长花岗岩((271±1)~(270±1)Ma)和早白垩世二长花岗岩((133±1)Ma)。结合前人资料, 将研究区晚古生代以来的酸性岩浆活动分为 4 期: 晚泥盆世(~371 Ma)、晚石炭世(313~311 Ma)、早—中二叠世(282~270 Ma)和早白垩世(133~130 Ma)。地球化学组成上, 晚泥盆世二长花岗岩属于非典型的 S 型花岗岩, 反映了一种后碰撞的构造背景, 一方面说明珠斯楞—杭乌苏构造带在石炭纪之前已经开始出现岩浆活动, 另一方面可能也恰好反映了哈萨克斯坦+塔里木+华北板块与西伯利亚板块拼合时间的下限; 中二叠世钾长花岗岩则属 A 型花岗岩, 反映了地壳伸展减薄的构造背景, 与同时期区域强烈的拉张构造背景具有良好的对应关系; 早白垩世二长花岗岩与晚泥盆世二长花岗岩具有相似的地球化学特征, 同样反映了一种后碰撞的构造背景, 与同时期区域后碰撞的拉张构造背景一致。

关键词: 花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; 构造演化; 内蒙古西部; 苦楚乌拉—英巴; 地质调查工程
中图分类号: P597; P588.12⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2021)01-0189-18

Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the granites in Kuchuwula-Yingba area of western Inner Mongolia

ZHAO Chuang¹, SU Xuliang¹, XUE Bin¹, CHENG Dongjiang¹,
SHI Xingjun², SONG Taotao¹, ZHANG KUO³

(1. Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Qingdao 266001, Shandong, China;
2. Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan, China; 3. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: Zircon U-Pb dating indicates that the granite samples collected from the Kuchuwula-Yingba area of western Inner Mongolia includes the Late Devonian monzonitic granite ((371±2)Ma), Middle Permian K-feldspar granite ((271±1)~(270±1)Ma) and Early Cretaceous monzonitic granite ((133±1)Ma). In combination with the data available, the acidic magmatic activity can be divided into 4 stages: Late Devonian (~371 Ma), Late Carboniferous (313–311 Ma), Early–Middle Permian (282–270 Ma) and

收稿日期: 2018-03-21; 改回日期: 2018-07-06

基金项目: 内蒙古自治区地质勘查基金项目“内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善盟等四幅 1:5 万区域矿产地质调查项目”(NMKD2013-34)资助。

作者简介: 赵闯, 男, 1986 年生, 工程师, 从事地质矿产调查及勘查工作; E-mail: zhaochuang369@126.com。

Early Cretaceous (133–130 Ma). Geochemically, the Late Devonian monzonitic granites belong to the typical S-type granites, which reflects a post-collisional tectonic setting. On the one hand, these data indicate that magmatic activities occurred before the Carboniferous period in the Zhusileng–Hangwula tectonic zone; on the other hand, they probably exactly reflect the lower limit of the time when Kazakhstan+Tarim+North China plate collided with the Siberian plate. The Middle Permian K-feldspar granites belong to the A-type granites, which reflects a tectonic setting of the crustal extension, having a good correspondence with the strong extension environment of this region in the same period. The geochemical characteristics of the Early Cretaceous monzonitic granites are similar to the features of Late Devonian monzonitic granite, also suggesting a post-collisional tectonic setting in accord with the post-collisional and extensional environment of this region in the same period.

Key words: granite; zircon U–Pb dating; tectonic evolution; western Inner Mongolia; Kuchuwula–Yingba; geological survey engineering

About the first author: ZHAO Chuang, male, born in 1986, engineer, engaged in geological and mineral resources survey and exploration work; E-mail: zhaochuang369@126.com.

Fund support: Supported by geological exploration fund project of Inner Mongolia Autonomous Region(No. NMKD2013–34).

1 引 言

中亚造山带位于西伯利亚板块与华北—塔里木板块之间,是显生宙以来全球规模最大的增生造山带(Sengör et al., 1993),主要表现为大规模的地壳生长,从而也伴随了巨量的花岗岩发育。对该造山带内花岗岩的研究,不仅可以深入了解大陆的组成和成因,还对揭示造山带的发展演化和相应的成矿背景具有重要意义,该问题也一直是全球地学研究的前沿(王涛等,2014)。中亚造山带的形成与古亚洲洋的演化有关(Windley et al., 2007; Xiao et al., 2013),由一系列的微陆块、蛇绿岩、岛弧、洋壳、增生楔等拼贴形成。古亚洲洋的消减闭合,致使西伯利亚板块南缘与华北—塔里木板块北缘碰撞拼合在一起,由于构造的复杂性,尽管前人对中亚造山带开展了大量研究,但目前对于古亚洲洋的闭合时间还存在着泥盆纪(王廷印等,1993;徐学义等,2008;Zhao et al., 2013)、晚石炭世(李朋武等,2012;徐备等,2014)、二叠纪(Pruner, 1987;谢力等,2014)、早中三叠世以后(Yuan et al., 2015)等不同认识,且其缝合带的具体位置亦未形成统一认识。国内这些研究主要集中在中亚造山带西段的阿尔泰、北山、天山地区(童英等,2006,2007;刘锋等,2009;韩宝福等,2010a;王涛等,2010;董连慧等,2012;陈希节等,2016)以及东段的内蒙古东部和东北地区(白新会等,2015;刘锐等,2016;吕斌等,2017;何付兵等,2017;郭喜运,2019),而位于其中段的阿拉善地区则研究相对薄弱(韩宝福等,2010b;史兴俊等,

2014)。

前人研究认为,阿拉善北部的恩格尔乌苏蛇绿岩带是该区重要的缝合带,代表了古亚洲洋闭合或板块边界的位置(吴泰然等,1993;王廷印等,1994),位于其北部的珠斯楞—杭乌拉构造带的演化与古亚洲洋的演化密切相关,其演化过程和古亚洲洋的闭合时间尚未形成统一认识,且该构造带西部被巴丹吉林沙漠覆盖,东部一直延至蒙古国境内,地貌类型属低山—丘陵戈壁区,地表风化强烈,岩石露头普遍很差,受自然环境及地域环境的影响,对该区侵入岩形成时代、岩石成因、构造背景等方面的研究相对缺乏,从而限制了对该区构造演化历史的研究与统一认识。本文依托矿调项目,通过对内蒙古阿拉善东北部苦楚乌拉—英巴地区所获得的晚古生代、中生代花岗岩的岩石学、锆石U–Pb定年以及地球化学等资料进行研究,希望能对该区构造演化历史和成矿背景的研究提供一些参考,为区域大地构造演化提供一些约束。

2 地质背景

研究区位于中亚造山带南缘中蒙边界,华北板块西缘与塔里木板块东缘的结合部位,北邻兴蒙造山带,是一个多构造单元的结合部(李俊健,2006),属古亚洲洋的西段。前人根据恩格尔乌苏蛇绿岩带和查干础鲁蛇绿岩带将其北部地区自北向南划分为珠斯楞—杭乌拉构造带、宗乃山—沙拉扎山构造带和诺尔公—红古尔玉林构造带(吴泰然等,1993;李俊健,2006),均呈北东向延伸。本次研究区即位于珠斯楞

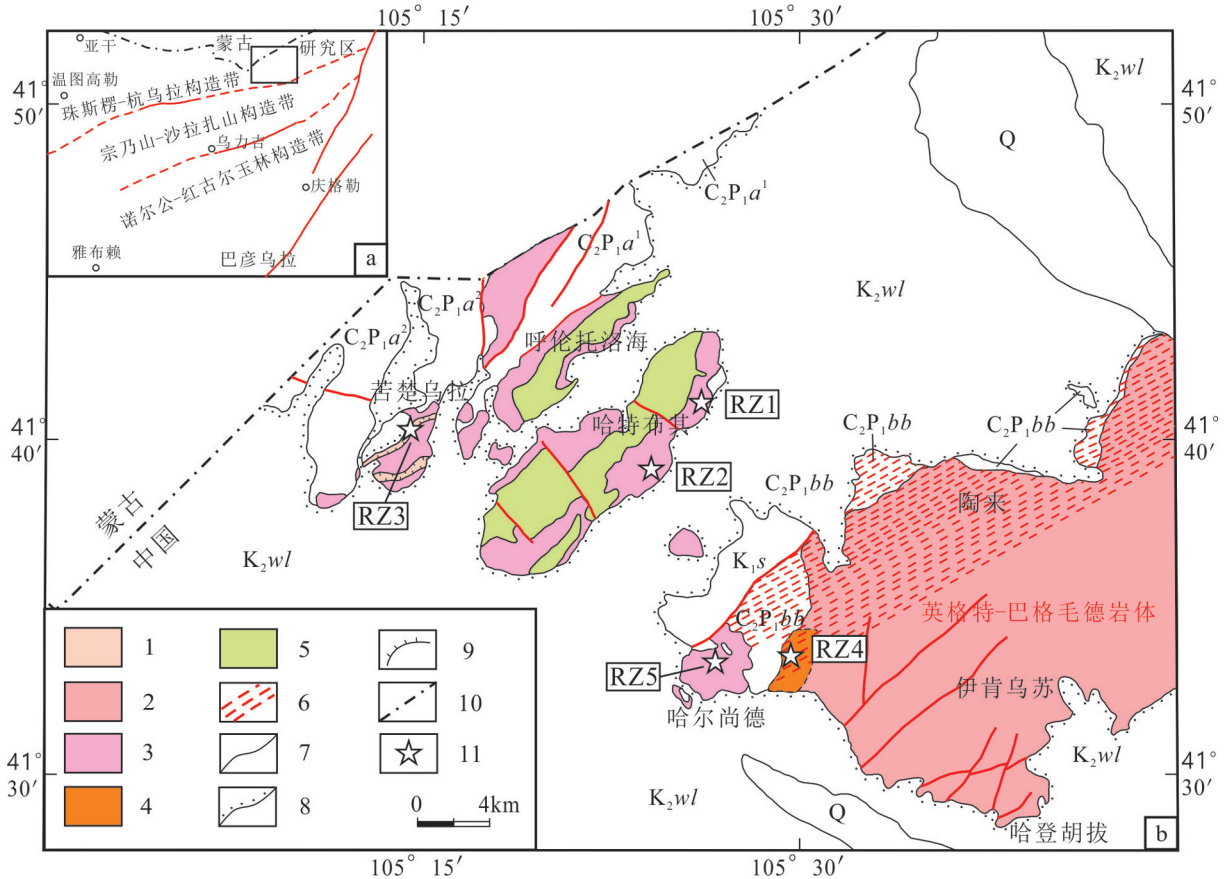


图1 研究区大地构造位置(a)和地质简图(b)

(a, 据史兴俊等, 2014 修改; b, 据内蒙古自治区地质调查院, 2004 修改)

1—泥盆纪二长花岗岩; 2—石炭纪花岗岩; 3—二叠纪钾长花岗岩; 4—白垩纪二长花岗岩; 5—辉长岩; 6—韧性变形带; 7—地质界线; 8—角度不整合界线; 9—花岗岩体超动接触界线; 10—国界线; 11—采样点; Q—第四系; K₂wl—乌兰苏海组; K₁s—苏红图组; C₂P₁a²—阿木山组二岩段; C₂P₁a¹—阿木山组一岩段; C₂P₁bb—本巴图组

Fig.1 Tectonic location (a) and geological sketch map (b) of the study area

(a, modified from Shi et al., 2014; b, modified from Geological Survey Institute of Inner Mongolia, 2004)

1—Monzonitic granite of Devonian; 2—Granite of Carboniferous; 3—K-feldspar granite of Permian; 4—Monzonitic granite of Cretaceous; 5—Gabbro; 6—Ductile deformation; 7—Geological boundary; 8—Angular unconformity; 9—Overdynamic contact boundary of granite; 10—National boundary line; 11—Sampling point; Q—Quaternary; K₂wl—Wulansuhai Formation; K₁s—Suhongtu Formation; C₂P₁a²—the second member of Amushan Formation; C₂P₁a¹—the first member of Amushan Formation; C₂P₁bb—Benbatu Formation

—杭乌拉构造带东北部的中蒙边界处(图 1a)。

研究区出露地层包括上石炭—下二叠统本巴图组、阿木山组以及白垩系苏红图组和乌兰苏海组(图 1b), 其中, 上石炭—下二叠统地层在区内零星出露, 为一套浅海相的碎屑岩—碳酸盐岩—火山岩沉积, 岩石均可见较浅程度的变质; 白垩纪地层在区内大面积出露, 苏红图组为一套陆相火山喷发沉积, 乌兰苏海组为一套河湖相沉积, 不整合于上石炭统之上。

研究区岩浆活动强烈, 以晚古生代花岗岩、辉长岩为主, 中生代亦有较小规模的酸性岩浆活动

(图 1b, 韩宝福等, 2010b)。晚古生代酸性岩体以英巴地区英格特—巴格毛德花岗岩体为代表, 侵入于上石炭—下二叠统中, 岩性主要为钾长花岗岩、似斑状花岗岩、二长花岗岩等, 其北部边界发育北东向的韧性变形带, 为英格特—呼伦希布特糜棱岩带, 岩体及围岩岩石普遍发生了糜棱岩化, 矿物普遍压碎、拉长、定向排列, 另外, 在哈尔尚德、哈特布其、苦楚乌拉和呼伦托洛海地区, 亦发育呈北东向带状展布的晚古生代花岗岩体; 中生代花岗岩发育规模较小, 侵入于上述晚古生代岩体中, 岩性主要有二长花岗岩、石英二长岩等。

3 样品描述

晚古生代钾长花岗岩在研究区内分布广泛,呈北东向带状展布,出露面积99.96 km²。该岩体中共采集RZ1、RZ2和RZ5 3件样品,其中RZ1和RZ2采自哈特布其地区,RZ5采自哈尔尚德地区(图1)。样品RZ1岩石呈肉红色,中粗粒花岗结构、局部文象结构,块状构造。主要矿物成分为钾长石(75%~80%)、石英(20%~25%)及少量斜长石和暗色矿物假象,副矿物可见锆石、磷钇矿等。斜长石呈半自形板状,粒度0.2~0.6 mm,零星分布,具高岭土化。钾长石呈半自形板状,少部分呈他形粒状,粒度部分5~8 mm,少部分2~5 mm,少量0.5~2 mm,杂乱分布,具高岭土化,有时粒内嵌布少量他形粒状石英,部分与石英呈文象交生体。石英呈他形粒状,粒度部分0.2~2 mm,少部分2~3.5 mm,杂乱分布,部分与钾长石呈文象交生体,局部粒内波状消光。暗色矿物假象为半自形晶,粒度一般0.1~0.3 mm,零星分布,黑云母化、碳酸盐化、白云母化、呈假象,似角闪石假象(图2a)。样品RZ2岩石呈肉红色,中粗粒花岗结构,局部文象结构,块状构造。主要矿物成分为钾长石(70%~75%)、石英(20%~25%)、角闪石假象(3%~5%),副矿物可见锆石等。钾长石呈半自形板状,少部分呈他形粒状,粒度部分5~8 mm,少部分2~5 mm,少量0.5~2 mm,杂乱分布,具高岭土化,有时粒内嵌布少量他形粒状石英,部分与石英呈文象交生体。石英呈他形粒状,粒度部分0.2~2 mm,少部分2~4 mm,杂乱分布,部分与钾长石呈文象交生体,局部粒内轻波状消光。角闪石假象为半自形晶,粒度一般0.2~1.5 mm,零星或似堆状分布,碳酸盐化、黑云母化,呈假象(图2b)。样品RZ5岩石呈肉红色,中细粒花岗结构、文象结构,块状构造。主要矿物成分为钾长石(65%~70%)、石英(20%~25%)、斜长石(5%~10%)、黑云母(1%~5%),副矿物可见锆石等。斜长石呈半自形板状,大小0.1~0.3 mm,零星分布,部分嵌布于钾长石粒内。钾长石呈半自形板状—他形粒状,粒度一般0.2~2 mm,少量2~3 mm,杂乱分布,少量与石英呈文象交生体。石英呈它形粒状,粒度一般0.2~1 mm,少量1~2 mm,多单晶或集合体填隙状分布于长石粒间,少量与钾长石呈文象交生体,局部粒内轻波状消光。黑云母

呈绿褐色,鳞片状、叶片状,片径一般0.1~0.8 mm,零星分布(图2c)。

晚古生代二长花岗岩仅在苦楚乌拉地区见有少量发育,亦呈北东向条带状展布,被后期钾长花岗岩超动侵入,出露残缺不全,出露面积2.07 km²。采集样品为RZ3,岩石呈浅肉红色,细粒花岗结构,块状构造。主要矿物成分为斜长石(45%)、钾长石(25%)、石英(25%左右)、黑云母和白云母(5%左右),以白云母为主,副矿物可见锆石、榍石等。斜长石呈半自形板状,杂乱分布,大小以0.2~2 mm的细粒为主,2~2.3 mm的中粒少,隐约可见环带构造,局部被钾长石蠕虫状交代。钾长石呈半自形板状,杂乱分布,大小为0.01~2.3 mm,局部交代斜长石。石英呈他形粒状,杂乱分布,大小为0.1~2.3 mm,部分与长石呈文象交生体,具波状、带状消光。黑云母和白云母呈鳞片状—片状,星散分布,大小为0.1~0.8 mm(图2d)。

中生代二长花岗岩见于英巴地区英格特—巴格毛德花岗岩体的西南边缘,分布范围不详。采集样品为RZ4,岩石呈浅肉红色,受区域韧性变形带的影响,岩石多发育糜棱岩化,为变余中细粒花岗结构,块状构造、定向构造。主要矿物成分为斜长石(40%~45%)、钾长石(30%~35%)、石英(20%~25%)及少量黑云母(5%),副矿物可见磷灰石、褐帘石、锆石等。斜长石、钾长石呈他形粒状、似眼球状,少部分呈近半自形板状,大小一般0.2~1 mm,部分1~2 mm,少量2~4 mm,少部分重结晶呈微粒状,粒度<0.2 mm,部分粒间弯曲镶嵌状分布,部分杂乱分布,方向性排列,斜长石局部隐约可见环带构造,局部见钾长石粒内嵌布少量斜长石,有时被钾长石交代,见交代蠕虫结构。石英呈他形粒状,粒度一般0.1~1 mm,集合体相对富集似条纹状、似线痕状定向分布,粒内波状、带状消光。黑云母呈棕褐色,鳞片状,片径一般0.1~0.5 mm,零散分布,方向性排列,局部白云母化(图2e)。

4 分析方法

4.1 锆石U-Pb定年

锆石样品破碎及单矿物挑选工作在河北廊坊区调所实验室完成,将样品破碎至80~120目,经常规重选、电磁分选、重液分选等程度后,在双目镜下人工挑选出锆石单矿物。锆石U-Pb同位素年龄测

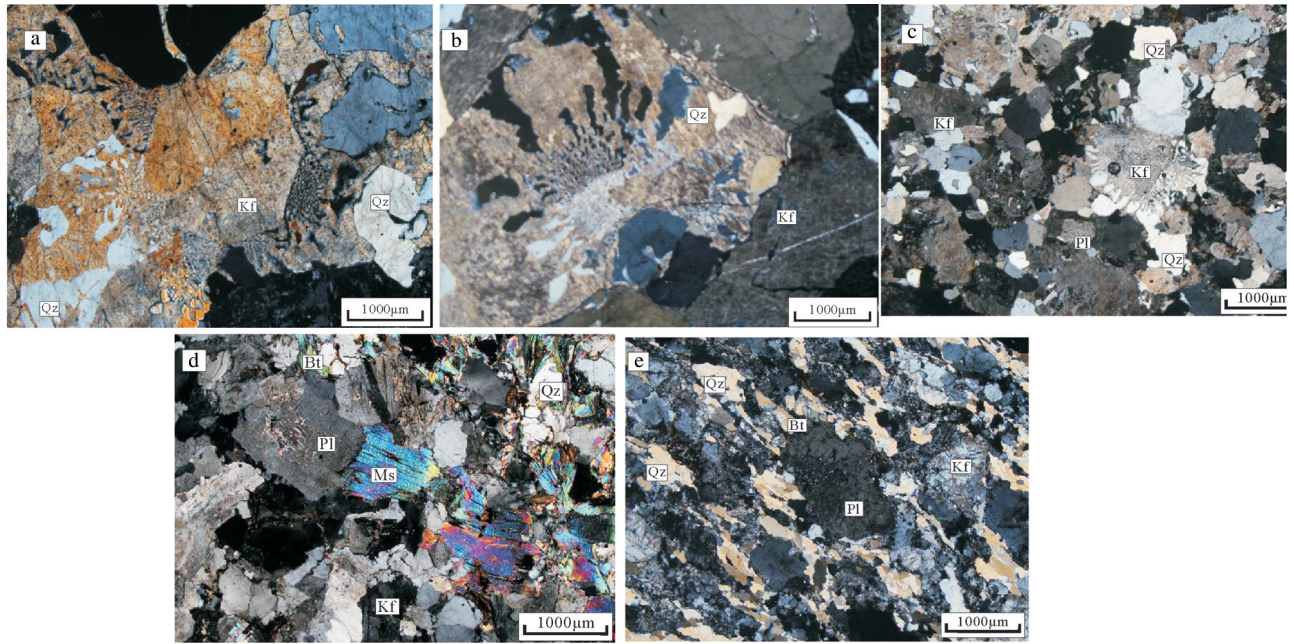


图2 研究区花岗岩镜下显微照片

a—晚古生代钾长花岗岩(RZ1);b—晚古生代钾长花岗岩(RZ2);c—晚古生代钾长花岗岩(RZ5);d—晚古生代二长花岗岩(RZ3);
e—中生代二长花岗岩(RZ4);Qz—石英;Kf—钾长石;Pl—斜长石;Bt—黑云母;Ms—白云母(均为正交镜下拍摄)

Fig.2 Microphotographs of granites in the study area

a—K-feldspar granite of late Paleozoic (RZ1);b—K-feldspar granite of late Paleozoic (RZ2);c—K-feldspar granite of late Paleozoic (RZ5);
d—Monzonitic granite of late Paleozoic;e—Monzonitic granite of Mesozoic;Qz—Quartz;Kf—K-feldspar;Pl—Plagioclase;
Bt—Biotite;Ms—Muscovite (crossed nicols)

试在天津地质矿产研究生同位素实验室完成,使用仪器为 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪和 193 nm 激光取样系统(LA-MC-ICP-MS)。锆石 U-Pb 测年时激光剥蚀的斑束一般为 35 μm ,能量密度为 13~14 J/cm^2 ,频率为 8~10 Hz,激光剥蚀物质以 He 为载气送入 Neptune (MC-ICP-MS)。采用 TEMORA 和 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正,具体实验流程参见耿建珍等(2012)。数据处理采用中国地质大学刘勇胜编写的 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2008),采用 ^{208}Pb 对普通铅进行校正(Anderson, 2002),并用 NIST612 作为外标计算锆石样品的 U、Pb、Th 含量。统计处理采用 Isoplot 程序(Ludwig, 2003)。

4.2 主量和稀土元素分析

该两项测试均在河北廊坊区调所实验室完成。氧化物用 Axios^{max}X 射线荧光光谱仪测试,执行标准分别为:主量成分按 GB/T14506.28-2010 标准;灼减量按 DZG20-1 标准; H_2O^+ 按 GB/T14506.2-2010 标准;FeO 按 GB/14506.14-2010 标准。稀土元素 Y 等 15 元素用 X Serise2 等离子体质谱仪测试,执

行 DZG20-1 标准。

5 分析结果

5.1 锆石 U-Pb 年龄

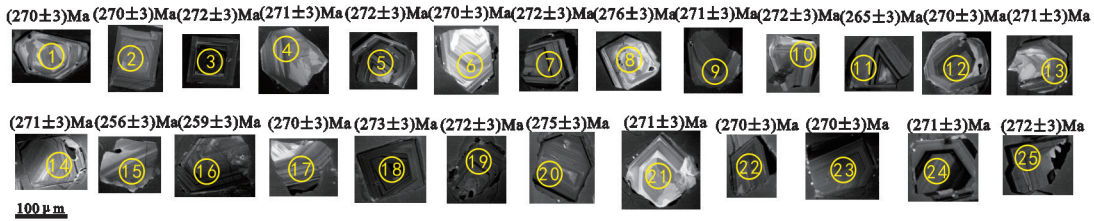
样品 RZ3 取自苦楚乌拉一带的浅肉红色细粒二长花岗岩,其锆石在 CL 图像上显示发光强度较弱,个别发光强度较强,长度一般在 100~150 μm ,主要呈短柱状,长宽比为 1.3:1~2:1,震荡环带结构明显(图3),Th/U 比值较高(0.31~0.56)(表1),应为岩浆结晶锆石。该样品共测定了 25 颗锆石,均位于谐和线上(图4c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 369~372 Ma,加权平均年龄为(371 \pm 2)Ma(MSWD=0.057),为晚泥盆世。

样品 RZ1、RZ2 和 RZ5 取自哈特布其和哈尔尚德一带未变形的肉红色中粗粒、中细粒钾长花岗岩,其锆石在 CL 图像中显示多数发光强度较弱,少量发光强度较强,长度一般在 70~150 μm ,主要呈短柱状,长宽比为 1.2:1~1.7:1,并可见较清晰的震荡环带结构(图3),Th/U 比值较高(0.32~0.72)(表1),应为岩浆结晶锆石。上述 3 件样品中,RZ1 共测定了 25 颗锆石,其中有 23 个点集中成群,均位于谐和

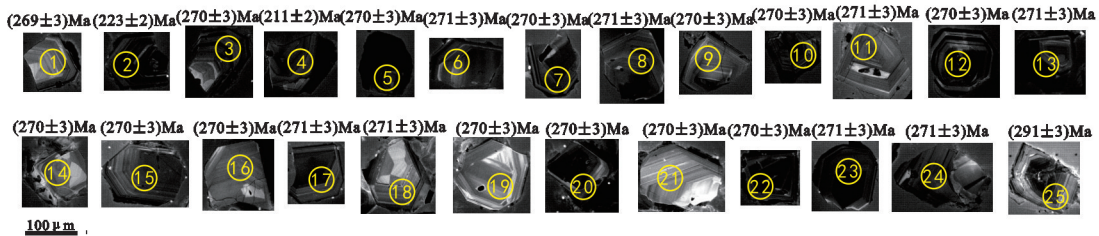
线上(图4a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在265~276 Ma, 加权平均年龄为 $(271\pm 1)\text{Ma}$ (MSWD=0.56), 为中二叠世, 另外2个数据点(15和16)偏离谐和线较远, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄相对偏小, 分别为256 Ma和259 Ma, 可能反映了在后期发生了一定的构造热事件, 而发生了铅丢失; RZ2共测定了25颗锆石, 其中有

22个点集中成群, 均位于谐和线上(图4b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在269~271 Ma, 加权平均年龄为 $(270\pm 1)\text{Ma}$ (MSWD=0.025), 为中二叠世, 另外3个数据点偏离谐和线较远, 其中2个数据点(2和4) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏小, 分别为211 Ma和223 Ma, 应与后期构造热事件而造成的铅丢失有关, 另1个数据点(25)来自不

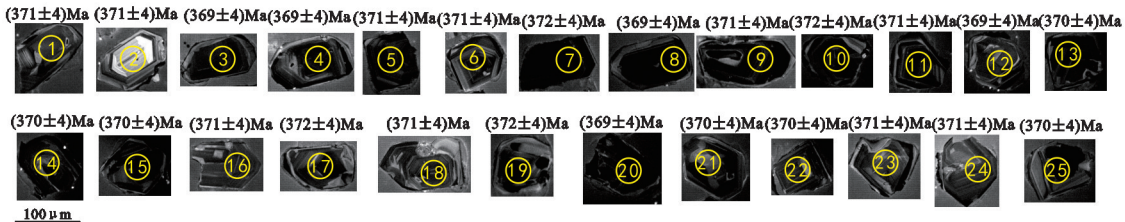
RZ1 钾长花岗岩



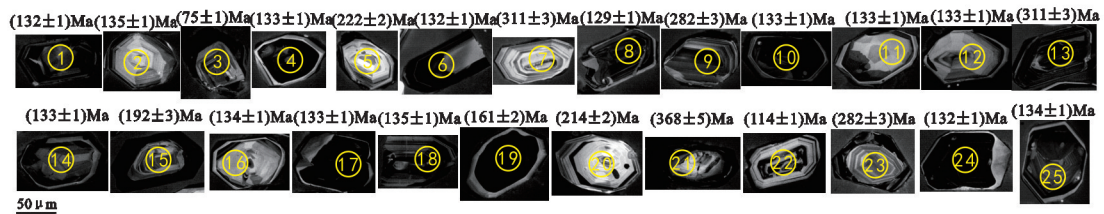
RZ2 钾长花岗岩



RZ3 二长花岗岩



RZ4 二长花岗岩



RZ5 钾长花岗岩

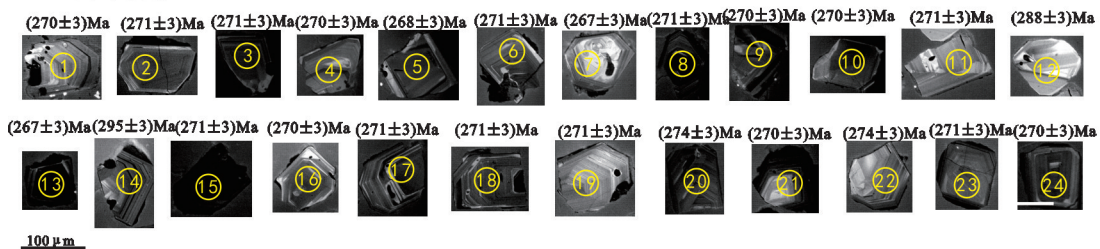


图3 锆石阴极发光图像及测试点位置
Fig.3 CL images of zircons from the granitoids

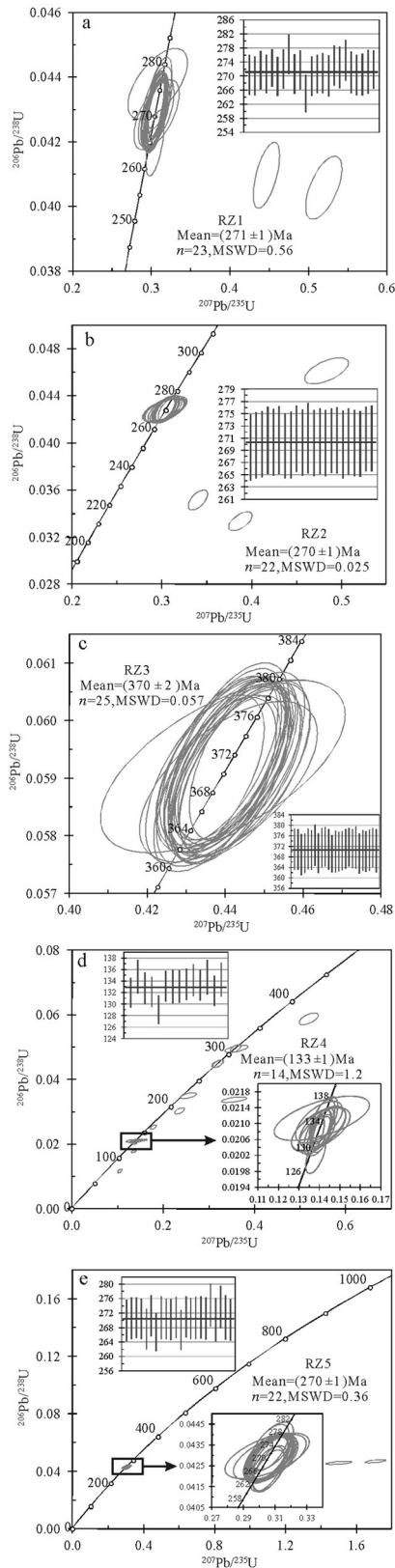


图4 锆石U-Pb谐和图

Fig.4 U-Pb concordia diagrams of zircons

具环带的锆石核部,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏大,为291 Ma,可能为残留核;RZ5共测定了24颗锆石,其中有22个点集中成群,均位于谐和线上(图4e), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在267~274 Ma,加权平均年龄为 $(270\pm 1)\text{Ma}$ (MSWD=0.36),为中二叠世,另外2个数据点(12和14)均来自锆石核部, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄均偏大,分别为288 Ma和295 Ma,亦可能为残留核。

样品RZ4取自英巴地区英格特—巴格毛德花岗岩体的西南边缘,岩性为浅肉红色糜棱岩化中细粒二长花岗岩,其锆石在CL图像上显示发光强度各有强弱,长度一般在80~100 μm ,主要呈短柱状,长宽比为1.5:1~2:1,亦具有清晰的震荡环带结构(图3),Th/U比值亦总体较高(0.12~1.19)(表1),应为岩浆结晶锆石。该样品共测定了25颗锆石,其中有14个集中成群,均位于谐和线上(图4d), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在129~135 Ma,加权平均年龄为 $(133\pm 1)\text{Ma}$ (MSWD=1.2),为早白垩世。在9个不具环带的锆石核部的数据点(5、7、9、13、15、19、20、21和23)获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏大,在161~368 Ma,可能为残留核,其中有5个数据点位于谐和线上:2个(7和13) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为311 Ma,为晚石炭世;2个(9和23) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为282 Ma,为早二叠世;1个(5) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为222 Ma,为晚三叠世,可能代表了相应时期的岩浆活动事件,如与采样位置毗邻的晚石炭世英格特—巴格毛德花岗岩,韩宝福等(2010b)在研究区内发现的早二叠世花岗岩以及王涛等(2002)在研究区西部的亚干地区发现的晚三叠世花岗岩。另外,还有2个数据点(3和22) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏小,分别为75 Ma和114 Ma,应与后期构造热事件而造成的铅丢失有关,亦可能受到了区域韧性剪切构造的影响。

5.2 地球化学特征

5.2.1 主要元素

研究区及其西部拐子湖温图高勒地区的泥盆纪二长花岗岩主要元素分析结果显示(表2),其 SiO_2 含量为72.03%~76.92%,为酸性; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 值为7.76%~8.79%,相对富钾更甚($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为1.54~1.58),在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图中,样品点均落在亚碱性系列花岗岩区域内(图5a),在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图中,样品点均落在高钾钙碱性系列区域内(图5b); Al_2O_3 含量较高,为12.28%~14.52%,CaO含量不高,为

表1 锆石U-Pb年龄分析结果

Table 1 Zircon U-Pb test results

测点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值				年龄/Ma			
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
				1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ		
RZ1, 钾长花岗岩, 采样地理坐标: 41°40'35"N、105°25'51"E											
1	8	178	0.44	0.3069	0.0118	0.0428	0.0004	272	10	270	3
2	12	278	0.41	0.3041	0.0069	0.0428	0.0004	270	6	270	3
3	30	689	0.45	0.3065	0.0056	0.043	0.0004	271	5	272	3
4	10	224	0.37	0.3063	0.0092	0.0429	0.0004	271	8	271	3
5	32	705	0.42	0.3065	0.0043	0.0432	0.0004	271	4	272	3
6	14	315	0.41	0.3059	0.0064	0.0428	0.0004	271	6	270	3
7	20	439	0.4	0.3061	0.0056	0.0431	0.0004	271	5	272	3
8	8	155	0.37	0.3082	0.0153	0.0438	0.0004	273	14	276	3
9	20	440	0.37	0.3054	0.0078	0.0429	0.0004	271	7	271	3
10	26	588	0.42	0.3069	0.0058	0.0431	0.0004	272	5	272	3
11	33	663	0.55	0.3049	0.0049	0.042	0.0004	270	4	265	3
12	17	400	0.47	0.3062	0.0056	0.0428	0.0004	271	5	270	3
13	23	471	0.38	0.3069	0.0054	0.0429	0.0004	272	5	271	3
14	21	486	0.37	0.3065	0.0049	0.0429	0.0004	271	4	271	3
*15	14	327	0.45	0.5194	0.0095	0.0406	0.0004	425	8	256	3
*16	19	447	0.7	0.4467	0.0069	0.041	0.0004	375	6	259	3
17	18	436	0.33	0.3049	0.0056	0.0428	0.0005	270	5	270	3
18	36	794	0.52	0.3066	0.0044	0.0433	0.0005	272	4	273	3
19	16	367	0.42	0.3073	0.0082	0.0432	0.0005	272	7	272	3
20	16	350	0.39	0.3103	0.0064	0.0435	0.0005	274	6	275	3
21	7	165	0.41	0.3046	0.0068	0.0429	0.0005	270	6	271	3
22	18	417	0.4	0.3047	0.0056	0.0428	0.0005	270	5	270	3
23	12	286	0.39	0.3056	0.0065	0.0428	0.0005	271	6	270	3
24	47	1105	0.37	0.3051	0.0054	0.043	0.0005	270	5	271	3
25	19	444	0.35	0.3072	0.0061	0.0431	0.0004	272	5	272	3
RZ2, 钾长花岗岩, 采样地理坐标: 41°37'49"N、105°21'01"E											
1	12	291	0.35	0.3031	0.0066	0.0427	0.0004	269	6	269	3
*2	53	1481	0.57	0.3402	0.0045	0.0351	0.0004	297	4	223	2
3	28	664	0.42	0.304	0.0045	0.0427	0.0004	270	4	270	3
*4	37	1075	0.46	0.3874	0.0054	0.0333	0.0003	332	5	211	2
5	34	793	0.62	0.3042	0.0049	0.0428	0.0004	270	4	270	3
6	10	237	0.37	0.3063	0.0088	0.0429	0.0004	271	8	271	3
7	38	894	0.46	0.3044	0.0048	0.0428	0.0004	270	4	270	3
8	16	373	0.36	0.3057	0.0057	0.0429	0.0004	271	5	271	3
9	13	303	0.36	0.3047	0.0084	0.0427	0.0004	270	7	270	3
10	21	508	0.34	0.3044	0.0048	0.0427	0.0004	270	4	270	3
11	22	520	0.37	0.3033	0.0049	0.0429	0.0004	269	4	271	3
12	34	796	0.5	0.3072	0.0047	0.0428	0.0004	272	4	270	3
13	20	472	0.39	0.3062	0.0058	0.0429	0.0005	271	5	271	3
14	9	212	0.35	0.303	0.0098	0.0428	0.0004	269	9	270	3
15	22	514	0.36	0.3042	0.0049	0.0429	0.0004	270	4	270	3
16	10	233	0.32	0.3035	0.0091	0.0428	0.0004	269	8	270	3
17	18	437	0.35	0.3057	0.0055	0.0429	0.0004	271	5	271	3
18	15	366	0.33	0.3063	0.0066	0.0429	0.0004	271	6	271	3
19	10	244	0.35	0.3038	0.0096	0.0428	0.0004	269	9	270	3
20	16	383	0.34	0.3043	0.0063	0.0428	0.0004	270	6	270	3
21	13	326	0.33	0.3049	0.0062	0.0428	0.0004	270	5	270	3
22	22	523	0.38	0.3047	0.0057	0.0428	0.0004	270	5	270	3
23	36	828	0.61	0.3037	0.0046	0.0429	0.0004	269	4	271	3
24	19	457	0.36	0.3056	0.0057	0.0429	0.0004	271	5	271	3
*25	55	1139	0.65	0.4835	0.01	0.0461	0.0005	400	8	291	3

续表 1

测点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值				年龄/Ma			
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
RZ3, 二长花岗岩, 采样地理坐标: $41^{\circ}40'22''\text{N}$ 、 $105^{\circ}14'12''\text{E}$											
1	27	466	0.51	0.4388	0.0068	0.0592	0.0006	369	6	371	4
2	11	183	0.44	0.4394	0.0128	0.0592	0.0006	370	11	371	4
3	36	632	0.34	0.4375	0.0064	0.0589	0.0006	368	5	369	4
4	45	787	0.42	0.4412	0.0061	0.059	0.0006	371	5	369	4
5	34	595	0.4	0.4393	0.0062	0.0592	0.0006	370	5	371	4
6	30	509	0.56	0.441	0.0067	0.0592	0.0006	371	6	371	4
7	35	615	0.35	0.4411	0.0063	0.0595	0.0006	371	5	372	4
8	74	1282	0.38	0.4348	0.0062	0.059	0.0006	367	5	369	4
9	41	714	0.31	0.4385	0.0062	0.0593	0.0006	369	5	371	4
10	41	682	0.42	0.4457	0.0061	0.0594	0.0006	374	5	372	4
11	43	748	0.39	0.4406	0.0062	0.0592	0.0006	371	5	371	4
12	34	580	0.49	0.4409	0.0093	0.0589	0.0006	371	8	369	4
13	36	618	0.36	0.4416	0.0063	0.0591	0.0006	371	5	370	4
14	31	531	0.38	0.4429	0.0069	0.0591	0.0006	372	6	370	4
15	35	606	0.4	0.4438	0.0063	0.0591	0.0006	373	5	370	4
16	27	467	0.37	0.439	0.0067	0.0593	0.0006	370	6	371	4
17	41	690	0.52	0.4426	0.0063	0.0593	0.0006	372	5	372	4
18	47	789	0.51	0.4414	0.006	0.0593	0.0006	371	5	371	4
19	43	719	0.5	0.4405	0.0062	0.0593	0.0006	371	5	372	4
20	35	598	0.44	0.4383	0.0065	0.059	0.0006	369	5	369	4
21	21	364	0.4	0.4439	0.0073	0.0591	0.0006	373	6	370	4
22	27	464	0.46	0.4404	0.0065	0.0591	0.0006	371	6	370	4
23	29	504	0.36	0.445	0.0068	0.0592	0.0006	374	6	371	4
24	34	591	0.31	0.4432	0.0063	0.0593	0.0006	373	5	371	4
25	35	597	0.36	0.4411	0.0064	0.0591	0.0007	371	5	370	4
RZ4, 岩性: 二长花岗岩, 采样地理坐标: $41^{\circ}40'22''\text{N}$ 、 $105^{\circ}14'12''\text{E}$											
1	23	1143	0.92	0.1398	0.0024	0.0207	0.0002	133	2	132	1
2	5	249	0.76	0.1412	0.0095	0.0211	0.0002	134	9	135	1
*3	39	3367	0.47	0.1055	0.002	0.0116	0.0002	102	2	75	1
4	38	1852	0.49	0.1413	0.002	0.0208	0.0002	134	2	133	1
*5	8	234	0.62	0.256	0.0072	0.035	0.0004	231	6	222	2
6	36	1725	0.81	0.1374	0.002	0.0207	0.0002	131	2	132	1
*7	21	434	0.5	0.3607	0.0101	0.0494	0.0005	313	9	311	3
8	36	1762	0.44	0.1383	0.002	0.0202	0.0002	132	2	129	1
*9	50	985	1.19	0.32	0.0045	0.0448	0.0005	282	4	282	3
10	33	1545	0.61	0.1405	0.0021	0.0209	0.0002	134	2	133	1
11	7	348	0.38	0.1396	0.0054	0.0208	0.0002	133	5	133	1
12	6	283	0.35	0.1407	0.0058	0.0209	0.0002	134	6	133	1
*13	57	1161	0.45	0.3594	0.0049	0.0495	0.0005	312	4	311	3
14	10	438	0.59	0.1416	0.0046	0.0209	0.0002	134	4	133	1
*15	20	667	1.03	0.2361	0.0044	0.0302	0.0004	215	4	192	3
16	8	393	0.34	0.1399	0.0047	0.021	0.0002	133	4	134	1
17	44	1941	0.87	0.1416	0.0022	0.0209	0.0002	134	2	133	1
18	20	902	0.61	0.1425	0.0027	0.0211	0.0002	135	3	135	1
*19	50	2017	0.29	0.1789	0.0026	0.0252	0.0003	167	2	161	2
*20	8	223	0.45	0.3554	0.0114	0.0337	0.0003	309	10	214	2
*21	59	1050	0.12	0.5196	0.0087	0.0587	0.0008	425	7	368	5
*22	28	1453	0.97	0.1355	0.0022	0.0178	0.0002	129	2	114	1
*23	20	430	0.52	0.3193	0.0055	0.0448	0.0005	281	5	282	3
24	38	1696	1.11	0.1387	0.0037	0.0207	0.0002	132	3	132	1
25	19	873	0.6	0.1413	0.0026	0.021	0.0002	134	2	134	1

续表1-2

测点号	含量/ 10^6		Th/U	同位素比值				年龄/Ma			
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
RZ5, 钾长花岗岩, 采样地理坐标: 41°32'32"N、105°26'20"E											
1	19	437	0.48	0.305	0.0054	0.0428	0.0005	270	5	270	3
2	21	495	0.46	0.3071	0.0059	0.0429	0.0004	272	5	271	3
3	18	436	0.4	0.3096	0.0056	0.0429	0.0004	274	5	271	3
4	26	624	0.38	0.3059	0.0049	0.0429	0.0004	271	4	270	3
5	23	505	0.5	0.3066	0.0044	0.0424	0.0004	272	4	268	3
6	10	240	0.36	0.3049	0.0109	0.043	0.0004	270	10	271	3
7	44	953	0.56	0.3058	0.0041	0.0422	0.0004	271	4	267	3
8	23	527	0.46	0.3058	0.0056	0.0429	0.0005	271	5	271	3
9	25	568	0.48	0.306	0.0051	0.0428	0.0004	271	4	270	3
10	12	287	0.36	0.3076	0.0068	0.0428	0.0005	272	6	270	3
11	8	182	0.34	0.3065	0.0094	0.0429	0.0005	271	8	271	3
*12	139	2113	0.54	1.5012	0.0302	0.0457	0.0005	931	19	288	3
13	40	883	0.46	0.3046	0.0044	0.0423	0.0004	270	4	267	3
*14	99	1401	0.72	1.7067	0.0238	0.0469	0.0005	1011	14	295	3
15	18	416	0.48	0.3085	0.0056	0.0429	0.0005	273	5	271	3
16	17	398	0.48	0.3068	0.0057	0.0429	0.0005	272	5	270	3
17	18	418	0.39	0.3047	0.0055	0.0429	0.0005	270	5	271	3
18	11	252	0.36	0.3068	0.0067	0.0429	0.0005	272	6	271	3
19	15	361	0.38	0.3057	0.0062	0.0429	0.0005	271	5	271	3
20	19	418	0.57	0.3082	0.0054	0.0434	0.0005	273	5	274	3
21	15	340	0.39	0.3055	0.0062	0.0428	0.0005	271	6	270	3
22	18	403	0.45	0.3066	0.0049	0.0434	0.0005	272	4	274	3
23	17	390	0.37	0.3046	0.006	0.0429	0.0005	270	5	271	3
24	18	422	0.38	0.3058	0.006	0.0428	0.0005	271	5	270	3

注:*号表示该测点数据未参与年龄计算。

0.38%~1.04%, 铝饱和指数(A/CNK)为1.04~1.15, 为弱过铝到强过铝质型, 碱铝指数(NK/A)为0.74~0.87, 在A/CNK-A/NK图中, 样品点落在亚碱弱过铝质和强过铝质区域内(图6); FeO^{T} 含量相对较低, 为0.70%~2.61%, $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 为2.27~8.74。

研究区二叠纪钾长花岗岩主量元素分析结果(表2)显示, 其 SiO_2 含量为76.69%~78.48%, 含量相对较高, 为酸性; $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值为8.15%~8.33%, 相对富钾($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为1.26~1.46), 在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图中, 样品点均落在亚碱性系列花岗岩区域内(图5a), 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图中, 样品点均落在高钾钙碱性系列区域内(图5b); 其 Al_2O_3 含量较低, 为11.21%~11.84%, 小于12%, CaO 含量较低, 为0.27%~0.40%, 铝饱和指数(A/CNK)为0.98~1.02, 为准铝质到弱过铝质型, 碱铝指数(NK/A)为0.93~0.97, 均大

于0.85, 在A/CNK-A/NK图中, 样品点落在亚碱准铝质和弱过铝质区域内(图6); FeO^{T} 含量为0.78%~1.85%, $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 为9.78~30.78。

研究区及其西部亚干地区的白垩纪二长花岗岩主量元素分析结果(表2)显示, 其 SiO_2 含量为73.90%~75.24%, 为酸性; $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值为8.40%~8.90%, 相对富钾更甚($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为1.19~1.57), 在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图中, 样品点落在亚碱性系列花岗岩区域内(图5a), 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图中, 样品点落在高钾钙碱性系列区域内(图5b); 其 Al_2O_3 含量较高, 为13.25%~13.45%, CaO 含量亦不高, 为0.82%~1.32%, 铝饱和指数(A/CNK)为0.95~1.07, 为准铝质到弱过铝质型, 碱铝指数(NK/A)为0.82~0.90, 在A/CNK-A/NK图中, 样品点均落在亚碱准铝质和弱过铝质区域内(图6); FeO^{T} 含量相对较低, 为0.64%~

表2 主量(%)和稀土(10^{-6})元素分析结果
Table 2 Major (%) and rare earth (10^{-6}) elements test results

样品编号	RZ1	RZ2	HQ0798	HQ0799	RZ3	AGS16	AGS17-1	RZ4	9	13
时代-岩性	二叠纪-钾长花岗岩				泥盆纪-二长花岗岩			白垩纪-二长花岗岩		
SiO ₂	78.48	77.6	77.36	76.69	76.92	76.23	72.03	75.24	73.90	74.96
Al ₂ O ₃	11.21	11.45	11.84	11.70	12.28	13.77	14.52	13.36	13.45	13.25
TiO ₂	0.12	0.14	0.11	0.15	0.2	0.04	0.42	0.13	0.15	0.08
Fe ₂ O ₃ ^T			0.91	2.05		0.37	2.9			
Fe ₂ O ₃	0.78	0.94			0.71			0.67	0.40	0.09
FeO	0.08	0.22			0.06			0.05	1.04	0.56
CaO	0.33	0.4	0.27	0.29	0.38	0.73	1.04	0.82	1.32	0.86
MgO	0.08	0.08	0.05	0.06	0.08	0.04	1.15	0.18	0.34	0.31
K ₂ O	4.54	4.94	4.58	4.74	5.02	5.35	4.7	5.13	4.81	4.88
Na ₂ O	3.61	3.39	3.64	3.55	3.18	3.44	3.06	3.27	4.03	4.02
MnO	0.015	0.012	0.01	0.01	0.012	0.01	0.05	0.017	0.07	0.06
P ₂ O ₅	0.011	0.011	0.01	0.02	0.041	0.01	0.11	0.03	0.05	0.03
H ₂ O ⁺	0.34	0.45			0.53			0.58	0.30	0.24
灼失量	0.7	0.73	0.68	0.87	0.95	0.96	1.83	1.02	0.34	0.24
总量	99.94	99.91	99.73	100.13	99.84	100	100	99.91	100.2	99.58
K ₂ O+Na ₂ O	8.15	8.33	8.22	8.29	8.20	8.79	7.76	8.40	8.84	8.90
K ₂ O/Na ₂ O	1.26	1.46	1.26	1.34	1.58	1.56	1.54	1.57	1.19	1.21
NK/A	0.97	0.96	0.95	0.93	0.87	0.86	0.74	0.82	0.88	0.90
A/CNK	0.98	0.98	1.01	1.02	1.08	1.04	1.15	1.07	0.95	0.98
FeO ^T	0.78	1.07	0.82	1.85	0.70	0.33	2.61	0.65	1.40	0.64
FeO ^T /MgO	9.78	13.33	16.40	30.78	8.74	8.33	2.27	3.63	4.12	2.06
Y	67.87	48.77	60.9	66.5	20.09	23.27	11.63	5.07	43.35	10.49
La	50.32	53.58	43.5	51.8	50.86	10.45	9.43	22.15	25.46	11.2
Ce	96.05	106.3	93.9	111	111.5	26.91	16.15	28.77	44.82	20.2
Pr	13.36	13.12	10.5	12.6	13.83	2.99	2.26	5	3.96	2.39
Nd	50.34	49.23	40.9	48.6	50.7	12.85	9.49	16.79	18.06	8.79
Sm	11.57	9.23	8.33	9.69	8.38	3.43	2.21	2.58	4.58	2.49
Eu	0.61	0.64	0.53	0.55	1.75	0.062	0.84	0.54	0.44	0.27
Gd	11.06	8.44	8.04	9.29	6.94	3.82	2.62	1.83	6.17	2.24
Tb	2.01	1.44	1.33	1.52	1.01	0.61	0.31	0.22	1.04	0.32
Dy	12.02	8.35	8.07	9.27	4.63	4.39	2.52	0.93	7.22	2.11
Ho	2.22	1.58	1.73	1.98	0.8	0.87	0.47	0.17	1.53	0.39
Er	6.82	4.9	4.93	5.56	2.16	2.85	1.51	0.53	4.07	0.92
Tm	1.12	0.82	0.78	0.86	0.35	0.42	0.2	0.09	0.60	0.14
Yb	7.3	5.44	5.20	5.69	1.9	2.51	1.22	0.56	3.40	1.09
Lu	1.3	0.93	0.77	0.86	0.29	0.38	0.2	0.2	0.63	0.22
ΣREE	333.97	312.77	289.41	335.77	275.19	95.82	61.14	85.43	165.33	63.26
ΣCe/ΣY	1.99	2.88	2.51	2.31	6.21	1.45	1.95	7.90	1.43	2.53
(La/Yb) _N	4.65	6.64	5.64	6.14	18.05	2.99	5.55	26.67	5.06	6.94
(La/Sm) _N	2.74	3.65	3.28	3.36	3.82	1.97	2.76	5.40	3.50	2.83
(Gd/Lu) _N	1.06	1.13	1.30	1.34	2.98	1.25	1.63	1.14	1.22	1.27
δEu	0.16	0.22	0.20	0.17	0.68	0.05	1.07	0.72	0.25	0.34

注:浅色字体及对应的插图中浅色样品点数据引自前人成果,其中HQ0798和HQ0799据韩宝福等,2010b,取自研究区哈特布其地区;AGS16和AGS17-1据刘巧峰,2015,取自位于同一构造单元内本次研究区西部的拐子湖温图高勒地区;9和13据 Wang Tao et al., 2004,取自位于同一构造单元内本次研究区西部的亚干地区。

1.40%, FeO^T/MgO 为 2.06~4.12。

5.2.2 稀土元素

研究区及其西部的拐子湖温图高勒地区的泥盆纪二长花岗岩稀土元素分析结果(表2)显示,稀土总量(ΣREE)相对较低,为 61.14×10^{-6} ~ 275.19×10^{-6} ,轻重稀土比值($\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$)为 1.45~6.21,在稀土元素配分曲线图中表现为轻稀土富集重稀土相对亏损的右倾型(图7); $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 2.99~18.05,表明轻重稀土有一定分馏, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 1.97~3.82, $(\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 为 1.25~2.98,表明轻重稀土元素内部均有一定分馏;另外, δEu 值为 0.05~1.07,仅个别样品具有明显的铕负异常(图7)。

研究区二叠纪钾长花岗岩稀土元素分析结果(表2)显示,稀土总量(ΣREE)为 289.41×10^{-6} ~ 335.77×10^{-6} ,轻重稀土比值为 1.99~2.88,在稀土元素配分曲线图中表现为轻稀土富集、重稀土相对亏损的右倾型(图7); $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 4.65~6.64,表明轻重稀土有一定分馏, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 2.74~3.65, $(\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 为 1.06~1.34,表明轻稀土元素内部有一定分馏,重稀土元素分馏不明显;另外,岩石具有较明显的铕负异常(图7), δEu 值为 0.16~0.22。

研究区及其西部的亚干地区的白垩纪二长花岗岩稀土元素分析结果(表2)显示,稀土总量(ΣREE)相对较低,为 63.26×10^{-6} ~ 165.33×10^{-6} ,轻重稀土比值为 1.43~7.90,在稀土元素配分曲线图(图7)中表现为轻稀土富集、重稀土相对亏损的右倾型; $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 5.06~26.67,表明轻重稀土分

馏程度相对稍高, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 2.83~5.40, $(\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 为 1.14~1.27,表明轻稀土元素内部有一定分馏,重稀土元素分馏不明显;另外, δEu 值为 0.25~0.72,表现为中等铕负异常(图7)。

6 讨 论

6.1 酸性岩浆活动期次

根据本次 U-Pb 定年结果,苦楚乌拉地区呈北东向展布的小规模二长花岗岩体形成于晚泥盆世($(371 \pm 2)\text{Ma}$),其中部地区大规模发育的北东向展布的钾长花岗岩形成于中二叠世($(271 \pm 1)\text{Ma}$ ~ $(270 \pm 1)\text{Ma}$),而位于英巴地区英格特—巴格毛德岩体西南边缘的二长花岗岩则形成于早白垩世($(133 \pm 1)\text{Ma}$),另外,其可能还捕获了晚石炭世(311Ma)、早二叠世(282Ma)和晚三叠世(222Ma)的锆石。韩宝福等(2010b)在该区所获得的2个钾长花岗岩的年龄则相对稍老,分别为 $(277 \pm 2)\text{Ma}$ (苦楚乌拉地区)和 $(278 \pm 4)\text{Ma}$ (哈特布其地区),为早二叠世。其在英格特—巴格毛德岩体中心部位获得的石英二长岩的年龄为 $(130 \pm 2)\text{Ma}$,与本次所获得的该岩体西南边缘二长花岗岩的年龄($(133 \pm 1)\text{Ma}$)基本一致,均为早白垩世。另外,其在英格特—巴格毛德东南边缘所获得的似斑状花岗岩的年龄为 $(313.3 \pm 4.5)\text{Ma}$,为晚石炭世。因此,研究区晚古生代以来的酸性岩浆活动可以分为4期:(1)晚泥盆世($\sim 371\text{Ma}$),以苦楚乌拉地区二长花岗岩体为代表,规模很小;(2)晚石炭世($313\sim 311\text{Ma}$),以英巴地区

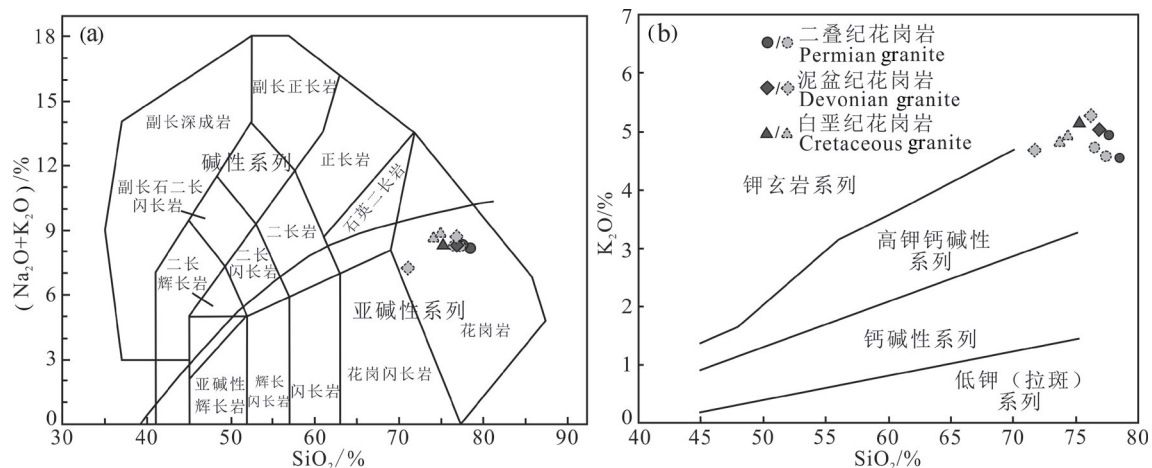


图5 SiO_2 - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 图(a, 据 Middlemost, 1994)和 SiO_2 - K_2O 图(b, 据 Martin et al., 2005)

Fig.5 SiO_2 - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (a, after Middlemost, 1994) and SiO_2 - K_2O (b, after Martin et al., 2005) diagram

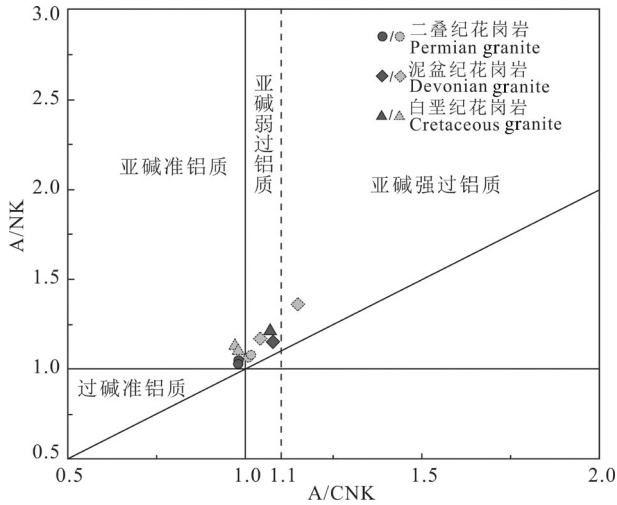


图6 A/CNK-A/NK图(据 Maniar and Piccoli, 1989)
Fig.6 A/CNK-A/NK diagram(after Maniar and Piccoli, 1989)

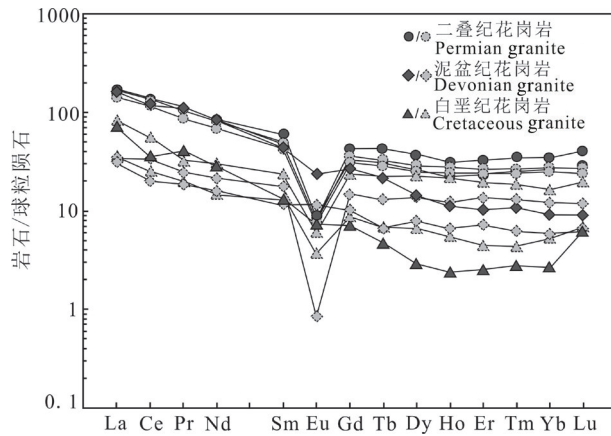


图7 球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(标准化值据 Boynton, 1984)
Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns(normalized values after Boynton, 1984)

英格特—巴格毛德岩体似斑状花岗岩为代表,在研究区东部大面积分布,伴随此次岩浆活动,其周围上石炭—下二叠统本巴图组底部亦发育了安山岩、英安岩等喷出岩,而哈特布其、呼伦托洛海和苦楚乌拉等地则未见相同时期岩浆岩发育,其本巴图组地层中亦未见喷出岩,说明该期岩浆活动仅限于研究区东部地区,同期中西部地区则基本处于稳定状态;(3)早—中二叠世(282~270 Ma),该期酸性岩体在区内广泛分布,包括哈尔尚德、哈特布其、呼伦托洛海以及苦楚乌拉等地,岩性主要为钾长花岗岩;(4)早白垩世(133~1230 Ma),该期酸性岩体侵入于

晚石炭世英格特—巴格毛德岩体西南边缘及中部,岩性主要为二长花岗岩、石英二长岩,其周围下白垩统苏红图组亦可见流纹岩发育,其他地区则未见该期岩体及同期流纹岩发育,说明本次岩浆活动规模亦不大。另外,早白垩世二长花岗岩中捕获了的晚三叠世(222 Ma)的锆石,王涛等(2002)在位于研究区西部的亚干变质核杂岩中识别出了228 Ma的花岗岩,说明该区亦可能存在晚三叠世时期的岩浆活动,有待进一步发现研究。

6.2 岩石成因类型初步讨论

泥盆纪二长花岗岩的地球化学特征显示, SiO_2 含量为 72.03%~76.92%, $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值为 7.76%~8.79%, 含量较高, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 1.54~1.58, 属高钾钙碱性系列(图 5b); Al_2O_3 含量相对稍高(12.28%~14.52%), A/CNK 为 1.04~1.15, 为弱过铝到强过铝质型(图 6), NK/A 值较低(0.74~0.87); FeO^{T} 含量(0.70%~2.61%)和 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 值(2.27~8.74)均较低; 总体稀土元素负异常不明显(图 7); CIPW 标准矿物计算中出现 1.03% 的刚玉。具富 Si、K 和 Na, 但相对贫 FeO^{T} 的地球化学特征, 且镜下可见富铝矿物白云母, 并在 $\text{SiO}_2-\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 图中, 样品落入 I & S 型花岗岩区域及其与 A 型花岗岩区域的交界处(图 8), 因此, 该二长花岗岩应属于弱过铝到强过铝高钾钙碱性的非典型 S 型花岗岩, 并同时具有 A 型花岗岩的特征。在 $\text{SiO}_2-\lg[\omega(\text{CaO})/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]$ 图中, 样品落入伸展型以及挤压和伸展型重叠区域(图 9a), 且在 $\text{SiO}_2-\text{FeO}^{\text{T}}/(\text{FeO}^{\text{T}}+\text{MgO})$ 图中, 样品落入造山期后花岗岩类(POG)和岛弧花岗岩类(IAG)+大陆弧花岗岩类(CAG)+大陆碰撞花岗岩类(CCG)区域内(图 9b), 也说明泥盆纪二长花岗岩并非典型的造山期花岗岩, 应属于后造山花岗岩, 反映了一种后碰撞的构造背景, 为同碰撞和碰撞后的转化阶段。

二叠纪钾长花岗岩具较高的 SiO_2 含量(76.69%~78.48%), $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值为 8.15%~8.33%, 含量高, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 1.26~1.46, 属高钾钙碱性系列(图 5b); Al_2O_3 含量低(11.21%~11.84%), A/CNK 值为 0.98~1.02, 为准铝质到弱过铝质型(图 6), NK/A 值为 0.93~0.97, 大于 0.85; FeO^{T} 含量不高(0.78%~1.85%), 但 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 值(9.78~30.78)相对较高; CaO 含量低, 为 0.27%~0.40%; 稀土元素配分曲线呈

燕式分布(图7),具有较明显的铕负异常, δEu 值为0.16~0.22,小于0.30,指示了斜长石的缺失和钾长石的众多(张旗等,2012)。具A型花岗岩富Si、K和Na,贫Ca、Mg和Al,且具有较明显铕负异常的特征(Collins et al., 1982; Whalen et al., 1987),并在 $\text{FeO}^T/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图中,样品大多落入A型花岗岩区域内,仅1个样品落入I&S型花岗岩区域内,且靠近A型花岗岩区域边界,因此,该钾长花岗岩应属准铝质到弱过铝质A型花岗岩。在 $\lg[\omega(\text{CaO})/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$ 图中,样品基本均落入伸展型区域(图9a),且在 $\text{FeO}^T/(\text{FeO}^T+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ 图中,样品均落在与裂谷有关的花岗岩类(RRG)+与陆内造陆隆起有关的花岗岩类(CEUG)区域内(图9b),也说明二叠纪钾长花岗岩反映了地壳伸展减薄的构造背景(Collins et al., 1982; Whalen et al., 1987; Sylvester, 1989; 吴福元等, 2007; 张旗等, 2012)。

白垩纪二长花岗岩的 SiO_2 含量相对于二叠纪钾长花岗岩稍低(73.90%~75.24%), $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 值为8.40%~8.90%,含量更高, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为1.19~1.57,亦属高钾钙碱性系列(图5b); Al_2O_3 含量较高(13.25%~13.45%), A/CNK 为0.95~1.07,为准铝质到弱过铝质型(图6), NK/A 值较低(0.82~0.90); FeO^T 值(0.64%~1.40%)和 FeO^T/MgO 值(2.06~4.12)均较低;稀土元素铕负异常中等(图7);CIPW标准

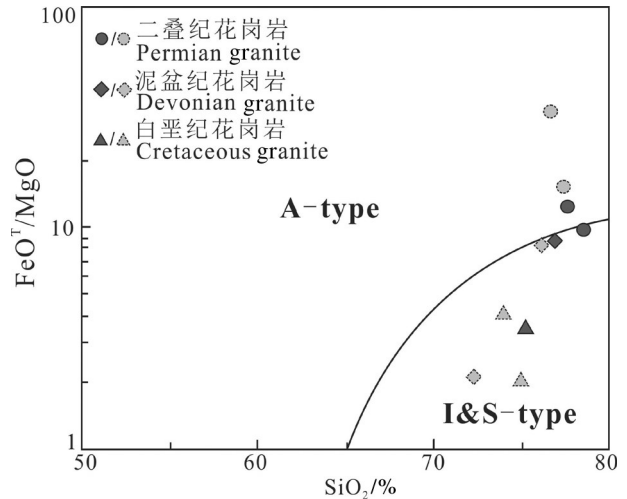


图8 $\text{FeO}^T/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图(据 Whlane et al., 1987)
Fig.8 $\text{FeO}^T/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ diagram (after Whlane et al., 1987)

矿物计算中出现1.02%的刚玉,在 $\text{FeO}^T/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图中,样品均落入I&S型花岗岩区域内(图8),在 $\lg[\omega(\text{CaO})/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$ 图中,样品均落在挤压和伸展型重叠区域(图9a),且在 $\text{FeO}^T/(\text{FeO}^T+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ 图中,样品落入造山期后花岗岩类(POG)和岛弧花岗岩类(IAG)+大陆弧花岗岩类(CAG)+大陆碰撞花岗岩类(CCG)区域内(图9b),因此,该区白垩纪二长花岗岩可能与泥盆纪二长花岗岩类似,同样反映了一种后碰撞的构造背景。

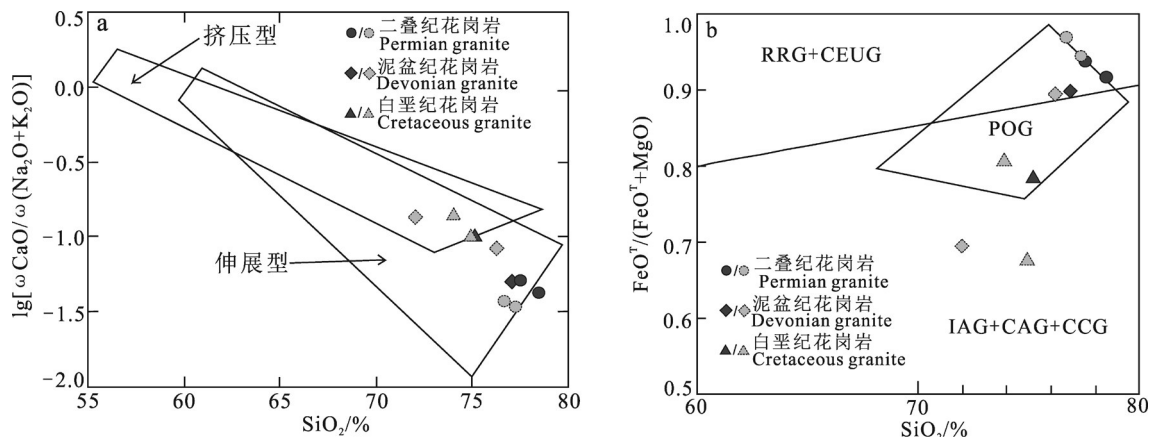


图9 $\lg[\omega(\text{CaO})/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$ 图(a, 据 Brown, 1982)和 $\text{FeO}^T/(\text{FeO}^T+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ 图(b, 据 Maniar and Piccoli, 1989)
IAG—岛弧花岗岩类; CAG—大陆弧花岗岩类; CCG—大陆碰撞花岗岩类; POG—造山期后花岗岩类;
RRG—与裂谷有关的花岗岩类; CEUG—与陆内造陆隆起有关的花岗岩类

Fig.9 $\lg[\omega(\text{CaO})/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]-\text{SiO}_2$ (a, after Brown, 1982) and $\text{FeO}^T/(\text{FeO}^T+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ diagram (b, after Maniar and Piccoli, 1989)

IAG—Island arc granitoids; CAG—Continental arc granitoids; CCG—Continental collision granitoids; POG—Postorogenic granitoids; RRG—Rift-related granitoids; CEUG—Continental epeirogenic uplift granitoids

6.3 构造意义初步分析

研究区位于珠斯楞—杭乌苏构造带西北部中蒙边界处,吴泰然等(1993)认为该构造带在早古生代为一稳定的大陆边缘,从石炭纪开始,出现了岩浆活动,由被动陆缘转化为活动陆缘。然而,近年来研究发现,该构造带在石炭纪之前已经开始出现岩浆活动。郑荣国等(2016)在恩格尔乌苏地区发现了志留纪的黑云母花岗岩,刘巧峰(2015)在阿拉善盟拐子湖温图高勒地区发现了晚泥盆世的花岗岩,其位于本次研究区西部,并属同一构造带,结合本次工作在苦楚乌拉地区发现的晚泥盆世二长花岗岩可以认为,该构造带在石炭纪之前已经开始出现岩浆活动,而并非稳定的被动陆缘。

王廷印等于1991年经考察认为,哈萨克斯坦+塔里木+华北板块与西伯利亚板块在中泥盆世沿研究区北部蒙古国境内的南蒙蛇绿岩带拼合到一起(王廷印等,1993)。本次研究区内发现的晚泥盆世的二长花岗岩(371Ma)和刘巧峰(2015)在拐子湖温图高勒地区发现的晚泥盆世花岗岩(370~390 Ma)均反映了后碰撞的构造背景,因此,其可能恰好反映了哈萨克斯坦+塔里木+华北板块与西伯利亚板块拼合时间的下限,研究区北侧与西伯利亚板块的陆陆碰撞应发生在370 Ma以前。

随后,上述中泥盆世拼合起来的新陆壳在石炭—二叠纪发生了强烈的拉张运动(王廷印等,1993),发育了大量与拉张作用有关中酸性侵入岩。位于研究区西面额济纳旗的拐子湖、呼伦西白、查黑林噶顺等地报道了二叠纪火山岩和晚石炭世中酸性侵入岩(李俊健,2006),研究区广泛分布的中二叠世钾长花岗岩和晚石炭世英格特—巴格毛德岩体(韩宝福等,2010b)的地球化学特征均反映了地壳伸展减薄的构造背景,说明二者与此次构造热事件具有良好的对应关系。

到晚二叠世末期或三叠纪早期,华北板块与塔里木板块碰撞拼合在一起,此后中蒙边界及邻区等进入后碰撞的拉张构造背景(王廷印等,1993,1998)。位于研究区西部的亚干地区岩浆作用表明,大约在早中生代(如228 Ma)该区出现了后碰撞拉张构造环境的钾质花岗岩,这种伸展构造机制在早白垩世达到了高潮,而同时期在地壳上部又发育了大规模的推覆构造,并发育了大量同期发生强烈

韧性变形的花岗岩体,构造方向总体近东西向(王涛等,2002)。而研究区发育北东向的韧性剪切带及小规模早白垩世糜棱岩化二长花岗岩,且该二长花岗岩显示了后碰撞构造背景的地球化学特征,并捕获了晚三叠世(222 Ma)岩体的锆石,说明同时期研究区与区域构造背景一致,并可能间接受到了亚干地区推覆构造的影响,其晚三叠世岩体有待进一步发现和研究。

7 结 论

(1)锆石 U-Pb 定年结果表明,苦楚乌拉地区的二长花岗岩形成于晚泥盆世(371 Ma);研究区广泛分布的钾长花岗岩形成于中二叠世(271~270 Ma);英巴地区英格特—巴格毛德西南边缘的二长花岗岩形成于早白垩世(133 Ma)。结合前人资料,将研究区晚古生代以来的酸性岩浆活动分为4期:晚泥盆世(~371 Ma)、晚石炭世(313~311 Ma)、早—中二叠世(282~270 Ma)和早白垩世(133~130 Ma)。

(2)晚泥盆世和早白垩世二长花岗岩具有较相似的地球化学特征,应属于非典型的S型花岗岩,并同时具有A型花岗岩的特征,反映了一种后碰撞的构造背景;中二叠世钾长花岗岩则应属准铝质到弱过铝质A型花岗岩,反映了地壳伸展减薄的构造背景。

(3)晚泥盆世二长花岗岩和前人发现的志留纪花岗岩表明,珠斯楞—杭乌苏构造带在石炭纪之前已经开始出现岩浆活动,而并非稳定的被动陆缘,且晚泥盆世后碰撞构造背景的二长花岗岩可能恰好反映了哈萨克斯坦+塔里木+华北板块与西伯利亚板块拼合时间的下限;中二叠世大面积发育的A型花岗岩与同时期区域强烈的拉张构造背景具有良好的对应关系;早白垩世后碰撞构造背景的二长花岗岩与同时期区域后碰撞的拉张构造背景一致,并可能间接受到了亚干地区推覆构造的影响而普遍发育糜棱岩化。

References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59-79.
- Bai Xinhui, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Xin Houtian, Wang Wanqiong, Wang Xin, Lei Congcong. 2015. Zircon U-Pb dating, geochemistry and geological significance of the Early Silurian plutons from the southeastern margin of the Central Asian

- Orogenic Belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 67–79(in Chinese with English abstract).
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. *Developments in Geochemistry*, 2(2): 63–114.
- Chen Xijie, Zhang Kuihua, Zhou Jian. 2016. Geochronology and geochemistry characteristics of the Early Permian monzogranite and dioritic enclaves of East Tianshan and their tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(9): 2334–2354(in Chinese with English abstract).
- Collins W J, Beams S D, White A J R, Chappell B W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80(2): 189–200.
- Dong Lianhui, Qu Xun, Zhao Tongyang, Xu Shiqi, Zhou Ruhong, Wang Kezhao, Zhu Zhixin. 2012. Magmatic sequence of Early Palaeozoic granitic intrusions and its tectonic implications in north Altay orogen, Xingjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(8): 2307–2316(in Chinese with English abstract).
- Geng Jianzhen, Zhang Jian, Li Huaikun, Li Huimin, Zhang Yongqing, Hao Shuang. 2012. Ten-micron-sized zircon U–Pb dating using LA–MC–ICP–MS[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(6): 877–884 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xiyun, Sun Huashan, Dong Aiguan, Ren Jianxun, Xu Ruiying, Gao Bo. 2019. The genesis and dating of the Early Permian granitic rock in the north of Xilin Hot, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 46(6): 1396–1409(in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Guo Zhaojie, He Guoqi. 2010a. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: Constrains from stitching plutons[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2233–2246(in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Zhang Chen, Zhao Lei, Ren Rong, Xu Zhao, Chen Jiafu, Zhang Lei, Zhou Yinzhang, Song Biao. 2010b. A preliminary study of granitoids in western Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 741–749(in Chinese with English abstract).
- He Fubing, Wei Bo, Xu Jixiang, Sun Yonghua, Li Ruijie. 2017. Ages, origin and geological implications of the volcanic rocks in the Baoligaomiao Formation of East Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 44(6): 1159–1174(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian. 2006. Regional Metallogenic System of Alashan Block in Inner Mongolia Autonomous Region[D]. Beijing: China University of Geoscience, 1–35(in Chinese with English abstract).
- Li Pengwu, Zhang Shihong, Gao Rui, Li Haiyan, Zhao Qingle, Li Qiusheng, Guan Ye. 2012. New Upper Carboniferous Lower Permian paleomagnetic results from the Central Inner Mongolia and their geological implications[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(S1): 423–440(in Chinese with English abstract).
- Liu Feng, Yang Fuquan, Mao Jingwen, Chai Fengmei, Geng Xinxia. 2009. Study on chronology and geochemistry for Abagong granite in Altay orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1416–1425(in Chinese with English abstract).
- Liu Qiaofeng. 2015. Petrogenesis, Geochemistry and Tectonic Implication of Guaizihu Composite Rock Body in Alxa of Inner Mongolia[D]. Xi'an: Chang'an University, 16–44(in Chinese with English abstract).
- Liu Rui, Yang Zhen, Xu Qidong, Zhang Xiaojun, Yao Chunliang. 2016. Zircon U–Pb ages, elemental and Sr–Nb–Pb isotopic geochemistry of the Hercynian granitoids from the southern segment of the Da Hinggan Mts.: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 1505–1528(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Detlef G, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 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(1/2): 34–43.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00. A geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1–70.
- Lv Bin, Wang Tao, Tong Ying, Zhang Lei, Yang Qidi, Zhang Jianjun. 2017. Spatial and temporal distribution of magmatic–hydrothermal ore deposits in the eastern Central Asia Orogen Belt and its tectonic settings[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 47(2): 305–343(in Chinese with English abstract).
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *The Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635–643.
- Martin H, Smitthies 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.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth–Science Reviews*, 37(3/4): 215–224.
- Pruner P. 1987. Palaeomagnetism and palaeogeography of Mongolia in the Cretaceous, Permian and Carboniferous: Preliminary data[J]. *Tectonophysics*, 139(1/2): 155–167.
- Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364(6435): 299–307.
- Shi Xingjun, Zhang Lei, Wang Tao, Xiao Xuchang, Tong Ying, Zhang Jianjun, Geng Jianzhen, Ye Ke. 2014. Geochronology and geochemistry of the intermediate–acid intrusive rocks from Zongnaishan area in northern Alxa, Inner Mongolia, and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(6): 989–1007(in Chinese with English abstract).
- Sylvester P J. 1989. Post-collisional alkaline granites[J]. *The Journal of Geology*, 97: 261–280.
- Tao Wang, Yadong Zheng, Tianbin Li, Yongjun Gao. 2004. Mesozoic granitic magmatism in extensional tectonics near the Mongolian border in China and its implications for crustal growth[J]. *Journal*

- of Asian Earth Sciences 23(2004): 715–729.
- Tong Ying, Hong Dawei, Wang Tao, Wang Shiguang, Han Baofu. 2006. TIMS U–Pb zircon ages of Fuyun post-orogenic linear granite plutons on the southern margin of Altay orogenic belt and their implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(2): 85–89 (in Chinese with English abstract).
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, Dai Yajian, Han Baofu, Liu Xiaoming. 2007. Ages and origin of the Early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1933–1944(in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Tong Ying, Li Shan, Zhang Jianjun, Shi Xingjun, Li Jinyi, Han Baofu, Hong Dawei. 2010. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altay orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth: Perspectives from Chinese Altay[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(6): 595–618(in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zhang Lei, Guo Lei, Wang Xiaoxia, Li Shan, Feng Chengyou, Tong Ying, Zhang Jianjun, Zhang Hongrui, Zhang Chengli, Mao Jianren, Yang Qidi. 2014. The progress of the preliminary compilation of Map of Mesozoic Granitoid of Asia and the research on related key issues[J]. Acta Geoscientica Sinica, 35(6): 655–672(in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zheng Yadong. 2002. Mesozoic progressive transition from overthrusting to extension in the Sino–Mongolian border region and crustal-scale tangential shear[J]. Acta Geologica Sinica, 21(4–5): 232–237(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Gao Junping, Wang Jinrong, Wu Jiahong. 1998. Magmatism of collisional and post-orogenic period in northern Alxa region in Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 72(2): 126–137(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Liu Jinkun, Wang Shizheng, Wu Jiahong. 1993. Late Paleozoic extension and tectono-magmatic evolution in the Sino–Mongolia border region in the northern part of Alxa[J]. Regional Geology of China, 12(4): 317–326(in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A–type granites: geochemical characteristics, discriminations and petrogenesis[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 95: 407–419.
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, Kröner A, Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of the Geological Society, 164(12): 31–47.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, Zheng Yongfei. 2007. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217–1238(in Chinese with English abstract).
- Wu Tairan, He Guoqi. 1993. Tectonic units and their fundamental characteristics on the northern margin of the Alxa Block[J]. Acta Geologica Sinica, 67(2): 97–108(in Chinese with English abstract).
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Allen M B, Han Chunming. 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage[J]. Gondwana Research, 23(4): 1316–1341.
- Xie Li, Yin Haiquan, Zhou Hongrui, Zhang Weijie. 2014. Permian radiolarians from the Engeerwusu suture zone in Alxa area of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 33(5): 691–697(in Chinese with English abstract).
- Xu Bei, Zhao Pan, Bao Qingzhong, Zhou Yongheng, Wang Yanyang, Luo Zhiwen. 2014. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing Meng Orogenic Belt(XMOB)[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(7): 1841–1857(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, Zhang Erpeng, Chen Juanlu, Sun Jiming. 2008. Tectonic framework of North Qinling Mountain and North Qilian Mountain conjunction area in Early Paleozoic: A study of the evidences from strata and tectonic-magmatic events[J]. Northwestern Geology, 41(1): 1–21(in Chinese with English abstract).
- Yuan W, Yang ZY. 2015. The Alashan Terrane did not amalgamate with North China block by the Late Permian: evidence from Carboniferous and Permian paleomagnetic results[J]. Journal Asian Earth Sciences, 104: 145–159.
- Zhang Qi, Ran hao, Li Chengdong. 2012. A–type granite: What is the essence?[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 31(4): 621–626(in Chinese with English abstract).
- Zhao P, Chen Y, Xu B, Faure M, Shi GZ, Choulet F. 2013. Did the Paleo-Asian Ocean between North China Block and Mongolia Block exist during the late Paleozoic? First paleomagnetic evidence from central-eastern Inner Mongolia, China[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118: 1873–1894.
- Zheng Rongguo, Li Jinyi, Xiao Wenjiao, Liu Jianfeng, Wu Tairan. 2016. Discovery of Silurian pluton in the Enger Us region in the northern margin of Alxa Block[J]. Acta Geologica Sinica, 90(8): 1725–1736(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白新会, 徐仲元, 刘正宏, 辛后田, 王挽琼, 王新, 雷聪聪. 2015. 中亚造山带东段南缘早志留世岩体锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 31(1): 67–79.
- 陈希节, 张奎华, 周健. 2016. 东天山哈密地区早二叠世花岗岩体及镁铁质包体的年代学、岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 地质学报, 90(9): 2334–2354.
- 董连慧, 屈迅, 赵同阳, 徐仕琪, 周汝洪, 王克卓, 朱志新. 2012. 新疆北阿尔泰造山带早古生代花岗岩类侵入序列及其构造意义[J]. 岩石学报, 28(8): 2307–2316.
- 耿建珍, 张健, 李怀坤, 李惠民, 张永清, 郝爽. 2012. 10 μ m 尺度锆石 U-Pb 年龄的 LA-MC-ICP-MS 测定[J]. 地球学报, 33(6): 877–884.
- 郭喜运, 孙华山, 董挨管, 任建勋, 徐瑞英, 高博. 2019. 内蒙古锡林浩特北早二叠世花岗岩类定年及成因[J]. 中国地质, 46(6): 1396–1409.

- 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. 2010a. “钉合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. 岩石学报, 26(8): 2233-2246.
- 韩宝福, 张臣, 赵磊, 任荣, 徐钊, 陈家富, 张磊, 周印章, 宋彪. 2010b. 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 741-749.
- 何付兵, 魏波, 徐吉祥, 孙永华, 李瑞杰. 2017. 内蒙古巴彦敖包地区宝力高庙组火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 44(6): 1159-1174.
- 李俊健. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-35.
- 李朋武, 张世红, 高锐, 李海燕, 赵庆乐, 李秋生, 管焯. 2012. 内蒙古中部晚石炭世—早二叠世古地磁新数据及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(S1): 423-440.
- 刘锋, 杨富全, 毛景文, 柴凤梅, 耿新霞. 2009. 阿尔泰山带阿巴宫花岗岩体年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 25(6): 1416-1425.
- 刘巧峰. 2015. 内蒙古拐子湖温图高勒复式岩体地质、地球化学特征及构造意义[D]. 西安: 长安大学, 16-44.
- 刘锐, 杨振, 徐启东, 张晓军, 姚春亮. 2016. 大兴安岭南段海西期花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、元素和 Sr-Nb-Pb 同位素地球化学: 岩石成因及构造意义[J]. 岩石学报, 32(5): 1505-1528.
- 吕斌, 王涛, 童英, 张磊, 杨奇获, 张建军. 2017. 中亚造山带东部岩浆热液矿床时空分布特征及其构造背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 47(2): 305-343.
- 史兴俊, 张磊, 王涛, 肖序常, 童英, 张建军, 耿建珍, 叶珂. 2014. 内蒙古阿拉善盟北部宗乃山中酸性侵入岩年代学、地球化学及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(6): 989-1007.
- 童英, 洪大卫, 王涛, 王世洸, 韩宝福. 2006. 阿尔泰山带南缘富蕴后造山线形花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 25(2): 85-89.
- 童英, 王涛, 洪大卫, 代雅建, 韩宝福, 柳晓明. 2007. 中国阿尔泰山北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933-1944.
- 王涛, 童英, 李舫, 张建军, 史兴俊, 李锦轶, 韩宝福, 洪大卫. 2010. 阿尔泰山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰山为例[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 595-618.
- 王涛, 张磊, 郭磊, 王晓霞, 李舫, 丰成友, 许文良, 童英, 张建军, 张洪瑞, 张成立, 毛建仁, 杨奇获. 2014. 亚洲中生代花岗岩图初步编制及若干研究进展[J]. 地球学报, 35(6): 655-672.
- 王涛, 郑亚东. 2002. 中蒙边界中生代推覆-伸展递进转换及地壳尺度的切向剪切[J]. 地质学报, 21(4/5): 232-237.
- 王廷印, 高军平, 王金荣, 吴家弘. 1998. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用[J]. 地质学报, 72(2): 126-137.
- 王廷印, 刘金坤, 王士政, 吴家弘. 1993. 阿拉善北部中蒙边界地区晚古生代拉伸作用及构造岩浆演化[J]. 中国区域地质, 12(4): 317-326.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 23(6): 1217-1238.
- 吴泰然, 何国琦. 1993. 内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征[J]. 地质学报, 67(2): 97-108.
- 谢力, 尹海权, 周洪瑞, 张维杰. 2014. 内蒙古阿拉善地区恩格尔乌苏缝合带二叠纪放射虫及其地质意义[J]. 地质通报, 33(5): 691-697.
- 徐备, 赵盼, 鲍庆中, 周永恒, 王炎阳, 罗志文. 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): 1841-1857.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 张二朋, 陈隽璐, 孙吉明. 2008. 早古生代北秦岭—北祁连结合部构造格局的地层及构造岩浆事件约束[J]. 西北地质, 41(1): 1-21.
- 张旗, 冉隼, 李承东. 2012. A型花岗岩的实质是什么? [J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 621-626.
- 郑荣国, 李锦轶, 肖文交, 刘建峰, 吴泰然. 2016. 阿拉善地块北缘恩格尔乌苏地区发现志留纪侵入岩[J]. 地质学报, 90(8): 1725-1736.