

内蒙古额济纳旗拐子湖地区花岗岩地球化学特征及其地质意义

闫海卿, 陈元, 范模春, 任建梅, 姜珊, 吕金梁, 赵世翔, 范超峰

(长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054)

[摘要] 内蒙拐子湖一带发现一批中小型 Au、Cu 矿床(点), 空间上与小型花岗岩株(枝)相伴而生。本文利用岩石地球化学方法结合野外宏观岩石学研究, 揭示岩浆源区性质与成矿的内在联系。研究表明, 拐子湖花岗岩属高钾过铝质的钙碱性系列, 轻、重稀土元素分馏明显, LREE 相对富集($(La/Yb)_n=3.78 \sim 20.13$)。微量元素 ORG 标准化显示, 富集 Rb、Ba、Th、K 等大离子亲石元素(LILE), 亏损 Nb、Ta、Sr、P 等高场强元素(HFSE)。Sr($(35.82 \sim 364.45) \times 10^{-6}$), Yb($(0.79 \sim 2.51) \times 10^{-6}$)属于低 Sr、低 Yb 型花岗岩, 岩浆源区为下地壳火山岩(玄武岩), 岩浆形成于碰撞造山-地壳增厚过程诱发的下地壳局部熔融。一系列证据表明, 恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的中亚造山带东部古亚洲洋的消失闭合发生在早二叠世末。

[关键词] 额济纳旗; 喜马拉雅型花岗岩; 岩石地球化学; 地壳增厚; 中亚造山带

[中图分类号] P596; P588.12+1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)02-0097-09

1 前言

拐子湖花岗岩体位于额济纳-雅干铁、铜、金、钼、锑成矿带, 大地构造位置属于塔里木板块东南缘, 紧邻恩格尔乌苏蛇绿岩带北侧。近两年来 1:50 000 区域矿产地质调查在中酸性岩浆岩周边发现较多的中小型 Au、Cu、Sb 矿床(点), 究其成因均与小型花岗岩株(枝)的成岩作用有关。然而, 花岗岩类型的多样性与源区的性质有关, 其岩石化学成分的演化与构造背景关系密切。前人在 1:200 000 区域地质调查时发现拐子湖一带出露华里西晚期花岗岩侵入体, 由于巴丹吉林沙漠覆盖, 缺乏野外资料和详实的岩石化学数据, 可查阅的研究成果极少。岩浆作用与成矿及中亚造山过程的关系无从解答。2003—2004 年笔者有幸参与拐子湖等三幅 1:50 000 矿产地质调查项目, 经过两年多的野外调

研, 获取了部分岩体的岩石样品和岩石化学分析数据, 探讨岩浆源区性质与成矿的关系, 充实中亚造山带东部恩格尔乌苏缝合带演化过程中岩浆事件的证据, 并预祝小岩体成大矿理论在中酸性小岩体成矿研究中取得突破。

2 区域地质背景

内蒙古额济纳旗拐子湖花岗岩位于恩格尔乌苏蛇绿岩缝合带北侧, 雅干断裂带以南, 巴丹吉林沙漠北缘, 大地构造位置属于塔里木板块北东陆缘增生带(见图 1)。拐子湖花岗岩体是该地区规模较大, 出露较好的岩体, 岩浆侵位于石炭系火山岩建造和二叠系复理石建造中。该区早古生代为稳定的被动大陆边缘, 晚古生代中石炭世洋壳向南俯冲, 演化为活动大陆边缘, 裂谷作用发育^[1-4]。恩格尔乌苏蛇绿岩带是华北板块与塔里木板块的缝合

[收稿日期] 2014-12-11

[基金项目] 中国工程院咨询项目(2013-04-XY-001); 国土资源部行业基金项目(201311172); 内蒙地勘基金项目(NMKD2013-33)

[作者简介] 闫海卿, 1963 年出生, 男, 河南渑池县人, 博士, 副教授, 主要从事区域地质矿产调查与矿床学的研究与教学;

E-mail: haiqingyan@126.com

线^[1,2,5-8],两个板块之间的古亚洲洋闭合时间为二叠纪末期或稍晚^[3,6,9],也有认为洋壳的闭合时间为早二叠世^[4,10]或石炭世^[11]。

3 岩石学特征

拐子湖地区侵入岩种类繁多,分布广泛,成分

复杂,从基性—酸性都有出露,其中以中酸性和酸性侵入岩为主。侵入岩规模一般较小,多呈岩株、岩枝、岩脉产出。根据1:200 000区调资料,该地区岩体的侵入时代主要集中在二叠纪,为晚华力西期岩浆作用的产物。

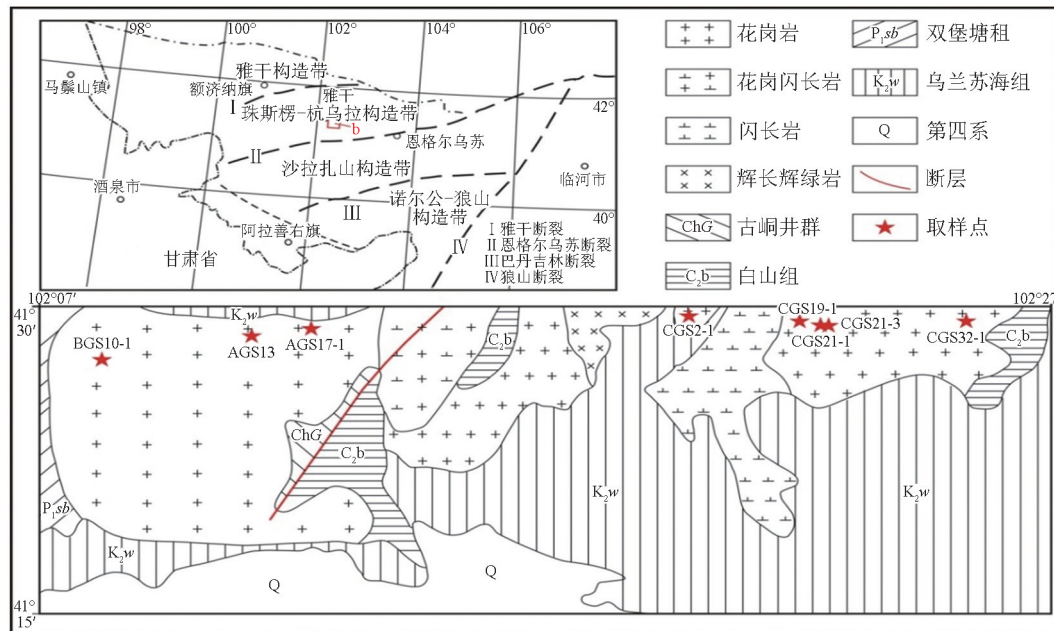


图1 拐子湖花岗岩体大地构造位置^[12]及地质简图

Fig. 1 Geological tectonic location of the Guaizihu granite^[12] and sketch map

本次调研的拐子湖酸性岩浆岩主要岩性为二长花岗岩、黑云母花岗岩、花岗闪长岩。岩体呈北东—东西向分布,其长轴方向与区域构造线方向一致。岩体与围岩呈明显的侵入接触关系。围岩为石炭系绿条山组、白山组和下二叠统双堡塘组。下石炭统白山组为中酸性—基性火山岩—碳酸岩建造,上石炭统绿条山组为滨浅海相碎屑岩建造,下二叠统双堡塘组则为一套复理石建造。

二长花岗岩:肉红色,细粒结构,块状构造。主

要组成矿物为钾长石(30%)、斜长石(30%)、石英(35%)、黑云母(5%)。钾长石为粒状,粒径大小为1~2 mm,自形—半自形,可见卡氏双晶,表面发育条纹,发生高岭土化,斜长石为短柱状,交代钾长石形成交代净边结构,部分发生绢云母化,石英为粒状,自形—半自形,粒径大小为0.2~1 mm,部分穿插在钾长石表面形成文象结构(见图2a),黑云母部分发生绿泥石化。

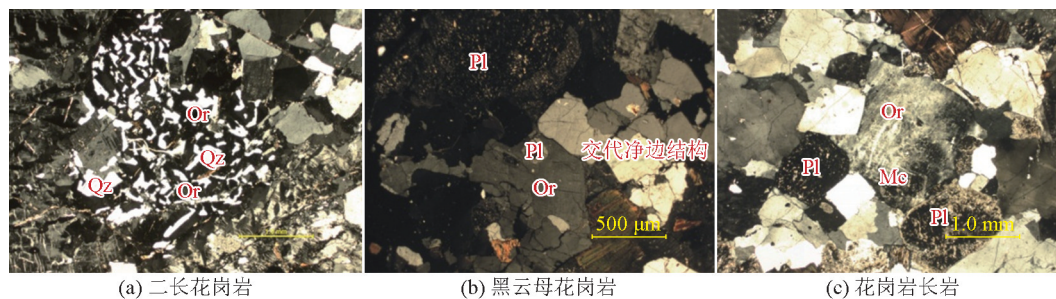


图2 拐子湖花岗岩体岩石学特征照片

Fig. 2 Microphotographs of Guaizihu granite

黑云母花岗岩:肉红色,似斑状结构,块状构造。斑晶主要是钾长石(20%),粒径多为2~6 mm,基质为显晶质,中细粒结构,主要组成矿物为石英(30%),粒径大小为1~4 mm,斜长石(45%)、黑云母(5%)等。斜长石呈半自形-自形柱状结构,有交代净边结构(见图2b),聚片双晶,主要发生绢云母化和很少量的钠黝帘石化,正长石呈他形粒状充填,结晶较斜长石晚,表面比较干净,有环带结构、交代净边结构,石英结晶较斜长石晚,呈他形粒状充填在矿物间。

花岗闪长岩:浅灰色,不等粒似斑状结构,块状构造。斑晶主要为斜长石(10%),粒径大小多为2~4 mm,最大可达18 mm,基质为显晶质,不等粒结构,主要组成矿物为斜长石(45%)、石英(24%)、黑云母(8%)、角闪石(4%)、钾长石(8%),副矿物有磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿(1%)等。浅色矿物以斜长石和石英为主,斜长石为长柱状,自形-半自形,可见聚片双晶,部分发生强烈的绢云母化和钠黝帘石化(见图2c),石英为粒状,粒径大小为1 mm左右,自形-半自形,钾长石呈他形充填在斜长石空隙中,部分钾长石发生高岭土化。暗色矿物主要为黑云母,片状,部分发生强烈绿泥石化。

4 地球化学特征

4.1 样品分析

野外地质调查中采集新鲜,无风化蚀变的样品,采样位置如图1五角星所标识。样品的测试分析均由长安大学成矿作用及其动力学实验室承担完成。主量元素分析方法为X-荧光光谱法(XRF),在日本岛津XRF-1800型X射线荧光光谱仪上完成,微量元素分析则采用美国X-7型ICP-MS进行测定,测试分析数据分析精度均优于2%

4.2 主量元素特征

拐子湖花岗岩体主量元素含量见表1。在侵入岩的TAS图解(见图3a)上,拐子湖花岗岩类样品均落入花岗岩与花岗闪长岩区域内。样品SiO₂含量为70.0%~79.3%,平均为73.65%;岩石TiO₂含量为0.18%~0.59%,具有低Ti特征。Al₂O₃含量较高,为11.30%~15.95%,A/CNK=1.42~1.70,A/NK=1.54~2.47(见图3b);全碱($\omega(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$)含量为6.46%~9.06%,其中Na₂O含量总体略高于K₂O,Na₂O/K₂O值为0.44~2.17,平均值为1.12。里特曼指数 $\sigma=1.34\sim 2.63$,平均值为1.92,属高硅过铝质钙碱性岩浆系列。

表1 拐子湖花岗岩体主量元素(wt%)和微量、稀土元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 1 The analyses results of major elements (wt%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) of the Guazihu granites

| 岩性 | 黑云母花岗岩 | | | 二长花岗岩 | | | 花岗闪长岩 | |
|---------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 样号 | CGS21-3 | CGS32-1 | AGS13 | CGS2-1 | CGS19-1 | BGS10-1 | CGS21-1 | AGS17-1 |
| SiO ₂ | 72.52 | 75.24 | 79.26 | 74.57 | 74.17 | 70.00 | 71.37 | 72.04 |
| TiO ₂ | 0.24 | 0.29 | 0.20 | 0.21 | 0.18 | 0.59 | 0.25 | 0.42 |
| Al ₂ O ₃ | 15.32 | 13.69 | 11.30 | 13.59 | 13.96 | 14.61 | 15.95 | 14.52 |
| TFe ₂ O ₃ | 1.79 | 1.68 | 1.27 | 2.30 | 1.55 | 3.73 | 2.21 | 2.90 |
| MnO | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.05 |
| MgO | 0.75 | 0.41 | 0.47 | 0.27 | 0.26 | 1.55 | 0.69 | 1.15 |
| CaO | 1.44 | 1.51 | 0.45 | 0.62 | 0.75 | 2.10 | 2.93 | 1.04 |
| Na ₂ O | 4.18 | 4.73 | 2.12 | 4.72 | 3.61 | 2.73 | 4.42 | 3.06 |
| K ₂ O | 3.65 | 2.36 | 4.86 | 3.66 | 5.45 | 4.53 | 2.04 | 4.70 |
| P ₂ O ₅ | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.10 | 0.08 | 0.11 |
| TOTAL | 99.9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99.99 | 100 | 99.99 |
| σ | 2.08 | 1.56 | 1.34 | 2.22 | 2.63 | 1.95 | 1.47 | 2.07 |
| A/NK | 1.96 | 1.93 | 1.62 | 1.62 | 1.54 | 2.01 | 2.47 | 1.87 |
| A/CNK | 1.65 | 1.59 | 1.52 | 1.51 | 1.42 | 1.56 | 1.70 | 1.65 |
| Rb | 110.34 | 83.72 | 239.43 | 20 | 199.25 | 21.59 | 70.68 | 74.72 |
| Sr | 252.77 | 143.29 | 42.98 | 41.78 | 77.16 | 277.85 | 364.45 | 275.05 |
| Y | 7.68 | 13.7 | 12.42 | 15.98 | 14.81 | 20.33 | 7.61 | 11.63 |
| Zr | 192.08 | 387.28 | 99.45 | 13.26 | 182.37 | 21.5 | 215.27 | 258.74 |
| Nb | 9.52 | 9.66 | 3.78 | 0.38 | 12.72 | 0.55 | 7.09 | 9.37 |
| Cs | 1.69 | 0.73 | 6.29 | 0.15 | 1.45 | 0.99 | 1.79 | 1.32 |
| Ba | 394.82 | 478.65 | 195.04 | 310.75 | 294.01 | 88.82 | 212.88 | 384.52 |
| Hf | 5.07 | 9.35 | 3.03 | 0.38 | 6.05 | 0.49 | 5.31 | 6.24 |
| Ta | 0.68 | 0.56 | 0.55 | 0.01 | 1.02 | 0.01 | 0.62 | 0.48 |
| Pb | 23.19 | 12.39 | 19.78 | 1.78 | 18.71 | 0.63 | 15.51 | 20.09 |
| Th | 6.98 | 15.32 | 5.89 | 6.67 | 11.9 | 4.84 | 3.93 | 3.17 |
| U | 0.92 | 1.59 | 1.47 | 0.3 | 1.7 | 0.08 | 0.79 | 0.76 |
| La | 13.7 | 40.41 | 9.34 | 13.21 | 12.31 | 15.97 | 12.02 | 9.43 |
| Ce | 28.21 | 84.38 | 22.38 | 28.47 | 28.62 | 30.43 | 26.93 | 16.15 |
| Pr | 3.13 | 8.7 | 2.29 | 3.72 | 2.89 | 4.96 | 3.03 | 2.26 |
| Nd | 12.01 | 34.68 | 9.35 | 16.45 | 11.63 | 22.84 | 12.35 | 9.49 |

| 岩性 | 黑云母花岗岩 | | 二长花岗岩 | | 花岗闪长岩 | | | |
|----------------------|--------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|
| Sm | 2.04 | 5.31 | 2.08 | 3.6 | 2.24 | 4.94 | 2.21 | 2.21 |
| Eu | 0.48 | 0.92 | 0.26 | 0.58 | 0.32 | 1.33 | 0.58 | 0.84 |
| Gd | 2.07 | 5.11 | 2.33 | 3.86 | 2.62 | 5.28 | 2.13 | 2.62 |
| Tb | 0.24 | 0.53 | 0.37 | 0.58 | 0.4 | 0.7 | 0.26 | 0.39 |
| Dy | 1.45 | 2.73 | 2.48 | 4.01 | 2.91 | 4.39 | 1.5 | 2.52 |
| Ho | 0.31 | 0.55 | 0.48 | 0.91 | 0.64 | 0.78 | 0.32 | 0.47 |
| Er | 0.9 | 0.92 | 1.48 | 2.66 | 1.96 | 2.33 | 1.67 | 1.51 |
| Tm | 0.15 | 0.14 | 0.22 | 0.42 | 0.31 | 0.31 | 0.25 | 0.2 |
| Yb | 0.79 | 0.8 | 1.27 | 2.51 | 1.82 | 1.81 | 1.44 | 1.22 |
| Lu | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.42 | 0.3 | 0.27 | 0.27 | 0.2 |
| ΣREE | 63.32 | 65.65 | 54.52 | 81.4 | 68.97 | 96.34 | 186.95 | 49.51 |
| ΣLREE/ΣHREE | 9.21 | 9.80 | 5.18 | 4.30 | 5.29 | 5.07 | 13.90 | 4.42 |
| (La/Yb) _N | 10.91 | 12.28 | 5.27 | 3.78 | 4.85 | 6.33 | 20.13 | 5.54 |
| δEu | 0.81 | 0.71 | 0.37 | 0.47 | 0.40 | 0.79 | 0.53 | 1.07 |

注: A/NK= Al₂O₃/(Na₂O+K₂O); A/CNK= Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O); δEu=2Eu_N/(Sm_N+Gd_N)

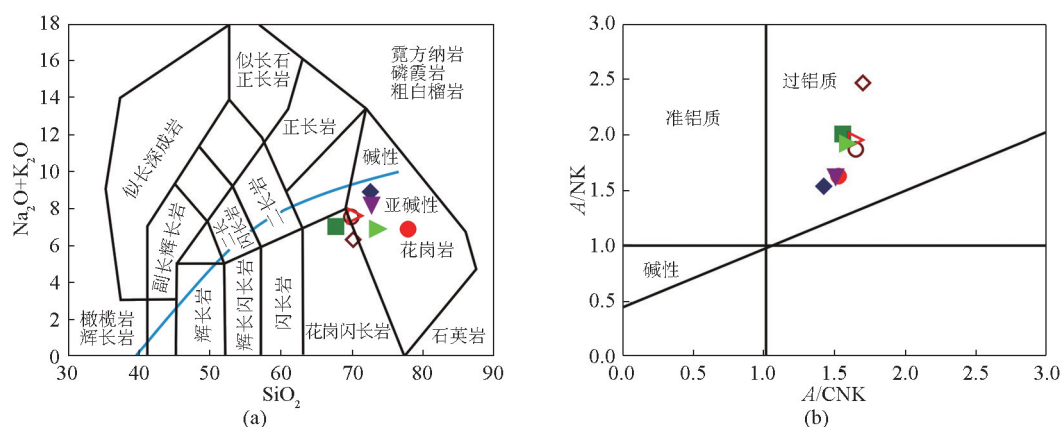


图3 拐子湖花岗岩类TAS图解(a)^[13]和拐子湖花岗岩类A/CNK-A/NK图解(b)^[14]

Fig. 3 The TAS diagram (a)^[13] and A/CNK -A/NK (b)^[14] diagram of the Guaizihu granites

按照传统的花岗岩分类方法(I、S、M、A四种类型),拐子湖花岗岩显示出I型花岗岩的成分特征,高硅富钠、贫磷,母岩浆来自于玄武质火山岩部分熔融。岩石化学样品主量成分图解K₂O-Na₂O图解(见图4a)中,样品基本落于I型花岗岩区域;利用

P₂O₅-SiO₂投图(见图4b),P₂O₅显示出与SiO₂大致的负相关关系,呈现I型花岗岩的演化趋势;按照Sr-Yb新分类方法分类(见图5a,图5b)^[15-17],样品基本落入低Sr低Yb的喜马拉雅型花岗岩区域。

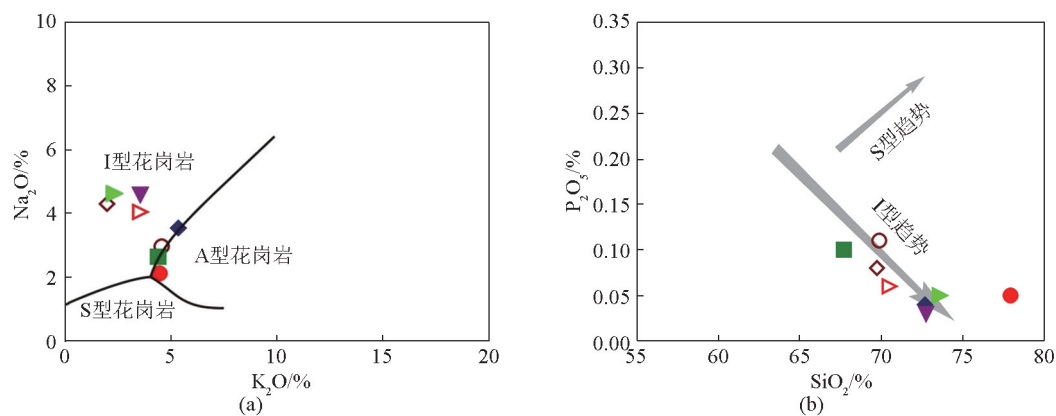


图4 拐子湖花岗岩类Na₂O-K₂O图解(a)^[18]和P₂O₅-SiO₂图解(b)^[19]

Fig. 4 Na₂O-K₂O (a)^[18] and P₂O₅-SiO₂ (b)^[19] diagrams of Guaizihu granite

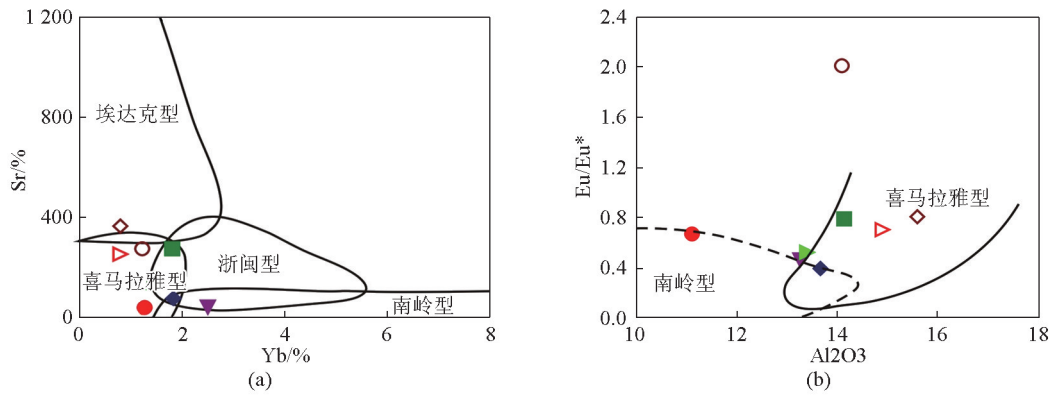


图5 拐子湖花岗岩体Sr-Yb图解(a)和Eu/Eu*-Al₂O₃图解(b)^[16]
 Fig. 5 Sr-Yb (a) and Eu/Eu*-Al₂O₃ (b)^[16] diagrams of Guaizihu granites

拐子湖花岗岩体的稀土元素含量见表1, 样品稀土元素总量相对较低, ΣREE 为 $(49.51 \sim 186.95) \times 10^{-6}$, 轻、重稀土元素比值 ($\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$) 为 4.30 ~ 13.90, $\delta \text{Eu} = 0.37 \sim 1.07$ 。球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(见图6a)表现为具

中等负Eu异常的右倾型配分模式, 轻重稀土分异较为明显。特别是样品CGS32-1显示出稀土总量高, 轻稀土更加富集, Eu负异常明显的特点, 同时微量元素富集Rb、Th、Ce, 而亏损Ba、Ta等综合特征, 暗示该区花岗岩经历了高程度的结晶分异演化。

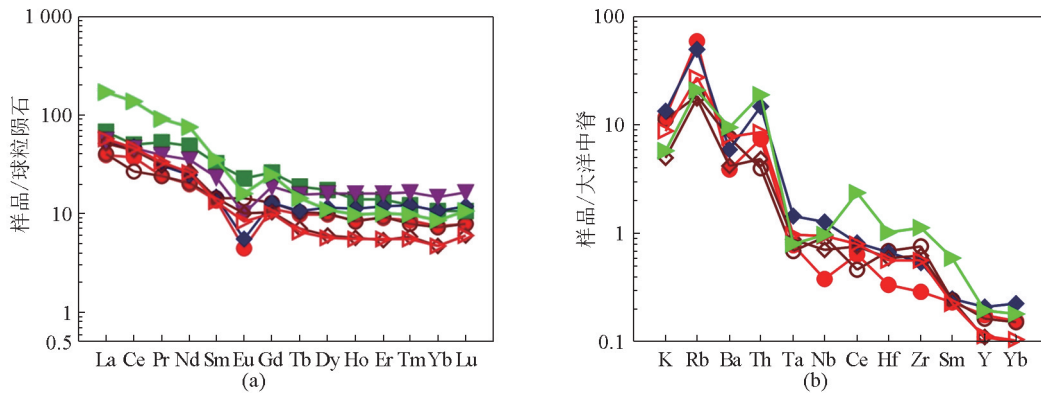


图6 拐子湖花岗岩类稀土元素球粒陨石标准化图解(a)与微量元素大洋中脊玄武岩标准化图解(b)^[20]
 Fig. 6 Chondrite-normalized REE-patterns (a) and Standard basalt ridge trace elements patterns in the ocean (b)^[20] for the Guaizihu granite rocks

4.3 微量元素特征

拐子湖花岗岩体微量元素含量见表1, 微量元素大洋中脊玄武岩标准化配分模式图(见图6b)显示拐子湖花岗岩表现为富集Rb、Ba、K、Th等大离子亲石元素(LILE), 亏损Nb、Ta、Sr、P等高场强元素(HFSE)。拐子湖花岗岩微量元素大洋中脊玄武岩

标准化配分模式与Pearce的标准配分模式^[21,22]对比显示具有后造山花岗岩的特征(见图7), 同时具有低Sr、低Yb特征(见图5a)。图7b两件样品强烈亏损Nb、Ta、Hf、Zr可能与源岩为岛弧玄武岩的性质差异有关。

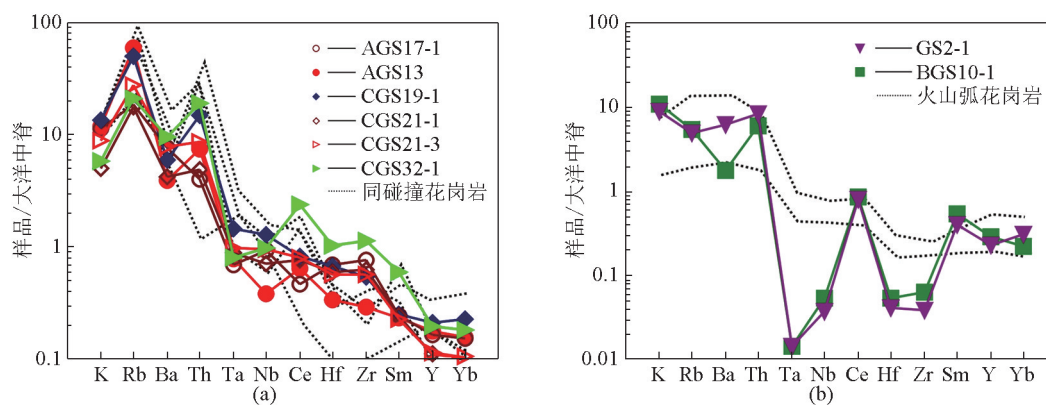


图7 微量元素不同构造环境花岗岩大洋中脊玄武岩标准化图解^[21]

Fig. 7 Graphical ridge basalt standard of trace elements in different tectonic environment of granite in the ocean

5 讨论

5.1 岩浆源岩

花岗岩的多样性主要取决于源岩特征,拐子湖花岗岩的主量元素分析结果显示具有高硅、过铝质(一般为壳源)^[22]、富钠,贫磷的I型花岗岩特征;普遍认为I型花岗岩的源岩是火山岩(主要指幔源玄武岩)底垫于下地壳发生部分熔融^[23,24]。微量元素分析结果显示具有富集Rb、Ba、K、Th等大离子亲石元素,相对亏损Nb、Ta、Sr、P等高场强元素,暗示岩浆上侵过程中受上地壳组分的混染。较高的Rb/Sr比值(0.19~5.57),较低的Sm/Nd比值(0.15~0.23),同样反映出壳源组分的特征。而低Sr低Yb和具中等负钕异常则表明其可能来源于加厚地壳的深部^[15]。

根据 $\delta\text{Eu}-(\text{La}-\text{Yb})_N$ 判别图解(见图8),样品主要落入壳型与壳幔型边界,结合主量元素、微量元素分析结果,可以初步判定拐子湖花岗岩的源岩是源于下地壳的火山岩发生部分熔融(该火山岩具幔源性质),岩浆上侵过程中有上地壳物质混染。微量元素显示有壳幔混源的特征可能与下地壳火山岩的幔源源区性质有关。

5.2 岩浆源区构造环境

前人研究认为晚古生代阿拉善地块北缘为完整的沟弧盆体系^[5,12],并且在恩格尔乌苏古洋南侧和北侧均存在弧-盆体系^[9,10,25,26]。研究区所在的珠斯楞-杭乌拉构造带在早古生代为稳定的大陆边缘,晚古生代则演化为活动大陆边缘,前人将其划为拐子湖晚古生代洋盆^[10]。利用微量元素在 $\omega(\text{Y}-\text{Nb})$ (图9a)与 $\omega(\text{Rb}/30-\text{Hf}-3\text{Ta})$ (见图9b)花岗岩构造环

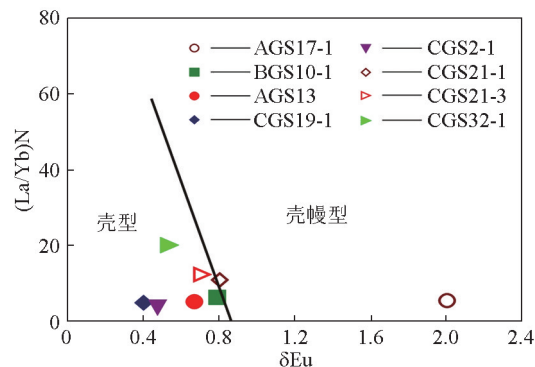


图8 拐子湖花岗岩 $\delta\text{Eu}-(\text{La}-\text{Yb})_N$ 判别图

Fig. 8 $\delta\text{Eu}-(\text{La}-\text{Yb})_N$ discrimination diagram for Guaizihu granites

境判别图中投点,样品落入火山弧花岗岩区域中,显示出火山弧花岗岩特征,推断华力西期拐子湖地区处于汇聚板块边界活动大陆边缘一侧的火山弧环境(判别图中同碰撞、后碰撞是构造事件,而火山弧、洋中脊,板内是构造环境不能同时判别^[22])。

为了进一步判别该构造背景上的挤压-碰撞-造山构造事件过程,区分碰撞(同碰撞 syn-collision)和碰撞(post-collision)后花岗岩是一件非常有意义的事情。利用微量元素标准化配分图与Pearce的微量元素配分图对比,拐子湖六件样品与Pearce的碰撞花岗岩微量配分模式相似(见图7a),两个样品的微量配分图与Pearce的火山弧花岗岩配分特征相似(见图7b)。利用Bechelor et al.(1985)的R1-R2判别图判别(见图10),样品全部落入同造山区域。另外,低Sr、低Yb型花岗岩形成于地壳增厚过程

中,通常出现在碰撞阶段。综合地球化学分析结果,结合区域沉积建造和恩格尔乌苏缝合带南侧构造演化研究成果,初步判定拐子湖花岗岩形成时

(晚华力西期)源区的构造背景为活动大陆边缘一侧的火山弧环境。花岗岩形成于古亚洲洋闭合,陆陆碰撞-地壳增厚的造山事件。

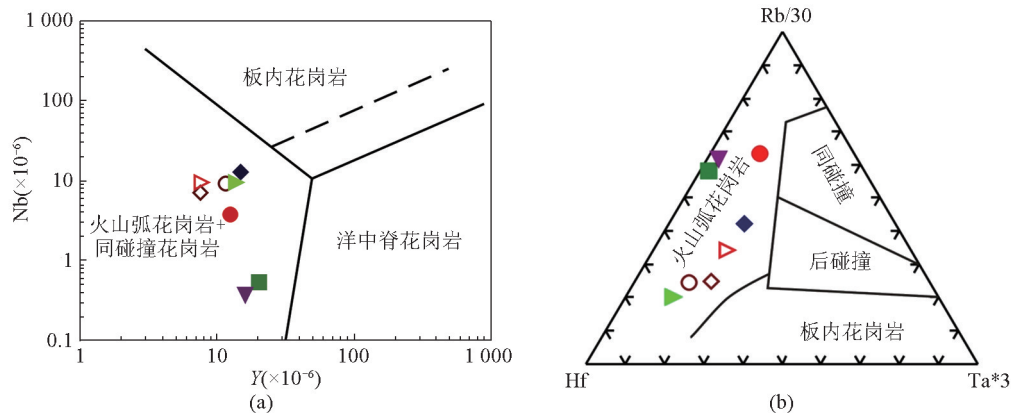


图9 拐子湖花岗岩Y-Nb^[21](a)与Rb/30-Hf-Ta*3(b)构造环境判别图^[27]

Fig. 9 Y-Nb(a)^[21]and Rb/30-Hf-Ta*3 (b)^[27] tectonic discrimination diagrams for Gu aizihu granites

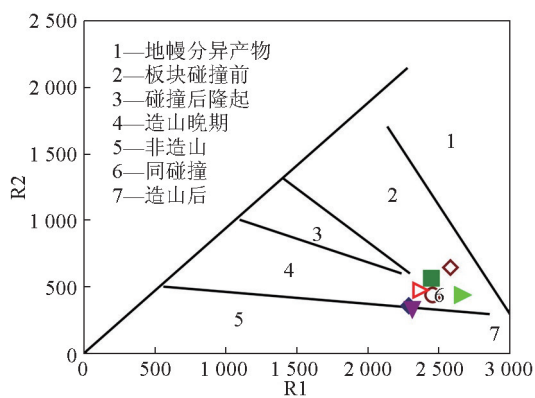


图10 拐子湖花岗岩体R1-R2判别图解^[29]

Fig. 10 R1 vs R2 discrimination diagrams for Gu aizihu granites^[29]

5.3 岩浆源区深度与压力

依靠花岗岩Sr和Yb的含量可以推算地壳厚度: Sr > 300 × 10⁻⁶, Yb < 25 × 10⁻⁶, 代表很厚的地壳; Sr < 400 × 10⁻⁶, Yb < 20 × 10⁻⁶, 代表较厚的地壳; Sr < 400 × 10⁻⁶, Yb > 1.5 × 10⁻⁶, 为正常的地壳; Sr < 100 × 10⁻⁶, Yb < 1.5 × 10⁻⁶, 为减薄的地壳^[28]。拐子湖花岗岩样品的 Sr < 400 × 10⁻⁶, Yb > 20 × 10⁻⁶; 仅有一件样品的 Sr < 400 × 10⁻⁶, Yb > 20 × 10⁻⁶ (见图11); 由此推知拐子湖花岗岩形成时的地壳为较厚-很厚, 进而暗示当时构造的演化处于地壳增厚过程中。依据低Sr低Yb型花岗岩形成在中等压力下(见图11), 其实验估算压力接近1.5 GPa, 因此其形成的极限深度可能接近50 km。

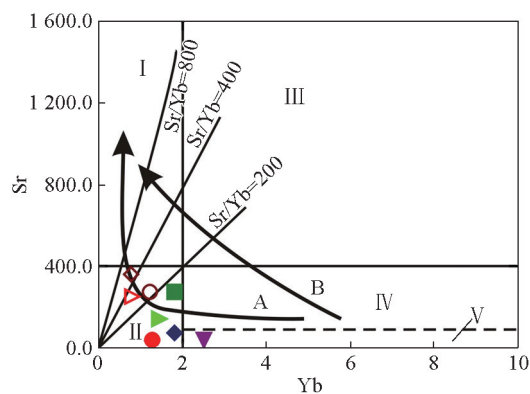


图11 拐子湖花岗岩体类型与压力关系图^[15]

Fig. 11 The relationship between the types and the pressure diagram for Gu aizihu granites^[15]

压力增加路径:A为钠质系列,从低Sr高Yb型—低Sr低Yb型—高Sr低Yb型,压力逐渐增加;B为钾质系列(正长岩,钾玄岩),从低Sr高Yb型—高Sr高Yb型—高Sr低Yb型,压力逐渐增加。

5.4 成岩与成矿的关系

岩浆的成岩作用与成矿作用是两个不同的地质作用过程,成岩是一个物理过程,主要受温度的控制,当岩浆的温度低于固相线温度时即固结为岩体。而成矿(主要指金属矿床)主要是一种化学反应,是由于化学变化从液相转变为固相才成为矿床^[30]。成岩有自己独立的过程,成矿也有自己独立的体系^[31]。成岩和成矿有不同的要求:成岩只需要热这一个条

件;而成矿则需要满足热、流体和矿源三个条件。因此,成岩与成矿是否有关系主要取决于成岩与成矿两个不同地质过程是否有叠加。幔源的成矿物质与壳源的岩浆同时(或先后)叠加在同一个空间不是成因有关,而是时空有关。由于I型花岗岩具有幔源特性,具备为成矿提供Au、Cu成矿物质的先决条件,成岩过程中只要满足含矿流体化学转变过程就有可能成矿。本区在岩体周边发现较多的小型Au、Cu矿床(矿点),恰是上述成矿条件的验证。因此,在I型花岗岩类岩体的周边流体能够运移聚集的地段仍然具有找大矿潜力。同时,也进一步印证了“地壳增厚过程,常常与金铜成矿有关”的观点^[30,32~34]。

6 结语

1) 拐子湖花岗岩岩浆属高硅过铝质钙碱性岩浆系列,其源岩为下地壳的火山岩发生部分熔融(该火山岩具幔源性质),岩浆上侵过程中有上地壳物质混染。微量元素显示有壳幔混源的特征,可能与下地壳火山岩的幔源区性质有关。

2) 综合分析表明,拐子湖花岗岩类形成时(晚华力西期)源区的构造背景为活动大陆边缘一侧的火山弧环境。花岗岩形成于板块汇聚过程中洋壳消失,陆陆碰撞-地壳增厚的造山事件。该岩浆事件同时佐证了恩格尔乌苏蛇绿岩带所代表的古亚洲洋在晚华力西期完全闭合。

3) 拐子湖花岗岩属于低Sr低Yb型花岗岩,形成于深度约为30~50 km的中压条件。处于地壳增厚过程并与金铜成矿关系密切。I型花岗岩小岩株外围(或深部),在有利于流体化学转化和流体聚集的位置具有找Au、Cu矿的潜力。

参考文献

- [1] 王廷印,王金荣,王士政. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的发现及其构造意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1992, 28(2): 194-196.
- [2] 吴泰然,何国琦. 阿拉善地块北缘的蛇绿混杂岩带及其大地构造意义[J]. 现代地质, 1992, 6(3): 286-295.
- [3] 李俊建. 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), 2006.
- [4] 郑荣国,吴泰然,张 文,等. 阿拉善地块北缘雅干花岗岩体地球化学、地质年代学及其对区域构造演化制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2665-2675.
- [5] 吴泰然. 阿拉善地块北缘古生代岩石圈的物质组成和构造演化[D]. 北京:北京大学, 1990.
- [6] 王廷印,王士政,王金荣. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化[M]. 兰州:兰州大学出版社, 1994.
- [7] 王金荣,宋春晖,高军平,等. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的形成机制[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31: 140-146.
- [8] Wu Tairang, He Guoqi, Zhang Chen. On paleozoic tectonics in the Alxa Region[J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72: 256-263.
- [9] 王廷印,张铭杰,王金荣. 恩格尔乌苏冲断带特征及大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33: 385-394.
- [10] 张 文,吴泰然,冯继承,等. 阿拉善地块北缘古大洋闭合的时间制约:来自乌力吉花岗岩体的证据[J]. 中国科学:地球科学, 2013, 43: 1299-1311.
- [11] 卜建军,吴 俊,段先锋,等. 银根-额济纳旗盆地恩格尔乌苏一带二叠系腕足类动物群及其意义[J]. 地质科技情报, 2013, 32(3): 1-5.
- [12] 吴泰然,何国琦. 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, 1993, 67(2): 98-108.
- [13] Middlemost EAK. Naming materials in the magma/igneous rocks system[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37: 215-224.
- [14] Maniar P, Piccoli P. Tectonic Diserimination of Granitoids[J]. Geological Society of Americal Bulleth, 1989, 101: 635-643.
- [15] 张 旗,王 焰,李承东,等. 花岗岩的Sr-Yb分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2249-2269.
- [16] 张 旗,金惟俊,李承东,等. 再论花岗岩按照Sr-Yb的分类:标志[J]. 岩石学报, 2010, 26(4): 985-1015.
- [17] 张 旗,金惟俊,李承东,等. 三论花岗岩按照Sr-Yb的分类:应用[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3431-3455.
- [18] 杨德彬,许文良,王海清,等. 安徽蚌埠荆山晚侏罗世花岗岩岩体成因—来自地球化学和锆石Hf同位素的制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2923-2932.
- [19] Chappell B W, White A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt[J]. Trans. R. Soc. Edinb. Earth Science, 1992, 83: 1-26.
- [20] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: plications for mantle composition and processed[J]. Special Pubilication Geological Society of London, 1989, 42(1): 313-345.
- [21] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of suprasu-duction zone ophiolites[C]//Kokelaar B P, Howells M F. Marginal Basin Geology. Oxford: Blackwell, Geological Society, 1984: 77-94.
- [22] 张 旗,潘国强,李承东,等. 花岗岩构造环境问题:关于花岗岩研究的思考之三[J]. 岩石学报, 2010, 26(4): 985-1015.
- [23] White A J R, Chappell B W, Cleary J R. Geologic setting and emplacement of some Australian Palaeozoic batholiths and implications for intrusive mechanisms[J]. Russian Journal of Pacific Gedogy, 1974, 8: 159-171.
- [24] 张 旗,王 焰,潘国强,等. 花岗岩构造环境问题:关于花岗岩研究的思考之四[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1193-1204.
- [25] Batkhisig B, Noriyoshi T, Greg B. Magmatism of the Shuteen complex and carboniferous subduction of the gurvansaikhan terrane, SouthMongolia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37: 399-411.
- [26] Blight J H S, Crowley Q G, Petterson M G, et al. Granites of the Southern Mongolia Carboniferous arc: new geochronological and geochemical constraints[J]. Lithos, 2010, 116: 35-52.
- [27] Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-Zone magmatism In: Coward MP and Reis AC (eds.), Collision tectonics[J]. Spec. Publ. Hrol. Soc. Lond. 1986, 19: 67-81.
- [28] 张 旗,王 焰,李承东,等. 花岗岩按照压力的分类[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1274-1278.
- [29] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granit-

- oid rock using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 1985, 48: 43-55.
- [30] 张旗, 金惟俊, 王焰, 等. 花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系[J]. *矿床地质*, 2010, 29(5): 729-759.
- [31] 罗照华, 高飞. 透岩浆流体成矿作用理论简介[J]. *科技进步*, 2009, 31(5): 254-257.
- [32] 蔡志勇, 邱瑞照, 熊小林, 等. 西藏西部地区埃达克质侵入岩及铜金找矿意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2005, 29(4): 491-501.
- [33] 李印, 凌明星, 丁兴, 等. 中国东部埃达克岩及成矿作用[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(3): 448-464.
- [34] 闫海卿, 贺宝林, 刘巧峰, 等. 西秦岭大水金矿岩浆岩年代学、地球化学特征[J]. *地球科学与环境学报*, 2014, 36(1): 98-110.

Geochemical features and geological significance of Granitoid Rocks in Guaizihu, Ejinaqi, Inner Mongolia

Yan Haiqing, Chen Yuan, Fan Mochun, Ren Jianmei, Jiang Shan, Lv Jinliang, Zhao Shixiang, Fan Chaofeng
(College of Earth Sciences and Resources Management, Changan University, Xi'an 710054, China)

[Abstract] A number of small and medium Au and Cu deposits (occurrences) were found in Guaizihu area, Inner Mongolia, and these deposits were accompanied by small granite strains (branch) in spatial terms. This paper, using petrogeochemistry method and combining the study of macropetrology in the field, revealed the internal relationship of magma source area qualities and mineralization. The results showed that Guaizihu granite belongs to high-K calc-alkaline series with peraluminous characteristics, relatively strong fractionation between light rare earth element (LREE) and heavy rare earth element (HREE), and relatively enriched in LREE ($(La/Yb)_N=3.78 \sim 20.13$). ORG normalization of trace elements showed that the granites are enriched in large-ion lithophile elements (LILE) such as Rb, Ba, Th, K and depleted high field strength elements (HFSE) such as Nb, Ta, Sr, P. Guaizihu granite belongs to low Sr and low Yb type. The magmatic source is from lower crust volcanic rock. The magma formed in lower crust partial melting which is induced by the process of collision orogenic - crustal thickening. A series of evidence showed that the disappearing of ancient Asia ocean in the east of Central Asian orogenic belt, which is represented by Engel Usu ophiolite belt, occurred at the end of the early Permian.

[Key words] Ejinaqi; Himalayan type granite; petrogeochemistry; crustal thickening; Central Asian Orogenic Belt