

# 内蒙古东乌旗索纳嘎铅锌银矿区花岗岩地球化学特征及其构造与成矿意义

梁玉伟<sup>1</sup> 余存林<sup>2</sup> 沈国珍<sup>3</sup> 孙庆茹<sup>1</sup> 李进文<sup>4</sup>  
杨郢城<sup>4</sup> 余宏全<sup>4</sup> 张 斌<sup>4</sup> 谭 刚<sup>4</sup>

(1. 内蒙古第一地质矿产勘查开发院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古地质矿产勘查开发局, 内蒙古 呼和浩特 010020;  
3. 内蒙古第九地质矿产勘查开发院, 内蒙古 锡林浩特 026000; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 内蒙古东乌旗索纳嘎铅锌银矿区赋矿侵入岩为一由中粗粒花岗岩、细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩组成的杂岩体。三种岩石的锆石 U-Pb 同位素年龄依次为(319.6±4.1)Ma、(172.5±1.4)Ma 和(165.5±1.8)Ma。三者均以高钾、富碱、贫镁为特征, 均属钙碱性、准铝质—弱过铝质岩石, 分异程度较高。岩石稀土总量较高, 轻稀土相对富集, 均具负铈异常; 均富集 U、Th, Rb/Sr 值大于壳源 Rb/Sr 值, 应属 S 型花岗岩。根据花岗岩地球化学和区域地质特征分析认为, 中粗粒花岗岩形成于晚石炭世后碰撞伸展构造环境; 中侏罗世细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩产于板内伸展构造环境, 为同源岩浆演化不同阶段的产物。似斑状钾长花岗岩富含成矿元素 Pb 和 Zn, 而且其成岩年龄与辉钼矿(163.4±2.4)Ma~(166.6±2.4)Ma 的 Re-Os 同位素年龄基本一致, 可能为成矿母岩。

**关键词:** 花岗岩; 岩石年龄; 地球化学; 构造背景; 金属成矿; 内蒙古东乌旗

**中图分类号:** P588.12<sup>+</sup>; P618.4 **文献标志码:** A **文章编码:** 1000-3657(2013)03-0767-13

索纳嘎矿区地处中蒙边境中段的东乌旗境内, 位于额仁高毕苏木北西 35 km。该区属西伯利亚板块南缘的褶皱增生带, 受古生代板块俯冲、碰撞和中生代滨西太平洋构造活动的复杂构造演化影响, 区域上晚古生代—中生代不同岩石类型的花岗岩分布广泛<sup>[1]</sup>, 并发育有一批与不同时代花岗岩有关的金属矿床。研究表明, 晚古生代与花岗质岩石有关的金属矿床是该时期板块构造活动的产物<sup>[2]</sup>, 如本区西部蒙古国与花岗闪长岩、长石斑岩有关的察干苏布加斑岩型铜钼矿和欧玉陶勒盖斑岩型铜金钼矿<sup>[3]</sup>; 而中生代与花岗岩有关的金属成矿则是陆内多期伸展作用的产物<sup>[4,5]</sup>, 如与三叠纪花岗质深成岩有关的沙麦和玉古兹尔中—高温热液脉型钨矿<sup>[6]</sup>、与白垩纪花岗闪长岩和二长花岗岩有关的乌兰德勒斑岩型钨

矿<sup>[6]</sup>。近期, 由于在索纳嘎矿区隐伏花岗岩及其与围岩接触带发现一伴生钨钼金铜的铅锌银矿而引起我们重视。本文通过对与成矿有关的花岗岩进行岩石学、地球化学和同位素年代学研究, 厘定了花岗岩的形成时代, 探讨了花岗岩形成的构造背景; 同时, 结合矿石矿物年龄测试数据分析了成岩成矿关系。

## 1 地质概况及花岗岩岩相学特征

该区位于二连—贺根山断裂北部(图 1)。区域出露地层主要有下奥陶统粉砂岩、粉砂质板岩、千枚岩, 下—中奥陶统细碧角斑岩、凝灰岩和板岩, 上志留统泥质粉砂岩和变质砂岩, 泥盆系凝灰岩、凝灰质砂岩、石英砂岩和细砂岩, 上石炭统—下二叠统英安岩和安山岩及其相应碎屑岩, 上侏罗统中性—酸性

收稿日期: 2013-02-20; 改回日期: 2013-04-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011085260)、科技支撑计划(2006BAB01A10)和内蒙古地质矿产勘查开发局综合研究项目(ND2007004)联合资助。

作者简介: 梁玉伟, 男, 1964 年生, 高级工程师, 主要从事地质矿产调查和评价工作; E-mail: xizhongnm@sina.com。

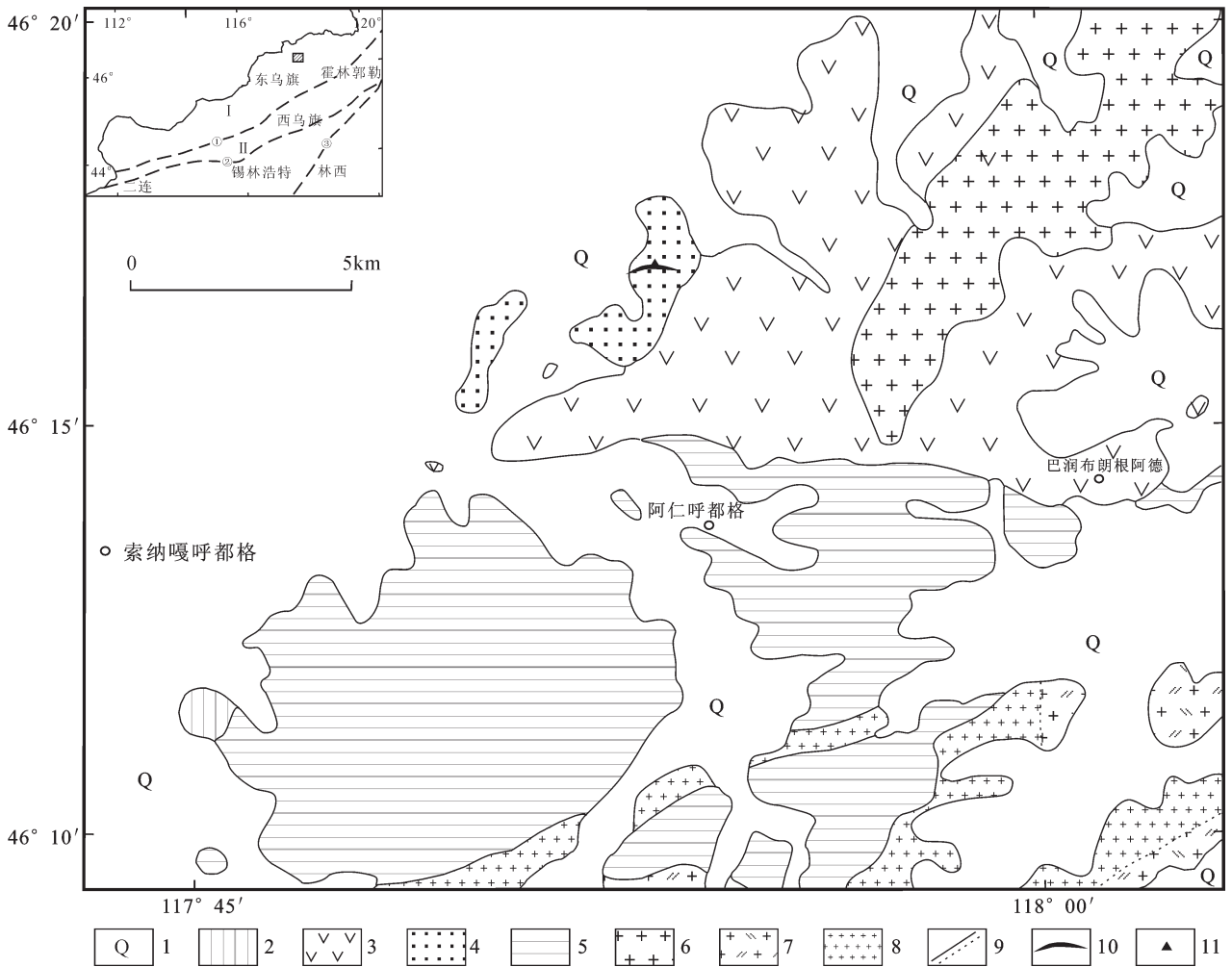


图 1 索纳嘎地区地质简图

- 1—第四系;2—上白垩统二连组砂砾岩;3—上侏罗统白银高老组火山岩;4—下侏罗统红旗组变质质粉砂岩、变质泥岩;
- 5—上泥盆统安格尔音乌拉组变质粉砂岩和泥质板岩;6—黑云正长斑岩;7—中细粒似斑状黑云二长花岗岩;
- 8—中细粒黑云二长花岗岩;9—地质界线及侵入岩相带界线;10—索纳嘎花岗岩体;11—采样位置;
- ①—二连—贺根山深断裂;②—锡林浩特断裂;③—大兴安岭主脊断裂

Fig.1 Geological sketch map of Suonaga area

- 1—Quaternary; 2—Glutenite of Upper Cretaceous Erlian Formation; 3—Volcanic rocks of Upper Jurassic Baiyingaolao Formation;
- 4—Metapelitic siltstone and metapelites of Lower Jurassic Hongqi Formation; 5—Metasiltstone and argillite of Upper Devonian Angeryinwula Formation; 6—Biotite syenite porphyry; 7—Medium-fine-grained porphyritic biotite monzogranite; 8—Medium-fine-grained biotite monzogranite; 9—Geological boundary and facies transition boundary of intrusive rocks; 10—Suonaga granites;
- 11—Sampling location; ① Erlian—Hegenshan fault; ② Xilinhaote fault; ③ Daxinganling main ridge fault

火山岩。区域侵入岩分布广泛,而且以石炭纪、二叠纪和侏罗纪花岗岩最为发育,多呈大规模的岩基状产出,部分呈岩株状。其中,石炭纪花岗岩分布于洪大卫等<sup>[7]</sup>所划分的白音乌拉—东乌旗 I 型花岗岩带,主要岩石为花岗岩、花岗闪长岩,零星出露闪长岩,多侵入于泥盆纪和晚石炭世—早二叠世地层,并被晚侏罗世火山岩覆盖或被其后的花岗质岩石侵入,其岩石化学成分一般为:SiO<sub>2</sub>=71.22%~77.76%,

Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 平均含量 7.99%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.82~1.39, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=11.34%~16.93%<sup>[8]</sup>,多属钙碱性系列。二叠纪花岗岩亦分布于白音乌拉—东乌旗花岗岩带内,主要岩石类型为花岗岩和花岗闪长岩,少量钾长花岗岩和闪长岩,侵入于奥陶系中下统、泥盆系中—下统及上石炭—下二叠统。三叠纪侵入岩分布有限,呈零星出露,主要岩石类型为花岗岩、石英闪长岩等,岩石总体化学成分为 SiO<sub>2</sub> 含量 60.70%~62.67%,Na<sub>2</sub>O+

$K_2O = 9.18\% \sim 10.48\%$ ,  $K_2O > Na_2O$ ,  $A/CNK = 0.80 \sim 0.88$ , 大多属碱性系列<sup>[9]</sup>。侏罗纪花岗岩主要呈岩株、岩基状产出, 受区域构造控制呈北东东、北东向展布, 以花岗岩和二长花岗岩为主, 亦有花岗斑岩和正长岩<sup>[3]</sup>, 岩石总体球化学特征为  $SiO_2$  含量  $75.54\% \sim 76.28\%$ ,  $Na_2O + K_2O = 8.2\% \sim 8.28\%$ ,  $K_2O/Na_2O = 1.44 \sim 1.46$ ,  $A/CNK = 1.016 \sim 1.063$ , 属于高钾钙碱性系列<sup>[9]</sup>。

索纳嘎矿区与成矿有关的花岗岩为一主要由中粗粒花岗岩、细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩组成的杂岩体。该岩体仅似斑状钾长花岗岩呈向北突出、长度约 220 m 的弧形岩体出露地表, 侵位于下侏罗统红旗组变泥质粉砂岩及变质泥岩中(图 1), 而岩体大部隐伏于地下。据钻探工程揭露, 岩体地下隐伏部分近东西向和南北向长度均大于 400 m; 以似斑状钾长花岗岩为主, 中粗粒花岗岩和细粒黑云母花岗岩均呈几米至十几米的枝状见于前者中, 并且与前者均呈明显侵入接触关系。铅锌银多金属矿体即产于该岩体中及其与围岩的接触带。

中粗粒花岗岩的主要矿物为石英、钾长石和斜长石, 次要矿物为少量黑云母, 微量锆石等副矿物。石英(20%~30%)呈他形粒状, 粒度 1~3.5 mm; 钾长石(35%~45%)呈他形—半自形晶, 粒径一般 0.5~4 mm; 斜长石(15%~20%)多呈半自形晶, 个别晶体具环带结构和弱绢云母化, 粒径一般 0.5~4 mm; 黑云母(4%~8%)呈片状, 粒度一般为 0.25~1.5 mm, 个别晶体具有绿泥石化。

细粒黑云母花岗岩的主要矿物成分为石英、钾长石、斜长石, 次要矿物为黑云母, 微量锆石等副矿物。石英(15%~20%)呈他形粒状分布于长石间, 粒径一般 0.15~1 mm; 钾长石(45%~55%)呈半自形板状及他形粒状, 粒径一般 0.25~1.75 mm, 大者长轴达 2.5 mm, 晶体中可见黑云母包裹体; 斜长石(15%~20%)呈半自形板状和他形粒状, 粒径一般 0.25~1 mm, 弱绢云母化; 黑云母(5%~10%)呈细小片状, 粒度一般为 0.2~0.5 mm, 少量黑云母具有绿泥石化。常含 3%~5% 的黄铁矿。

似斑状钾长花岗岩的斑晶含量 35%~40%, 钾长石约占斑晶总量的 55%~60%, 石英占 40%~45%, 极少量斜长石斑晶。钾长石斑晶多半自形, 少量他形, 粒径多为 5~14 mm, 个别晶体中包裹有小的钾长石晶体。石英斑晶呈他形, 粒度稍小于钾长石, 粒径 4~8 mm。斜长石斑晶多呈半自形, 粒径 5~10 mm。基

质为细粒结构, 主要矿物为石英(占基质的 70%~75%, 粒度 0.05~0.5 mm), 其次为钾长石(占基质的 15%~20%, 粒度 0.075~1 mm), 少量斜长石、黑云母, 微量锆石和楣石。

## 2 样品及测试方法

本次采集的细粒黑云母花岗岩、似斑状钾长花岗岩和中粗粒花岗岩样品均采自钻孔, 经薄片显微镜下鉴定后, 选择新鲜或弱蚀变样品用于地球化学测试。其中, 同位素测年样品质量 6~8 kg。

锆石阴极发光研究在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成。LA-ICP-MS 单颗粒锆石微区原位单点 U-Pb 同位素定年在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成, 测试仪器为美国 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 GeoLas2005 准分子激光剥蚀系统(波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas 200M 光学系统组成的联机。样品处理、测试方法、精度和数据处理参见相关文献<sup>[10-12]</sup>。

岩石主量和微量元素测试分析在核工业地质研究院完成。主量元素采用 X 射线荧光光谱法(XRF)测试, 检测下限为 0.01%(FeO 为 0.05%); 微量、稀土元素使用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法测试, 检测下限为  $0.05 \times 10 \mu g/g$ 。

## 3 锆石 U-Pb 同位素测年结果

阴极发光图像显示, 中粗粒花岗岩样品(SZK2-TW1) 锆石(图 2-a) 和似斑状钾长花岗岩样品(SZK301-TW2) 锆石(图 2-b) 的自形程度均普遍较高, 多呈长柱状自形晶(少数样品形态遭到破坏), 长宽比多大于 2:1, 长轴长度一般为 100~200  $\mu m$ , 大多具较清楚的振荡环带。前者的 Th/U 值绝大多数大于 0.1(表 1), 均值 0.315; 后者的 Th/U 值绝大多数大于 0.4(表 1), 均值 0.536, 均与典型岩浆成因锆石特征一致。而细粒黑云母花岗岩样品(SZK301-TW1) 锆石多呈半自形晶(图 2-c), 粒径多在 100~200  $\mu m$ ,  $^{232}Th$  和  $^{238}U$  含量普遍较高, 分别为  $106.96 \times 10^{-6} \sim 25772.39 \times 10^{-6}$  (均值  $15928.21 \times 10^{-6}$ ) 和  $193.08 \times 10^{-6} \sim 6989.03 \times 10^{-6}$  (均值  $4673.00 \times 10^{-6}$ ), 以致大多锆石的 CL 图像呈黑色, 仅少量图像清晰, 锆石可见明显的振荡环带; Th/U 值除 1 个测点为 0.307, 其余均大于 1(表 1), 应属岩浆成因锆石。

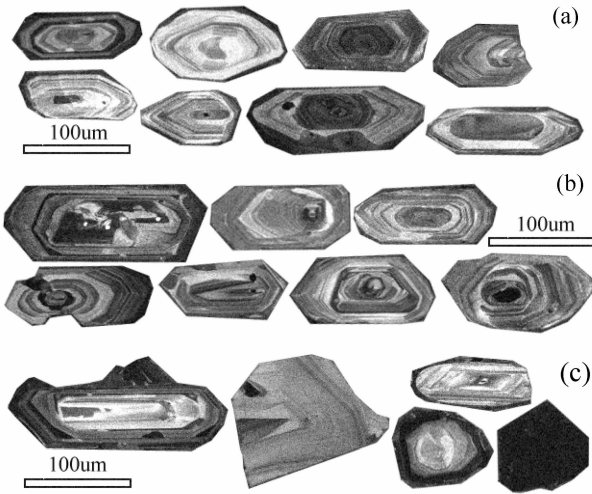


图2 SZK2-TW1(a)、SZK301-TW2(b)和SZK301-TW1(c)样品锆石阴极发光电子图像

Fig.2 Cathodoluminescence images for sample SZK2-TW1(a), SZK301-TW2(b) and SZK301-TW1(c)

由于本区花岗岩锆石的 $^{207}\text{Pb}$ 含量较低,仪器检出限以及 $^{207}\text{Pb}$ 的计数会对测试结果产生影响<sup>[13]</sup>,而且年青锆石样品宜采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄<sup>[14]</sup>。故本文取 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄作为花岗岩的定年结果。根据锆石U-Pb同位素LA-ICPMS测试数据形成的锆石U-Pb年龄谐和图如图3所示。

中粗粒花岗岩样品(SZK2-TW1)主锆石群22个数据点的谐和年龄集中在303~335 Ma(图3-a),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(319.6 \pm 4.1)\text{Ma}$ (MSWD=10.4),应代表岩体的侵位年龄,属晚石炭世早期产物。该样品还有1粒锆石(SZK2-TW1-21)测得了516 Ma的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,且 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 三组年龄不一致,可能为发生了Pb丢失的捕获锆石。

细粒黑云母花岗岩样品(SZK301-TW1)除2粒锆石SZK301-TW1-05、16由于Pb丢失偏离谐和曲线外,大多数数据点位于谐和曲线或其附近(图3-b)。21个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(172.5 \pm 1.4)\text{Ma}$ (MSWD=6.2),可以代表岩体就位年龄,属中侏罗世早期。

似斑状钾长花岗岩样品(SZK301-TW2)除1粒锆石(测点SZK301-TW2-06)测得了359 Ma的较大 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,且 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 三组年龄不一致,可能为一发生了Pb丢失的捕

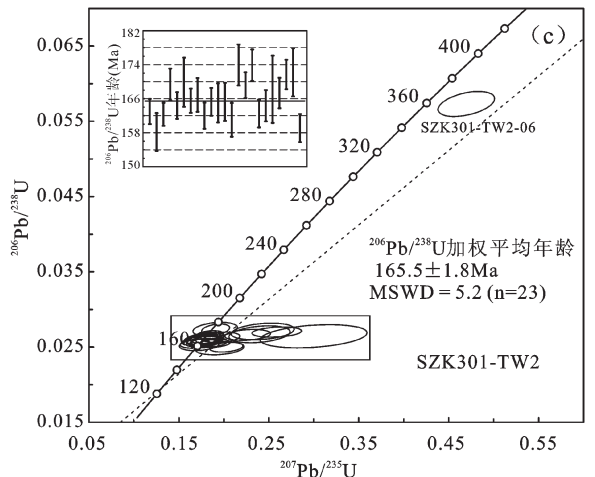
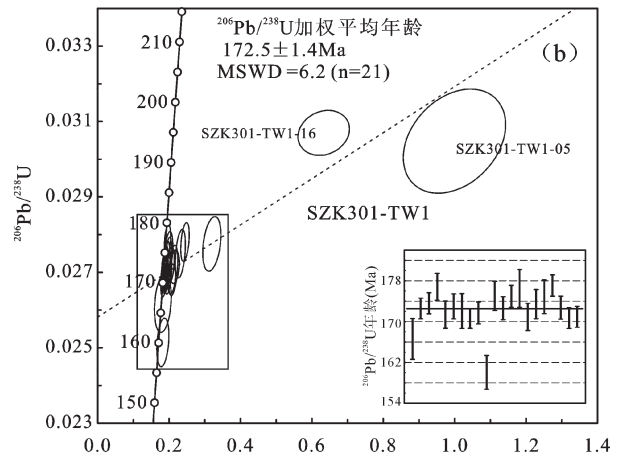
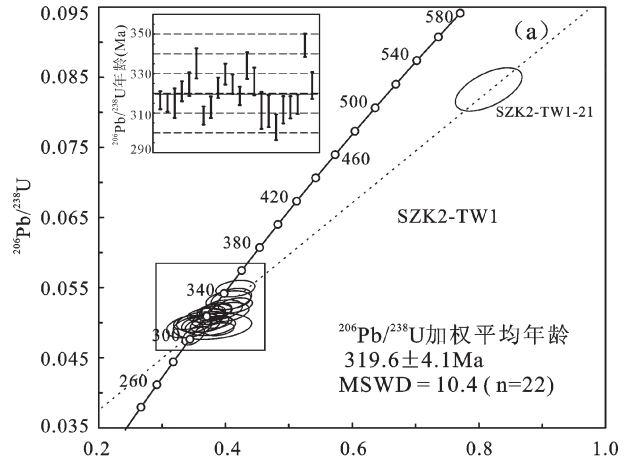


图3 索纳嘎矿区花岗岩锆石U-Pb谐和图  
Fig.3 Zircon U-Pb diagram of of Suonaga granites

获锆石外,其余23个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(165.5 \pm 1.8)\text{Ma}$ (MSWD=5.2)(图3-c),可视为岩浆结晶年龄,属中侏罗世中晚期。

表 1 索纳嘎矿区花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果  
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons from Suonaga granites

样品 编号	测点编号	Pb/10 <sup>-6</sup>	232Th/10 <sup>-6</sup>	238U/10 <sup>-6</sup>	Th/U	207Pb/235U		206Pb/238U		207Pb/235U		206Pb/238U					
						比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)				
SZK2-TW1 中粗粒花岗岩	SZK2-TW1-01	31	110	545	0.2	0.0531	0.0014	0.369	0.009	0.0503	0.0004	332	59	319	7	316	2
	SZK2-TW1-02	30	48	538	0.1	0.0558	0.0015	0.386	0.010	0.0501	0.0004	443	59	332	7	315	2
	SZK2-TW1-03	8	50	125	0.4	0.0532	0.0025	0.364	0.017	0.0501	0.0006	339	107	315	12	315	4
	SZK2-TW1-04	17	98	283	0.3	0.0526	0.0018	0.370	0.012	0.0511	0.0004	309	78	320	9	321	3
	SZK2-TW1-05	31	216	495	0.4	0.0538	0.0014	0.385	0.010	0.0516	0.0005	361	59	330	8	325	3
	SZK2-TW1-06	18	78	286	0.3	0.0556	0.0018	0.409	0.013	0.0534	0.0006	439	72	348	9	335	4
	SZK2-TW1-07	37	259	618	0.4	0.0575	0.0015	0.390	0.010	0.0491	0.0004	509	56	334	7	309	4
	SZK2-TW1-08	42	242	713	0.3	0.0534	0.0014	0.368	0.010	0.0497	0.0004	343	318	318	7	313	3
	SZK2-TW1-09	37	226	627	0.4	0.0533	0.0014	0.377	0.009	0.0513	0.0004	339	59	333	7	323	3
	SZK2-TW1-10	21	38	351	0.1	0.0574	0.0016	0.416	0.011	0.0525	0.0004	506	61	335	8	330	3
	SZK2-TW1-11	27	128	447	0.3	0.0537	0.0016	0.383	0.011	0.0516	0.0004	367	70	329	8	325	2
	SZK2-TW1-12	48	450	760	0.6	0.0535	0.0013	0.376	0.009	0.0507	0.0004	350	54	324	7	319	2
	SZK2-TW1-13	13	79	212	0.4	0.0549	0.0019	0.405	0.015	0.0532	0.0006	409	78	345	11	334	2
	SZK2-TW1-14	22	70	379	0.2	0.0540	0.0016	0.394	0.013	0.0519	0.0006	372	67	338	10	326	3
	SZK2-TW1-15	6	41	106	0.4	0.0561	0.0040	0.379	0.025	0.0495	0.0008	454	153	327	19	311	5
	SZK2-TW1-16	8	59	139	0.4	0.0503	0.0021	0.343	0.015	0.0494	0.0007	209	98	299	11	311	4
	SZK2-TW1-17	47	85	880	0.1	0.0526	0.0011	0.349	0.007	0.0481	0.0005	322	48	304	5	303	3
	SZK2-TW1-18	8	48	141	0.3	0.0551	0.0023	0.376	0.016	0.0495	0.0006	417	94	324	12	312	3
	SZK2-TW1-19	26	165	438	0.4	0.0514	0.0014	0.354	0.009	0.0497	0.0005	257	61	307	7	313	3
	SZK2-TW1-20	31	188	524	0.4	0.0492	0.0013	0.340	0.009	0.0500	0.0004	167	63	297	7	314	2
	SZK2-TW1-21	71	172	670	0.3	0.0704	0.0015	0.815	0.022	0.0833	0.0013	939	44	605	12	316	8
	SZK2-TW1-22	18	92	277	0.3	0.0551	0.0018	0.416	0.013	0.0549	0.0005	417	72	353	9	344	3
	SZK2-TW1-23	17	63	293	0.2	0.0566	0.0018	0.404	0.014	0.0515	0.0006	476	70	344	10	324	3
SZK30-TW1 细粒黑云母花岗岩	SZK30-TW1-01	7	203	193	1.1	0.0511	0.0027	0.183	0.010	0.0262	0.0003	243	122	170	8	167	2
	SZK30-TW1-02	406	23962	6604	3.6	0.0497	0.0008	0.187	0.003	0.0271	0.0002	189	37	174	3	173	1
	SZK30-TW1-03	428	24450	6989	3.5	0.0503	0.0008	0.190	0.003	0.0273	0.0002	209	35	177	3	174	1
	SZK30-TW1-04	79	2462	2161	1.1	0.0636	0.0013	0.245	0.005	0.0278	0.0002	728	43	222	4	177	1
	SZK30-TW1-05	15	338	227	1.5	0.2252	0.0102	0.999	0.059	0.0305	0.0006	3018	78	703	30	194	4
	SZK30-TW1-06	289	15106	5361	2.8	0.0527	0.0010	0.197	0.004	0.0269	0.0002	317	44	183	3	171	1
	SZK30-TW1-07	283	16246	4662	3.5	0.0542	0.0011	0.204	0.004	0.0272	0.0002	389	42	189	4	173	1
	SZK30-TW1-08	297	16881	5022	3.4	0.0563	0.0008	0.211	0.005	0.0271	0.0003	461	44	195	4	172	2
	SZK30-TW1-10	407	23326	6085	4.2	0.0494	0.0008	0.184	0.003	0.0268	0.0002	165	42	171	2	171	1
	SZK30-TW1-11	407	24432	6216	3.9	0.0521	0.0009	0.196	0.004	0.0270	0.0002	300	41	181	3	172	1
	SZK30-TW1-12	11	107	348	0.3	0.0527	0.0020	0.183	0.007	0.0251	0.0003	317	119	170	6	160	2
	SZK30-TW1-13	350	20854	5323	3.9	0.0524	0.0012	0.199	0.005	0.0275	0.0002	306	58	184	6	175	1
	SZK30-TW1-14	175	7454	3556	2.1	0.0572	0.0015	0.215	0.006	0.0271	0.0002	502	62	198	5	173	1
	SZK30-TW1-15	334	19314	5180	3.7	0.0522	0.0009	0.199	0.003	0.0275	0.0002	295	45	184	3	175	1
	SZK30-TW1-16	366	14144	5138	2.8	0.1459	0.0061	0.633	0.029	0.0307	0.0002	2299	72	498	18	195	2
	SZK30-TW1-17	224	12103	4048	3.0	0.0825	0.0024	0.320	0.010	0.0278	0.0003	1258	24	282	8	176	2
	SZK30-TW1-18	391	24406	5840	4.2	0.0500	0.0010	0.186	0.004	0.0269	0.0002	195	46	173	3	171	1
	SZK30-TW1-19	290	15831	4850	3.3	0.0508	0.0010	0.192	0.004	0.0273	0.0002	232	48	178	4	173	1
	SZK30-TW1-20	249	10259	5202	2.0	0.0608	0.0014	0.232	0.006	0.0275	0.0003	632	48	211	5	175	2
	SZK30-TW1-21	310	17567	4847	3.6	0.0508	0.0009	0.196	0.004	0.0278	0.0002	232	43	182	3	177	1
	SZK30-TW1-22	308	17076	5052	3.4	0.0504	0.0008	0.190	0.003	0.0272	0.0002	213	37	176	3	173	1
	SZK30-TW1-23	263	14680	4563	3.2	0.0556	0.0011	0.207	0.004	0.0268	0.0002	439	46	191	4	171	1
	SZK30-TW1-24	407	25772	6030	4.3	0.0514	0.0008	0.192	0.003	0.0269	0.0002	261	31	178	3	171	1

续表 1

样品 编号	测点编号	Pb/ <sup>10<sup>6</sup></sup>	<sup>232</sup> Tb/ <sup>10<sup>6</sup></sup>	<sup>238</sup> U/ <sup>10<sup>6</sup></sup>	Tb/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		年龄/Ma	误差(1σ)	年龄/Ma	误差(1σ)	年龄/Ma	误差(1σ)
						比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)						
	SKZ30FTW2-01	18	228	593	0.4	0.0536	0.0017	0.189	0.006	0.0256	0.0002	354	69	176	5	163	1
	SKZ30FTW2-02	5	107	148	0.7	0.0580	0.0033	0.195	0.011	0.0248	0.0004	528	126	181	9	158	2
	SKZ30FTW2-03	15	175	489	0.4	0.0542	0.0021	0.190	0.007	0.0255	0.0002	389	81	176	6	162	1
	SKZ30FTW2-04	11	188	325	0.6	0.0617	0.0028	0.227	0.010	0.0266	0.0003	661	95	207	9	169	2
	SKZ30FTW2-05	13	171	420	0.4	0.0504	0.0019	0.179	0.007	0.0258	0.0002	213	85	168	6	164	2
	SKZ30FTW2-06	49	259	712	0.4	0.0592	0.0015	0.470	0.013	0.0257	0.0002	572	54	391	9	359	4
	SKZ30FTW2-07	5	83	148	0.6	0.0671	0.0038	0.240	0.014	0.0267	0.0005	843	117	218	11	170	3
	SKZ30FTW2-08	17	206	555	0.4	0.0514	0.0018	0.184	0.006	0.0260	0.0002	257	78	171	5	166	1
	SKZ30FTW2-09	8	132	267	0.5	0.0506	0.0022	0.181	0.008	0.0262	0.0003	233	102	169	7	167	2
	SKZ30FTW2-10	13	226	403	0.6	0.0479	0.0020	0.168	0.007	0.0254	0.0002	94.5	96.3	157	6	162	2
	SKZ30FTW2-11	12	174	377	0.5	0.0487	0.0020	0.175	0.007	0.0260	0.0003	132	99	164	6	165	2
	SKZ30FTW2-12	9	113	301	0.4	0.0496	0.0024	0.175	0.008	0.0259	0.0004	176	111	164	7	165	2
	SKZ30FTW2-13	7	138	218	0.6	0.0501	0.0024	0.179	0.009	0.0260	0.0004	198	111	167	7	165	2
	SKZ30FTW2-14	9	249	277	0.9	0.0498	0.0027	0.173	0.009	0.0253	0.0003	187	124	162	8	161	2
	SKZ30FTW2-15	6	84	167	0.5	0.0513	0.0028	0.190	0.010	0.0273	0.0004	237	132	177	9	174	2
	SKZ30FTW2-16	15	227	437	0.5	0.0502	0.0018	0.184	0.006	0.0266	0.0002	211	80	172	5	169	2
	SKZ30FTW2-17	15	206	452	0.5	0.0508	0.0018	0.191	0.006	0.0273	0.0003	232	86	177	5	174	2
	SKZ30FTW2-18	13	192	413	0.5	0.0502	0.0018	0.177	0.006	0.0255	0.0003	211	83	165	5	163	2
	SKZ30FTW2-19	10	175	318	0.6	0.0503	0.0023	0.178	0.008	0.0258	0.0003	206	106	166	7	164	2
	SKZ30FTW2-20	2	42	47	0.9	0.0817	0.0059	0.300	0.024	0.0264	0.0006	1239	138	266	19	168	4
	SKZ30FTW2-21	9	185	259	0.7	0.0545	0.0026	0.196	0.009	0.0263	0.0003	391	107	182	8	167	2
	SKZ30FTW2-22	14	179	418	0.4	0.0691	0.0029	0.259	0.011	0.0270	0.0003	902	88	234	9	172	2
	SKZ30FTW2-23	4	61	115	0.5	0.0656	0.0039	0.243	0.014	0.0271	0.0005	794	126	221	12	172	3
	SKZ30FTW2-24	13	184	404	0.5	0.0592	0.0024	0.203	0.008	0.0250	0.0003	576	87	187	6	159	2

SKZ301-TW2  
侵摩央神长符园告

## 4 地球化学特征

### 4.1 常量元素

据岩石化学分析结果(表 2),索纳嘎矿区的花

岗岩 SiO<sub>2</sub> 含量普遍较高,为 61.69%~73.43%,且变化范围较小。岩石以高钾(K<sub>2</sub>O>4.50%)、富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O>7.00%)、贫镁为特征,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O>1;里特曼指数 δ=1.63~3.58,均属钙碱性岩石;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高,

表 2 索纳嘎矿区花岗岩主量元素(%)、微量和稀土元素(10<sup>-6</sup>)化学成分

Table 2 Chemical compositions of major (%), trace and rare earth elements (10<sup>-6</sup>) of Suonaga granites

样品编号	SZK2	SZK2	SZK301	SZK301	SZK802	SZK001	SZK005	SZK003
	-TW1	-HQ1	-TW1	-HQ1	-TW1	-HQ1	-HQ1	-HQ1
岩性	中粗粒花岗岩		细粒黑云母花岗岩		似斑状钾长花岗岩			
SiO <sub>2</sub>	72.75	70.88	61.69	63.79	68.92	69.46	69.55	73.43
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.24	0.71	0.60	0.31	0.36	0.32	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.96	13.07	14.29	14.43	13.80	13.69	14.19	12.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	2.46	2.98	5.79	5.61	3.02	2.96	2.84	2.77
MnO	0.07	0.081	0.17	0.20	0.088	0.29	0.12	0.10
MgO	0.37	0.64	1.69	1.25	0.61	0.93	0.70	0.66
CaO	1.02	1.34	3.69	1.96	1.20	1.58	2.03	1.22
Na <sub>2</sub> O	3.81	4.00	3.76	2.91	2.70	2.89	2.37	1.94
K <sub>2</sub> O	4.77	4.62	4.51	5.15	5.24	5.94	5.18	5.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.066	0.084	0.26	0.17	0.10	0.13	0.11	0.10
CO <sub>2</sub>	0.50	0.59	1.58	1.92	0.59	1.04	0.90	0.69
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.93	0.95	1.21	1.47	1.49	0.60	1.15	1.24
烧失量	1.47	1.62	2.9	3.44	3.55	1.69	2.16	1.97
总量	99.93	99.56	99.49	99.51	99.54	99.92	99.57	99.91
Li	49.40	73	48.00	33.10	37.50	27.40	27.80	35.50
Be	3.63	5.38	5.86	4.35	6.33	3.26	6.43	3.32
Sc	4.77	5.54	5.95	4.73	5.17	4.87	5.37	4.91
V	20.6	20.5	67.3	60.0	30.0	32.5	33.6	25.8
Cr	7.13	7.81	13.30	10.70	6.71	6.53	7.40	6.45
Co	2.50	2.48	8.79	7.80	4.79	4.18	4.24	4.88
Ni	5.83	3.46	6.53	6.83	4.04	5.06	4.36	5.17
Cu	9.66	3.97	38.50	101.00	80.20	24.80	13.20	40.20
Zn	43.8	39.7	71.2	72.5	804.0	68.8	128.0	162.0
Ga	19.9	19.6	20.3	21.7	20.9	19.5	21.1	17.8
As	16.2	14.9	21.3	28.8	35.4	155.0	45.0	112.0
Se	0.263	0.172	0.292	0.015	0.236	0.099	0.261	0.429
Rb	189	175	268	322	297	228	280	262
Sr	64.4	79	432	265	144	183	176	129
Y	26.3	25.4	23.0	20.9	32.4	32.3	31.6	31.8
Zr	259	284	356	521	207	226	260	208
Nb	12.8	10.7	13.5	14.1	15.8	13.8	18.0	15.1
Mo	8.30	2.34	21.60	23.10	9.17	3.99	1.53	9.12
Cd	0.22	0.163	0.911	1.19	5.86	0.237	0.957	0.901
In	0.061	0.064	0.481	0.354	1.03	0.093	0.052	0.142
Sn	17.3	15.5	79.8	102.0	39.3	16.7	16.8	31.9
Sb	0.844	0.876	2.2	5.64	1.26	2.27	1.24	7.16
Cs	13.4	12.1	21.9	29.0	20.2	11.3	22.2	19.2
Ba	479	552	1633	750	506	538	434	517
Hf	8.12	8.83	8.75	13.30	6.87	7.65	8.70	7.25
Ta	1.24	1.45	0.921	0.903	1.44	1.44	1.95	1.42
W	7.46	1.25	66.8	242	22.3	71	17	25.6
Re	0.003	0.000	0.014	0.032	0.009	0.020	0.003	0.006
Tl	1.50	1.07	3.01	4.60	3.24	3.06	3.85	3.11
Pb	28.7	24.3	21.0	33.7	293.0	32.4	119.0	98.5
Bi	0.694	0.109	4.70	2.58	2.21	0.324	0.106	0.591
Th	13.7	10.2	9.24	10.8	19.1	19.3	22.9	16.8
U	6.88	6.08	3.85	3.78	9.54	7.38	13.1	6.91
La	27.7	29.2	28.5	34.5	39.8	33.9	33.9	30.5
Ce	55.9	59.4	61.6	66.8	80.2	67.7	65.4	61.9
Pr	7.14	7.23	7.62	7.83	9.32	7.83	7.48	7.54
Nd	26.5	28.4	29.2	28.7	35.6	30.4	28.1	29.7
Sm	5.44	5.68	5.25	4.90	6.68	5.91	5.34	5.80
Eu	0.711	0.817	1.38	1.22	1.00	1.050	0.884	0.958
Gd	4.78	4.88	4.45	4.22	5.72	5.46	4.58	5.12
Tb	0.876	0.823	0.755	0.700	1.03	0.971	0.884	0.955
Dy	5.07	4.88	4.34	3.87	5.94	5.66	5.09	5.45
Ho	0.863	0.898	0.798	0.714	1.11	1.1	1.04	1.03
Er	2.71	2.72	2.40	2.01	3.4	3.35	3.27	3.32
Tm	0.443	0.437	0.354	0.322	0.556	0.553	0.55	0.55
Yb	3.03	3.21	2.47	2.17	3.49	3.63	3.87	3.40
Lu	0.455	0.475	0.367	0.343	0.547	0.574	0.570	0.513
ΣREE	141.62	149.05	149.48	158.30	194.39	168.09	160.96	156.74
ΣLREE	123.39	130.73	133.55	143.95	172.60	146.79	141.10	136.40
ΣHREE	18.23	18.32	15.93	14.35	21.79	21.30	19.85	20.34
ΣLREE								
ΣHREE	6.77	7.13	8.38	10.03	7.92	6.89	7.11	6.71
δ Eu	0.42	0.46	0.85	0.80	0.48	0.56	0.53	0.53
(La/Yb) <sub>N</sub>	6.56	6.52	8.28	11.40	8.18	6.70	6.28	6.43

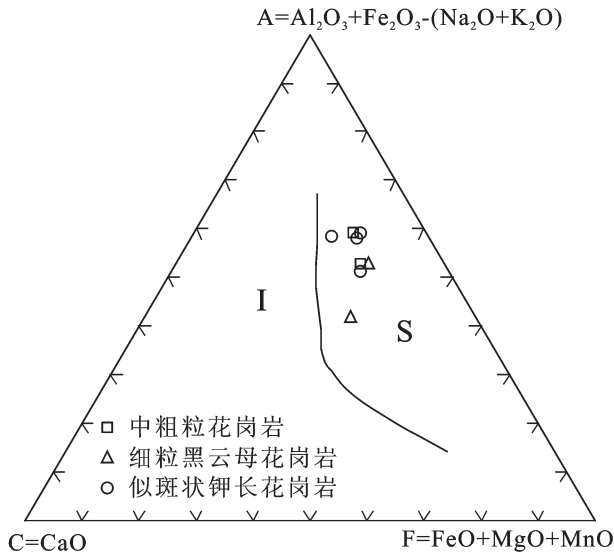


图4 索纳嘎矿区花岗岩 ACF 图解  
Fig.4 ACF diagram of Suonaga granites

CaO 含量偏低。中粗粒花岗岩、细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩的铝饱和指数  $A/CNK=0.80\sim 1.12$  (其均值分别为 0.95、0.92 和 1.07), 属准铝质~弱过铝质岩石; 三者的分异指数 DI 均值分别为 90.08、76.16 和 86.32, 分异程度均较高, 但细粒黑云母花岗岩的分异程度低于似斑状钾长花岗岩。在 ACF 图解中, 3 种岩石所有样品的数据点均落入在 S 型花岗岩范围内 (图 4)。与中侏罗世中晚期的似斑状钾长花岗岩相比较, 同时代早期的细粒黑云母花岗岩富含  $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3^T$ 、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $P_2O_5$ , 而  $SiO_2$  含量稍低, 暗示前者可能是与后者同源的岩浆分异演化形成。

#### 4.2 稀土和微量元素

区内花岗岩稀土总量较高,  $\Sigma REE$  为  $141.62\times 10^{-6}\sim 194.39\times 10^{-6}$ 。轻稀土相对富集,  $LREE/HREE$  为 6.71~10.03 (表 2)。中粗粒花岗岩和似斑状钾长花岗岩钕亏损明显,  $\delta Eu$  值为 0.42~0.56 (均值分别为 0.44 和 0.52), S 型花岗岩特征明显; 细粒黑云母花岗岩样品的  $\delta Eu$  值稍高 (0.80~0.85), 显示为弱钕异常。3 种岩石的  $(La/Yb)_N$  值介于 6.28~11.40 (均值 6.54~9.84), 表明各类型岩石轻重稀土元素分馏程度均较高。在稀土配分型式图上 (图 5-a), 各类型花岗岩的分布型式相似, 均为向右缓倾的“V”型, 暗示其岩石起源相似或相同; 同形成于中侏罗世的细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩相比较, 稍晚形成

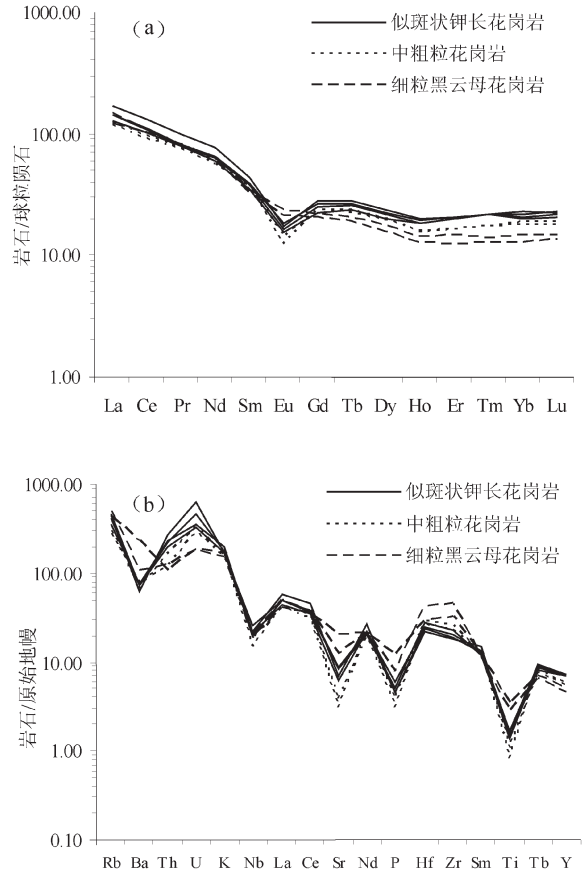


图5 索纳嘎矿区花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图与微量元素原始地幔标准化蛛网图 (标准数据值据 Sun and Mc Donough<sup>[15]</sup>)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace elements diagram of Suonaga granites (chondrite data and primitive mantle data after Sun and Mc Donough<sup>[15]</sup>)

的后者不仅  $\delta Eu$  值稍低, 而且重稀土趋于富集, 暗示两者为同源岩浆不同演化阶段的产物。

本区花岗岩富集 U、Th (表 2), 含量高于或接近上地壳含量 (Th、U 分别为  $10.7\times 10^{-6}$ 、 $2.8\times 10^{-6}$ ); Rb/Sr 值为 0.62~2.93, 大于壳源 Rb/Sr 值 ( $>0.5^{[16]}$ )。在微量元素蛛网图上 (图 5-b), 中粗粒花岗岩和似斑状钾长花岗岩强烈亏损 Ba、Sr 和 Ti, Nb、P 为负异常, Rb、U、Th 等元素呈正异常; 而细粒黑云母花岗岩的 Ba、Sr、Nb、P 和 Ti 均为弱负异常, Rb、U 等为正异常, 表明其岩浆分异程度低于前两者。3 种岩石微量元素地球化学均显示为壳源 S 型花岗岩特征, 但同形成于中侏罗世的细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩相比较, 前者富集 Sr、Cr、Co、Ni 和



Ba等,而后者富集Th、U,为同源岩浆演化不同阶段产物的反映。

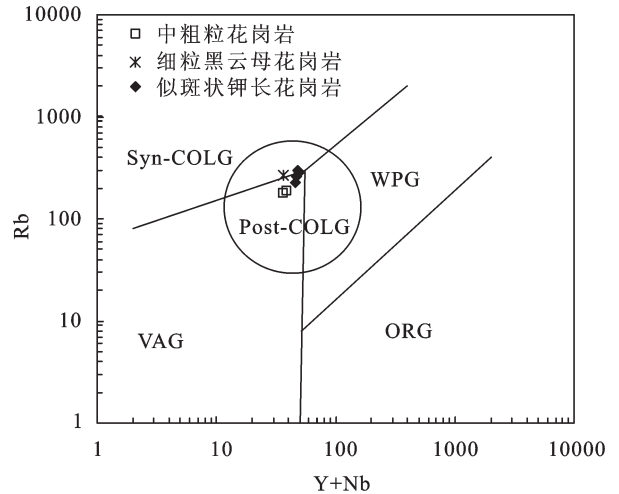
就成矿元素的含量而言,似斑状钾长花岗岩中的Zn、Pb含量(均值分别为 $290.70 \times 10^{-6}$ 、 $135.73 \times 10^{-6}$ )高于或远高于细粒黑云母花岗岩(均值分别为 $71.85 \times 10^{-6}$ 、 $27.35 \times 10^{-6}$ )和中粗粒花岗岩(均值分别为 $41.75 \times 10^{-6}$ 、 $26.50 \times 10^{-6}$ ),显然前者与成矿关系更为密切。

## 5 讨论

### 5.1 索纳嘎矿区的岩浆侵入活动特征及其构造背景

锆石LA-ICP-MS U-Pb测年结果表明,索纳嘎矿区的侵入岩体是由晚古生代以来不同时代形成的3期花岗质岩石构成:早期岩浆侵入活动可追溯到晚石炭世早期( $319.6 \pm 4.1$ )Ma,形成了中粗粒花岗岩;第二期岩浆作用发生于中侏罗世早期( $172.5 \pm 1.4$ )Ma,形成细粒黑云母花岗岩;第三期似斑状钾长花岗岩侵入于中侏罗世中晚期的( $165.5 \pm 1.8$ )Ma,与其侵入下侏罗统红旗组地层的地质特征相符。区域上,在苏左旗、西乌旗和东乌旗等地区已相继识别出299~325 Ma的花岗岩<sup>[17-23]</sup>。索纳嘎矿区最早期的中粗粒花岗岩年龄与之相近,表明本区早期花岗质岩浆侵入活动是区域上早石炭世晚期到晚石炭世岩浆侵入活动的组成部分。然而,到目前为止,除1:20万区域地质调查在东乌旗等地根据地质特征填出一些缺乏可靠同位素年龄数据的燕山早期花岗岩外,在东乌旗、苏左旗等地还鲜见有关中侏罗世花岗岩的报道。而且,童英等<sup>[1]</sup>通过对中蒙边境中段花岗岩时空分布特征的系统研究后得出,在三叠纪的204 Ma至晚中生代的152 Ma之间,岩浆侵入活动存在着40~50 Ma的较长时间间断。而索纳嘎矿区中侏罗世165.5~172.5 Ma花岗岩的识别,无疑将这一时间间隔缩短了约20 Ma。据此,相信随着地质工作的不断开展和深入,形成于这一时期的花岗岩还会不断被识别出来。

一些学者研究认为<sup>[24-29]</sup>,古亚洲洋于晚泥盆世—早石炭世沿本区南部的二连—贺根山一线闭合。而虽然有学者认为古亚洲洋壳最终于晚二叠世沿索伦山—西拉木伦河一线闭合<sup>[17,30-35]</sup>,但并不否认本区已于早石炭世造山隆起的事实。 $(319.6 \pm 4.1)$ Ma中粗粒花岗岩的地球化学特征显示为S型花岗岩,在Pearce等<sup>[36]</sup>(Y+Nb)-Rb花岗岩构造环境判别图



VAG—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩;Post-COLG—后碰撞花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩

图6 索纳嘎矿区花岗岩(Y+Nb)-Rb图解  
Fig.6 (Y+Nb)-Rb diagrams of Suonaga granites

上(图6),其样品均投影于后碰撞(post-collision)构造区。由此可以得出:晚石炭世本区已进入后碰撞构造阶段。而通过对分布于二连—贺根山缝合线两侧苏左旗、西乌旗和东乌旗地区的晚石炭世花岗岩的研究,一些岩体也被划归为后碰撞伸展构造环境的产物<sup>[19-20,23]</sup>;虽然部分岩体被认为属火山弧环境的产物<sup>[18,21-22]</sup>,但其岩石地球化学无不显示出后碰撞花岗岩的特点。也就是说,二连—贺根山缝合线两侧的晚石炭世花岗岩具有相同的产出环境,所谓的贺根山洋<sup>[1]</sup>确已于此前关闭,区域上在晚石炭世已处于后碰撞伸展环境。而且,从地质特征来看,在东乌旗—西乌旗—苏左旗地区的板块缝合线两侧,局部发育的上石炭统(格根敖包组)滨浅海碎屑岩和碳酸盐岩中夹有大量安山岩、粗面安山岩和晶屑凝灰岩,反映拉伸减薄作用中地壳成熟度降低的过程<sup>[29]</sup>;而局部出露的上石炭统本巴图组浅海相碎屑岩和大面积分布的晚石炭世—早二叠世宝力高庙组陆相火山岩,亦显示了区域伸展构造环境特征。

中侏罗世的细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩为板内产物,两者的地球化学特征均显示为S型花岗岩,而且具有明显的同源岩浆特征,为同源岩浆演化不同阶段的产物。两者的样品在花岗岩构造环境判别图上均投影于后碰撞构造区(图6),可能是形成于伸展构造环境的指示。王东方等<sup>[37]</sup>通过对中生代构造岩浆作用的研究,指出大兴安岭在侏罗

纪处于拉张环境。而区域上一些 NE 向早侏罗世晚期—中侏罗世含煤盆地表明, 本区于中侏罗世确已处于伸展构造环境。

## 5.2 岩浆活动与金属成矿的关系

三种类型的花岗岩均为容矿岩石, 而且近矿围岩均具有绢英岩化、黄铁矿化等蚀变现象。其中, 似斑状钾长花岗岩体上部的蚀变普遍较为发育, 似与成矿关系更为密切。事实上, 主要成矿元素 Pb、Zn 在似斑状钾长花岗岩中的含量远高于另两类岩石; 而且, 对采自变泥质粉砂岩和似斑状花岗岩(为矿体围岩) 中呈浸染状或含辉钼矿石英细脉产出的 3 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素测年, 获得的模式年龄分别为  $(163.4 \pm 2.4)\text{Ma}$ 、 $(165.5 \pm 2.6)\text{Ma}$  和  $(166.6 \pm 2.4)\text{Ma}$ , 在误差范围内, 与似斑状钾长花岗岩的侵位年龄一致。由此认为, 索纳嘎铅锌银矿很可能形成于中侏罗世中晚期, 而似斑状钾长花岗岩即为该矿床的成矿母岩。据研究<sup>[4,21,38-39]</sup>, 区域上已发现的金属矿床分别形成于石炭纪(吉林宝力格银金矿)、二叠纪(奥尤特铜矿)、三叠纪(查干敖包铁锌矿、阿尔哈达铅锌银矿、沙麦钨矿)和白垩纪(朝不楞铁多金属矿、迪彦钦阿木钼银矿、乌兰德勒钼矿), 而索纳嘎铅锌银矿尚属首次发现的侏罗纪金属矿床。该矿床的发现也意味着区域上可能分布有更多的侏罗纪金属矿床, 今后在该地区的地质调查和找矿工作中, 需注意与中侏罗世花岗岩有关金属矿床的寻找。

## 6 结 论

(1) 索纳嘎矿区的容矿花岗岩是由中粗粒花岗岩、细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩组成的杂岩体。前两者的锆石 U-Pb 年龄分别为  $(319.6 \pm 4.1)\text{Ma}$  和  $(172.5 \pm 1.4)\text{Ma}$ , 后者为  $(165.5 \pm 1.8)\text{Ma}$ 。其中, 中粗粒花岗岩是区域早石炭世晚期到晚石炭世岩浆侵入活动的产物; 而后两者则为本区域首次识别出的具有可靠年龄数据的中侏罗世花岗岩。

(2) 区内花岗岩均为 S 型花岗岩。其中, 中粗粒花岗岩形成于贺根山洋关闭后的后碰撞伸展环境; 细粒黑云母花岗岩和似斑状钾长花岗岩则形成于板内伸展环境, 为同源岩浆演化不同阶段的产物。

(3) 采自变泥质粉砂岩和似斑状花岗岩中的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为  $(163.4 \pm 2.4)\text{Ma}$ ~ $(166.6 \pm 2.4)\text{Ma}$ , 在误差范围内, 与似斑状钾长花岗岩的年龄一致。加之似斑状钾长花岗岩富含主要成矿元素

Pb、Zn, 表明其与成矿存在成因联系, 似斑状花岗岩可能是成矿母岩。

## 参考文献(References):

- [1] 童英, 洪大卫, 王涛, 等. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义[J]. 地球学报, 2010, 31(3):395-412.  
Tong Ying, Hong Dawei, Wang tao, et al. Spatial and temporal distribution of granitoids in the middle segment of the Sino-Mongolian border and its tectonic and metallogenic implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31 (3):395-412 (in Chinese with English abstract).
- [2] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2):176-189.  
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, et al. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring areas [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2): 176-189(in Chinese with English abstract).
- [3] 王守光, 黄占起, 苏新旭, 等. 一条值得重视的跨国成矿带——南戈壁—东乌旗铜多金属成矿带 [J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 249-255.  
Wang Shouguang, Huang Zhanqi, Su Xinxu, et al. A notable metallogenic belt striding across the border between China and Mongolia—south gobi—Dongwuqi copper polymetallic metallogenic belt[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1):249-255 (in Chinese with English abstract).
- [4] 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 等. 中蒙边境沙麦—玉古兹尔地区钨和钼(钼)矿床地质特征, 形成时代和成因机理[J]. 地球学报, 2010, 31(3):383-394.  
Nie Fengjun, Hu Peng, Jiang Sihong, et al. Geological features, geochronology and origin of the tungsten and tungsten (molybdenum) deposits in the Shamai-yuguzer mineralization concentrated camp along the Sino-Mongolian border [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):383-354(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 内蒙古苏尼特左旗准苏吉花钼矿床成岩成矿年代学及其地质意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(1):119-128.  
Liu Yifei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. Geochronology of Zhunsujihua molybdenum deposit in Sonid Left Banner, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(1):119-128(in Chinese with English abstract).
- [6] 陶继雄, 王毅, 陈郑辉, 等. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼铜多金属矿床辉钼矿铼-钼同位素定年及其地质特征 [J]. 岩矿测试, 2009, 28(3):249-253.  
Tao Jixiong, Wang Tao, Chen Zhenghui, et al. The Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Wulandele molybdenum copper polymetallic deposit in Sonid Zuoqi of Inner Mongolia and its geological significance [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(3):249-253(in Chinese with English abstract).

- [7] 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 1994, 68(3):219-230.  
Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, et al. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68 (3):219-230 (in Chinese with English abstract).
- [8] 金岩, 刘玉堂, 谢玉玲. 内蒙东乌旗地区岩浆活动与多金属成矿的关系[J]. 华南地质与矿产, 2005, 1:8-12.  
Jin Yan, Liu Yutang, Xie Yuling. Relationship between magmatism and polymetal mineralization in Dongwuqi area, Inner Mongolia[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 1:8-12.
- [9] 张冰. 内蒙古东乌旗朝不楞地区地质构造演化[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2010:1-56.  
Zhang bing. Tectonic Evolution of Chaobulen area in Dong Ujimuqin, inner Mogolia [D]. China University of Geosciences(A Dissertation for Master Degree) 2010:1-56 (in Chinese with English abstract).
- [10] Liu Yongsheng, Hua Zhaochu, Gao Shan, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 2008, 257(1/2):34-43.
- [11] Ludwig K R. User's manual for Isoplot/Ex version 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Geochronology Center Special Publication; No.4, 2003:70.
- [12] M Wiedenbeck, P Alle, F Corfu, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19:1-23.
- [13] 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地质前缘, 2004, 11(3):33-42.  
Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, et al. Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3):33-42(in Chinese with English abstract).
- [14] Griffina W L, Belousova E A, Shee S R, et al. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton:U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. Precambrian Research, 2004, 131(3-4):231-282.
- [15] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts:Implications for mantle composition and processes [C] // Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. London Spe. Pub., 1989, 42:313-345.
- [16] 侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 等. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. 地质学报, 2001, 75(4):484-497.  
Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Zhou Jirong, et al. Collision - orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang region:record of granites [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (4):484-497 (in Chinese with English abstract).
- [17] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 2000, 328(1/2):157-182.
- [18] 陈斌, 赵国春, Simon Wilde. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 2001, 47(4):361-367.  
Chen Bin, Zhao Guochun, Simon Wilde. Subduction - and Collision - related granitoids from Southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic ages and tectonic implications [J]. Geological Review, 2001, 47(4):361-367(in Chinese with English abstract).
- [19] 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 内蒙古白音高勒地区石炭纪石英闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1):15-23.  
Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of a carboniferous quartz diorite in Baiyingaole area, Inner Mongolia and its implications [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37 (1):15-23 (in Chinese with English abstract).
- [20] 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗质岩石锆石 SHRIMP-U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(5):790-798.  
Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granitoids in a Late Paleozoic rift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications [J]. Geology in China, 2007, 34(5):790-798(in Chinese with English abstract).
- [21] 张万益. 内蒙古东乌珠穆沁旗岩浆活动与金属成矿作用 [D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2008:1-170.  
Zhang Wanyi. Magmatic Activity and Metallogeny of Dong U, jimqin Banner Inner Mongolia[D]. Chinese Academy of Geological Sciences (A Dissertation for Doctoral Degree), 2008:1-170 (in Chinese with English abstract).
- [22] 刘建峰, 迟效国, 张兴洲, 等. 内蒙古西乌旗南部石炭纪石英闪长岩地球化学特征及其构造意义 [J]. 地质学报, 2009, 83(3):365-376.  
Liu Jianfeng, Chi Xiaoguo, Zhang Xingzhou, et al. Geochemical characteristic of carboniferous quartz -diorite in the southern Xiwuqi area, Inner Mongolia and its tectonic significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (3):365-376 (in Chinese with English abstract).
- [23] 程银行, 滕学建, 辛后田, 等. 内蒙古东乌旗狼麦温都尔花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(3):323-334.  
Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Xin Houtian, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Mahonondor area, East Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2012, 31(3):323-334(in Chinese with English abstract).
- [24] Tang Kedong. Tectonic development of the Paleozoic foldbelts on the northern margin of the Sino-Korean craton [J]. Tectonics, 1990, 9:249-260.
- [25] 唐克东, 张允平. 内蒙古缝合带的构造演化[C].//肖序常, 汤耀庆主编. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京:北京科学技术出版社, 1991:30-54.  
Tang Kedong, Zhang Yunping. Tectonic evolution of the Inner

- Mongolia suture [C]// Xiao Xuchang, Tang Yaoqing (eds.). Tectonic evolution of the southern margin of the Paleo-Asian composite megasuture. Beijing:Scientific and Technical Publishing House, 1991:30-54 (in Chinese).
- [26] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京, 地质出版社, 1991:1-725.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous region [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1991:1-725.
- [27] 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化 [C] //肖序常, 汤耀庆主编. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京:北京科学技术出版社, 1991:1-29.
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi. On tectonic evolution of the southern margin of the Paleasian composite megasuture zone [C] // Xiao Xuchang, Tang Yaoqing (eds.). Tectonic Evolution of the Southern Margin of the Paleo-Asian Composite Megsuture. Beijing:Scientific and Technical Publishing House, 1991:1-29(in Chinese).
- [28] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京:北京大学出版社, 1991:1-136.
- Shao Ji'an. Crustal Evolution in the Middle Part of the Northern Margin of the Sino-Korean Plate [M]. Beijing:Peking University Press, 1991:1-136(in Chinese with English abstract).
- [29] 张臣, 李茂松. 内蒙古苏左旗地区晚古生代构造-岩浆活动及地壳演化特征[J]. 高校地质学报, 1997, 3(1):31-39.
- Zhang Chen, Li Maosong. The features of late Paleozoic tectonomagmatic activity and crustal revolution in the southern Suzuoqi area [J]. Geological Journal of China Universities, 1997, 3(1):31-39 (in Chinese with English abstract).
- [30] Hsu K J, Wang Q C, LI L, et al. Geological evolution of the Neimonides:a working hypothesis [J]. Eclogae Geol. Helv., 1991, 84:1-35.
- [31] 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造 [M]. 北京:北京大学出版社, 1991:1-151.
- Wang Quan, Liu Xueya, Li Jinyi. Plate tectonic between Cathaysia and Angara [M]. Beijing:Peking University Press, 1991:1-151 (in Chinese with English abstract).
- [32] Chen Bin, Jahn Borming, Tian Wei. Evolution of the Solonker suture zone:Constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction and collision-related magmas and forearc sediments[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34:245-257.
- [33] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报, 2007, 23(3):565-582.
- Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. Shuangjingzi Middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(3):565-582(in Chinese with English abstract).
- [34] Miao Laicheng, Fan Weiming, Liu Dunyi, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32:348-370.
- [35] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids:implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), 2009, 98:1189-1217.
- [36] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19:120-125.
- [37] 王东方, 权恒. 大兴安岭中生代构造岩浆作用[J]. 地球科学, 1984, 3(26):81-90.
- Wang Dongfang, Quan Heng. Mesozoic tectonic-magmatism in Daxinganling, China [J]. Earth Science, 1984, 3(26):81-90 (in Chinese with English abstract).
- [38] 聂凤军, 张万益, 杜安道, 等. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义 [J]. 地球学报, 2007, 28(4):315-323.
- Nie Fengjun, Zhang Wanyi, Du Andao, et al. Re-os isotopic age dating of molybdenite separates from the Chaobuleng skarn iron-polymetallic deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(4):315-323 (in Chinese with English abstract).
- [39] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向[M]. 北京:地质出版社, 2007:1-574.
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, et al. Metallogenic Studies and Prospecting Orientation in Central and Eastern Segments along China Mongolia Border[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007:1-574(in Chinese).

## Geochemical characteristics of granites in the Suonaga Pb–Zn–Ag deposit of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia, and their tectonic and ore-forming implications

LIANG Yu-wei<sup>1</sup>, YU Cun-lin<sup>2</sup>, SHEN Guo-zhen<sup>3</sup>, SUN Qing-ru<sup>1</sup>, LI Jin-wen<sup>4</sup>,  
YANG Yun-Cheng<sup>4</sup>, SHE Hong-quan<sup>4</sup>, ZHANG Bin<sup>4</sup>, TAN Gang<sup>4</sup>

(1. No. 1 Institute of Geology and Mineral Resources Development, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China;

2. Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China;

3. No. 9 Institute of Geology and Mineral Resources Development, Xilin Hot 026000, Inner Mongolia, China; 4. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The ore-bearing pluton in the Suonaga Pb–Zn–Ag deposit is composed of medium-coarse-grained granite, fine-grained biotite granite and pseudoporphyratic K-feldspar granite. The zircon U–Pb dating results show that the medium-coarse-grained granite was formed at  $319.6 \pm 4.1$  Ma, the fine-grained biotite granite was formed at  $172.5 \pm 1.4$  Ma, and the pseudoporphyratic K-feldspar granite was formed at  $165.5 \pm 1.8$  Ma. The petrogeochemistry of the three rock bodies is characterized by high K, rich alkali and poor magnesium, so they all belong to calcium-basic, quasi-aluminous to weakly peraluminous and highly-differentiated rocks. All of the granites have high REE and negative Eu anomalies, exhibiting relative enrichment of LREE. These rock bodies belong to S-type granites, because they are enriched in U and Th and their Rb/Sr ratios are higher than those of the crustal source. Regional geology and granite geochemistry indicate that the medium-coarse-grained granite was formed in a post-collisional extensional environment in Late Carboniferous; the Middle Jurassic fine-grained biotite granite and pseudoporphyratic K-feldspar granite were formed in an intraplate extensional environment, and they were products of different evolutionary stages of a comagmatic region. The pseudoporphyratic K-feldspar granite was probably the ore-forming parent rock, because its diagenetic age is consistent with the molybdenite Re–Os ages ( $163.4 \pm 2.4$  Ma to  $166.6 \pm 2.4$  Ma) and the rocks are enriched in metallogenic elements Pb and Zn.

**Key words:** granite; age of the rock; geochemistry; tectonic setting; mineralization; Dong Ujimqin Banner in Inner Mongolia

---

**About the first author:** LIANG Yu-wei, male, born in 1964, senior engineer, mainly engages in geological study and mineral resources survey; E-mail: xizhongnm@sina.com.