

田京, 李进文, 王润和, 等. 内蒙古额仁陶勒盖地区侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地球化学特征[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1092-1107.  
Tian Jing, Li Jinwen, WANG Runhe, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages and geochemical features of intrusions in Erentaolegai area of Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1092-1107 (in Chinese with English abstract).

## 内蒙古额仁陶勒盖地区侵入岩LA-ICP-MS 锆石U-Pb年龄及地球化学特征

田京<sup>1,2</sup> 李进文<sup>1</sup> 王润和<sup>3</sup> 刘文<sup>2</sup> 向安平<sup>1</sup> 康永建<sup>1</sup> 郭志军<sup>1</sup> 董旭舟<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;  
3. 内蒙古地质矿产勘查院, 内蒙古呼和浩特 010011)

**摘要:**额仁陶勒盖银矿床是中国内蒙古地区一个大型浅成低温热液型银矿床。通过对矿区石英斑岩、石英二长岩、黑云母正长花岗岩及细粒花岗岩等侵入岩进行了年代学及地球化学研究。LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄结果表明, 4件侵入岩样品的锆石U-Pb年龄分别为(285.4±1.9) Ma、(294.3±0.6) Ma、(287.0±1.2) Ma及(243.9±1.6) Ma, 表明矿区主要侵入岩形成于2个时期, 即海西晚期与印支期。前3者的年龄表明其均为海西晚期岩浆演化产物, 其地球化学特征显示, 亏损Ba、Nb、Sr、Zr、Ti等大离子不相容元素, 显著富集K, 亏损Ta, 弱的负Eu异常, (Y+Nb)-Rb和Yb-Ta花岗岩构造环境判别图上均显示为弧花岗岩, 且为过铝质S型花岗岩; 结合区域构造演化认为其形成受古亚洲洋闭合的影响, 形成于同碰撞构造环境。细粒花岗岩的锆石U-Pb年龄为(243.9±1.6) Ma, 表明其为印支期岩浆演化的产物, 其地球化学特征显示, 同样亏损Ba、Nb、Sr、Zr、Ti等大离子不相容元素, 显著富集K, 亏损Ta, 弱的负Eu异常, (Y+Nb)-Rb和Yb-Ta花岗岩构造环境判别图上显示为弧花岗岩, 且为过铝质S型花岗岩; 结合区域构造演化认为其形成受蒙古-鄂霍茨克洋陆内俯冲作用的影响, 形成于火山弧构造环境。依据前人研究成果, 矿区赋矿围岩为中侏罗统塔木兰沟组火山岩, 其<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar等时线年龄为(162.6±0.7) Ma, 说明本次所采集的侵入岩与矿床的形成均无成因联系。

**关键词:**侵入岩; 锆石U-Pb; LA-ICP-MS; 地球化学; 构造背景; 额仁陶勒盖地区; 内蒙古

**中图分类号:** P597.3; P588.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)04-1092-16

### 1 引言

额仁陶勒盖银矿床位于额尔古纳地块西南端的新巴尔虎右旗境内, 夹持于北侧的蒙古-鄂霍茨克缝合带与南侧的得尔布干断裂之间(图1-a)。在古生代期间, 该区经历了多个微陆块<sup>[1-2]</sup>的俯冲、碰撞和拼贴<sup>[3-5]</sup>; 古生代—中生代期间, 依次经历了古亚洲洋构造域、蒙古-鄂霍茨克构造域和太平洋构造

域的演化与多重影响<sup>[6-7]</sup>, 地质构造较为复杂。自1990年以来, 有众多地质学者对额仁陶勒盖银矿床的地质特征<sup>[8]</sup>、矿物学特征<sup>[9-14]</sup>、矿床地球化学<sup>[15-18]</sup>、成矿流体特征<sup>[19-20]</sup>及矿床成因等进行了广泛研究。但鲜见有关矿区内侵入岩的报道。本文对矿区侵入岩进行了岩相学、LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地球化学研究, 旨在查明矿区侵入岩形成时代, 并探讨形成的构造环境。同时了解与金属成矿的关系,

收稿日期: 2014-05-19; 改回日期: 2014-06-21

基金项目: 科技部973项目(2013CB428805)和中国地质调查局地质调查项目(1212011085260、科[2013]01-042-003)联合资助。

作者简介: 田京, 女, 1989年生, 硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: tianjingxy@126.com。

通讯作者: 李进文, 男, 1964年生, 研究员, 研究生导师, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: lijnwen958@sohu.com。

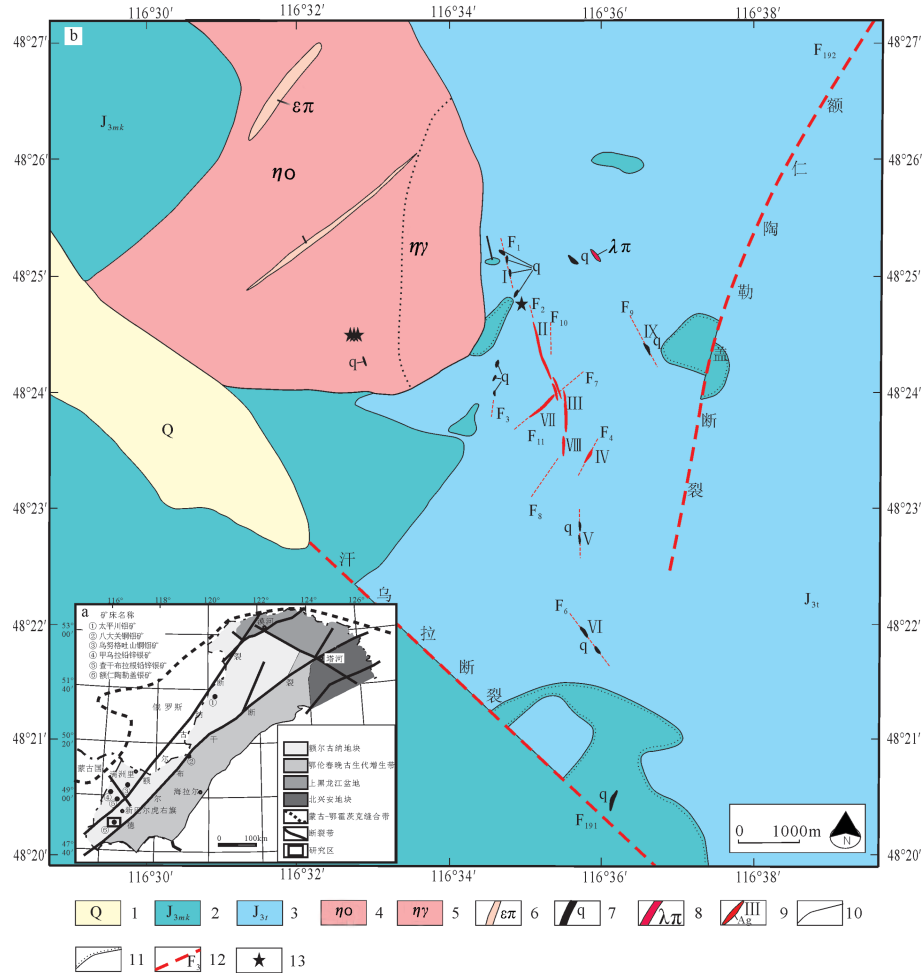


图1 额仁陶勒盖地区地质简图(图a据文献[22]修改,图b据资料①修改)

1—第四系残坡积物;2—满克头鄂博组酸性火山岩;3—塔木兰沟组中基性火山岩;4—石英二长岩;5—黑云母正长花岗岩;6—石英长石斑岩;  
7—石英脉;8—石英斑岩;9—矿带及其编号;10—地质界线;11—不整合地质界线;12—断层及编号;13—采样位置

Fig. 2 Geological sketch map of Erentaolegai area (Fig. a modified after reference [22], Fig. b modified after reference ①)

1—Quaternary residual deposit; 2—Manketouebo Formation acid volcanic rocks; 3—Tamulangou Formation intermediate-basic volcanic rocks;  
4—Quartz monzonite; 5—Biotite syenogranite; 6—Quartz feldspar porphyry; 7—Quartz vein; 8—Quartz porphyry; 9—Ore belt and its serial number;  
10—Geological boundary; 11—Unconformity; 12—Fault and its serial number; 13— Sampling location

丰富对大兴安岭中北部地区岩浆侵入活动与构造演化的认识。

## 2 地质概况

矿区地处满洲里—克鲁伦火山盆地中生代侵入岩—火山岩隆起区<sup>[21]</sup>,夹持于区域性大断裂——呼伦湖西—额尔古纳河断裂与得尔布干断裂之间。

矿区出露地层(图1-b)主要有:古生界二叠系下统高家窝棚组( $P_1g$ ),主要岩性为变质安山岩、变质含砾晶屑凝灰岩、阳起石片岩、千枚状绢云母化

板岩及变质砂砾岩,在矿区东部及南东部少量分布;中生界侏罗系中统南平组( $J_2n$ ),主要岩性为凝灰质砂砾岩、砂岩及粉砂岩,分布面积很小,多在矿区南西部;中生界侏罗系中统塔木兰沟组( $J_3t$ ),主要岩性为玄武安山岩、安山岩等中基性火山岩,在矿区从北向南广泛出露,是矿区出露主要地层;中生界侏罗系上统满克头鄂博组( $J_3m$ ),主要岩性为凝灰岩、流纹岩等酸性火山岩,在矿区零星分布;中生界白垩系下统大磨拐河组( $K_1d$ ),主要岩性为深灰色砂砾岩、粉砂岩、泥岩,主要分布于矿区南西部;新

①李元昆, 马清国, 薛艳丽. 内蒙古自治区新巴尔虎右旗额仁陶勒盖矿区Ⅲ~Ⅸ矿段银矿详查报告[R]. 内蒙古金山矿业有限公司, 2007.

生界古近系呼查山组(N<sub>1</sub>h),由1套河流湖泊交互杂色砂砾岩、泥岩组成,分布在矿区南部;新生界上统五叉沟组(N<sub>2</sub>w),主要岩性为气孔状、杏仁状玄武岩,分布在矿区南西部<sup>①</sup>。

矿区以断裂构造较为发育。断裂以NE向和NW向为主,为矿区控矿构造,严格控制着银矿体的空间分布(图1-b)。

侵入岩主要呈岩基状分布于矿区西北部,为一多期侵入作用形成的不规则状杂岩体(图1-b)。该岩体覆盖强烈,经浅钻和浅井工程揭露,确认其主要岩石类型有石英二长岩、黑云母正长花岗岩、细粒花岗岩、石英长石斑岩及石英斑岩。其中,石英二长岩与黑云母正长花岗岩分布面积最大,两者可能呈渐变关系,而石英二长斑岩呈脉状产于前二者中;细粒花岗岩、石英斑岩隐伏产于黑云母正长花岗岩和石英二长岩中。此外,侏罗纪火山岩中还有少量零星分布、呈脉状产出的石英斑岩。

### 3 样品采集及其岩相学特征

本次侵入岩样品均采集于杂岩体内及其东南部地区。具体采样位置见图1。

石英斑岩样品(样号:ER10401)采于钻孔ZK10401(钻孔位置:N 48°24'46",E 116°34'57")孔深46.5 m处。岩石呈灰黄色、灰白色,块状构造,斑状结构。斑晶含量8%~10%,主要为石英斑晶,其次为少量长石斑晶(图2-a、b)。石英斑晶多呈浑圆状、不规则状,粒径为1~3 mm,具明显熔蚀现象,占斑晶含量的90%以上,斜长石斑晶呈板状,具强绢云母化蚀变,占斑晶含量的8%左右,长轴长为1~3 mm,碱性长石斑晶多具泥化蚀变,表面呈土褐色,占斑晶含量的2%以下,粒径为1~2 mm;基质为隐晶质,含量90%~92%。

石英二长岩样品(样号:ER84003)采于钻孔QZ84003(N 48°24'30",E 116°32'43")孔深16 m处。岩石呈浅砖红色、灰红色,块状构造,二长结构。主要矿物为斜长石、碱性长石、石英及少量角闪石(图2-c、d)。斜长石呈板状、板柱状,含量50%~52%,长轴为1~3 mm,发育聚片双晶纹(图2-e);碱性长石呈半自形-他形板状,含量28%~30%,长轴为1~4 mm,可见自形程度较高的斜长石镶嵌于碱

性长石晶体中;角闪石呈褐色、褐绿色,菱形、粒状,含量10%~12%,粒径为1~2 mm;石英呈他形粒状分布于长石颗粒间(图2-f),粒径较小,含量8%~10%。

细粒花岗岩样品(样号:ER84007)采于钻孔QZ84007(N 48°24'30",E 116°32'49")孔深12.8 m。岩石呈灰白色、浅粉红色,块状构造,细粒结构。主要矿物为石英、斜长石、碱性长石、白云母及磁铁矿(图2-g、h)。其中石英呈他形粒状,含量40%~45%,粒径多小于1 mm;斜长石呈自形板状、板柱状,含量30%~35%,长轴长为1~2 mm,多具强绢云母化蚀变;正长石呈半自形板柱状,含量8%~10%,长轴长多小于1 mm;白云母呈片状、叶片状,含量12%~15%,粒度均小于1 mm;磁铁矿呈他形粒状,含量2%~3%,粒度小于1 mm,零星分布(图2-i)。

黑云母正长花岗岩样品(样号:ER840011)采于钻孔QZ840011(N 48°24'30",E 116°32'46")孔深23.4 m处。岩石呈浅粉色,块状构造,花岗结构。主要矿物为石英、碱性长石、斜长石及黑云母(图2-j)。其中石英呈他形粒状,多分布于长石颗粒间隙,含量20%~25%,粒径为2~5 mm;碱性长石呈半自形板柱状,含量35%~38%,粒径为2~7 mm,晶型较好(图2-k);斜长石呈自形-半自形板状(图2-l),含量25%~30%,粒径为2~4 mm,黑云母呈片状,含量5%~8%,粒径为2~4 mm。

### 4 样品及测定分析方法

样品破碎和锆石分选工作由廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成。锆石颗粒阴极发光图像(CL)和制靶由北京锆年领航科技有限公司完成。原岩样品破碎成能够通过80~100目筛网的粉末后,经人工淘洗后去除轻矿物部分,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石试样,再在双目镜下挑选出晶型较为完整的锆石晶体。然后将分选出的纯净锆石颗粒和标样同置于环氧树脂中制成靶,并打磨抛光使锆石中心部位暴露出来。对样品靶上的锆石进行透射光、反射光照相,选出晶体特征较好的锆石进行阴极发光(CL)研究,以查明锆石内部生长层的分布和结构。

LA-ICP-MS的锆石U-Pb同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所国家重点实验室进

①李元昆,马清国,薛艳丽.内蒙古自治区新巴尔虎右旗额仁陶勒盖矿区Ⅲ~Ⅸ矿段银矿详查报告[R].内蒙古金山矿业有限公司,2007.



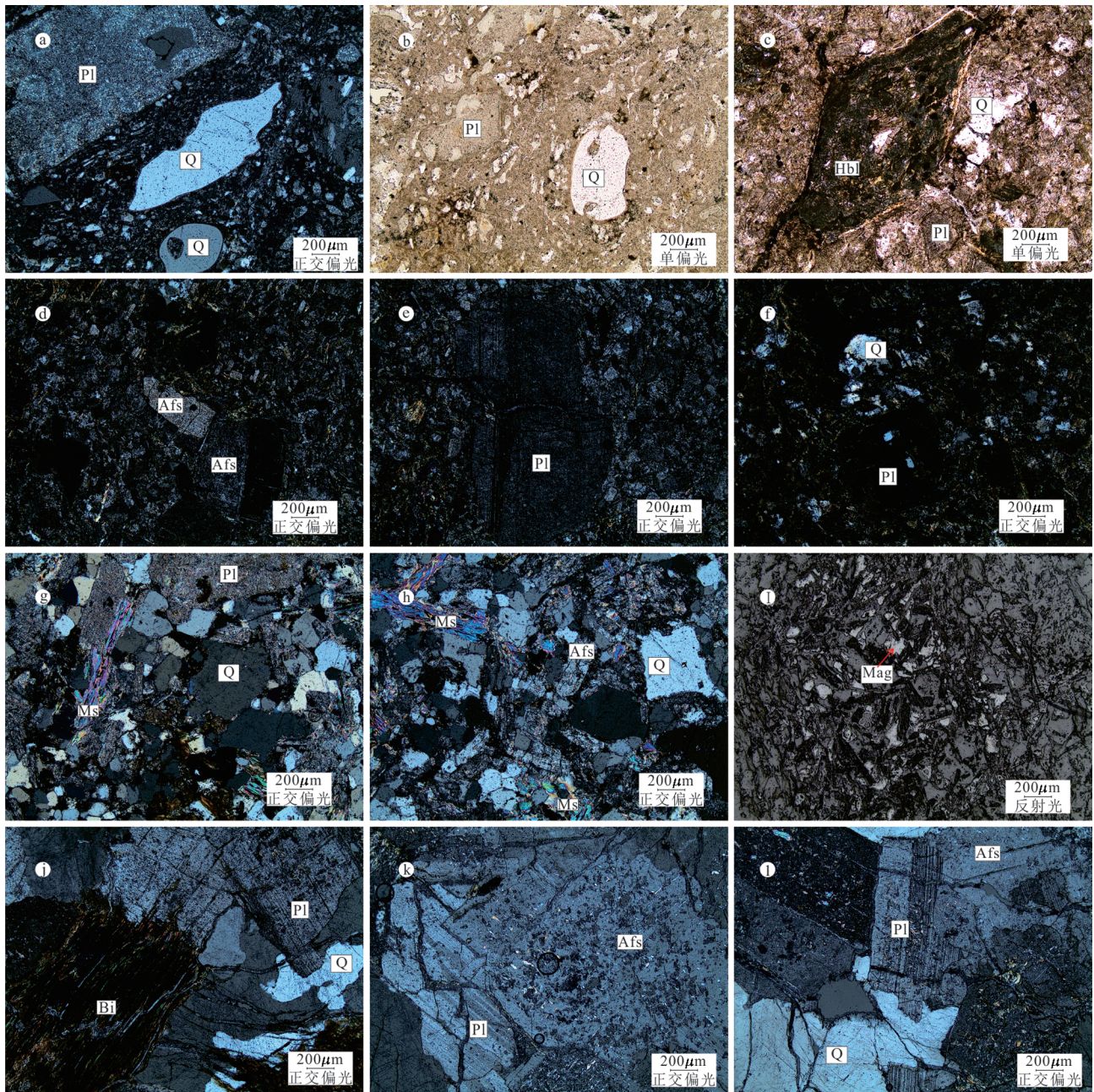


图2 额仁陶勒盖地区侵入岩显微镜下照片

a, b—石英斑岩(ER10401); c-f—石英二长岩(ER84003); g-i—细粒花岗岩(ER84007); j-l—黑云母正长花岗岩(ER840011)

Q—石英; Afs—碱性长石; Pl—斜长石; Hbl—角闪石; Ms—白云母; Bi—黑云母; Mag—磁铁矿

Fig.2 Microscope photos of intrusive rocks from Erentaolegai area

a, b—Quartz porphyry (ER10401); c-f—Quartz monzonite (ER84003); g-i—Fine-grained granite (ER84007); j-l—Biotite syenogranite (ER840011)

Q—Quartz; Afs—Alkali-feldspar; Pl—Plagioclase; Hbl—Hornblende; Ms—Muscovite; Bi—Biotite; Mag—Magnetite

行。分析使用的激光仪器为 Thermo Finnigan Neptune 型及与之配套的 Newwave UP213 激光剥蚀系统,激光剥蚀系统能产生 213 nm 的紫外激光。激光剥蚀光斑的直径为 25 μm,激光频率为 10 Hz,能

量密度约为 2.5 J/cm<sup>2</sup>,以 He 为载气。样品处理、详细测定流程与数据处理见侯可军等<sup>[23-27]</sup>。

侵入岩主量、微量和稀土元素分析测定在核工业北京地质研究院分析测定研究中心完成。主量



元素采用X射线荧光光谱法(XRF)测定,检测下限为0.01%(FeO为0.05%);微量和稀土元素使用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法测定,检测下限为 $0.05 \times 10^{-6}$ 。

## 5 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定结果

样品(ER84003)的锆石为无色透明,主要呈半自形—自形短柱状、长柱状,粒径介于 $40 \sim 150 \mu\text{m}$ ,长宽比主要集中在 $1 \sim 4$ 。在阴极发光照片上(图3-a),具有明显岩浆锆石震荡环带,表明锆石为岩浆结晶形成;环带较为细密,可能与岩浆结晶时的温度有关,一般高温易形成较宽缓的环带,而低温易形成较为细密的环带<sup>[28-29]</sup>。其绝大部分测点的Th和U含量普遍较高,且变化范围较小,Th的平均值为 $431 \times 10^{-6}$ ;U的平均值为 $310 \times 10^{-6}$ ;Th/U比值变化范围为 $0.95 \sim 1.88$ ,平均比值为1.37,可见所有测点的Th/U比值远大于0.10,且Th与U的含量具有较好的相关性,反映岩浆成因锆石的特点<sup>[30-32]</sup>(表1)。样品ER84003选取了20个测试点,谐和度均大于90%(表1);其中有3个年龄数据显著较大(ER84003-

05、ER84003-10、ER84003-18),1个年龄偏小(ER84003-09),结合CL图像特征,年龄较大的可能为捕获锆石或继承锆石的结晶年龄,年龄较小的可能为后期热事件引起部分Pb丢失造成的;剩余16个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范围在 $(292.0 \pm 1.0) \sim (298.0 \pm 2.0)$  Ma,其加权平均年龄值为 $(294.3 \pm 0.6)$  Ma (MSWD=0.87),在U-Pb谐和图上,16个数据投影点落于谐和线或其附近(图4),表明锆石形成后U-Pb体系基本保持封闭。综上所述,样品ER84003锆石U-Pb年龄可代表本岩体侵位年龄,即石英二长岩的侵位年龄为 $(294.3 \pm 0.6)$  Ma。

样品ER840011的锆石为无色透明,主要呈自形程度较高的长柱状,个别呈短柱状,粒径介于 $70 \sim 120 \mu\text{m}$ ,长宽比主要集中在 $1 \sim 3$ 。在阴极发光照片上(图3-b),具有明显岩浆锆石震荡环带,表明锆石为岩浆结晶形成。其所有测点Th和U含量普遍较高,且变化范围较小,Th的平均值为 $380 \times 10^{-6}$ ;U的平均值为 $314 \times 10^{-6}$ ;Th/U比值变化范围为 $0.88 \sim 2.04$ ,平均比值为1.20,可见所有测点的Th/U比值远大于0.10,且Th与U的含量具有较好的相关性,反映岩浆成因锆石的特点<sup>[30-32]</sup>(表1)。样品

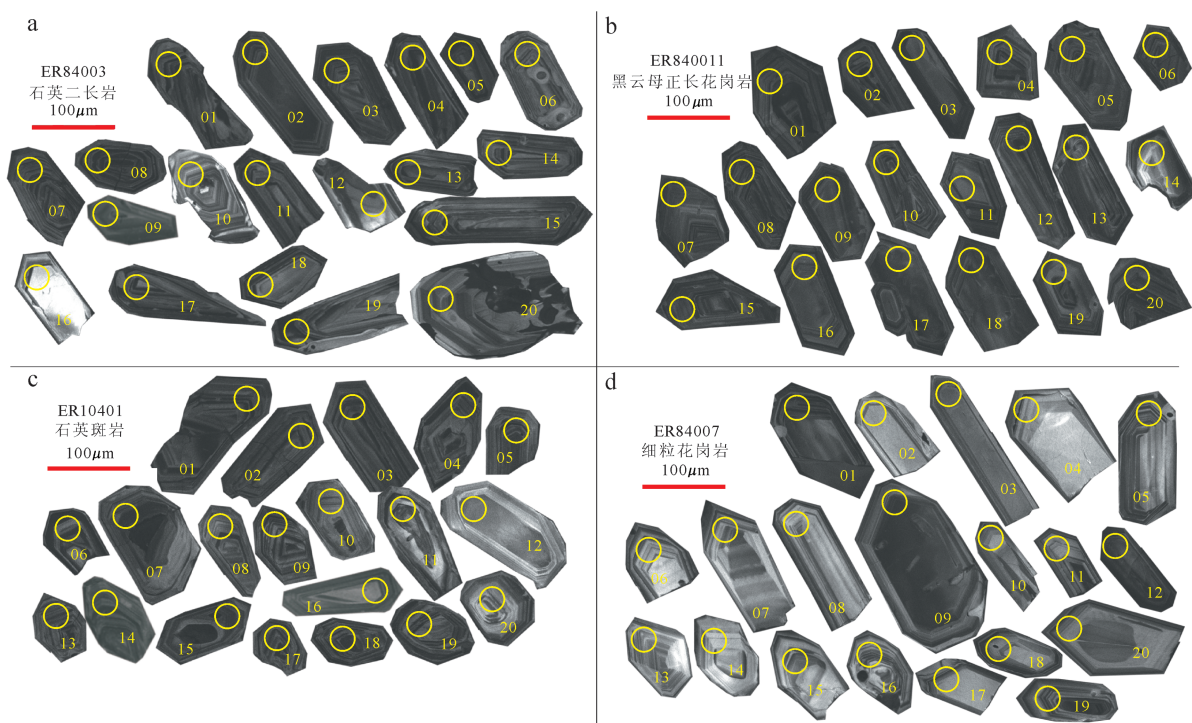


图3 额仁陶勒盖地区侵入岩锆石阴极发光图和测点号

Fig.3 CL images of zircon grains for intrusive rocks from Erentaolegai area and serial number of measuring points

表1 额仁陶勒盖地区侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测定结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopes analyses of intrusive rocks from Erentaolegai area

样品及测点号	含量/ $10^{-6}$			同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$ /Ma		
	Pb	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
ER84003-01	861	894	571	0.0540 $\pm$ 0.0010	0.3566 $\pm$ 0.0151	0.0469 $\pm$ 0.0007	372 $\pm$ 41	310 $\pm$ 11	296 $\pm$ 5
02	510	483	330	0.0524 $\pm$ 0.0004	0.3380 $\pm$ 0.0042	0.0467 $\pm$ 0.0003	306 $\pm$ 19	296 $\pm$ 3	294 $\pm$ 2
03	273	264	276	0.0529 $\pm$ 0.0003	0.3412 $\pm$ 0.0034	0.0468 $\pm$ 0.0004	324 $\pm$ 15	298 $\pm$ 3	295 $\pm$ 3
04	187	192	128	0.0540 $\pm$ 0.0012	0.3495 $\pm$ 0.0082	0.0469 $\pm$ 0.0005	372 $\pm$ 48	304 $\pm$ 6	296 $\pm$ 3
05	328	301	263	0.0529 $\pm$ 0.0004	0.3792 $\pm$ 0.0039	0.0520 $\pm$ 0.0004	324 $\pm$ 19	326 $\pm$ 3	327 $\pm$ 3
06	404	434	388	0.0522 $\pm$ 0.0003	0.3345 $\pm$ 0.0037	0.0465 $\pm$ 0.0005	295 $\pm$ 15	293 $\pm$ 3	293 $\pm$ 3
07	290	351	341	0.0540 $\pm$ 0.0010	0.3512 $\pm$ 0.0151	0.0468 $\pm$ 0.0011	369 $\pm$ 41	306 $\pm$ 11	295 $\pm$ 7
08	196	279	260	0.0526 $\pm$ 0.0006	0.3395 $\pm$ 0.0061	0.0466 $\pm$ 0.0004	309 $\pm$ 28	297 $\pm$ 5	294 $\pm$ 2
09	96	168	123	0.0513 $\pm$ 0.0007	0.2692 $\pm$ 0.0045	0.0038 $\pm$ 0.0003	254 $\pm$ 27	242 $\pm$ 4	241 $\pm$ 2
10	25	10	332	0.0597 $\pm$ 0.0002	0.7949 $\pm$ 0.0049	0.0966 $\pm$ 0.0004	594 $\pm$ 14	594 $\pm$ 3	594 $\pm$ 3
11	346	568	362	0.0520 $\pm$ 0.0006	0.3393 $\pm$ 0.0140	0.0467 $\pm$ 0.0011	287 $\pm$ 32	297 $\pm$ 11	294 $\pm$ 7
12	69	113	91	0.0524 $\pm$ 0.0006	0.3374 $\pm$ 0.0056	0.0465 $\pm$ 0.0003	302 $\pm$ 26	295 $\pm$ 4	293 $\pm$ 2
13	347	564	337	0.0525 $\pm$ 0.0002	0.3355 $\pm$ 0.0019	0.0464 $\pm$ 0.0002	306 $\pm$ 9	294 $\pm$ 1	292 $\pm$ 1
14	359	595	467	0.0517 $\pm$ 0.0002	0.3341 $\pm$ 0.0020	0.0469 $\pm$ 0.0002	333 $\pm$ 9	293 $\pm$ 2	295 $\pm$ 1
15	314	607	370	0.0530 $\pm$ 0.0007	0.3457 $\pm$ 0.0102	0.0469 $\pm$ 0.0007	328 $\pm$ 34	302 $\pm$ 8	296 $\pm$ 4
16	385	737	414	0.0526 $\pm$ 0.0004	0.3454 $\pm$ 0.0060	0.0473 $\pm$ 0.0004	322 $\pm$ 19	301 $\pm$ 5	298 $\pm$ 2
17	277	585	312	0.0534 $\pm$ 0.0010	0.3453 $\pm$ 0.0141	0.0465 $\pm$ 0.0010	346 $\pm$ 41	301 $\pm$ 11	293 $\pm$ 6
18	149	268	170	0.0537 $\pm$ 0.0015	0.3767 $\pm$ 0.0240	0.0492 $\pm$ 0.0011	367 $\pm$ 61	325 $\pm$ 18	309 $\pm$ 6
19	208	371	332	0.0532 $\pm$ 0.0006	0.3457 $\pm$ 0.0195	0.0467 $\pm$ 0.0021	339 $\pm$ 19	301 $\pm$ 15	294 $\pm$ 13
20	94	159	161	0.0522 $\pm$ 0.0005	0.3366 $\pm$ 0.0042	0.0468 $\pm$ 0.0003	300 $\pm$ 6	295 $\pm$ 3	295 $\pm$ 2
ER840011-01	919	781	617	0.0522 $\pm$ 0.0002	0.3255 $\pm$ 0.0021	0.0453 $\pm$ 0.0003	295 $\pm$ 7	286 $\pm$ 2	285 $\pm$ 2
02	796	689	459	0.0522 $\pm$ 0.0002	0.3265 $\pm$ 0.0021	0.0453 $\pm$ 0.0003	295 $\pm$ 9	287 $\pm$ 2	286 $\pm$ 2
03	328	286	298	0.0531 $\pm$ 0.0004	0.3346 $\pm$ 0.0029	0.0457 $\pm$ 0.0003	332 $\pm$ 17	293 $\pm$ 2	288 $\pm$ 2
04	347	302	327	0.0522 $\pm$ 0.0004	0.3278 $\pm$ 0.0037	0.0455 $\pm$ 0.0003	295 $\pm$ 15	288 $\pm$ 3	287 $\pm$ 2
05	407	376	324	0.0521 $\pm$ 0.0004	0.3233 $\pm$ 0.0048	0.0450 $\pm$ 0.0005	300 $\pm$ 19	284 $\pm$ 4	284 $\pm$ 3
06	245	258	247	0.0525 $\pm$ 0.0006	0.3315 $\pm$ 0.0052	0.0457 $\pm$ 0.0003	306 $\pm$ 26	291 $\pm$ 4	288 $\pm$ 2
07	168	212	233	0.0516 $\pm$ 0.0005	0.3260 $\pm$ 0.0056	0.0458 $\pm$ 0.0007	333 $\pm$ 16	287 $\pm$ 4	289 $\pm$ 4
08	449	539	434	0.0521 $\pm$ 0.0004	0.3247 $\pm$ 0.0040	0.0452 $\pm$ 0.0004	287 $\pm$ 14	286 $\pm$ 3	285 $\pm$ 2
09	105	158	171	0.0528 $\pm$ 0.0014	0.3346 $\pm$ 0.0117	0.0458 $\pm$ 0.0006	320 $\pm$ 64	293 $\pm$ 9	289 $\pm$ 3
10	238	350	256	0.0523 $\pm$ 0.0006	0.3326 $\pm$ 0.0078	0.0460 $\pm$ 0.0007	298 $\pm$ 26	292 $\pm$ 6	290 $\pm$ 5
11	255	349	316	0.0523 $\pm$ 0.0002	0.325 $\pm$ 0.0018	0.0451 $\pm$ 0.0002	298 $\pm$ 11	286 $\pm$ 1	284 $\pm$ 1
12	345	471	421	0.0521 $\pm$ 0.0005	0.3292 $\pm$ 0.0029	0.0458 $\pm$ 0.0002	300 $\pm$ 12	289 $\pm$ 2	289 $\pm$ 1
13	539	779	424	0.0525 $\pm$ 0.0005	0.3293 $\pm$ 0.0109	0.0453 $\pm$ 0.0011	306 $\pm$ 20	289 $\pm$ 8	286 $\pm$ 7
14	397	481	399	0.0516 $\pm$ 0.0002	0.3254 $\pm$ 0.0024	0.0457 $\pm$ 0.0003	333 $\pm$ 9	286 $\pm$ 2	288 $\pm$ 2
15	171	205	100	0.0548 $\pm$ 0.0008	0.3456 $\pm$ 0.0063	0.0457 $\pm$ 0.0003	467 $\pm$ 33	301 $\pm$ 5	288 $\pm$ 2
16	139	138	154	0.0545 $\pm$ 0.0015	0.3584 $\pm$ 0.0196	0.0472 $\pm$ 0.0014	391 $\pm$ 61	311 $\pm$ 15	297 $\pm$ 9
17	275	226	207	0.0553 $\pm$ 0.0008	0.4004 $\pm$ 0.0072	0.0524 $\pm$ 0.0003	433 $\pm$ 33	342 $\pm$ 5	329 $\pm$ 2
18	302	286	201	0.0523 $\pm$ 0.0009	0.3351 $\pm$ 0.0124	0.0457 $\pm$ 0.0006	298 $\pm$ 42	293 $\pm$ 9	288 $\pm$ 4
19	293	237	269	0.0548 $\pm$ 0.0005	0.3427 $\pm$ 0.0047	0.0453 $\pm$ 0.0004	467 $\pm$ 25	299 $\pm$ 4	286 $\pm$ 3
20	675	477	419	0.0551 $\pm$ 0.0015	0.3674 $\pm$ 0.0147	0.0478 $\pm$ 0.0006	417 $\pm$ 63	318 $\pm$ 11	301 $\pm$ 3



续表1

样品及测点号	含量/ $10^{-6}$			同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$ /Ma		
	Pb	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
ER10401-01	165	173	190	0.0534 $\pm$ 0.0028	0.3345 $\pm$ 0.0191	0.0454 $\pm$ 0.0005	346 $\pm$ 119	293 $\pm$ 15	286 $\pm$ 3
02	436	506	257	0.0550 $\pm$ 0.0008	0.4250 $\pm$ 0.0067	0.0560 $\pm$ 0.0003	413 $\pm$ 33	360 $\pm$ 5	351 $\pm$ 2
03	1209	643	612	0.1511 $\pm$ 0.0036	1.0711 $\pm$ 0.0339	0.0513 $\pm$ 0.0007	2358 $\pm$ 40	739 $\pm$ 17	323 $\pm$ 4
04	260	254	204	0.0562 $\pm$ 0.0006	0.4354 $\pm$ 0.0043	0.0562 $\pm$ 0.0003	461 $\pm$ 22	367 $\pm$ 3	352 $\pm$ 2
05	175	229	210	0.0524 $\pm$ 0.0009	0.3275 $\pm$ 0.0049	0.0454 $\pm$ 0.0004	302 $\pm$ 41	288 $\pm$ 4	286 $\pm$ 2
06	994	544	454	0.1520 $\pm$ 0.0028	0.9981 $\pm$ 0.0307	0.0475 $\pm$ 0.0010	2369 $\pm$ 30	703 $\pm$ 16	299 $\pm$ 6
07	205	213	135	0.0517 $\pm$ 0.0008	0.3221 $\pm$ 0.0051	0.0452 $\pm$ 0.0003	333 $\pm$ 35	283 $\pm$ 4	285 $\pm$ 2
08	395	427	378	0.0531 $\pm$ 0.0008	0.3299 $\pm$ 0.0043	0.0451 $\pm$ 0.0003	332 $\pm$ 35	290 $\pm$ 3	284 $\pm$ 2
09	678	708	496	0.0547 $\pm$ 0.0006	0.3429 $\pm$ 0.0042	0.0454 $\pm$ 0.0002	467 $\pm$ 29	299 $\pm$ 3	286 $\pm$ 2
10	251	289	325	0.0526 $\pm$ 0.0003	0.3277 $\pm$ 0.0050	0.0452 $\pm$ 0.0006	309 $\pm$ 15	288 $\pm$ 4	285 $\pm$ 3
11	303	454	292	0.0516 $\pm$ 0.0005	0.3268 $\pm$ 0.0090	0.0455 $\pm$ 0.0007	333 $\pm$ 22	287 $\pm$ 7	287 $\pm$ 4
12	106	185	90	0.0531 $\pm$ 0.0014	0.3372 $\pm$ 0.0156	0.0455 $\pm$ 0.0010	345 $\pm$ 57	295 $\pm$ 12	287 $\pm$ 6
13	443	793	497	0.0501 $\pm$ 0.0005	0.3149 $\pm$ 0.0086	0.0456 $\pm$ 0.0014	198 $\pm$ 31	278 $\pm$ 7	288 $\pm$ 8
14	477	866	636	0.0516 $\pm$ 0.0002	0.3218 $\pm$ 0.0025	0.0452 $\pm$ 0.0003	333 $\pm$ 11	283 $\pm$ 2	285 $\pm$ 2
15	177	210	168	0.1021 $\pm$ 0.0012	0.7770 $\pm$ 0.0138	0.0552 $\pm$ 0.0010	1663 $\pm$ 21	584 $\pm$ 8	347 $\pm$ 6
16	718	611	266	0.0529 $\pm$ 0.0003	0.3603 $\pm$ 0.0030	0.0494 $\pm$ 0.0004	324 $\pm$ 8	312 $\pm$ 2	311 $\pm$ 2
17	1022	669	494	0.0592 $\pm$ 0.0004	0.4020 $\pm$ 0.0042	0.0492 $\pm$ 0.0007	576 $\pm$ 15	343 $\pm$ 3	310 $\pm$ 4
18	1347	704	543	0.0520 $\pm$ 0.0004	0.3273 $\pm$ 0.0034	0.0456 $\pm$ 0.0004	287 $\pm$ 16	287 $\pm$ 3	288 $\pm$ 2
19	94	34	28	0.0558 $\pm$ 0.0021	0.4549 $\pm$ 0.0425	0.0584 $\pm$ 0.0036	443 $\pm$ 81	381 $\pm$ 30	366 $\pm$ 22
20	440	170	86	0.0548 $\pm$ 0.0009	0.3394 $\pm$ 0.0075	0.0449 $\pm$ 0.0005	467 $\pm$ 39	297 $\pm$ 6	283 $\pm$ 3
ER84007-01	158	262	231	0.0525 $\pm$ 0.0007	0.3453 $\pm$ 0.0092	0.0476 $\pm$ 0.0008	309 $\pm$ 32	301 $\pm$ 7	300 $\pm$ 5
02	62	124	76	0.0513 $\pm$ 0.0006	0.2714 $\pm$ 0.004	0.0384 $\pm$ 0.0002	254 $\pm$ 25	244 $\pm$ 3	243 $\pm$ 1
03	97	173	162	0.0525 $\pm$ 0.0006	0.2764 $\pm$ 0.0025	0.0384 $\pm$ 0.0004	306 $\pm$ 26	248 $\pm$ 2	243 $\pm$ 3
04	41	60	57	0.0513 $\pm$ 0.0007	0.2700 $\pm$ 0.0046	0.0382 $\pm$ 0.0003	254 $\pm$ 33	243 $\pm$ 4	241 $\pm$ 2
05	156	237	140	0.0530 $\pm$ 0.0014	0.2813 $\pm$ 0.0053	0.0386 $\pm$ 0.0004	328 $\pm$ 27	252 $\pm$ 4	244 $\pm$ 3
06	54	86	75	0.0530 $\pm$ 0.0009	0.2824 $\pm$ 0.0058	0.0386 $\pm$ 0.0004	328 $\pm$ 41	253 $\pm$ 5	244 $\pm$ 2
07	100	188	118	0.0511 $\pm$ 0.0012	0.2685 $\pm$ 0.0062	0.0381 $\pm$ 0.0003	256 $\pm$ 56	242 $\pm$ 5	241 $\pm$ 2
08	109	218	103	0.0516 $\pm$ 0.0015	0.2749 $\pm$ 0.0095	0.0387 $\pm$ 0.0009	333 $\pm$ 67	247 $\pm$ 8	245 $\pm$ 6
09	147	222	216	0.0539 $\pm$ 0.0012	0.3441 $\pm$ 0.0141	0.0459 $\pm$ 0.0009	369 $\pm$ 49	300 $\pm$ 11	289 $\pm$ 5
10	18	52	35	0.0528 $\pm$ 0.0023	0.2784 $\pm$ 0.0142	0.0381 $\pm$ 0.0006	320 $\pm$ 98	249 $\pm$ 11	241 $\pm$ 3
11	405	653	233	0.0535 $\pm$ 0.0010	0.2848 $\pm$ 0.0050	0.0386 $\pm$ 0.0003	350 $\pm$ 43	254 $\pm$ 4	244 $\pm$ 2
12	252	373	269	0.0533 $\pm$ 0.0006	0.3314 $\pm$ 0.0042	0.0451 $\pm$ 0.0003	343 $\pm$ 26	291 $\pm$ 3	284 $\pm$ 2
13	18	61	49	0.0532 $\pm$ 0.0021	0.2855 $\pm$ 0.0141	0.0388 $\pm$ 0.0006	339 $\pm$ 89	255 $\pm$ 11	245 $\pm$ 4
14	49	82	72	0.0517 $\pm$ 0.0007	0.2766 $\pm$ 0.0038	0.0388 $\pm$ 0.0002	272 $\pm$ 31	248 $\pm$ 3	246 $\pm$ 1
15	61	106	61	0.0535 $\pm$ 0.0009	0.2837 $\pm$ 0.0062	0.0387 $\pm$ 0.0008	350 $\pm$ 39	254 $\pm$ 5	245 $\pm$ 5
16	82	118	69	0.0535 $\pm$ 0.0021	0.2857 $\pm$ 0.0130	0.0386 $\pm$ 0.0004	350 $\pm$ 89	255 $\pm$ 10	244 $\pm$ 3
17	35	49	52	0.0051 $\pm$ 0.0016	0.2352 $\pm$ 0.0096	0.0334 $\pm$ 0.0005	239 $\pm$ 72	214 $\pm$ 8	212 $\pm$ 3
18	82	101	127	0.0528 $\pm$ 0.0007	0.3253 $\pm$ 0.0051	0.0447 $\pm$ 0.0003	317 $\pm$ 31	286 $\pm$ 4	282 $\pm$ 2
19	175	182	126	0.0536 $\pm$ 0.0004	0.3307 $\pm$ 0.0035	0.0448 $\pm$ 0.0005	354 $\pm$ 17	290 $\pm$ 3	283 $\pm$ 3
20	225	227	113	0.0538 $\pm$ 0.0009	0.2866 $\pm$ 0.0109	0.0386 $\pm$ 0.0012	365 $\pm$ 71	256 $\pm$ 9	244 $\pm$ 7

ER840011 选取了 20 个测试点, 谐和度均大于 90% (表 1); 其中有 2 个年龄数据显著较大 (ER8840011-17、ER840011-20), 结合 CL 图像特征, 可能为捕获锆石或继承锆石的结晶年龄; 剩余 18 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围在  $(284.0\pm 1.0)\sim(297.0\pm 9.0)$  Ma, 其加权平均年龄值为  $(287.0\pm 1.2)$  Ma (MSWD=5.2), 在 U-Pb 谐和图上, 18 个数据投影点落于谐和线或其附近 (图 4), 表明锆石形成后 U-Pb 体系基本保持封闭。综上所述, 样品 ER840011 的锆石 U-Pb 年龄可代表本岩体侵位年龄, 即黑云母正长花岗岩的侵位年龄为  $(287.0\pm 1.2)$  Ma。

样品 ER10401 的锆石为无色透明, 主要呈半自形—自形短柱状、长柱状, 粒径介于  $50\sim 100\ \mu\text{m}$ , 长宽比主要集中在 1~2。在阴极发光照片上 (图 3-c),

具有明显岩浆锆石震荡环带, 表明锆石为岩浆结晶形成。其所有测点的 Th 和 U 含量普遍较高, 且变化范围较小, Th 的平均值为  $434\times 10^{-6}$ ; U 的平均值为  $318\times 10^{-6}$ ; Th/U 比值变化范围为 0.89~2.30, 平均比值为 1.42, 可见所有测点的 Th/U 比值远大于 0.10, 且 Th 与 U 的含量具有较好的相关性, 反映岩浆成因锆石的特点<sup>[30-32]</sup> (表 1)。样品 ER10401 选取了 20 个测试点, 剔除掉谐和度小于 90% 的 5 个测试数据, 得到 15 个有效数据 (表 1); 其中有 4 个年龄数据显著较大 (ER10401-02、ER10401-04、ER10401-16、ER10401-19), 结合 CL 图像特征, 可能为捕获锆石或继承锆石的结晶年龄; 剩余 11 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围在  $(283.0\pm 3.0)\sim(288.0\pm 2.0)$  Ma, 其加权平均年龄值为  $(285.4\pm 1.9)$  Ma (MSWD=4.6), 在 U-Pb

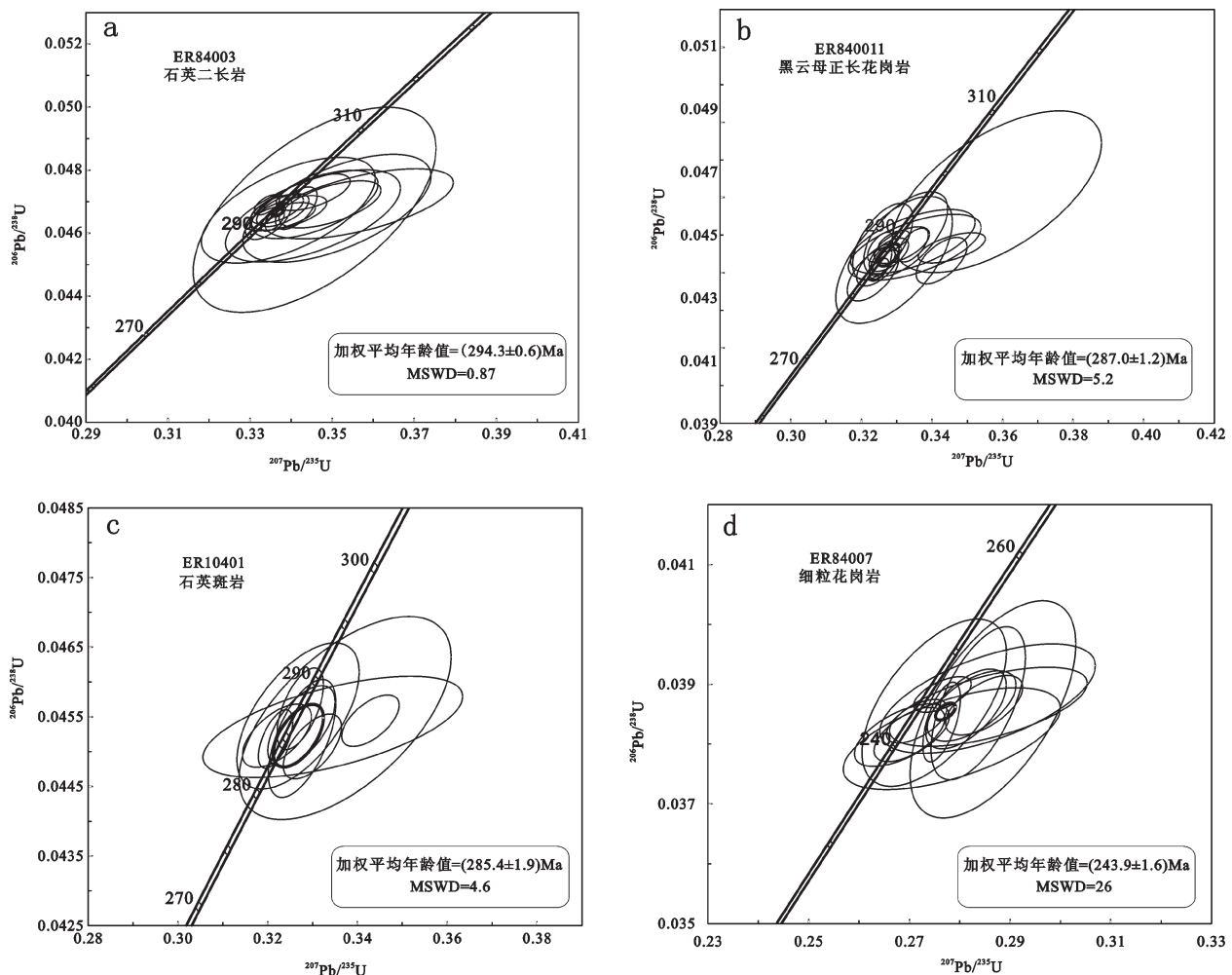


图 4 额仁陶勒盖地区侵入岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig.4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia plot of intrusive rocks from Erentaolegai area



谐和图上, 11个数据投影点落于谐和线或其附近(图4), 表明锆石形成后U-Pb体系基本保持封闭。综上所述, 样品ER10401的锆石U-Pb年龄可代表本岩体侵位年龄, 即石英斑岩的侵位年龄为(285.4±1.9) Ma。

样品ER84007的锆石为无色透明, 主要呈自形程度较好的长柱状, 个别呈短柱状, 粒径介于40~150 μm, 长宽比主要集中在1~4。在阴极发光照片上(图3-d), 具有明显岩浆锆石震荡环带, 表明锆石为岩浆结晶形成。其所有测点的Th和U含量普遍略高, 且变化范围较小, Th的平均值为 $186 \times 10^{-6}$ ; U的平均值为 $123 \times 10^{-6}$ ; Th/U比值变化范围为0.80~2.80, 平均比值为1.49, 可见所有测点的Th/U比值远大于0.10, 且Th与U的含量具有较好的相关性, 反映岩浆成因锆石的特点<sup>[30-32]</sup>(表1)。样品ER84007选取了20个测试点, 谐和度均大于90%(表1); 其中有5个年龄数据显著较大(ER84007-01、ER84007-09、ER84007-12、ER84007-18、ER84007-19), 1个年龄偏小(ER84007-17), 结合CL图像特征, 年龄较大的可能为捕获锆石或继承锆石的结晶年龄, 年龄较小的可能为后期热事件引起部分Pb丢失造成的; 剩余14个测点的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄范围在(241.0±2.0)~(246.0±1.0) Ma, 其加权平均年龄值为(243.9±1.6) Ma (MSWD=26), 在U-Pb谐和图上, 14个数据投影点落于谐和线或其附近(图4), 表明锆石形成后U-Pb体系基本保持封闭。综上所述, 样品(ER84007)的锆石U-Pb年龄可代表本岩体侵位年龄, 即细粒花岗岩的侵位年龄为(243.9±1.6) Ma。

## 6 地球化学特征

### 6.1 常量元素

在全碱-硅(TAS)分类图解(图5)中, 4种岩石样品分别分布于花岗闪长岩、花岗岩及石英二长岩区域, 与岩相学定名基本吻合。

根据岩石化学分析结果(表2), 石英二长岩、细粒花岗岩、黑云母正长花岗岩的SiO<sub>2</sub>含量为63.30%~69.36%; 而石英斑岩SiO<sub>2</sub>含量偏高, 为75.51%。4种岩石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量均较高, 为13.30%~16.25%, 铝饱和指数A/CNK值为1.63%~2.26%, 均大于1, 在A/CNK图解中, 所有样品的数据点均落入过铝质范围内, 主量元素上显示出过铝质S型花岗岩的特征。

不过, 细粒花岗岩样品的A/CNK值(2.26%)较高, 而投于图外。

石英二长岩具有高钾(K<sub>2</sub>O=4.30%)、富碱((K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)=8.15%)、贫钛和磷的特征, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.98, 里特曼指数σ=3.27; 细粒花岗岩具有高钾(K<sub>2</sub>O=4.11%)、低钙(CaO=0.33%)、富碱((K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)=6.87%)、贫镁、钛和磷的特征, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O大于1, 里特曼指数σ=1.79; 黑云母正长花岗岩具有富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.03%)、贫钙、钛和磷的特征, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O大于1, 里特曼指数σ=1.97; 石英斑岩具有富硅(SiO<sub>2</sub>=75.51%)、富碱((K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)=6.95%)、贫钠、钙和镁的特征, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O远大于1, 里特曼指数σ=1.49。在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O岩石系列判别图中, 石英二长岩投于钾玄岩-高钾钙碱性系列, 细粒花岗岩与黑云母正长花岗岩均投于高钾钙碱性系列, 石英斑岩则投于钾玄岩系列。

### 6.2 稀土和微量元素

如表2所示, 4种侵入岩稀土总量均较高, ΣREE为 $109.99 \times 10^{-6}$ ~ $151.81 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE为9.19~14.15, 表明轻稀土相对富集; (La/Yb)<sub>N</sub>值为8.79~16.51, 表明轻重稀土元素分馏程度较高。石英二长岩、细粒花岗岩及黑云母正长花岗岩的δEu值较高, 分别为0.95、0.77及0.74, 说明岩石具较弱的Eu负异常; 石英斑岩具明显铕亏损, 其δEu值为0.16, 表明岩石形成过程中经历明显的斜长石结晶分离作用影响。

在微量元素蛛网图上(图6), 4种侵入岩均不同程度亏损Ba、Sr、Ti等大离子不相容元素, 反映其经历了较为完全的分离结晶作用; 富集Rb与K, 同时亏损Nb、Ta、Y及Yb, 显示其以陆壳物质为岩浆来源; La/Nb值均大于1。在稀土配分型式图上(图7), 石英二长岩、细粒花岗岩及黑云母正长花岗岩具有相似的左陡右缓的平坦分布型式, 而石英斑岩则呈现出左陡右缓的“V”型分布型式。

## 7 讨论

### 7.1 岩体侵入活动特征及侵位时代

早期的矿区详查报告认为区内岩浆岩主要为燕山早期的花岗岩侵入岩。近年来, 对于矿区侵入岩活动基本持有2种看法: 一种观点认为矿区至少存在海西晚期、燕山期早期及燕山晚期3期岩浆

表 2 额仁陶勒盖地区侵入岩主量元素(%)、微量和稀土元素(10<sup>-6</sup>)化学成分

Table 2 Chemical compositions of major elements (%), trace elements and REE (10<sup>-6</sup>) of intrusive rocks from

Erentaolegai area

分析项目	石英二长岩	细粒花岗岩	黑云母正长花岗岩	石英斑岩	分析项目	石英二长岩	细粒花岗岩	黑云母正长花岗岩	石英斑岩
	ER84003	ER84007	ER840011	ER10401		ER84003	ER84007	ER840011	ER10401
SiO <sub>2</sub>	63.30	69.36	68.14	75.51	MgO	1.620	0.933	1.420	0.386
TiO <sub>2</sub>	0.685	0.492	0.629	0.111	CaO	1.740	0.330	0.647	0.111
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.16	16.25	15.07	13.30	Na <sub>2</sub> O	4.120	2.760	3.440	0.182
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.740	2.880	3.920	1.730	K <sub>2</sub> O	4.030	4.110	3.590	6.770
FeO	0.370	0.630	0.940	0.880	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.260	0.180	0.176	0.027
MnO	0.045	0.025	0.029	0.031	烧失量	3.180	2.570	2.830	1.760
Li	39.40	14.00	32.50	17.70	Pb	26.00	13.80	18.30	19.00
Be	3.860	2.720	2.630	3.020	Bi	0.158	0.274	0.337	0.245
Sc	10.60	4.860	8.080	1.950	Th	4.970	7.530	23.30	31.30
V	102.0	47.10	63.00	6.300	U	2.350	1.270	6.890	8.630
Cr	47.10	14.30	25.80	2.740	La	26.50	26.40	36.60	25.50
Co	21.50	7.490	11.60	1.020	Ce	53.30	63.90	66.10	47.00
Ni	47.80	15.40	17.70	3.380	Pr	6.750	6.350	7.150	5.400
Cu	34.90	29.90	33.20	7.260	Nd	27.30	23.60	25.70	17.90
Zn	86.40	71.10	53.00	30.20	Sm	4.840	3.790	4.310	3.240
Ga	20.60	17.70	18.50	18.60	Eu	1.380	0.890	0.975	0.156
Rb	158.0	156.0	155.0	513.0	Gd	3.790	3.080	3.590	2.700
Sr	659.0	115.0	307.0	161.0	Tb	0.649	0.459	0.581	0.498
Y	17.90	11.80	13.70	18.10	Dy	3.240	2.160	2.810	2.670
Zr	187.0	203.0	259.0	96.00	Ho	0.599	0.408	0.498	0.540
Nb	6.800	10.40	13.80	22.90	Er	1.740	1.180	1.430	1.690
Mo	1.340	2.540	4.010	3.660	Tm	0.291	0.190	0.239	0.309
Cd	0.133	0.147	0.199	0.057	Yb	1.740	1.170	1.590	2.080
In	0.043	0.185	0.104	0.041	Lu	0.259	0.185	0.235	0.311
Sb	1.130	1.810	1.220	2.390	ΣREE	132.38	133.76	151.81	109.99
Cs	13.30	21.70	20.00	21.40	ΣLREE	120.1	124.9	140.8	99.20
Ba	980.0	571.0	521.0	141.0	ΣHREE	12.31	8.830	10.97	10.80
Hf	5.410	5.960	7.100	5.510	ΣLREE /ΣHREE	9.760	14.15	12.84	9.190
Ta	0.455	0.700	1.180	2.150	δ Eu	0.950	0.770	0.740	0.160
W	2.110	3.890	1.600	1.310	δ Ce	0.950	1.170	0.940	0.930
Re	0.004	0.005	0.005	0.003	(La/Yb) <sub>N</sub>	10.92	16.19	16.51	8.790
Tl	3.590	1.930	1.240	10.00	σ	3.270	1.790	1.970	1.490

注:里特曼指数  $\sigma = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 - 43)$ ;测定单位为核工业地质研究院,微量和稀土元素测试时间:2014-04-14,测试人:张彦辉等;主量元素测试时间:2014-05-06,测试人:夏晨光等。

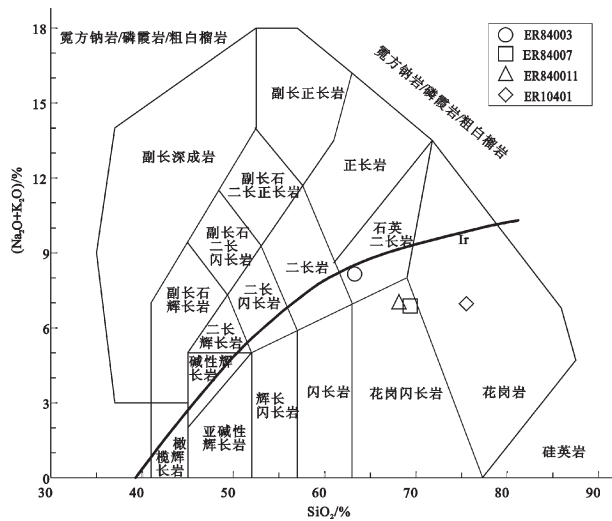


图5 额仁陶勒盖地区侵入岩 TAS 分类图解  
ER84003—石英二长岩;ER84007—细粒花岗岩;ER840011—黑云母正长花岗岩;ER10401—石英斑岩

Fig.5 TAS classification diagram of intrusive rocks from Erentaolegai area

ER84003—Quartz monzonite; ER84007—Fine-grained granite; ER840011—Biotite syenogranite; ER10401—Quartz porphyry

活动<sup>[21,16,35]</sup>,并且认为矿区岩基状杂岩体为燕山晚期产物<sup>[36]</sup>;另一种观点认为矿区侵入岩浆活动以燕山早期及燕山晚期为主<sup>[10]</sup>。

本次测定的样品均采自岩基状杂岩体东南部及其附近,其年龄结果表明4种侵入岩样品为2期次不同岩浆活动的产物。一期为二叠纪早期岩浆活动过程中侵位的石英二长岩((294.3±0.6) Ma)、黑云母正长花岗岩((287.0±1.2) Ma)及石英斑岩((285.4±1.9) Ma);另一期为三叠纪早期岩浆活动过程中侵位的细粒花岗岩((243.9±1.6) Ma)。石英斑岩、石英二长岩和黑云母正长花岗岩的侵位时代集中在285.0~294.0 Ma,应为海西晚期同源岩浆演化的产物;而细粒花岗岩的锆石U-Pb同位素年龄为(243.9±1.6) Ma,应为印支期岩浆演化的产物。

7.2 侵入岩与银成矿的关系

额仁陶勒盖银矿床的矿体呈脉状、透镜状赋存于中侏罗统塔木兰组火山岩中,表明该矿床形成



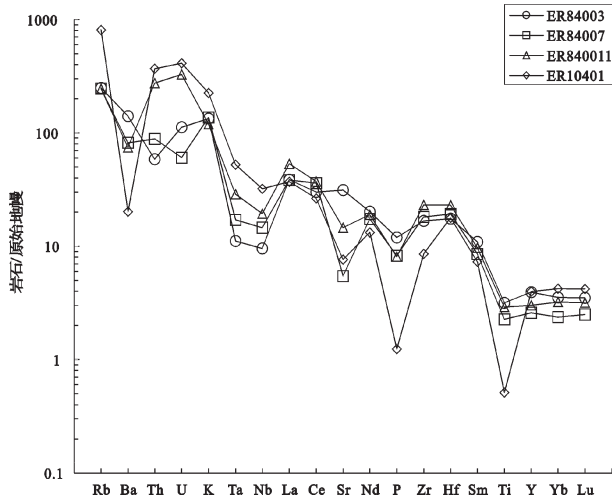


图6 额仁陶勒盖地区侵入岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准数据值据文献[33])

ER84003—石英二长岩; ER84007—细粒花岗岩;  
ER840011—黑云母正长花岗岩; ER10401—石英斑岩

Fig.6 Primitive mantle-normalized trace elements diagram of intrusive rocks from Erentaolegai area (Standard data after reference [33])

ER84003—Quartz monzonite; ER84007—Fine-grained granite;  
ER840011—Biotite syenogranite; ER10401—Quartz porphyry

时代晚于火山岩形成时代。依据矿区详查报告及前人研究成果,矿区赋矿围岩中侏罗统塔木兰沟组火山岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $(162.6 \pm 0.7)\text{Ma}$ <sup>[37]</sup>,锆石U-Pb同位素年龄为 $164.0\sim 161.0\text{Ma}$ <sup>[38]</sup>,本次采集的侵入岩样品锆石U-Pb年龄明显早于该火山岩的形成年龄,由此说明矿区侵入岩(石英二长岩、细粒花岗岩、黑云母正长花岗岩及石英斑岩)与银成矿无成因联系。

### 7.3 侵入岩形成的构造环境

额仁陶勒盖地区位于西伯利亚板块东南缘,该区域先后经历了前中生代古亚洲构造域、中生代滨太平洋构造域和蒙古—鄂霍茨克洋构造域的强烈改造,具有较为复杂的构造演化过程。二叠纪—三叠纪作为古亚洲洋构造域向太平洋构造域转换的关键时期<sup>[39]</sup>,具有其特殊地位。不少学者认为古亚洲洋于中晚二叠世—早三叠世期间最终沿西拉木伦河—长春—延吉缝合带碰撞拼贴闭合<sup>[40-44]</sup>,兴蒙造山带南侧与华北板块碰撞拼合,正式进入碰撞造山阶段,发育大量的碰撞花岗岩<sup>[45]</sup>;在早中三叠世,兴蒙造山带北侧的蒙古—鄂霍茨克洋开始向中—蒙联合板块俯冲,致使额尔古纳地块处于活动陆

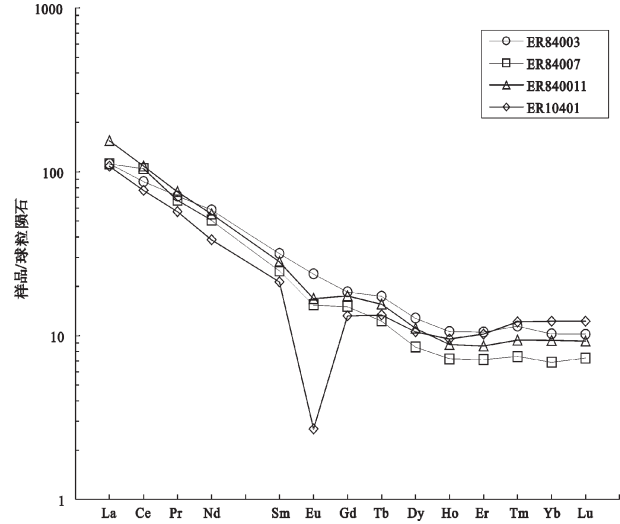


图7 额仁陶勒盖地区侵入岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(标准数据值据文献[34])

ER84003—石英二长岩; ER84007—细粒花岗岩;  
ER840011—黑云母正长花岗岩; ER10401—石英斑岩

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns of intrusive rocks from Erentaolegai area (standard data after reference [34])

ER84003—Quartz monzonite; ER84007—Fine-grained granite;  
ER840011—Biotite syenogranite; ER10401—Quartz porphyry

缘环境<sup>[46]</sup>,而鄂霍茨克洋的闭合发生在晚三叠世及其以后,随着蒙古—鄂霍茨克洋向南的俯冲、碰撞,正式进入蒙古—鄂霍茨克洋碰撞晚造山阶段<sup>[47-53]</sup>。

在(Y+Nb)-Rb花岗岩构造环境判别图(图8)与Yb-Ta花岗岩构造环境判别图(图9)中,石英斑岩、石英二长岩与黑云母正长花岗岩样品均投影于火山弧+同碰撞花岗岩区;但其地球化学特征显示:轻稀土富集,轻重稀土元素分馏程度较高,具Eu负异常;亏损大离子不相容元素;富集Rb与K,属钾玄岩—高钾钙碱性系列。总体表现为同碰撞<sup>[54]</sup>和火山弧花岗岩的特征<sup>[55]</sup>。Maniar认为,只有同碰撞花岗岩的A/CNK大于1.15<sup>[56]</sup>;尽管三者投影于火山弧—同碰撞花岗岩区,但其A/CNK值远大于1.15;表明矿区石英斑岩、石英二长岩与黑云母正长花岗岩形成于同碰撞环境。在区域上,吕志成等认为海西晚期花岗岩具有同碰撞期及碰撞期后板内花岗岩特征,形成于同碰撞期及碰撞期后构造环境<sup>[57,21]</sup>;然而,许文良等认为海西晚期花岗岩形成于造山晚期和造山后期的伸展环境<sup>[58]</sup>。本次侵入岩样品的同位素测定结果及其地球化学特征表明矿区石英斑岩、石英二长岩与黑云母正长花岗岩的形成时代为海

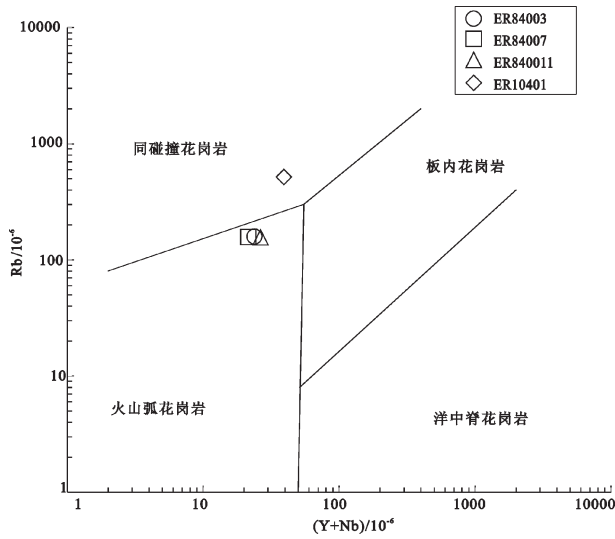


图8 额仁陶勒盖地区侵入岩(Y+Nb)-Rb判别图

ER84003—石英二长岩;ER84007—细粒花岗岩;  
ER840011—黑云母正长花岗岩;ER10401—石英斑岩

Fig.8 (Y+Nb)-Rb discrimination diagrams of intrusive rocks from Erentaolegai area

ER84003—Quartz monzonite; ER84007—Fine-grained granite;  
ER840011—Biotite syenogranite; ER10401—Quartz porphyry

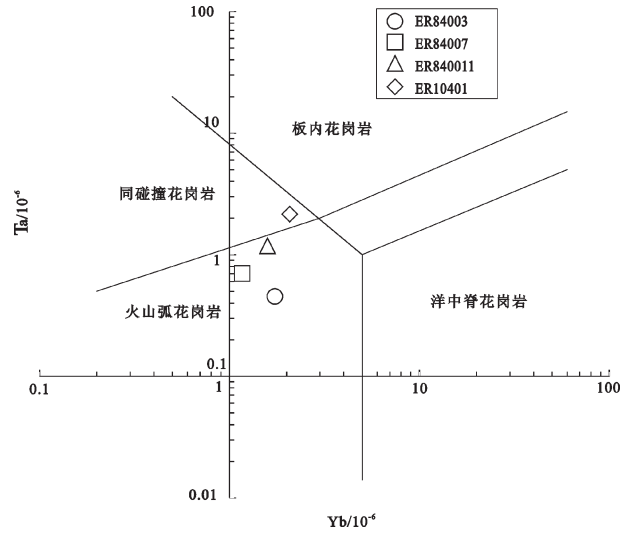


图9 额仁陶勒盖地区侵入岩Yb-Ta判别图

ER84003—石英二长岩;ER84007—细粒花岗岩;  
ER840011—黑云母正长花岗岩;ER10401—石英斑岩

Fig.9 Yb-Ta discrimination diagrams of intrusive rocks from Erentaolegai area

ER84003—Quartz monzonite; ER84007—Fine-grained granite;  
ER840011—Biotite syenogranite; ER10401—Quartz porphyry

西晚期;形成于同碰撞构造环境;其形成主要受古亚洲洋闭合的影响。

细粒花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄为(243.9±1.6) Ma, 在(Y+Nb)-Rb 及 Yb-Ta 花岗岩构造环境判别图(图8、9)上投影于火山弧花岗岩区;其地球化学特征显示轻稀土富集,轻重稀土元素分馏程度较高,亏损 Nb、Ta,富集 Rb 与 K,具明显 Eu 负异常,属高钾钙碱性系列;总体表现出火山弧花岗岩的特征<sup>[55]</sup>。在区域上,余宏全等认为早中生代侵入岩多为过铝质-准过铝质高钾钙碱性系列,属于比较典型的 S 型花岗岩<sup>[47]</sup>;张连昌等认为在三叠纪时期,蒙古-鄂霍茨克洋处于向中-蒙联合板块俯冲的构造环境,直到早-中侏罗世才逐渐消失<sup>[59]</sup>。本次侵入岩样品的同位素测定结果及其地球化学特征表明矿区细粒花岗岩的形成时代为三叠纪早期;主要形成于鄂霍茨克洋向中-蒙联合板块俯冲的活动陆缘弧环境。

## 8 结 论

(1)额仁陶勒盖地区的石英斑岩、石英二长岩、细粒花岗岩及黑云母正长花岗岩等4种侵入岩样品

的锆石 U-Pb 同位素年龄分别为(285.4±1.9) Ma、(294.3±0.6) Ma、(243.9±1.6) Ma 及(287.0±1.2) Ma。石英斑岩、石英二长岩及黑云母正长花岗岩为二叠纪早期岩浆活动产物,细粒花岗岩为三叠纪早期岩浆活动产物,表明矿区存在海西期和印支期花岗岩质岩浆侵入活动。

(2)矿区西北部组成侵入杂岩体的石英斑岩、石英二长岩、细粒花岗岩及黑云母正长花岗岩的形成年龄远早于容矿火山岩及矿床的形成年龄,与银成矿无成因联系。

(3)杂岩体中石英斑岩、石英二长岩及黑云母正长花岗岩的形成受古亚洲洋闭合的影响,形成于火山弧向活动大陆边缘转换环境;细粒花岗岩的形成受蒙古-鄂霍茨克洋陆内俯冲作用影响,形成于陆内俯冲环境。

**致谢:**审稿专家及编辑部杨艳博士对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

## 参考文献(References):

[1] Shu Qihai, Lai Yong, Wang Chao, et al. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes of the Haisugou porphyry



- Mo deposit, northeast China, and their geological significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79: 777-791.
- [2] Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, et al. Geochronology and geochemistry of Early-Middle Triassic magmatism in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean[J]. *Lithos*, 2014, 184: 1-16.
- [3] 王伟, 许文良, 王枫, 等. 满洲里-额尔古纳地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学与岩石组合:对区域构造演化的制约[J]. *高校地质学报*, 2012, 18(1): 88-105.  
Wang Wei, Xu Wenliang, Wang Feng, et al. Zircon U-Pb chronology and assemblages of Mesozoic granitoids in the Manzhouli-Erguna Area, NE China: Constraints on the regional tectonic evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2012, 18(1): 88-105(in Chinese with English abstract).
- [4] Dolgoplova A, Seltmann R, Armstrong R, et al. Sr-Nd-Pb-Hf isotope systematics of the Hugo Dummett Cu-Au porphyry deposit (Oyu Tolgoi, Mongolia) [J]. *Lithos*, 2013, 164-167: 47-64.
- [5] 郭志军, 周振华, 李贵涛, 等. 内蒙古敖尔盖铜矿中一酸性侵入岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年与岩石地球化学特征研究[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1486-1500.  
Guo Zhijun, Zhou Zhenhua, Li Guitao, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating and petrogeochemical characteristics of the intermediate-acid intrusive rocks in the Aoergai copper deposit of Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1486-1500 (in Chinese with English abstract).
- [6] 余宏全, 李红红, 李进文, 等. 内蒙古大兴安岭中段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. *地质学报*, 2009, 83(10): 1456-1472.  
She Hongquan, Li Honghong, Li Jinwen, et al. The Metallogenetical characteristics and prospecting direction of the copper-lead-zinc polymetal deposits in the northern-central Daxing'anling mountain, Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(10): 1456-1472 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘永江, 张兴洲, 金巍, 等. 东北地区晚古生代区域构造演化[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 943-951.  
Liu Yongjiang, Zhang Xingzhou, Jin Wei, et al. Late Paleozoic tectonic evolution in Northeast China [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 943-951(in Chinese with English abstract).
- [8] 郝立波, 段国正, 张培萍. 额仁陶勒盖银矿床地质特征及找矿标志[J]. *地质与勘探*, 1994(2): 25-28.  
Hao Libo, Duan Guozheng, Zhang Peiping. Geological characteristics and prospecting guides of Erentaoligai silver deposit, Inner Mongolia[J]. *Geology and Prospecting*, 1994(2): 25-28(in Chinese with English abstract).
- [9] 吕志成, 张培萍, 刘丛强, 等. 额仁陶勒盖银矿床银矿物的矿物学特征及形成条件[J]. *地质地球化学*, 2000, 28(3): 41-47.  
Lu Zhicheng, Zhang Peiping, Liu Congqiang, et al. Mineralogical characteristics of silver minerals in E'rentaolegai silver deposit[J]. *Geology-Geochemistry*, 2000, 28(3): 41-47(in Chinese with English abstract).
- [10] 吕志成, 段国正, 郝立波, 等. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床石英的矿物标型特征研究[J]. *矿物学报*, 2001, 26(2): 251-258.  
Lu Zhicheng, Duan Guozheng, Hao Libo, et al. Research on typomorphic characteristics of quartz from E'rentaolegai silver deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta mineralogica sinica*, 2001, 21(6): 251-258(in Chinese with English abstract).
- [11] 吕志成, 孙国胜, 郝立波, 等. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床主要载银矿物和银矿物的矿物学地球化学特征[J]. *黄金*, 1998, 9(8): 3-7.  
Lu Zhicheng, Sun Guosheng, Hao Libo, et al. The mineralogical and geochemical characteristics of silver-bearing minerals and silver minerals of the E'rentaolegai silver deposit in Inner Mongolia[J]. *Gold*, 1998, 9(8): 3-7(in Chinese with English abstract).
- [12] 吕志成, 张培萍, 段国正, 等. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床锰矿物的矿物学初步研究[J]. *矿物岩石*, 2002, 22(1): 1-5.  
Lu Zhicheng, Zhang Peiping, Duan Guozheng, et al. Study on manganese minerals of E'rentaolegai silver deposit[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2002, 22(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- [13] 张培萍, 朱钟秀. 内蒙额仁陶勒盖银矿床含银性的红外光谱评价[J]. *长春地质学院学报*, 1993, 23(3): 319-322.  
Zhang Peiping, Zhu Zhongxiu. Infrared spectra appraisal of silver-bearing of E'rentaolegai silver deposits in Inner Mongolia[J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 1993, 23(3): 319-322(in Chinese with English abstract).
- [14] 吴国学, 李林茂. 内蒙额仁陶勒盖银矿床找矿矿物学特征及综合找矿标志[J]. *吉林地质*, 1996, 15(1): 54-59.  
Wu Guoxue, Li Linmao. Exploration mineralogy features and comprehensive criteria for ore prospecting in the E'rentaolegai silver deposit, Inner Mongolia[J]. *Jilin Geology*, 1996, 15(1): 54-59(in Chinese with English abstract).
- [15] 潘军, 段国正, 郝立波, 等. 大兴安岭银矿床地质地球化学特征及成矿规律[J]. *黄金*, 2000, 21(7): 1-5.  
Pan Jun, Duan Guozheng, Hao Libo, et al. The geological geochemistry and mineralizing regularity of the silver deposits in the greater Xing'an mountain area[J]. *Gold*, 2000, 21(7): 1-5(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈祥, 肖力. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床地球化学研究[J]. *贵金属地质*, 1999, 8(3): 171-178.  
Chen Xiang, Xiao Li. The geochemistry study of E'rentaolegai silver deposit in Inner Mongolia[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1999, 8(3): 171-178(in Chinese with English abstract).
- [17] 陈祥. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床稳定同位素研究[J]. *内蒙古地质*, 2000, 1: 12-17.  
Chen Xiang. Study on stable isotope in Inner Mongolia E'rentaolegai silver deposit[J]. *Geology of Inner Mongolia*, 2000, 1: 12-17(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈祥. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床地质地球化学特征及成因探

- 讨[J]. 地质找矿论丛, 1996, 11(4): 65-75.
- Chen Xiang. Geological-geochemical characters and genesis of Erentaolegai silver deposit Inner Mongolia[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1996, 11(4): 65-75(in Chinese with English abstract).
- [19] 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀, 等. 内蒙古额仁陶勒盖银矿水-岩相互作用及矿石沉淀氢氧同位素研究[J]. 地球学报, 1994(1/2): 131-137.
- Zhang Ligang, Chen Zhensheng, Liu Jingxiu, et al. A H, O stable isotope study on the water-rock interaction and mineral deposition in the Eren silver deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994(1/2): 131-137(in Chinese with English abstract).
- [20] 武广, 糜梅, 高峰军, 等. 满洲里地区银铅锌矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 239-255.
- Wu Guang, Mei Mei, Gao Fengjun, et al. Ore-forming fluid characteristics and genesis of silver-lead-zinc deposits in the Manzhouli area, Inner Mongolia, China[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2): 239-255(in Chinese with English abstract).
- [21] 武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 吉林: 吉林大学, 2006.
- Wu Guang. Metallogenic Setting and Metallogenesis of Nonferrous-Precious Metals in Northern Da Hinggan Mountain[D]. Jilin: Jilin University, 2006(in Chinese with English abstract).
- [22] 宓奎峰, 柳振江, 李春风, 等. 内蒙古乌努格吐山大型铜钼矿床元素迁移及成矿过程探讨[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1270-1287.
- Mi Kuifeng, Liu Zhenjiang, Li Chunfeng, et al. Mineralization processes and the migration of ore-forming elements of Wunugutushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, China[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1270-1287(in Chinese with English abstract).
- [23] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位U-Pb定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In situ U-Pb zircon dating using lasers ablation-multiion counting LA-MC-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 481-492(in Chinese with English abstract).
- [24] 侯可军, 李延河, 邹天人, 等. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2595-2604.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Zou Tianren, et al. Laser ablation-MC-ICP-MS technique for Hf isotope microanalysis of zircon and its geological applications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2595-2604(in Chinese with English abstract).
- [25] Liu Yongsheng, Hu 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.
- [26] Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [27] Ludwig K R. User's manual for Isoplot/Ex, version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1-70.
- [28] Rubatto D, Gebauer D. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe: Some examples from the western Alps. Cathodoluminescence in Geoscience[J]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2000: 373-400.
- [29] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genetic mineralogy of zircons and constraints about explains of U-Pb age of zircons[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604( in Chinese).
- [30] Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. Reviews in mineralogy and geochemistry, 2003, 53(1): 27-62.
- [31] Möller A, O'Brien P J, Kennedy A, et al. Linking growth episodes of zircon and metamorphic textures to zircon chemistry: An example from the ultrahigh-temperature granulites of Rogaland (SW Norway) [J]. EMU Notes in Mineralogy, 2003, 5: 65-82
- [32] Belousova E, Griffin W L, O'reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 143(5): 602-622.
- [33] Gill J B. Orogenic andesites and Plate Tectonics[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [34] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.
- [35] 秦克章, 田中亮吏, 李伟实, 等. 满洲里地区印支期花岗岩Rb-Sr等时线年代学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(3): 44-49.
- Qin Kezhang, Ryoji Tanaka, Li Weishi, et al. The discovery of Indo-Sinian granites in Manzhouli area: Evidence from Rb, Sr isochrons[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1998, 17(3): 44-49(in Chinese with English abstract).
- [36] 陈祥. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床成岩成矿模式[J]. 桂林工学院学报, 2000, 20(1): 12-20.
- Chen Xiang. Diagenetic-metallogenic model of Erentaolegai silver deposit in Inner Mongolia[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2000, 20(1): 12-20(in Chinese with English abstract).
- [37] Wang Fei, Zhou Xinhua, Zhang Lianchang, et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing' an Range(NE Chin): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 251(4): 179-198.

- [38] 赵忠华, 孙德有, 苟军, 等. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1865-1880.  
Zhao Zhonghua, Sun Deyou, Gou Jun, et al. Chronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from southern Manchuria, Inner-Mongolia[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1865-1880(in Chinese with English abstract).
- [39] 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与古太平洋域构造叠加过程中的地质作用[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 1997, 27(5): 390-394.  
Shao Ji'an, Mou Baolei, He Guoqi, et al. Geological processes of the process of structural overlapping between Paleo-Asia domain and Paleo-Pacific domain in northern part of North China[J]. Science in China (Series D), 1997, 27(5): 390-394(in Chinese).
- [40] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 174-181.  
Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. The final closing time of the west Lamulum River-Changchun-Yanji plate suture zong[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2004, 34(2): 174-181(in Chinese with English abstract).
- [41] 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 Monglolia 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).
- [42] Miao Laicheng, Fan Weiming, Liu Dunyi, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for latestage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5): 348-370.
- [43] Han Guoqing, Liu Yongjiang, Neubauer Franz, et al. Origin of terranes in the eastern Central Asian orogenic belt, NE China: U-Pb ages of detrital zircons from Ordovician-Devonian sandstones, North Da Xing'an Mts[J]. Tectonophysics, 2011, 511(3): 109-124.
- [44] Wu Fuyuan, Zhao Guochun, Sun Deyou, et al. The Hulan group: Its role in the evolution of the general asianorogenic belt of NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 30(3): 542-556.
- [45] 孙德有, 吴福元, 李惠民, 等. 小兴安岭西北部造山后A型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报, 2000, 45(20): 2217-2222.  
Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in Northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalaite collisional suture zone[J]. Chinese Sci. Bull., 2000, 45(20): 2217-2222 (in Chinese).
- [46] 康永健, 余宏全, 向安平, 等. 内蒙古八大关矿区印支期岩浆活动及其找矿意义[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1215-1225.  
Kang Yongjian, She Hongquan, Xiang Anping, et al. Indo-China Epoch magmatic activities and metallogenic implications in the Badaguan ore district, Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1215-1225(in Chinese with English abstract).
- [47] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石U-Pb测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 571-594.  
She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, et al. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 571-594(in Chinese with English abstract).
- [48] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105-119.  
Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. Geotectonic transition from Paleo Asia system and Paleo-Tethyan system to Paleo Pacificactive continental margin in Eastern Asia [J]. Scientia Geologica Sinica, 1994, 29(2): 105-119(in Chinese).
- [49] 张梅生, 彭向东, 孙晓猛. 中国东北区古生代构造古地理格局[J]. 辽宁地质, 1998, 2: 12-17.  
Zhang Meisheng, Peng Xiangdong, Sun Xiaomeng. The Paleozoictectonic geographical pattern of Northeast China [J]. Liaoning Geology, 1998, 2:12-17(in Chinese with English abstract).
- [50] Van der Voo R, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. Nature, 1999, 397(6716): 246-249.
- [51] Tomurtogoo O, Windley B F, Kröner A, et al. Zircon age and occurrence of the Adaatsag ophiolite and Muron shear zone, central Mongolia: Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk ocean, suture and orogen[J]. Journal of the Geological Society, 2005, 162(1): 125-134.
- [52] 陈志广, 张连昌, 卢百志, 等. 内蒙古太平川铜钼矿成矿斑岩时代、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(5): 1437-1449.  
Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Lu Baizhi, et al. Geochronology and geochemistry of the Taipingchuan copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia, and its geological significances [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(5): 1437-1449 (in Chinese with English abstract).
- [53] 黄世武, 张连昌, 李克庆, 等. 得尔布干成矿带太平川铜钼矿床含CH<sub>4</sub>流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(5): 1386-1396.  
Huang Shiwu, Zhang Lianchang, Li Keqing, et al. CH<sub>4</sub>-containing fluid inclusion study of the Taipingchuan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(5): 1386-1396 (in Chinese with English abstract).
- [54] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of petrology, 1984, 25(4): 956-983.



- [55] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[J]. *Orogenic Andesites and Related Rocks*, 1982: 528-548.
- [56] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological society of America bulletin*, 1989, 101(5): 635-643.
- [57] 吕志成, 段国正, 郝立波, 等. 满洲里-额尔古纳地区岩浆作用及其大地构造意义[J]. *矿物岩石*, 2001, 21(1): 77-85.  
Lv Zhicheng, Duan Guozheng, Hao Libo, et al. Magmatism and its tectonic significance in the Manzhouli- E'ergona region[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2001, 21(1): 77- 85(in Chinese with English abstract).
- [58] 许文良, 孙德有, 尹秀英. 大兴安岭海西期造山带的演化:来自花岗岩的证据[J]. *长春科技大学学报*, 1999, 29(4): 319-323.  
Xu Wenliang, Sun Deyou, Yin Xiuying. Evolution of Hercynian orogenic belt in Daxing'anling GMT: evidence from granitic rocks[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 1999, 29 (4): 319-323(in Chinese with English abstract).
- [59] 张连昌, 陈志广, 吴华英, 等. 蒙古-鄂霍茨克造山带得尔布干多金属成矿带构造-岩浆成矿作用及动力学背景[J]. *矿床地质*, 2010(S1): 125-126.  
Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Wu Huaying, et al. Structural-magmatic mineralization and geodynamic background of De' erbugan polymetallic belt in Mongolia- Okhotsk Orogen[J]. *Mineral Deposits*, 2010(S1): 125- 126(in Chinese with English abstract).

## Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages and geochemical features of intrusions in Erentaolegai area of Inner Mongolia

TIAN Jing<sup>1,2</sup>, LI Jin-wen<sup>1</sup>, WANG Run-he<sup>3</sup>, LIU Wen<sup>2</sup>, XIANG An-ping<sup>1</sup>, KANG Yong-jian<sup>1</sup>, GUO Zhi-jun<sup>1</sup>, DONG Xu-zhou<sup>2</sup>

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 3. *Inner Mongolia Institute of Geology and Mineral Exploration, Hohhot 010011, Inner Mongolia, China*)

**Abstract:** The Erentaolegai silver deposit is a large epithermal silver deposit in Inner Mongolia. In this paper, chronologic and geochemical research were carried out on such intrusions as quartz porphyry, quartz monzonite, biotite syenogranite and fine-grained granite in the ore district. The zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results show that the zircon U-Pb ages of the four intrusion samples are (285.4±1.9) Ma, (294.3±0.6) Ma, (287.0±1.2) Ma and (243.9±1.6) Ma respectively, which shows that the intrusions in the ore district were formed in the two periods of Late Hercynian and Indosinian. The age of the first three samples show that they were formed by magmatic evolution in the Late Hercynian period, and their geochemical features show the depletion of large ion incompatible elements such as Ba, Nb, Sr, Zr and Ti, the remarkable enrichment of K and the depletion of Ta, with weak negative Eu anomalies, and exhibit arc granite characteristics in (Y+Nb)-Rb and Yb-Ta tectonic environment discrimination diagrams for granitic rock and peraluminous S type granite, which suggests that they were formed in a tectonic environment of syn-collision in combination with the regional tectonic evolution. The zircon U-Pb age of the fine-grained granite is (243.9±1.6) Ma, suggesting that it was formed by magmatic evolution in the Indosinian period; in addition, its geochemical features show the depletion of large ion incompatible elements such as Ba, Nb, Sr, Ti, Zr and Ti, the remarkable enrichment of K and the loss of Ta, with weak negative Eu anomalies, and has arc granite characteristics in (Y+Nb)-Rb and Yb-Ta tectonic environment discrimination diagrams for granitic rock and peraluminous S type granite, which implies that it was formed in a tectonic environment of volcanic arc in conjunction with the regional tectonic evolution. According to previous studies, the wall rock of the ore district is Tamulangou volcanic rock formed in the Middle Jurassic, and its <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isochron age is (162.6±0.7) Ma, which shows that there is no genetic relationship between the intrusion and the deposit.

**Key words:** intrusion; zircon U-Pb; LA-ICP-MS; geochemistry; tectonic setting; Erentaolegai ore district; Inner Mongolia

**About the first author:** TIAN Jing, female, born in 1989, master candidate, majors in mineralogy, petrology and mineral deposit geology; E-mail: tianjingxy@126.com.

**About the corresponding author:** LI Jin-wen, male, born in 1964, doctor, senior researcher, mainly engages in the study of mineral deposits and mineral exploration; E-mail: lijinwen958@sohu.com.