文章编号:1009-3850(2012)04-0086-08

# 中祁连西段巴嘎德尔基岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

#### 齐瑞荣

(甘肃省地矿局第四地质矿产勘查院,甘肃 酒泉 735009)

摘要: 巴嘎德尔基岩体位于中祁连山西段的野马南山地区,主要由钾长花岗岩和二长花岗岩组成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年表明,巴嘎德尔基岩体侵位年龄为462.9±1.4Ma。该岩体地球化学方面表现出强过铝、高K、K/Na,低 Mg、Fe、Ca 的主量元素特征,并富集K、Rb、Ba、Th,亏损Zr、Hf、Y、Yb等微量元素,羟稀土富集,弱的Eu 负异常。在微 量元素判别图解上,所有岩石投影点均落入同碰撞区域。结合区域地质背景,认为巴嘎德尔基岩体是加里东造山作 用晚期陆陆碰撞的产物。

关 键 词: 中祁连; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 同碰撞 中图分类号: P588.21<sup>+</sup>1 文献标识码: A

祁连山西段的野马山地区分布着大量呈岩基 产出的中酸性侵入岩,1:20万区域地质调查认为 其是加里东期花岗岩,主要是根据构造旋回、岩浆 建造及岩体穿插关系,并与祁连山地区同一构造带 内侵入岩进行对比而确定的,并无可靠的同位素测 年资料。20世纪90年代以来,一些学者对祁连山 西段的中酸性侵入岩开展了同位素测年工作 如苏 建平等[1]通过对野马山东侧的黑沟梁子花岗岩单 颗粒锆石 U-Pb 同位素测年,获得206 Pb/238 U 表面年 龄444 ± 17 Ma,并认为形成于板块碰撞阶段;而野马 南山主峰一带花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄 为444 ± 38Ma 成因为埃达克质岩石 形成干板块碰 撞前<sup>[2]</sup>。李建峰等(2010)运用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年获得石包城、肃北地区花岗岩体侵入时代分别 为 435 ± 4Ma 和 415 ± 3Ma,并认为前者形成干洋壳 俯冲的岛弧环境 而后者为加里东造山作用晚期陆 陆碰撞后产物<sup>[3]</sup>。

上述研究提高了该地区中酸性侵入岩的研究 程度,但中祁连西段花岗岩类的研究,仍然相对薄弱。笔者在开展区域地质调查工作过程中,在祁连 山西段野马南山南侧巴嘎德尔基一带花岗岩体中 获得462.9±1.4Ma的LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄, 本文试图通过对该岩体岩石学、岩石地球化学及年 代学的研究,为研究祁连山西段构造演化提供基础 资料。

#### 1 岩体地质和岩石学特征

巴嘎德尔基岩体位于甘肃省肃北县县城东南 约86km的大道尔吉铬矿区-巴嘎德尔基一带(图 1),是野马南山岩基的重要组成部分,构造上位于 祁连山西段中祁连地块的南缘。呈近东西向的小 岩基产出,岩体长20km,宽3~5km,出露面积约 70km<sup>2</sup>,侵入于蓟县纪花儿地组(Jxh)、北大河岩群C 岩组(Ar-PtB)等地层以及晚寒武世闪长岩中。在巴 嘎德尔基一带与大道尔基蛇绿岩套也呈侵入接触。 岩体呈外倾式接触,倾角40°~60°不等,接触界线 清楚,外接触带形成热接触变质带,接触带内侧见 有大量的闪长岩、大理岩、变砂岩等捕掳体。据岩 体内侵入体产状、岩石特征的不同,可分为早、晚两 期侵入岩。



图 1 中祁连西段巴嘎德尔基地区地质简图

Q. 第四系冲洪积物.1. 蓟县纪花儿地组;2. 古元古代北大河岩群;3. 大道尔吉蛇绿混杂岩;4. 安山玄武岩;5. 基性-超基性岩类;6. 晚寒武世中性 侵入岩;7. 奥陶纪中酸性侵入岩;8. 巴嘎德尔基岩体钾长花岗岩;9. 巴嘎德尔基岩体二长花岗岩;10. 地质界线;11. 脆性断层;12. 韧性断层;13. 采样点位置

Fig. 1 Simplified geological map of the Bagadeerji area in thewestern part of the central Qilian Mountains Q = Quaternary alluvial-fluvial deposits. 1 = Jixianian Huaerdi Formation; 2 = Palaeoproterozoic Beidahe Group Complex; 3 = Dadaoerji ophiolitic mélanges; 4 = andesitic basalt; 5 = basic-ultrabasic rocks; 6 = Late Cambrian intermediate intrusive rocks; 7 = Ordovician intermediate to acidic intrusive rocks; 8 = moyite from the Bagadeerji granitic plutons; 9 = adamellite from the Bagadeerji granitic plutons; 10 = geological boundary; 11 = brittle fault; 12 = ductile fault; 13 = sampling site

早期侵入岩主要分布于岩体边部,岩石为中粒 二长花岗岩,肉红色,中粒花岗结构,块状构造,矿 物粒径在2~5mm之间。岩石由斜长石(35%±)、 钾长石(27%±)、石英25%±、黑云母(9%±)、角 闪石(6%±)和微量磁铁矿、榍石组成。斜长石呈 板状、宽板状,半自形晶,粒径以2~3mm 居多,少量 可达40mm±,发育聚片双晶,表面见较弱的绢云母 化。钾长石呈他形粒状,局部可见钾长石包裹斜长 石,钾长石为显微条纹长石。黑云母、角闪石呈自 形晶,与斜长石、钾长石镶嵌分布。副矿物磁铁矿 等包裹在暗色矿物质中。

晚期为细粒钾长花岗岩,主要分布于岩体中心 部位,岩石呈肉红色,细粒花岗结构,块状构造,矿 物粒径 < 2mm。岩石矿物组成:钾长石(52% ±)、 斜长石(5% ±)、石英(25% ±)、黑云母(12% ±)、 角闪石(5% ±)和微量磁铁矿、磷灰石等。斜长石 呈板状、宽板状,半自形晶,粒径 < 2mm,大多数在1 ~2mm 间,发育聚片双晶,表面见较弱的绢云母化。 钾长石:呈他形粒状,为显微条纹长石。黑云母、角 闪石呈自形-半自形晶,与长石、石英镶嵌分布,副矿 物磁铁矿等包裹在暗色矿物质中。石英成形粒状, 填充在长石与暗色矿物的空隙中。

# 2 样品的采集及分析方法

本文分析的样品均采自巴嘎德尔基岩体内部 远离脉体、蚀变带和裂隙的新鲜岩石,并在显微镜 下详细观察后,挑选出较新鲜、蚀变相对较弱,具代 表性的样品。主量元素、稀土、微量元素测试在国 土资源部天津地质矿产研究所进行,其中主量元素 分析了 SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O、 K<sub>2</sub>O、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、MnO、烧失量和 H<sub>2</sub>O 等 15 项, 除 H<sub>2</sub>O 采用重量法外,其余氧化物都用 X-萤光光 谱法测定,分析精度(相对误差)优于 1%。微量和 稀土元素采用 ICP-MS 测定,其元素的分析误差小 同位素样品采集了新鲜无蚀变的细粒钾长花 岗岩样品 30kg 在河北区域地质调查队实验室进行 了锆石的挑选工作,首先对样品进行破碎,选取无 磁或弱磁性的锆石单颗粒,然后对锆石进行矿物学 和形态学鉴定,样品测试是在国土资源部天津地质 矿产研究所分析测试研究中心同位素室完成,采用 LA-ICP-MS 对颗粒锆石进行测试,测试过程中采用 标样和平行样对测试过程进行质量监控和检验,以 确保数据准确性。数据处理、年龄计算和绘图使用 (Ludwig 2003) ISOPLOT 程序,<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 加权平均 年龄的误差为 95% 置信的结果。

#### 2 岩石地球化学特征

#### 2.1 主量元素

巴嘎德尔基岩体主量元素分析结果见表 1,稀 土元素分析结果见表 2,微量元素分析结果见表 3。





Fig. 2  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  diagram of the granitoids from the Bagadeerji granitic plutons

1 = moyite; 2 = adamellite

从表1中可以看出,巴嘎德尔基岩体SiO<sub>2</sub>介于 65.45%~70.00%之间,平均68.18%,属酸性侵入 岩范畴。岩石富碱(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O含量介于7.3%~ 8.0%之间),且相对富钾质(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O介于0.62~ 0.68之间),里特曼组合指数(σ)为2.06~2.48,在 硅碱图解上(图2)样品投点落入高钾钙碱性系列 区。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量介于13.37%~15.26%,铝饱和指 数(A/CNK)介于1.3~1.5之间,在CIPW标准矿物 中见刚玉分子(0.00%~0.96%),说明岩石属过铝 质的花岗岩。此外 岩石的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 含量随 SiO<sub>2</sub> 的增加而增加,而 CaO、FeO、TiO<sub>2</sub>、MnO 含量呈减少 趋势,具正常岩浆演化的特点。

2.2 稀土、微量元素特征

岩体稀土总量中等(∑REE介于128.89×10<sup>-6</sup> ~169.52×10<sup>-6</sup>之间) 羟稀土富集,LREE/HREE介 于4.60~5.31之间,(La/Yb)n介于12.40~13.63 之间) 弱负铕异常(δEu介于0.78~0.93之间), 在C1球粒陨石标准化稀土配分曲线图解上中,曲 线呈轻稀土富集右倾分配模式(图3),且轻稀土分 馏明显,重稀土分馏不明显,负铕异常不明显。

巴嘎德尔基岩体中相对富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Th 等 ,Rb 含量介于  $157 \times 10^{\circ} \sim 184 \times 10^{\circ}$ 之间; Zr、Hf、Y、Yb 等中等相容元素相对亏损 ,在洋 脊花岗岩标准化微量元素蛛网图中(图4),主要表 现 Ba、Rb 强烈富集 ,Ce 弱富集 ,而 K<sub>2</sub>O、Ba、Ta、Nb、 Zr 相对亏损 ,形成峰谷相间的模式 ,与同碰撞花岗 岩相似<sup>[4]</sup>。

### 3 讨论

3.1 岩体时代

1:20 万《月牙湖幅》区域地质调查报告将巴嘎 德尔基岩体成岩时代确定为晚加里东期。由于很 难从地质体野外相互关系来确定其形成时代。故 本文采用同位素测年来确定其成岩时代。本次所 采细粒钾长花岗岩样品中锆石呈柱状,一般长0.1 ~0.3 mm ,宽 0.02 ~ 0.1 mm ,呈无色透明至浅黄色 透明状 ,锆石较自形 ,结晶完好 ,具有岩浆锆石的特 征。测年采用 LA-ICP-MS 锆石原位 U-Pb 定年法, 测年过程中 尽量挑选纯净的、无包体、透明度好的 锆石晶体为测定年龄的对象,测试结果见表4和图 4。从图4中可已看出,所测锆石样品均落入谐和 线上,说明锆石形成后,U和 Pb 同位素基本上没有 加入或丢失,U-Pb 同位素体系是封闭的,根据谐和 线上 20 颗锆石的 U-Pb 年龄值,通过加权平均获得 462.9±1.4Ma 的年龄, MSWD = 0.16, 说明巴嘎德 尔基岩体形成时代为晚奥陶世。

这一结果与中祁连西段野马南山黑沟梁子花 岗岩(444 ± 17Ma)<sup>[1]</sup>和野马南山花岗岩(444 ± 38)<sup>[1]</sup>接近,但较肃北、石包城地区出露的早古生代 花岗岩形成时代早(435 ±4~415 ± 3Ma)<sup>[3]</sup>。说明 在中祁连山西段的野马南山地区,在晚奥陶世 – 志 留纪末这一时期发生过重要的构造活动事件。

|        |         |      |        |                               |                                | 表 1       | 巴嘎德                 | 尔基岩     | 体主量;            | 元素分材              | <b>斤结果(%</b> | )及特征                                     | 参数        |          |           |                   |                               |          |       |        |      |
|--------|---------|------|--------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------|---------|-----------------|-------------------|--------------|--|-----------|----------|-----------|-------------------|-------------------------------|----------|-------|--------|------|
|        |         |      | Tab    | le 1 N                        | lajor ek                       | ement co  | ntents (            | %) and  | diagno          | stic para         | ameters 1    | or the                                   | Bagadee   | rji gran | itic plut | tons              |                               |          |       |        |      |
| 样品号    | 岩石名称    | SiC  | D2 A   | l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO       | CaO                 | MgO     | K20             | Na <sub>2</sub> O | TiO2         | P <sub>2</sub> (                         | Ds Mi     | Ou       | 灼失        | $\mathrm{H_2O}^+$ | H <sub>2</sub> O <sup>°</sup> | 高量       | ŷ     | A / CN | K    |
| PM42w1 | 细粒钾长花岗岩 | 70.0 | 0 13   | 3.37                          | 1.74                           | 1.85      | 2.52                | 1.33    | 4.67            | 2.92              | 0.414        | 1 0.1-                                   | 43 0.0    | )48 (    | .601      | 0.936             | 0.211                         | 19.66    | 2.13  | 1.     | 3    |
| PM42w2 | 细粒钾长花岗岩 | 68.6 | 58 14  | 4.70                          | 1.58                           | 1.96      | 2.02                | 096'0   | 4.92            | 3.04              | 0.363        | 0.12                                     | 22 0.0    | )40 (    | 006.(     | 1.08              | 0.307                         | 99.29    | 2.47  | 1.     | 5    |
| PM42w3 | 粗粒二长花岗岩 | 68.6 | \$2 14 | 4.26                          | 1.36                           | 2.61      | 2.51                | 1.65    | 4.42            | 2.85              | 0.471        | 0.15                                     | 59 0.0    | )62      | 1.06      | 1.36              | 0.257                         | 100.03   | 2.06  | 1      | 5    |
| PM42w4 | 粗粒二长花岗岩 | 65.4 | 15 15  | 5.26                          | 1.56                           | 2.93      | 3.32                | 1.88    | 4.43            | 3.03              | 0.522        | 0.1                                      | 76 0.0    | )67      | ).635     | 0.607             | 0.213                         | 99.26    | 2.48  | 1.     | 4    |
|        |         |      |        |                               |                                | ÷         | 「影」                 | 「甘生の    |                 | 学公式               | 往里(10-       | 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1 | 1 余料      |          |           |                   |                               |          | _     |        |      |
|        |         |      | L      | Table 2                       | REE o                          | ontents ( | ×10 <sup>-6</sup> ) | and dia | gnostic         | parame            | ters for t   | he Baga                                  | adeerji g | granitic | plutons   | 20.25             |                               |          |       |        |      |
| 样品号    | 岩石名称    | La   | Ce     | Pr                            | PN                             | Sm        | Eu                  | Gd      | qL              | Dy 1              | Ho E         | r Tr                                     | n Yt      | P I      |           | ζ                 | REE                           | LREE/HRE | E õEi | (La/   | Yb)n |
| PM42w1 | 细粒钾长花岗岩 | 27.5 | 48.9   | 5.93                          | 20.2                           | 3.58      | 1.02                | 2.98    | 0.43 2          | 2.23 0            | .43 1.2      | 6 0.2                                    | 22 1.4    | 9 0.2    | 2 12      | S                 | 128.89                        | 4.92     | 0.9   | 13     | .24  |
| PM42w2 | 细粒钾长花岗岩 | 34.2 | 61.3   | 7.19                          | 24.4                           | 4.09      | 1.00                | 3.61    | 0.48 2          | 2.48 0            | .48 1.3      | 9 0.2                                    | 26 1.8    | 0 0.2    | 7 14      | P                 | 157.05                        | 5.31     | 0.7   | 13     | .63  |
| PM42w3 | 粗粒二长花岗岩 | 34.7 | 62.9   | 7.57                          | 26.3                           | 4.57      | 1.19                | 3.99    | 0.59 3          | 3.04 0            | 59 1.6       | 8 0.2                                    | 29 2.0    | 0 0.3    | 0 16      | 6                 | 166.61                        | 4.67     | 0.8   | 12     | .45  |
| PM42w4 | 粗粒二长花岗岩 | 35.6 | 63.5   | 7.71                          | 26.6                           | 4.68      | 1.18                | 4.06    | 0.59 3          | 3.14 0            | .61 1.6      | 0.9                                      | 30 2.0    | 6 0.3    | 0 17      | S                 | 169.52                        | 4.60     | 0.8   | 12     | .40  |
| Ø      |         |      |        |                               |                                |           |                     |         |                 | 2                 |              | 9  |           |          |           |                   | 3                             |          |       |        |      |
|        |         |      |        |                               | :                              | E.        | 表3 巴                | 嘎德尔     | 基岩体             | 微量元夏              | 素分析结         | 果(10 <sup>-6</sup> )<br>                 | :         |          |           |                   |                               |          |       |        |      |
|        |         |      |        |                               | Table                          | 3 Irac    | elemen              | t conte | $IIS(\times I)$ | <b>n m (</b> _ 0  | ie Bagad     | eerji gr                                 | anitic p  | ntons    |           |                   |                               |          |       |        |      |
| 样品号    | 岩石名称    | F    | č      | D2                            | Cr                             | Li        | Rb                  | Cs      | Sr              | Ba                | Sc           | Νb                                       | Ta        | 2        | Ľ         | Ηf                | Sn                            | U        | Th    | Ti     | Р    |
| PM42w1 | 粗粒二长花岗岩 | 625  | 0.2    | 02                            | 17.4                           | 29.3      | 157                 | 4.80    | 532             | 123               | 0 5.76       | 10.                                      | 5 0.9     | 4 82     | 0.        | .83               | 5.00                          | 2.06     | 16.7  | 2481   | 312  |
| PM42w2 | 细粒钾长花岗岩 | 512  | 0.3    | 34                            | 21.4                           | 35.6      | 184                 | 6.22    | 282             | 744               | 4 6.66       | 15.0                                     | 0 1.8.    | 3 12     | 5 4       | .44               | 3.05                          | 3.38     | 21.4  | 2176   | 266  |
| PM42w3 | 细粒钾长花岗岩 | 638  | 0.2    | 84                            | 32.4                           | 30.5      | 171                 | 5.47    | 278             | 702               | 7 6.52       | 13.2                                     | 5 1.20    | 8 11     | . 3       | .85               | 3.80                          | 3.10     | 20.2  | 2823   | 347  |

巴嘎德尔基岩体主量元素分析结果(%)及特征参数 表1 347 384

2823 3129

3.10 3.60

3.80 7.20

3.85 4.15

111 125

1.28 1.32

13.5 15.1

6.52 7.98

707 588

278 279

5.47 4.73

30.5 29.7

32.4 26.9

0.284 0.335

638 788

PM42w3 PM42w4

粗粒二长花岗岩

176 171

19.9



图 3 巴嘎德尔基岩体稀土配分曲线(a) 和洋脊花岗岩标准化微量元素蛛网图(b)(图例见图 2)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns ( a) and ocean ridge granites-normalized Trace element spidergram ( b) for the the representative analyses of the Bagadeerji granitic plutons ( symbols as in Fig. 2)





Fig. 4 Concordia plot for the Bagadeerji granitic plutons





Fig. 5 Y - Nb (a) and (Y + Nb) - Rb(b) discrimination diagrams for the Bagadeerji granitic plutons (after Pearce et al. , 1984) VAG = volcanic arc granite; syn-COLG = syn-collision granite; WPG = within plate granite; ORG = ocean ridge granite

| 分析结果      |
|-----------|
| U-Pb      |
| 锆石        |
| LA-ICP-MS |
| 巴嘎德尔基岩体   |
| 表4 日      |

Table 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb ages for the Bagadeerji granitic plutons

|  |                     | 10                                   | 17       | 60       | 32       | 7        | 16       | 17       | 7        | 8        | ∞        | 7        | 22       | 8        | 12       | 8        | 14       | 14     | 8        | 12       | 11       | 24       |
|--|---------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|
|  |                     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 463      | 458      | 401      | 463      | 426      | 459      | 468      | 459      | 468      | 464      | 449      | 451      | 453      | 461      | 458      | 438    | 447      | 460      | 449      | 448      |
|  | a)                  | lσ                                   | 4        | 17       | ~        | 2        | 4        | 4        | 2        | 2        | 2        | 2        | 5        | 3        | 4        | 2        | 4        | 3      | 2        | б        | 3        | 7        |
|  | 年龄(M                | <sup>007</sup> Pb/ <sup>235</sup> U  | 461      | 462      | 455      | 462      | 458      | 461      | 462      | 461      | 463      | 464      | 460      | 461      | 461      | 463      | 462      | 461    | 461      | 463      | 461      | 462      |
|  |                     | 10                                   | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | ŝ        | 3        | 3        | e        | 4        | ŝ        | 3        | ŝ      | 3        | 3        | 3        | 4        |
|  |                     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U  | 461      | 462      | 465      | 462      | 464      | 462      | 461      | 462      | 463      | 464      | 463      | 463      | 463      | 463      | 463      | 465    | 464      | 464      | 463      | 464      |
|  |                     | err%                                 | 0.11     | 0.15     | 0.03     | 0.21     | 2.09     | 0.15     | 0.36     | 0.29     | 0.36     | 0.26     | 0.30     | 0.37     | 0.21     | 0.36     | 0.31     | 0.20   | 0.13     | 0.34     | 0.08     | 0.51     |
|  |                     | lσ                                   | 0.0008   | 0.0011   | 0.0001   | 0.0010   | 0.0282   | 0.0011   | 0.0018   | 0.0014   | 0.0021   | 0.0014   | 0.0017   | 0.0021   | 0.0011   | 0.0017   | 0.0018   | 0.0014 | 0000     | 0.0011   | 0.0004   | 0.0030   |
|  | 值                   | Th/ <sup>238</sup> U                 | 0.7628 ( | 0.7165 0 | 0.4960 ( | 0.4930 0 | 1.3492 ( | 0.7211 0 | 0.4972 ( | 0.4637 0 | 0.5788 0 | 0.5272 0 | 0.5903 ( | 0.5641 ( | 0.5457 ( | 0.4874 ( | 0.5848 ( | 0.7079 | 0.5541 ( | 0.3169 ( | 0.5153 0 | 0.5769 ( |
|  | 立素比                 | r% 232                               | 39 (     | 56 (     | .04      | 111      | 10       | .26 (    | .18 (    | 19 (     | .19 (    | 17 0     | 59 (     | .24 (    | .74 (    | .16 (    | 30 (     | 34 (   | .13 (    | 29 (     | .26 (    | 66.      |
|  | Ē                   | a ei                                 | 010      | 05 2     | 07 2     | 010      | 02 1     | 010      | 0 100    | 010      | 0100     | 0 100    | 010      | 0 100    | 02 0     | 010      | 010      | 0 100  | 01 0     | 010      | 01 0     | 02 0     |
|  |                     | h 16                                 | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00   | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
|  |                     | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> T  | 0.0198   | 0.0198   | 0.0330   | 0.0195   | 0.0174   | 0.0209   | 0.0197   | 0.0200   | 0.0200   | 0.0195   | 0.0194   | 0.0197   | 0.0205   | 0.0207   | 0.0199   | 0.0199 | 0.0212   | 0.0209   | 0.0204   | 0.0209   |
|  |                     | err%                                 | 0.77     | 2.69     | 1.45     | 0.34     | 0.70     | 0.79     | 0.33     | 0.37     | 0.36     | 0.33     | 0.98     | 0.36     | 0.54     | 0.38     | 0.65     | 0.62   | 0.38     | 0.52     | 0.48     | 1.08     |
|  |                     | lσ                                   | 0.0004   | 0.0015   | 0.0008   | 0.0002   | 0.0004   | 0.0004   | 0.0002   | 0.0002   | 0.0002   | 0.0002   | 0.0005   | 0.0002   | 0.0003   | 0.0002   | 0.0004   | 0.0003 | 0.0002   | 0.0003   | 0.0003   | 0.0006   |
|  |                     | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 0.0563   | 0.0562   | 0.0547   | 0.0563   | 0.0553   | 0.0562   | 0.0564   | 0.0562   | 0.0564   | 0.0563   | 0.0559   | 0.0560   | 0,0560   | 0.0562   | 0.0561   | 0.0557 | 0.0559   | 0.0562   | 0.0559   | 0.0559   |
|  |                     | err%                                 | 0.89     | 3.62     | 1.76     | 0.44     | 0.85     | 0.77     | 0.48     | 0.54     | 0.54     | 0.45     | 1.04     | 0.57     | 0.91     | 0.48     | 0.76     | 69.0   | 0.44     | 0.73     | 0.57     | 1.44     |
|  | ć值                  | lσ                                   | 0.0051   | 0.0208   | 0.0099   | 0.0025   | 0.0048   | 0.0044   | 0.0028   | 0.0031   | 0.0031   | 0.0026   | 0.0060   | 0.0033   | 0.0053   | 0.0028   | 0.0044   | 0.0040 | 0.0025   | 0.0042   | 0.0033   | 0.0083   |
|  | 同位素比                | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U  | 0.5749   | 0.5758   | 0.5651   | 0.5762   | 0.5694   | 0.5753   | 0.5762   | 0.5751   | 0.5785   | 0.5790   | 0.5735   | 0.5747   | 0.5750   | 0.5774   | 0.5764   | 0.5743 | 0.5743   | 0.5777   | 0.5744   | 0.5754   |
|  |                     | Err%                                 | 0.64     | 0.69     | 0.70     | 0.61     | 0.63     | 0.64     | 0.66     | 0.69     | 0.64     | 0.66     | 0.74     | 0.73     | 0.79     | 0.67     | 0.67     | 0.71   | 0.63     | 0.72     | 0.69     | 0.78     |
|  |                     | lσ                                   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0006   | 0.0005   | 0.0006   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005 | 0.0005   | 0.0005   | 0.0005   | 0.0006   |
|  |                     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U  | 0.0741   | 0.0744   | 0.0749   | 0.0743   | 0.0746   | 0.0743   | 0.0741   | 0.0743   | 0.0744   | 0.0746   | 0.0744   | 0.0745   | 0.0744   | 0.0745   | 0.0745   | 0.0748 | 0.0746   | 0.0746   | 0.0745   | 0.0747   |
|  | ×10 <sup>-6</sup> ) | U                                    | 221      | 240      | 613      | 651      | 482      | 210      | 673      | 484      | 684      | 703      | 208      | 587      | 450      | 553      | 272      | 251    | 603      | 418      | 322      | 284      |
|  | 含量(                 | Pb                                   | 18       | 19       | 51       | 50       | 43       | 17       | 51       | 37       | 53       | 54       | 16       | 46       | 35       | 43       | 21       | 20     | 47       | 31       | 25       | 22       |
|  | 样品号                 | PM42TW                               | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 9        | 7        | 8        | 6        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 16     | 17       | 18       | 19       | 20       |

3.2 构造环境

巴嘎德尔基岩体岩相学、主量元素、稀土和微量元素特征都表明其属于过铝质高钾钙碱性岩浆系列花岗岩,如铝饱和指数(A/CNK)值大于1.1 (介于1.3~1.5之间),CIPW标准矿物中出现刚玉 分子(0.00%~0.96%)。岩体富集大离子亲石元 素K、Rb、Th和轻稀土元素,亏损Nb、Ta、Zr、Hf、Y、 Yb等元素,洋脊花岗岩标准化微量元素蛛网图(图 3)也具有同碰撞花岗岩曲线模式<sup>[4]</sup>。

在 Nb-Y 图解(图 5a) 中落入火山弧和同碰撞花 岗岩区域区,在 Rb-Nb + Y 图解(图 5b) 样点落入同 碰撞与火山弧花岗岩过渡区。在 R1-R2 图解中(图 6) 中,巴嘎德尔基岩体落入同碰撞花岗岩,同样,在 Rb/30-Hf-Ta<sup>\*</sup> 3 图解中(图 7) 投影落入碰撞后期花 岗岩范围类,说明巴嘎德尔基岩体具有碰撞期花岗 岩的特征。





1. 地幔分异的; 2. 板块碰撞前的; 3. 碰撞后抬升阶段的; 4. 后造山的;
 5. 非造山的; 6. 同碰撞的; 7. 造山后的

Fig. 6 R1 – R2 plot for the Bagadeerji granitic plutons 1 = mantle fractionates; 2 = pre-plate collision; 3 = post-plate collision uplift; 4 = late orogenic; 5 = anorogenic; 6 = syncollision granite; 7 = post-orogenic

#### 4 地质意义

本文测得巴嘎德尔基岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 462.9 ± 1.4Ma,属晚奥陶世岩浆 活动的产物。在区域上,中祁连构造带中存在大量 同期中酸性侵入岩,同位素年龄一般在 400 ~ 460Ma 之间。这些花岗岩多数属 S 型花岗岩,形成于碰撞 环境。少数为 I 型花岗岩,形成于俯冲环境和碰撞 后伸展环境<sup>[1-3,5-7]</sup>,这些中酸性侵入岩共同构成了 中祁连早古生代构造岩浆带。此外,在中祁连地块 北侧,北祁连高压变质带榴辉岩变质时间为463 ± 6Ma<sup>[8]</sup>,多硅白云母及蓝闪石等高压变质矿物的 <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar年龄也集中在440~460Ma<sup>[9-10]</sup>进一步证 明了在奥陶纪末 - 志留纪中祁连地块与华北板块 发生过强烈的俯冲、碰撞造山作用。巴嘎德尔基岩 体无论是主量元素、稀土、微量元素特征,还是构造 环境判别图解均显示出碰撞期花岗岩的特征。

夏林圻等(1996)<sup>[11]</sup>研究认为,中祁连地块与华 北板块碰撞造山作用发生在志留纪末到泥盆纪初 发生碰撞造山(445~428Ma),但巴嘎德尔基岩体侵 位时代为晚奥陶世(462.9±1.4Ma),说明在祁连山 西段中板块碰撞造山作用在晚奥陶世就已开始,很 可能是晚奥陶世在祁连山区发生的古浪运动的 产物<sup>[12]</sup>。



图 7 巴嘎德尔基岩体 Rb/30<sup>-</sup> Hf – Ta<sup>\*</sup> 3 图解( 据 Harris et al. ,1986)

VAG. 火山弧花岗岩; syn-COLG. 同碰撞花岗岩; post-COLG. 后碰撞花 岗岩; WPG. 板内花岗岩

Fig. 7  $Rb/30^-$  Hf – Ta<sup>\*</sup> 3 plot for the Bagadeerji granitic plutons (after Harris et al. , 1986)

VAG = volcanic arc granite; syn-COLG = syn-collision granite; post-COLG = post-collision granite; WPG = within plante granite

## 5 结论

(1) 中祁连西段野马南山一带的巴嘎德尔基岩体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 加权平均年龄为 462.9 ± 1.4Ma 表明其形成时代为晚奥陶世。

(2) 巴嘎德尔基岩体岩石相对富钾质,里特曼组合指数(σ)为2.06~2.48,属于高钾钙碱性岩浆系列花岗岩,铝饱和指数(A/CNK)值大于1.1(介于1.3~1.5之间),CIPW标准矿物中出现刚玉分子(0.00%~0.96%) 具S型花岗岩的特点。富集大离子亲石元素K、Rb、Th和轻稀土元素,亏损 Nb、

Ta、Zr、Hf、Y、Yb 等元素。结合区域地质背景及构造 环境判别图解其形成于陆陆碰撞环境。

致谢:本文为甘肃1:5万五个泉子达坂-大道尔 基铬铁矿区域矿产调查项目的成果之一,参加野外 工作的有魏志军,漆玮、程旭、黄增保等,在此表示 衷心的感谢。

#### 参考文献:

- [1] 苏建平 胡能高 涨海峰,冯备战.中祁连西段黑沟梁子花岗
  岩的锆石 U-Pb 同位素年龄及成因[J].现代地质,2004a,18
  (1):70-74.
- [2] 苏建平 涨新虎 胡能高 /付国民 涨海峰.中祁连西段野马南 山埃达克质花岗岩的地球化学特征及成因 [J].中国地质, 2004b 31(4):365-371.
- [4] 高秉璋 洪大卫 郑基俭 等.花岗岩类区 1:5万区域地质填图

方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社 ,1991 20-37.

- [5] 夏林圻 夏祖春 徐学义.北祁连奥陶纪弧后盆地火山岩浆成 因[J].中国地质 2003 30(1):48-60.
- [6] 张宏飞 斯兰兰,张利,袁洪林,周炼,张本仁.基底岩系和花 岗岩类 Pb-Nd 同位素组成限制祁连山带的构造属性[J].地球 科学-中国地质大学学报 2006 31(1):57-65.
- [7] 陈隽璐 徐学义 曾佐勋 等. 中祁连东段什川杂岩基的岩石化 学特征及年代学研究[J]. 岩石学报 2008 24(4):841-858.
- [8] 宋述光 张立飞, Y. Niu 等.北祁连山榴辉岩错石 SHRIMP 定 年及其构造意义[J].科学通报 2004 ,49(6):592-595.
- [9] 吴汉泉、冯益民、霍有光、左国朝.北祁连山中段甘肃肃南奥 陶系变质硬柱石蓝闪片岩的发现及其意义[J].地质论评, 1990 36(3):277-280.
- [10] 张建新.许志琴 陈文 徐慧芬.北祁连中段俯冲-增生杂岩/ 火山弧的时代探讨 [J].岩石矿物杂志,1997,16(2):112 -119.
- [11] 夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连海相火山岩岩石成因[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [12] 甘肃省地质矿产局.甘肃省区域地质志[M].北京:地质出版 社,1989.

# LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geological implications for the Bagadeerji granitic plutons in the central Qilian Mountains , Gansu

#### QI Rui-rong

(No. 4 Geological Prospecting Party, Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, Jiuquan 735009, Gansu, China)

**Abstract**: The Bagadeerji granitic plutons mainly made up of moyite and adamellite occur in the Yemananshan area , central Qilian Mountains , Gansu. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age dating gives an emplacement age of 462. 5 ± 1.4 Ma for the Bagadeerji granitic plutons. Geochemically , the Bagadeerji plutons are characterized by strong peraluminous granites , high K and K/Na ratios , low Mg , Fe and Ca contents , enriched K , Rb , Ba and Th elements , depleted Zr , Hf , Y and Yb elements , and slight Eu negative anomaly. The trace element discrimination plots indicate that these intrusions have a "syn-collision" affinity as defined by Pearce et al. (1984) , and thus may be interpreted to be the continent-continent collisional products formed during the late Caledonian orogeny. **Key words**: central Qilian Mountains; LA-ICP-MS zircon U-Pb age dating; syn-collision