

# 新疆尾亚地区岩浆混合作用的年代学证据

李 玫<sup>1</sup> 王玉往<sup>2</sup> 王京彬<sup>2</sup> 王莉娟<sup>2</sup> 龙灵利<sup>2</sup>

(1. 忻州师范学院地理系, 山西 忻州 034000; 2. 北京矿产地质研究院, 北京 100012)

**摘要:**新疆东部尾亚矿区的钾长花岗岩及其包体岩相学、矿物化学和岩石地球化学特征及野外地质特征显示其为岩浆混合作用的结果。本文获得钾长花岗岩及其中暗色微粒包体闪长岩锆石 U-Pb 年龄为(247.5±5.3)Ma 和(244.8±1.8)Ma, 与该区石英二长闪长岩体的锆石 U-Pb 年龄(244.7±3.3)Ma 在误差范围内一致, 这一结果从年代学角度为钾长花岗岩及其中暗色微粒包体的岩浆混合作用成因提供证据。

**关键词:**岩浆混合; 尾亚矿区; 锆石 U-Pb 年代学; 新疆

**中图分类号:** P588.12<sup>†5</sup>      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2010)01-0039-09

岩浆混合作用与结晶分离作用和同化混染作用一样, 作为一种重要的岩浆(演化)作用类型, 是造成火成岩多样性的重要原因<sup>[1]</sup>。岩浆混合作用形成的花岗质岩石最显著的特征就是含有不同数量、大小、形状和不同成分的暗色微粒包体(MME)<sup>[2]</sup>。然而, 花岗质岩石中的暗色包体可以有不同的成因, 如源区岩石经部分熔融后形成的耐熔物质残留体<sup>[3]</sup>, 岩浆就位过程中捕获的围岩捕虏体, 或是岩浆作用过程中暗色矿物相对集中形成的析离体<sup>[4]</sup>。要解决寄主岩与包体的成因问题, 需要从岩石学、矿物学、地球化学等方面加以研究<sup>[3, 5-6]</sup>, 而寄主岩与包体的年代学是其中的一个关键证据。如果包体是残留体或捕虏体, 那么它们的形成年龄应当老于寄主岩石; 如果是岩浆混合成因, 则它们的形成年龄应当与寄主岩相近<sup>[7]</sup>。

新疆东部尾亚钒钛磁铁矿矿区这类花岗岩中包体发育, 前人通过对该区野外地质特征、花岗岩及其包体岩相学、矿物化学和岩石地球化学的研究认为其为岩浆混合作用的结果<sup>[8, 9]</sup>。本文在前人研究的基础上, 采用 CAMECA IMS-1280 二次离子质谱仪(SIMS)对研究区花岗岩(寄主岩)和其中暗色微粒包体进行锆石 U-Pb 年代学的测定, 拟从年代学方

面对花岗岩和其中暗色微粒包体的成因进行探讨, 为研究本区岩浆混合作用提供约束。

## 1 地质背景

尾亚钒钛磁铁矿矿区地处东天山造山带东段的中天山地块(也称中天山古陆)。矿区南部为尾亚环形复式岩株。据李嵩龄和冯新昌<sup>[10]</sup>研究, 该复式岩株由内环和外环构成。内环为环形山超单元, 面积 77 km<sup>2</sup>, 由老至新由石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩 4 个单元组成, 分别占总面积的 22.1%、7.8%、62.3%和 7.8%, 同位素年龄 255.4~228.7 Ma。外环为尾亚超单元, 总面积 78 km<sup>2</sup>, 从早到晚由碱性辉长岩、石英二长闪长岩、石英正长岩、碱长花岗岩和斑状钾长花岗岩 5 个单元组成, 其中石英正长岩单元构成主侵入体, 占总面积的 97%, 锆石 U-Pb 年龄在(246±6) Ma~(257.4±5.2)Ma<sup>[11, 12]</sup>, 其他单元所占极少。

尾亚矿区广泛发育 5 大类岩石(图 1): 含钒钛磁铁矿的镁铁-超镁铁杂岩、矿区外围的肉红色花岗岩和石英正长岩、呈脉状产出的闪长岩, 以及矿区中央的石英二长闪长(斑)岩。矿区范围内未见大规模的闪长岩体。另外出露有辉绿岩、英安斑岩、闪长

收稿日期: 2009-05-12; 改回日期: 2009-08-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411304 和 2001CB409806)资助。

作者简介: 李玫, 女, 1964 年生, 硕士, 副教授, 研究方向为自然地理学及地质学; E-mail: Li0316@126.com。

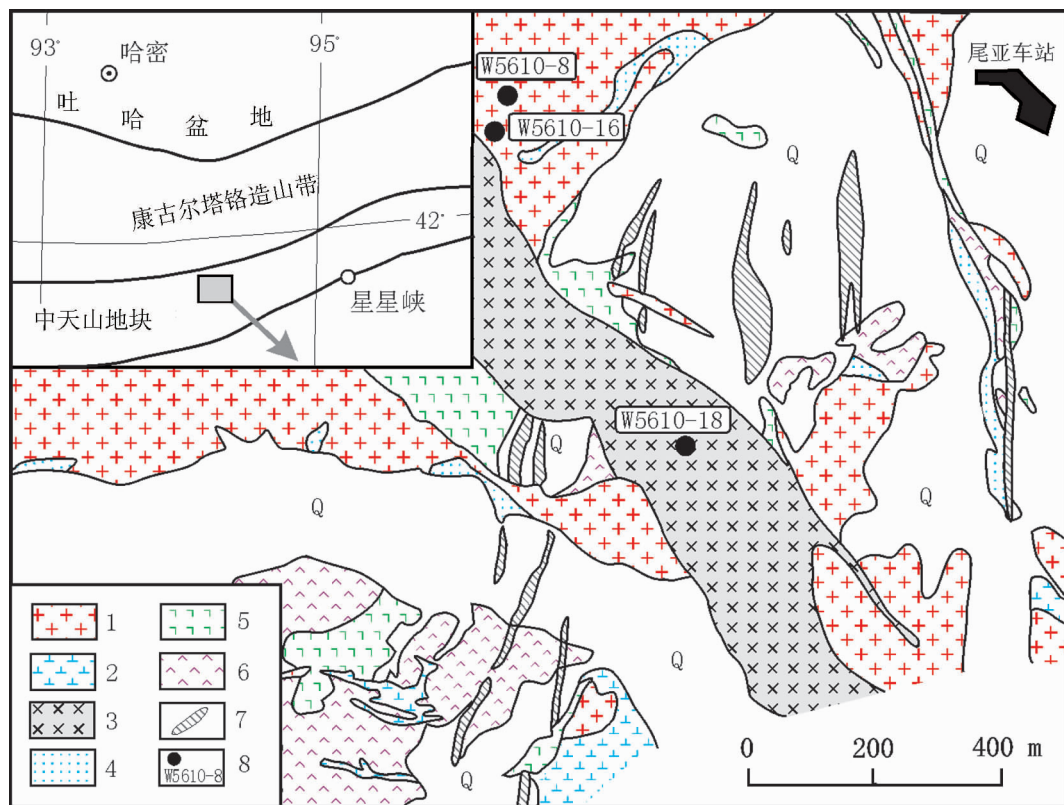


图1 尾亚矿区地质略图(据王玉往等<sup>[8,9]</sup>修改)

1—花岗岩;2—(石英)正长岩;3—石英二长闪长岩;4—闪长岩;5—辉长岩类;6—超镁铁岩类;  
7—钒钛磁铁矿矿体;8—定年样品位置及编号;Q—第四系

Fig.1 Geological sketch map of the Weiya ore district (modified after Wang et al.<sup>[8,9]</sup>)

1—Granite; 2—(Quartz) syenite; 3—Quartz monzodiorite; 4—Diorite; 5—Gabbro; 6—Ultramafic rocks;  
7—V—Ti—magnetite ore body; 8—Sampling location and its serial number; 9—Quaternary

(玢)岩等脉岩。其中矿区西北部花岗岩中产有大量暗色闪长岩包体,二矿区中部的石英二长闪长岩体被认为是岩浆混合作用形成的岩浆混合岩<sup>[8,9]</sup>。

## 2 样品描述

本次同位素测年样品分别采自矿区西北部的钾长花岗岩(W5610-8)、钾长花岗岩中的闪长岩包体(W5610-16)和矿区中部的石英二长闪长岩(W5610-18),采样位置见图1。

钾长花岗岩(W5610-8):岩石较新鲜,为淡肉红色,中-粗粒似斑状结构,粒度多在0.5~2.5mm,少量碎粒状,局部可见蠕虫结构。主要矿物为:钾长石50%~55%,半自形—他形,为微斜条纹长石;石英15%~20%;更长石15%~20%,常具环带;褐红色黑云母5%~10%,略有绿泥石化;微量暗色矿物(磁铁矿

为主,<5%),榍石、磷灰石、锆石等。

闪长岩(暗色包体,W5610-16):岩石呈浅灰色细粒状,一般<1mm,且多<0.5mm,具似交织状或似辉绿至间粒结构,中、更长石多为板条状,但可见束状、放射状结构,角闪石、黑云母等常为聚晶团块状结构(构造)。主要矿物为:更长—中长石40%~45%,绿色普通角闪石20%~25%,黑云母20%~25%,石英5%~10%,榍石3%~5%,少—微量矿物有铁矿物、锆石、磷灰石(常呈针状包于长石中)等。

石英二长闪长岩(W5610-18):岩石为灰白色,含肉红色钾长石斑晶。镜下呈斑状结构,斑晶10%~15%,3~10mm,多为“聚斑”,主要为条纹长石和石英。条纹长石具更长环斑结构,石英多浑圆状。基质一般为细粒结构,多<1mm,局部可呈文象结构,亦含少量“似斑状”聚晶团块(角闪石为主,含黑云母和

长石)。主要矿物成分为:碱性长石(微斜长石为主,少量正长石)5%~10%、中-更长石 30%~35%、石英 25%~30%、角闪石 20%~25%、黑云母 5%~10%、楣石 2%~5%、微量磷灰石、锆石、磁铁矿等。

### 3 分析方法

采用常规方法对岩石样品进行粉碎和锆石的挑选。将锆石样品颗粒以及锆石标样 Temora 粘贴在环氧树脂靶上,然后对其抛光直至锆石露出一半晶面。在上机分析前,先在显微镜下为其进行透射光、反射光照相和阴极发光(CL)照相,以检查锆石的内部结构;对阴极发光图像进行分析,结合透、反射光图像,选定最佳的待测锆石部位。样品靶在真空下镀金以备分析。锆石的阴极发光(CL)图像分析在中国科学院地质与地球物理研究所扫描电镜实验室采用德国 LEO1450VP 扫描电子显微镜 (SEM) 及 MiniCL 阴极放光装置完成。

锆石 U、Th、Pb 分析在中国科学院地质与地球物理研究所采用 CAMECA IMS-1280 二次离子质谱仪 (SIMS) 完成。锆石标样与待测锆石样品以 1:3 比例交替测定,锆石样品的 U-Th-Pb 同位素比值用标准锆石 Temora 校正获得<sup>[13]</sup>,U、Th 浓度用标准锆石 91500 校正获得<sup>[14]</sup>,详细的分析方法见 Li et al<sup>[15]</sup>。普通 Pb 校正采用实测 <sup>204</sup>Pb 值。由于测得的普通 Pb 含量非常低,可以认为普通 Pb 主要来源于制样过程中带入的表面 Pb 污染,因此用现代地壳的平均 Pb 同位素组成<sup>[16]</sup>作为普通 Pb 组成进行校正。单点分析的同位

素比值及年龄误差为  $1\sigma$ , 加权平均值误差为  $2\sigma$ , U/Pb (和 Pb/Pb) 平均年龄误差为 95%置信度。年龄计算和图解采用 ISOPLOT 软件<sup>[17]</sup>完成。

### 4 分析结果

钾长花岗岩 (W5610-8), 该样品共进行了 26 粒锆石的 U、Th、Pb 同位素分析, 分析结果见表 1。测试数据点年龄值主要分布在 (244.3~258.1)Ma, 由于 2、9、12、23 等 4 个数据点的单点分析误差较大, 故不参与计算。其余 22 个数据点均分布在谐和线上或其附近, 由此获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄加权平均值为 (247.5 ± 5.3)Ma (图 2-a), 该年龄可能代表了钾长花岗岩的形成年龄。锆石晶体形态较好, 短柱状, 100~200 μm, 阴极发光图像中 (图 2-b) 可见清楚的韵律环带, 应为岩浆锆石特征。

闪长岩 (暗色包体, W5610-16), 共选择了 21 粒锆石进行测试, 分析结果见表 2。测试数据点年龄值主要分布在 240.7~248.4 Ma (图 3-a), 均分布在谐和线上或其附近, 由此获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄加权平均值为 (244.8 ± 1.8)Ma。锆石粒度为 80~200 μm, 晶体形态为短柱状或近等轴状, 发育清楚的韵律环带 (图 3-b), 测试结果 (244.8 ± 1.8)Ma 可能为暗色包体的形成年龄。

石英二长闪长岩 (W5610-18), 该样品共有 24 个数据点, 分析结果见表 3。测试数据点年龄值主要分布在 239.3~251.8 Ma (图 4-a), 均分布在谐和线上或其附近, 由此获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄加权平均

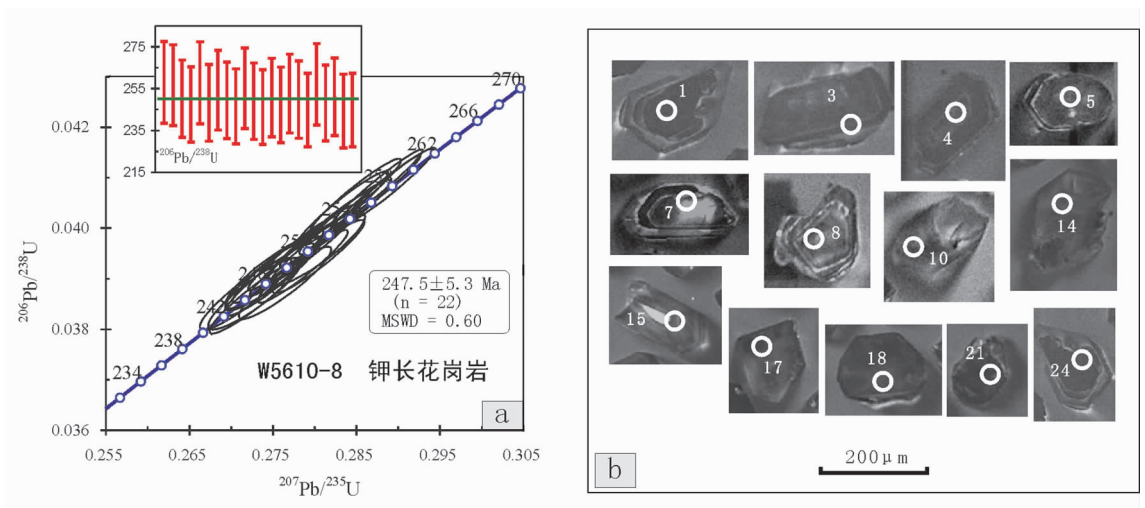


图 2 尾亚钾长花岗岩 (W5610-8) 锆石 U-Pb 谐和年龄图 (a) 及阴极发光图像 (b)

Fig.2 U-Pb concordia diagram (a) and CL images (b) of zircons from K-feldspar granite (W5610-8) in the Weiya ore district

表 1 尾亚钾长花岗岩 (W5610-8) 锆石 U-Pb 年龄数据  
 Table 1 Zircon U-Pb data of K-feldspar granite (W5610-8) in the Weiya ore district

| 测点         | U<br>/10 <sup>6</sup> | Th<br>/10 <sup>6</sup> | Pb<br>/10 <sup>6</sup> | Th/U | 同位素比值                                     |                                     |        | 同位素年龄/Ma                            |        |                                     |      |       |     |       |     |
|------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------|---|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|------|-------|-----|-------|-----|
|            |                       |                        |                        |      | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±σ(%) | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±σ(%)  | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ±σ     | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ±σ   |       |     |       |     |
| W5610-8.1  | 4771                  | 1542                   | 224                    | 0.32 | 0.2889                                    | 1.56                                | 0.0408 | 1.50                                | 0.9644 | 254.6                               | 9.4  | 257.7 | 3.5 | 258.1 | 3.8 |
| W5610-8.2  | 507                   | 204                    | 24                     | 0.40 | 0.2760                                    | 2.27                                | 0.0400 | 1.51                                | 0.6662 | 196.5                               | 38.9 | 247.4 | 5.0 | 252.8 | 3.8 |
| W5610-8.3  | 4000                  | 1582                   | 190                    | 0.40 | 0.2848                                    | 1.57                                | 0.0406 | 1.50                                | 0.9551 | 234.0                               | 10.7 | 254.5 | 3.5 | 256.7 | 3.8 |
| W5610-8.4  | 4047                  | 1202                   | 182                    | 0.30 | 0.2802                                    | 1.71                                | 0.0396 | 1.51                                | 0.8830 | 256.0                               | 18.4 | 250.8 | 3.8 | 250.2 | 3.7 |
| W5610-8.5  | 2635                  | 1051                   | 120                    | 0.40 | 0.2750                                    | 1.69                                | 0.0391 | 1.50                                | 0.8860 | 239.4                               | 18.0 | 246.7 | 3.7 | 247.5 | 3.6 |
| W5610-8.6  | 7042                  | 3389                   | 343                    | 0.48 | 0.2875                                    | 1.55                                | 0.0408 | 1.51                                | 0.9747 | 245.0                               | 7.9  | 256.6 | 3.5 | 257.8 | 3.8 |
| W5610-8.7  | 2416                  | 973                    | 111                    | 0.40 | 0.2756                                    | 1.61                                | 0.0393 | 1.52                                | 0.9428 | 237.6                               | 12.3 | 247.2 | 3.5 | 248.2 | 3.7 |
| W5610-8.8  | 5225                  | 2017                   | 245                    | 0.39 | 0.2836                                    | 1.56                                | 0.0402 | 1.50                                | 0.9600 | 247.0                               | 10.1 | 253.5 | 3.5 | 254.2 | 3.7 |
| W5610-8.9  | 2100                  | 884                    | 95                     | 0.42 | 0.2670                                    | 3.03                                | 0.0389 | 1.50                                | 0.4957 | 184.9                               | 60.2 | 240.3 | 6.5 | 246.0 | 3.6 |
| W5610-8.10 | 3260                  | 1179                   | 149                    | 0.36 | 0.2805                                    | 1.60                                | 0.0394 | 1.50                                | 0.9371 | 266.6                               | 12.8 | 251.0 | 3.6 | 249.4 | 3.7 |
| W5610-8.11 | 3699                  | 1106                   | 164                    | 0.30 | 0.2746                                    | 1.62                                | 0.0390 | 1.50                                | 0.9284 | 244.7                               | 13.8 | 246.3 | 3.5 | 246.5 | 3.6 |
| W5610-8.12 | 6144                  | 3905                   | 310                    | 0.64 | 0.2862                                    | 1.67                                | 0.0406 | 1.51                                | 0.9028 | 246.4                               | 16.5 | 255.6 | 3.8 | 256.6 | 3.8 |
| W5610-8.13 | 6045                  | 1685                   | 277                    | 0.28 | 0.2833                                    | 1.59                                | 0.0404 | 1.51                                | 0.9510 | 235.6                               | 11.3 | 253.3 | 3.6 | 255.2 | 3.8 |
| W5610-8.14 | 5003                  | 1018                   | 219                    | 0.20 | 0.2775                                    | 1.55                                | 0.0394 | 1.50                                | 0.9686 | 245.3                               | 8.9  | 248.7 | 3.4 | 249.0 | 3.7 |
| W5610-8.15 | 1662                  | 740                    | 77                     | 0.45 | 0.2765                                    | 1.64                                | 0.0389 | 1.50                                | 0.9178 | 264.0                               | 14.9 | 247.8 | 3.6 | 246.1 | 3.6 |
| W5610-8.16 | 5276                  | 4470                   | 273                    | 0.85 | 0.2801                                    | 1.57                                | 0.0397 | 1.52                                | 0.9712 | 250.0                               | 8.6  | 250.7 | 3.5 | 250.8 | 3.7 |
| W5610-8.17 | 3054                  | 1634                   | 145                    | 0.53 | 0.2749                                    | 1.66                                | 0.0391 | 1.51                                | 0.9090 | 240.4                               | 15.9 | 246.6 | 3.6 | 247.2 | 3.7 |
| W5610-8.18 | 5472                  | 2908                   | 265                    | 0.53 | 0.2812                                    | 1.55                                | 0.0400 | 1.51                                | 0.9729 | 241.4                               | 8.2  | 251.6 | 3.5 | 252.7 | 3.7 |
| W5610-8.19 | 3885                  | 998                    | 173                    | 0.26 | 0.2773                                    | 1.57                                | 0.0395 | 1.51                                | 0.9626 | 237.4                               | 9.8  | 248.5 | 3.5 | 249.7 | 3.7 |
| W5610-8.20 | 1307                  | 445                    | 59                     | 0.34 | 0.2729                                    | 1.68                                | 0.0387 | 1.50                                | 0.8955 | 246.5                               | 17.1 | 245.0 | 3.7 | 244.8 | 3.6 |
| W5610-8.21 | 8777                  | 4540                   | 429                    | 0.52 | 0.2873                                    | 1.53                                | 0.0407 | 1.50                                | 0.9803 | 249.8                               | 7.0  | 256.4 | 3.5 | 257.1 | 3.8 |
| W5610-8.22 | 2635                  | 1367                   | 125                    | 0.52 | 0.2786                                    | 1.58                                | 0.0393 | 1.50                                | 0.9468 | 262.3                               | 11.7 | 249.5 | 3.5 | 248.2 | 3.7 |
| W5610-8.23 | 2667                  | 632                    | 110                    | 0.24 | 0.2660                                    | 1.80                                | 0.0374 | 1.51                                | 0.8383 | 268.5                               | 22.3 | 239.5 | 3.8 | 236.5 | 3.5 |
| W5610-8.24 | 4032                  | 1342                   | 185                    | 0.33 | 0.2796                                    | 1.56                                | 0.0397 | 1.51                                | 0.9646 | 242.8                               | 9.5  | 250.4 | 3.5 | 251.2 | 3.7 |
| W5610-8.25 | 2402                  | 998                    | 109                    | 0.42 | 0.2728                                    | 1.60                                | 0.0386 | 1.50                                | 0.9370 | 250.8                               | 12.8 | 244.9 | 3.5 | 244.3 | 3.6 |
| W5610-8.26 | 2689                  | 1140                   | 123                    | 0.42 | 0.2717                                    | 1.64                                | 0.0387 | 1.50                                | 0.9145 | 237.1                               | 15.3 | 244.1 | 3.6 | 244.8 | 3.6 |



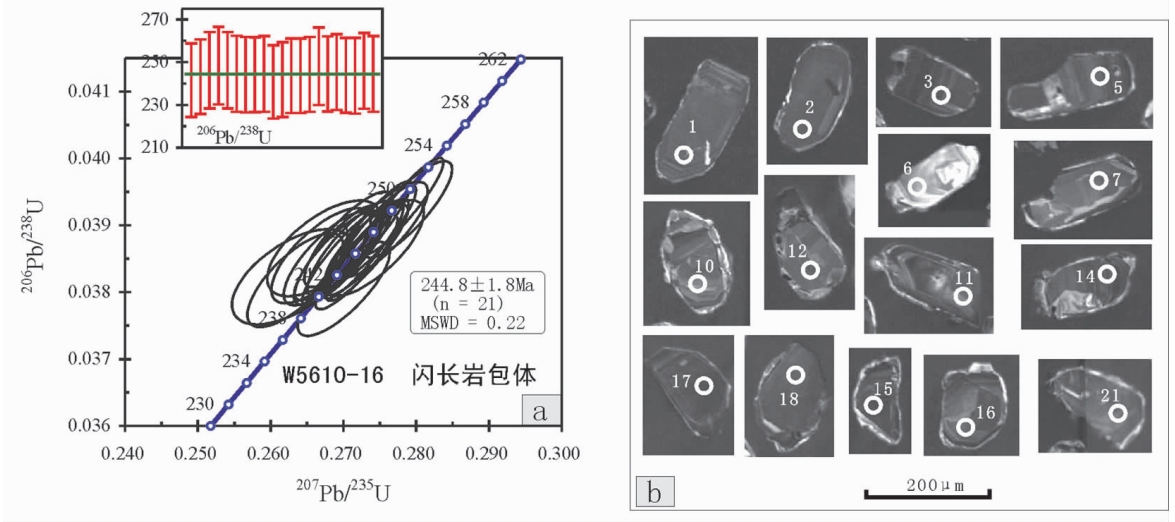


图 3 尾亚闪长岩包体(W5610-16)锆石 U-Pb 谐和年龄图(a)及阴极发光图像(b)

Fig.3 U-Pb concordia diagram (a) and CL images (b) of zircons from diorite enclave (W5610-16) in the Weiya ore district

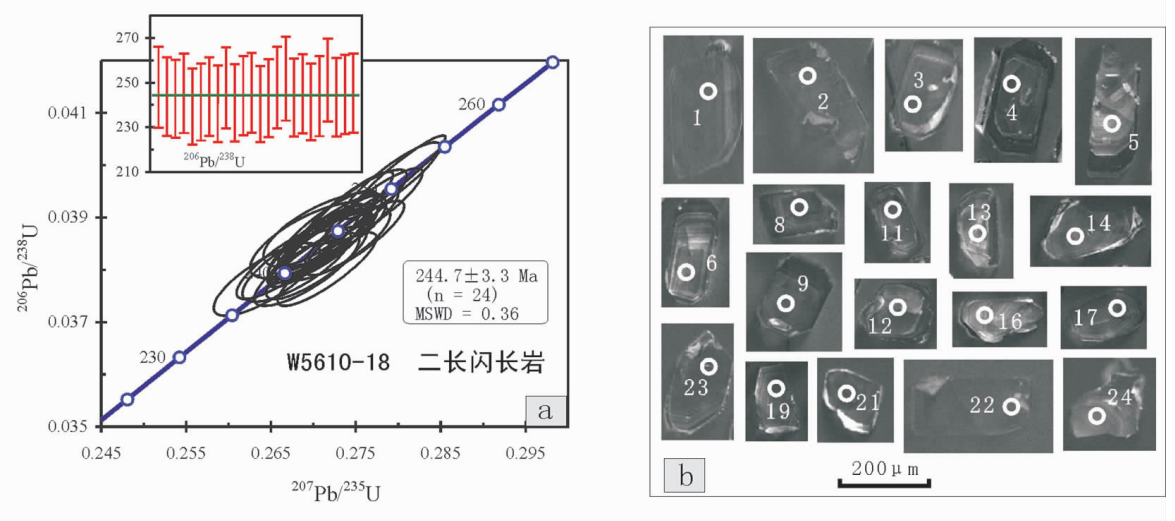


图 4 尾亚石英二长闪长岩(W5610-18)锆石 U-Pb 谐和年龄图(a)及阴极发光图像(b)

Fig.4 U-Pb concordia diagram (a) and CL images (b) of zircons from quartz monzodiorite (W5610-18) in the Weiya ore district

值为 $(244.7 \pm 3.3)\text{Ma}$ 。锆石粒度为  $150 \sim 300 \mu\text{m}$ , 晶体形态为短柱状或近等轴状, 发育清楚的韵律环带 (图 4-b), 测试结果 $(244.7 \pm 3.3)\text{Ma}$  可能为石英二长闪长岩体的形成年龄。

### 5 讨论和结论

尾亚矿区钾长花岗岩及其中暗色微粒包体 (闪长岩) 的锆石 U-Pb 年龄分别为  $(247.5 \pm 5.3)\text{Ma}$  和

$(244.8 \pm 1.8)\text{Ma}$ , 它们较为接近, 在误差范围内是一致的, 表明钾长花岗岩和其中的暗色微粒包体形成于同一地质时期。这就排除了钾长花岗岩中的暗色微粒包体为源区的固态难熔残余或围岩捕虏体, 因为不论是花岗质岩浆的原岩还是围岩的捕虏体, 其形成年龄应早于花岗岩浆的形成年龄。石英二长闪长岩体的形成年龄为  $(244.7 \pm 3.3)\text{Ma}$ , 与该区岩浆混合作用的时代在误差范围内也是一致的, 表明它们

表 2 尾亚闪长岩包体 (W5610-16) 锆石 U-Pb 年龄数据  
Table 2 Zircon U-Pb data of diorite enclave (W5610-16) in the Weiya ore district

| 测点          | U<br>/ $10^{-6}$ | Th<br>/ $10^{-6}$ | Pb<br>/ $10^{-6}$ | Th/U | 同位素比值   |   |         | 同位素年龄/Ma  |   |             |      |       |     |       |     |
|-------------|------------------|-------------------|-------------------|------|---|---|---------|---|---|-------------|------|-------|-----|-------|-----|
|             |                  |                   |                   |      | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$<br>$\pm\sigma(\%)$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>$\pm\sigma(\%)$ | $\rho$  | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$<br>$\pm\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>$\pm\sigma$ | $\pm\sigma$ |      |       |     |       |     |
| W6610-16.1  | 929              | 326               | 41                | 0.35 | 0.2731  | 1.77  | 0.03818 | 1.52  | 0.8603  | 250.7       | 20.6 | 245.2 | 3.9 | 244.6 | 3.6 |
| W6610-16.2  | 1027             | 415               | 47                | 0.4  | 0.2752  | 1.89  | 0.03845 | 1.50  | 0.7944  | 252.9       | 26.2 | 246.9 | 4.1 | 246.2 | 3.6 |
| W6610-16.3  | 1707             | 648               | 78                | 0.38 | 0.2782  | 1.64  | 0.03894 | 1.50  | 0.9149  | 256.8       | 15.2 | 249.2 | 3.6 | 248.4 | 3.7 |
| W6610-16.4  | 1791             | 797               | 82                | 0.44 | 0.2738  | 1.63  | 0.03928 | 1.50  | 0.9192  | 240.4       | 14.8 | 245.7 | 3.6 | 246.3 | 3.6 |
| W6610-16.5  | 1326             | 426               | 58                | 0.32 | 0.2718  | 1.7   | 0.03894 | 1.50  | 0.8835  | 253         | 18.2 | 244.1 | 3.7 | 243.2 | 3.6 |
| W6610-16.6  | 432              | 229               | 20                | 0.53 | 0.2634  | 2.04  | 0.03867 | 1.50  | 0.7352  | 196.7       | 31.8 | 237.4 | 4.3 | 241.5 | 3.6 |
| W6610-16.7  | 1137             | 562               | 54                | 0.49 | 0.2788  | 1.8   | 0.03859 | 1.50  | 0.8319  | 264.7       | 22.8 | 249.7 | 4   | 248.1 | 3.7 |
| W6610-16.8  | 1782             | 667               | 80                | 0.37 | 0.2728  | 1.64  | 0.03859 | 1.50  | 0.917   | 251.7       | 15   | 244.9 | 3.6 | 244.2 | 3.6 |
| W6610-16.9  | 766              | 340               | 35                | 0.44 | 0.2682  | 1.94  | 0.03866 | 1.50  | 0.7724  | 218.3       | 28.3 | 241.2 | 4.2 | 243.6 | 3.6 |
| W6610-16.10 | 643              | 220               | 28                | 0.34 | 0.2693  | 1.86  | 0.03805 | 1.50  | 0.8058  | 228.3       | 25.3 | 242.2 | 4   | 243.6 | 3.6 |
| W6610-16.11 | 499              | 268               | 23                | 0.54 | 0.263   | 2.58  | 0.03823 | 1.52  | 0.589   | 190.3       | 47.9 | 237.1 | 5.5 | 241.8 | 3.6 |
| W6610-16.12 | 583              | 183               | 25                | 0.31 | 0.27  | 1.92  | 0.03851 | 1.51  | 0.7859  | 262.2       | 27   | 242.7 | 4.1 | 240.7 | 3.6 |
| W6610-16.13 | 270              | 134               | 13                | 0.5  | 0.2673  | 2.39  | 0.03851 | 1.51  | 0.6338  | 202.4       | 42.3 | 240.6 | 5.1 | 244.5 | 3.6 |
| W6610-16.14 | 1229             | 374               | 54                | 0.3  | 0.2691  | 1.74  | 0.03861 | 1.50  | 0.862   | 221.3       | 20.3 | 242   | 3.8 | 244.1 | 3.6 |
| W6610-16.15 | 1692             | 720               | 77                | 0.43 | 0.2733  | 1.67  | 0.03924 | 1.51  | 0.9019  | 257.2       | 16.5 | 245.3 | 3.7 | 244.1 | 3.6 |
| W6610-16.16 | 1178             | 532               | 54                | 0.45 | 0.2709  | 1.77  | 0.03865 | 1.50  | 0.8483  | 233.2       | 21.5 | 243.4 | 3.8 | 244.5 | 3.6 |
| W6610-16.17 | 1473             | 602               | 66                | 0.41 | 0.2699  | 1.7   | 0.03879 | 1.52  | 0.897   | 233.3       | 17.2 | 242.6 | 3.7 | 243.6 | 3.6 |
| W6610-16.18 | 1197             | 560               | 55                | 0.47 | 0.2669  | 2.09  | 0.03855 | 1.50  | 0.7189  | 205.6       | 33.4 | 240.2 | 4.5 | 243.8 | 3.6 |
| W6610-16.19 | 792              | 349               | 36                | 0.44 | 0.2707  | 1.84  | 0.03851 | 1.50  | 0.8154  | 223.6       | 24.4 | 243.3 | 4   | 245.3 | 3.6 |
| W6610-16.20 | 1433             | 341               | 62                | 0.24 | 0.2744  | 1.67  | 0.03888 | 1.50  | 0.8978  | 249         | 16.9 | 246.2 | 3.7 | 245.9 | 3.6 |
| W6610-16.21 | 1028             | 464               | 47                | 0.45 | 0.2742  | 2.04  | 0.03866 | 1.51  | 0.7405  | 260.9       | 31.2 | 246.1 | 4.5 | 244.5 | 3.6 |

表 3 尾亚石英二长闪长岩 (W5610-18) 锆石 U-Pb 年龄数据  
 Table 3 Zircon U-Pb data of quartz monzodiorite (W5610-18) in the Weiya ore district

| 测点          | U<br>/10 <sup>6</sup> | Th<br>/10 <sup>6</sup> | Pb<br>/10 <sup>6</sup> | Th/U | 同位素比值  |  |         | 同位素年龄/Ma                                  |   |       |      |       |     |       |     |
|-------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------|--|--|---------|---|---|-------|------|-------|-----|-------|-----|
|             |                       |                        |                        |      | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U<br>±σ(%) | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U<br>±σ(%) | ρ       | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U<br>±σ | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U<br>±σ | ±σ    |      |       |     |       |     |
| W6610-18.1  | 1163                  | 442                    | 53                     | 0.38 | 0.2771                                       | 1.70   | 0.03922 | 1.50                                      | 0.8812                                    | 251.9 | 18.4 | 248.4 | 3.8 | 248.0 | 3.7 |
| W6610-18.2  | 836                   | 294                    | 38                     | 0.35 | 0.2717                                       | 1.75   | 0.03855 | 1.50                                      | 0.8603                                    | 230.7 | 20.4 | 244.0 | 3.8 | 245.4 | 3.6 |
| W6610-18.3  | 1580                  | 734                    | 73                     | 0.46 | 0.2722                                       | 1.76   | 0.03837 | 1.50                                      | 0.8525                                    | 240.1 | 21.1 | 244.5 | 3.8 | 244.9 | 3.6 |
| W6610-18.4  | 1165                  | 489                    | 52                     | 0.42 | 0.2668                                       | 1.79   | 0.03876 | 1.50                                      | 0.838                                     | 228.7 | 22.4 | 240.1 | 3.8 | 241.3 | 3.6 |
| W6610-18.5  | 585                   | 182                    | 26                     | 0.31 | 0.2695                                       | 2.11   | 0.03781 | 1.53                                      | 0.7241                                    | 226.7 | 33.3 | 242.3 | 4.6 | 243.9 | 3.7 |
| W6610-18.6  | 1159                  | 536                    | 55                     | 0.46 | 0.2792                                       | 1.68   | 0.03814 | 1.50                                      | 0.8922                                    | 240.9 | 17.4 | 250.0 | 3.7 | 251.0 | 3.7 |
| W6610-18.7  | 501                   | 169                    | 22                     | 0.34 | 0.2726                                       | 1.95   | 0.03852 | 1.51                                      | 0.7735                                    | 256.5 | 28.1 | 244.7 | 4.2 | 243.5 | 3.6 |
| W6610-18.8  | 1859                  | 639                    | 83                     | 0.34 | 0.2721                                       | 1.63   | 0.03801 | 1.51                                      | 0.9255                                    | 240.4 | 14.2 | 244.3 | 3.5 | 244.8 | 3.6 |
| W6610-18.9  | 1501                  | 664                    | 69                     | 0.44 | 0.2745                                       | 1.64   | 0.03915 | 1.50                                      | 0.9159                                    | 255.4 | 15.1 | 246.3 | 3.6 | 245.3 | 3.6 |
| W6610-18.10 | 813                   | 380                    | 37                     | 0.47 | 0.2715                                       | 1.81   | 0.03809 | 1.51                                      | 0.8311                                    | 244.7 | 23.0 | 243.9 | 3.9 | 243.8 | 3.6 |
| W6610-18.11 | 1322                  | 555                    | 60                     | 0.42 | 0.2704                                       | 1.70   | 0.0386  | 1.51                                      | 0.8873                                    | 245.7 | 18.0 | 243.0 | 3.7 | 242.7 | 3.6 |
| W6610-18.12 | 1154                  | 476                    | 53                     | 0.41 | 0.2713                                       | 2.17   | 0.0388  | 1.50                                      | 0.6915                                    | 230.5 | 35.9 | 243.8 | 4.7 | 245.1 | 3.6 |
| W6610-18.13 | 883                   | 389                    | 40                     | 0.44 | 0.2645                                       | 1.93   | 0.03801 | 1.50                                      | 0.7798                                    | 228.5 | 27.7 | 238.3 | 4.1 | 239.3 | 3.5 |
| W6610-18.14 | 794                   | 344                    | 36                     | 0.43 | 0.2704                                       | 1.80   | 0.03843 | 1.50                                      | 0.8341                                    | 259.5 | 22.6 | 243.0 | 3.9 | 241.3 | 3.6 |
| W6610-18.15 | 736                   | 298                    | 33                     | 0.41 | 0.2706                                       | 1.81   | 0.03919 | 1.50                                      | 0.8298                                    | 238.7 | 23.1 | 243.2 | 3.9 | 243.7 | 3.6 |
| W6610-18.16 | 857                   | 356                    | 38                     | 0.42 | 0.2716                                       | 1.75   | 0.03983 | 1.51                                      | 0.8598                                    | 277.9 | 20.3 | 244.0 | 3.8 | 240.5 | 3.6 |
| W6610-18.17 | 1556                  | 521                    | 70                     | 0.33 | 0.2738                                       | 1.66   | 0.03846 | 1.51                                      | 0.9106                                    | 228.5 | 15.8 | 245.8 | 3.6 | 247.6 | 3.7 |
| W6610-18.18 | 844                   | 310                    | 37                     | 0.37 | 0.268  | 1.95   | 0.03873 | 1.51                                      | 0.7731                                    | 242.4 | 28.2 | 241.1 | 4.2 | 241.0 | 3.6 |
| W6610-18.19 | 970                   | 391                    | 44                     | 0.4  | 0.2748                                       | 1.74   | 0.03814 | 1.50                                      | 0.8631                                    | 269.4 | 20.1 | 246.6 | 3.8 | 244.2 | 3.6 |
| W6610-18.20 | 1013                  | 382                    | 45                     | 0.38 | 0.2692                                       | 1.88   | 0.03856 | 1.50                                      | 0.8016                                    | 257.5 | 25.6 | 242.1 | 4   | 240.5 | 3.5 |
| W6610-18.21 | 1620                  | 596                    | 72                     | 0.37 | 0.27   | 1.65   | 0.03971 | 1.50                                      | 0.9127                                    | 239.2 | 15.5 | 242.7 | 3.6 | 243.1 | 3.6 |
| W6610-18.22 | 1316                  | 595                    | 61                     | 0.45 | 0.2751                                       | 1.77   | 0.0385  | 1.51                                      | 0.8544                                    | 236.6 | 21.0 | 246.7 | 3.9 | 247.8 | 3.7 |
| W6610-18.23 | 2923                  | 1479                   | 140                    | 0.51 | 0.2801                                       | 1.60   | 0.0387  | 1.51                                      | 0.9425                                    | 240.9 | 12.3 | 250.7 | 3.6 | 251.8 | 3.7 |
| W6610-18.24 | 884                   | 298                    | 39                     | 0.34 | 0.2708                                       | 1.85   | 0.03879 | 1.50                                      | 0.8101                                    | 243.5 | 24.8 | 243.3 | 4   | 243.3 | 3.6 |

基本在同一时间段内形成。

前人推测,尾亚地区的岩浆混合作用可划分为3个阶段<sup>[9]</sup>:第一阶段为辉长质与花岗质岩浆混合,并生成闪长质岩石,该阶段以物理混合为主;第二阶段为闪长质与花岗质岩浆的混合,生成了石英二长质岩浆,以物理混合和化学混合为主;第三阶段为石英二长岩浆与闪长质岩浆的混合,以化学混合为主。本文的钾长花岗岩及其包体相当于第二阶段花岗质岩浆和闪长质岩浆的结晶产物,而石英二长闪长岩相当于岩浆混合岩,亦即第二阶段形成。已知矿区含矿辉长岩的同位素年龄在(230~246)Ma<sup>[11, 18-19]</sup>,与本文测得的第二阶段3个年龄在误差范围内一致。就测年结果质量来看,本文的数据更精确一些,因此可以认为,尾亚地区的岩浆混合作用发生在244~247 Ma,相当于早三叠世。

从上述讨论可以得到以下结论:本文获得的尾亚地区钾长花岗岩及其中的暗色微粒包体(闪长岩)和矿区石英二长闪长岩体的锆石 U-Pb 年龄分别为(247.5±5.3)Ma、(244.8±1.8)Ma 和 (244.7±3.3)Ma,它们形成于近同一地质时期,表明钾长花岗岩及其中的暗色微粒包体为岩浆混合作用端员岩浆结晶产物,而矿区中部的石英二长闪长岩为混合岩浆结晶产物。

**致谢:**野外工作中得到新疆有色704队项目组成员的大力帮助,锆石阴极发光实验过程中得到闫欣高级工程师的帮助,锆石 U-Pb 同位素测试实验过程中李献华研究员给予诸多指导、唐国强给予大量帮助,在此一并向他们表示感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 2004:381.  
Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:381(in Chinese).
- [2] Didier J, Barbarin B. Enclaves and Granite Petrology [M]. Amsterdam: Elsevier, 1991:625.
- [3] Chappell B W, White A J R. Restgite enclaves and the restite model [C]//Didier J, Barbarin B (eds.). Enclaves and Granite Petrology. Amsterdam: Elsevier, 1991:375-381.
- [4] Didier J. Granites and their enclaves: The bearing of enclaves on the origin of granite [C]//Development in Petrology. Amsterdam: Elsevier, 1973:393.
- [5] 李昌年. 岩浆混合作用及其研究评述 [J]. 地质科技情报, 2002;21(4):49-54.  
Li Changnian. Comment on the magma mixing and their research [J]. Geological Science and Technology Information, 2002;21(4):49-54 (in Chinese with English abstract).
- [6] 莫宣学, 罗照华, 肖庆辉, 等. 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的认识与研究方法 [C]//肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等主编, 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社, 2002:55-63.  
Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui, et al. Cognition of magma hybrid in granites and its research methods [C]//Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daguang, et al. (eds.). The Ways of Investigation on Granitoids. Beijing: Geological Publishing House, 2002:55-63(in Chinese).
- [7] 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用:来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报, 2004;49(6):596-602.  
Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Mixing events between the crust - and mantle - derived magmas in Eastern Kunlun: Evidence from zircon SHRIMP II chronology [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49:823-834.
- [8] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚地区石英二长闪长岩的岩浆混合成因[J]. 岩石学报, 2007;23(4):733-746.  
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Magma-mixing genesis of quartz monzodiorite in the Weiya, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007;22(10):733-746 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚矿区3阶段岩浆混合作用的初步研究[J]. 中国地质, 2007, 34(2):289-299.  
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Three-stage magma mixing in the Weiya area, Xinjiang [J]. Geology in China, 2007;34(2):289-299 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李嵩龄, 冯新昌. 新疆天山东部尾亚超单元组合特征[J]. 新疆地质, 1997;15(1):13-27.  
Li Songling, Feng Xinchang. Super-unite association of Weiya, eastern Tianshan of Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 1997;15(1):13-27 (in Chinese with English abstract).
- [11] Zhang Z Z, Gu L X, Wu C Z, et al. Zircon SHRIMP dating for the Weiya pluton, eastern Tianshan: Its geological implications [J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 2005;79(4):481-490.
- [12] 王京彬, 王玉往. 新疆尾亚钒钛磁铁矿床成矿年龄探讨[J]. 矿床地质, 2006;25(增刊):309-312.  
Wang Jingbin, Wang Yuwang. Metallogenetic chronology of Weiya vanadium-bearing titanomagnetite deposit, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2006;25(Supp.):309-312 (in Chinese).
- [13] Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. Improved <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards [J]. Chemical Geology, 2004;205:115-140.
- [14] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace-element and REE analyses



- [J]. Geostandard Newsletter, 1995;19:1-23.
- [15] Li X H, Liu Y, Li Q L, et al. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multi-collector SIMS without external standardization. *Geochemistry Geophysics Geosystems* (G3), doi: 10.1029/2009GC002400, in press.
- [16] Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, 26:207-221.
- [17] Ludwig K R. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, 2001, No. 1a:56.
- [18] Li H Q, Chen F W, Lu Y F, et al. New chronological evidence for indosinian diagenetic mineralization in Eastern Xinjiang, NW China [J]. *Acta Geologica Sinica* (English edition), 2005, 79(2): 264-275.
- [19] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚含矿岩体锆石 U-Pb 年龄, Sr-Nd 同位素组成及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(4):781-792.
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Zircon U-Pb age, Sr-Nd isotope geochemistry and geological significances of the Weiya mafic-ultramafic complex, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4):781-792 (in Chinese with English abstract).

## Zircon U-Pb chronologic evidence for magma mixing in the Weiya ore district, Xinjiang

LI Mei<sup>1</sup>, WANG Yu-wang<sup>1</sup>, WANG Jing-bin<sup>2</sup>, WANG Li-juan<sup>2</sup>, LONG Ling-li<sup>2</sup>

(1. Department of Geography, Xinzhou Normal University, Xinzhou 034000, China;

2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Lithological, mineral chemical and litho-geochemical characteristics of K-feldspar granite in the Weiya V-Ti-magnetite ore district in eastern Xinjiang as well as the enclaves (diorite) and field geological features of this granite suggest a product of magma mixing. This paper obtained zircon U-Pb ages of  $(247.5 \pm 5.3)$  Ma and  $(244.8 \pm 1.8)$  Ma from the K-feldspar granite and its mafic microgranular enclaves of diorite, which are in accord with the age of  $(244.7 \pm 3.3)$  Ma from the quartz monzodiorite within the error limits. The dating result provides the evidence for magma mixing origin of K-feldspar granite and its enclaves from the viewpoint of chronology.

**Key words:** magma mixing; Weiya ore district; zircon U-Pb chronology; Xinjiang

**About the first author:** LI Mei, female, born in 1964, associate professor, engages in the study of physical geography and geology; E-mail: Li0316@126.com.