

# 宁夏西吉盆地花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

吴文忠, 马瑞赞, 潘进礼, 王忠禹

WU Wenzhong, MA Ruiyun, PAN Jinli, WANG Zhongyu

宁夏回族自治区地质调查院, 宁夏 银川 750021

Ningxia Institute of Geological Survey, Yinchuan 750021, Ningxia, China

**摘要:**对北祁连山东段宁夏西吉盆地花岗岩地球化学特征和 U-Pb 年龄进行研究, 并与区域上中酸性岩体进行对比。西吉盆地花岗岩属高钾钙碱性系列, 具有富钠、过铝质的特征,  $LREE/HREE=10.89 \sim 11.93$ , 轻稀土元素相对富集, 分馏明显, 重稀土元素分馏不明显, 具有陆缘弧岩石的特点。岩石负 Eu 异常不明显, 轻、重稀土元素分馏明显 ( $La_N/Yb_N=10.90 \sim 15.41$ )。在微量元素组成上, 花岗岩富集大离子亲石元素 Rb、Th、Pb、La, 亏损 Sr、Ta、Nb、Ce、Ti 元素, Pr、Nd、Sm、Dy 弱富集, 曲线形态具有造山花岗岩的特征, 并具有负 Nb 异常, 属正常大陆弧花岗岩。西吉盆地花岗岩成因类型为 I 型, 形成于陆缘弧环境, 为板块碰撞造山作用的产物, 岩浆来源于下地壳的部分熔融。通过锆石 U-Pb 定年获得花岗岩结晶年龄为  $434.3 \pm 9.0$  Ma, 为早志留世, 属加里东期岩浆侵入活动的产物。西吉盆地花岗岩与北祁连造山带东段南山—屈吴山一线的花岗闪长岩体及甘肃老虎山闪长岩体同属北祁连岩弧带, 是同期岩浆活动的产物, 与板块俯冲消减作用有关, 间接证明了西吉盆地属于北祁连造山带。

**关键词:** 西吉盆地; 花岗岩; 地球化学特征; U-Pb 年龄; 北祁连山

**中图分类号:** P588.12<sup>+</sup>1; P597<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2018)07-1271-08

**Wu W Z, Ma R Y, Pan J L, Wang Z Y. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the granite in Xiji basin of Ningxia. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(7):1271-1278**

**Abstract:** In this paper, the authors studied geochemical characteristics and U-Pb age of the granite in Xiji basin of Ningxia in North Qilian Mountains and made a comparative research on the acid rocks of this area. The granite in the Xiji basin is a series of high potassium calc-alkaline rocks and shows sodium-rich and aluminium characteristics.  $LREE/HREE=10.89 \sim 11.93$ , LREE are relatively rich, LREE fractionation is obvious, and HREE earth distillation is not obvious with characteristics of the continental arc rock. The negative anomaly of Eu is not obvious, REE data for the granodiorite show strongly fractionated REE patterns ( $La_N/Yb_N=10.90 \sim 15.41$ ). As for the composition of trace elements, the granite is rich in LILE Rb, Th, Pb and La, but poor in Sr, Ta, Nb, Ce and Ti, with weak enrichment of Nd, Sm and Dy. The curve of trace elements has the characteristics of orogenic granite with Nb negative anomaly, suggesting normal continental arc granite. The genetic type of granite in the Xiji basin is of I type, which formed in the continental arc environment and was the product of the collision of plates. Its magma was derived from the partial melting of the lower crust. U-Pb zircon dating by LA-ICP-MS shows that magma crystallization age is  $434.3 \pm 9.0$  Ma, suggesting early adakite and a product of the magma intrusion of Caledonian period. The granite in the Xiji basin, the granodiorite in Nahuashan - Juewushan area of eastern North Qilian Mountain and the diorite of Laohushan area in Gansu Province are the same products as the northern Qilian magmatic arc belt and were formed by lava activity related to the plate subduction. It is thus proved that the Xiji basin belonged to the North Qilian orogenic belt indirectly.

**Key words:** the Xiji basin; granite; geochemical characteristics; zircon U-Pb ages; North Qilian Mountain

收稿日期: 2017-06-05; 修订日期: 2017-11-02

资助项目: 宁夏地质矿产资源勘查开发创新团队项目 (编号: 宁地科发[2016]1号)

作者简介: 吴文忠 (1981-), 男, 硕士, 工程师, 从事矿产勘查工作。E-mail: wuwz1981@126.com

西吉盆地位于北祁连造山带东段,阿拉善地块南缘,鄂尔多斯地块西缘,地处“秦-祁-贺”三盆裂谷系交汇部位,大地构造位置特殊,构造变形复杂。自 20 世纪 90 年代至今,依托矿产勘查项目及专题研究,前人对北祁连造山带进行了系统深入的研究,取得了较多重要成果。较一致的认识是,自元古代以来,北祁连经历了陆壳形成-裂解-俯冲、碰撞造山-陆内叠覆造山等复杂的地质发展过程,形成多期聚合与离散的复合造山带<sup>[1-13]</sup>,并在构造演化过程中伴随有各种类型、多期次的花岗岩浆活动<sup>[14-17]</sup>。然而,对北祁连东段位于宁夏境内的部分,即北祁连山东端的研究较少,且都是针对海原南华山、西华山海原群变质岩的研究<sup>[13,18-23]</sup>。位于北祁连东段的西吉盆地被第四系覆盖,几乎无基岩出露,对西吉盆地的研究尚处于空白,现有的认识都是根据区域资料进行的推断,认识较模糊。因此,本文系统分析西吉盆地钻孔所见花岗岩体的地球化学特征、时代归属,并与邻区花岗岩进行对比,为北祁连东段的演化提供基础资料,同时为西吉盆地的地质构造演化分析提供重要的参考资料。

## 1 地质概况

研究区全部被新生界覆盖,根据钻孔揭露情况,西吉盆地新生界覆盖层之下为斜长角闪岩、变粒岩、绿片岩、石英片岩等区域变质岩,以及侵入其中的基性、中酸性岩体。区域上,在研究区北部海原县南华山—甘肃岷吴山一带有花岗闪长岩体零星分布(图 1)。本次花岗岩样品采自钻孔岩心(图 2-a),钻孔揭露的花岗岩岩体厚度超过 500m。

镜下观察表明,西吉盆地花岗岩的主要矿物成分为斜长石(45%~50%)、石英(35%~45%)、黑云母(8%~10%)、钾长石(2%~8%),副矿物为磷灰石、锆石。斜长石为更长石,呈半自形柱状,绢云母化,少数局部伴绿帘石化。石英以粒状他形为主。黑云母多呈鳞片状,局部绿泥石化(图 2-b)。

## 2 花岗岩地球化学特征

### 2.1 主量元素

西吉盆地花岗岩主量、微量和稀土元素含量见表 1 和表 2。

花岗岩主量元素分析结果显示,样品  $\text{SiO}_2$  含量为 66.94%~70.90%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 13.43%~15.12%,  $\text{CaO}$  为 1.82%~4.00%,  $\text{TFe}$  为 2.31%~2.77%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  为 0.085%~0.098%,  $\text{MnO}$  为 0.091%~0.16%,  $\text{TiO}_2$  为 0.22%~0.29%,  $\text{MgO}$  为 0.71%~0.99%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 3.23%~4.27%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 2.23%~2.70%。 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ,属钠质。在  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解(图 3-a)上,样品点均落于高钾钙碱性系列区域,在  $\text{A/CNK}$ - $\text{A/NK}$  图解(图 3-b)上,所有样品点落在过铝质

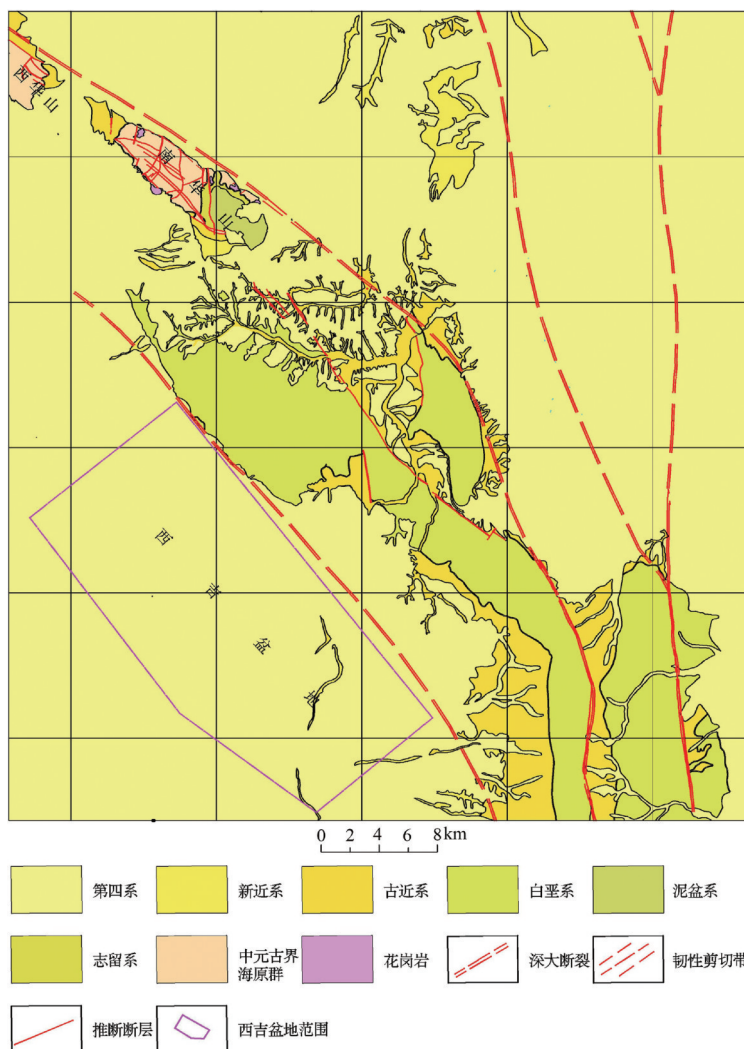


图 1 西吉盆地地质简图

Fig. 1 Regional geological map of the Xiji basin

表 1 西吉盆地花岗岩主要氧化物含量及特征参数

Table 1 Main oxide content and characteristic parameters of the granite in the Xiji basin

|    |      |      |                  |       |      |                                |      |                                |                  |                   |                  |                               |      | %                             |                               |
|----|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|
| 序号 | 样品号  | 岩石名称 | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |
| 1  | GS1  | 花岗岩  | 70.90            | 14.32 | 3.70 | 2.70                           | 2.36 | 0.92                           | 0.087            | 0.26              | 0.098            | 0.087                         | 1.49 | 0.49                          | 1.56                          |
| 2  | XW1  | 花岗岩  | 67.76            | 13.62 | 4.08 | 2.42                           | 4.00 | 0.86                           | 0.089            | 0.24              | 0.10             | 0.089                         | 1.47 | 0.17                          | 2.78                          |
| 3  | GS3  | 花岗岩  | 66.94            | 15.32 | 3.23 | 2.48                           | 3.20 | 0.92                           | 0.096            | 0.29              | 0.099            | 0.096                         | 1.57 | 0.17                          | 3.58                          |
| 4  | XW2  | 花岗岩  | 69.72            | 14.06 | 4.03 | 2.23                           | 2.88 | 0.91                           | 0.090            | 0.25              | 0.11             | 0.090                         | 1.47 | 0.19                          | 3.01                          |
| 5  | GS5  | 花岗岩  | 67.28            | 13.78 | 3.97 | 2.40                           | 3.99 | 0.99                           | 0.094            | 0.26              | 0.15             | 0.094                         | 1.62 | 0.40                          | 2.55                          |
| 6  | XW3  | 花岗岩  | 69.02            | 13.99 | 4.27 | 2.10                           | 2.91 | 0.78                           | 0.094            | 0.25              | 0.13             | 0.094                         | 1.65 | 0.19                          | 3.35                          |
| 7  | GS7  | 花岗岩  | 68.74            | 13.43 | 4.05 | 2.40                           | 3.21 | 0.72                           | 0.085            | 0.22              | 0.16             | 0.085                         | 1.13 | 0.37                          | 2.48                          |
| 8  | XW4  | 花岗岩  | 69.92            | 13.92 | 4.09 | 2.47                           | 2.21 | 0.81                           | 0.090            | 0.24              | 0.11             | 0.090                         | 1.34 | 0.18                          | 3.52                          |
| 9  | GS9  | 花岗岩  | 69.48            | 15.12 | 3.80 | 2.58                           | 1.82 | 0.88                           | 0.098            | 0.26              | 0.091            | 0.098                         | 1.54 | 0.06                          | 2.79                          |
| 10 | XW5  | 花岗岩  | 68.36            | 14.30 | 3.42 | 2.52                           | 3.27 | 0.71                           | 0.086            | 0.24              | 0.11             | 0.086                         | 1.36 | 0.03                          | 3.27                          |
| 11 | GS11 | 花岗岩  | 68.28            | 14.46 | 4.00 | 2.24                           | 2.95 | 0.71                           | 0.091            | 0.25              | 0.11             | 0.091                         | 1.42 | 0.17                          | 2.42                          |

区域。总体看,岩石整体呈高硅、富钠、过铝的特征。

## 2.2 稀土元素

西吉盆地花岗岩稀土元素总量 $\Sigma\text{REE}=114.84\times 10^{-6}\sim 182.59\times 10^{-6}$ ,轻稀土元素含量 $\text{LREE}=104.48\times 10^{-6}\sim 168.48\times 10^{-6}$ ,重稀土元素含量 $\text{HREE}=9.78\times 10^{-6}\sim 14.12\times 10^{-6}$ 。 $\text{LREE}/\text{HREE}=10.89\sim 11.93$ ,大于1,轻稀土元素相对富集。球粒陨石稀土元素标准化图解(图4)呈右倾型,属轻稀土元素富集型,轻稀土元素分馏明显,重稀土元素分馏不明显,具有陆缘弧岩石的特点。

## 2.3 微量元素

花岗岩微量元素蛛网图(图5)显示,岩石富集大离子亲石元素Rb、Th、Pb、La,亏损Sr、Ta、Nb、

Ce、Ti元素,Pr、Nd、Sm、Dy弱富集。曲线形态具有造山花岗岩的特征。造山花岗岩又划分为正常大陆弧花岗岩和成熟大陆弧花岗岩,大陆弧背景下的2种造山花岗岩均具Sr、Ti等元素的亏损,但成熟大陆弧花岗岩不具Nb亏损,而正常大陆弧花岗岩具有Nb的负异常,这种花岗岩是增生在大陆边缘的新的地壳<sup>[26]</sup>。因此,西吉盆地花岗岩应属正常大陆弧花岗岩,是板块碰撞造山作用的产物。

## 2.4 岩石成因及构造环境

大量实验研究结果表明,I型花岗岩的 $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量随 $\text{SiO}_2$ 含量的增加而降低,特别是当 $\text{SiO}_2$ 大于75%时,绝大多数样品的 $\text{P}_2\text{O}_5$ 小于0.05%;而S型花岗岩的 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$ 分布在一个非常分散的“三角形”区域,从偏碱性端的 $\text{P}_2\text{O}_5\approx 0.15\%$ 向超酸性端的

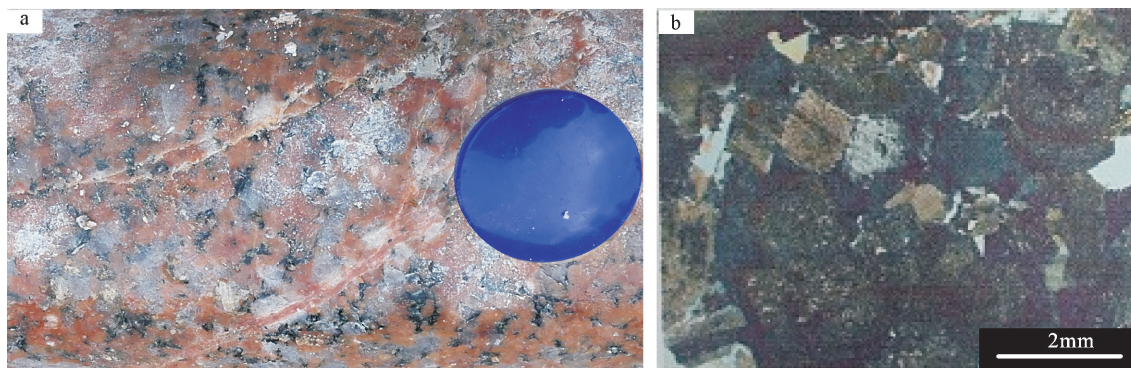


图2 花岗岩手标本照片(a)和镜下照片(b)

Fig. 2 Photograph of hand specimen (a) and photo under the microscope (b) of granite

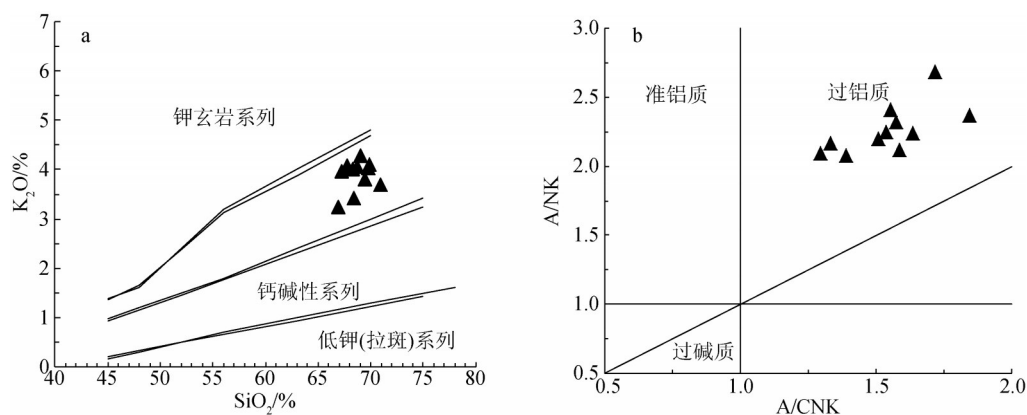
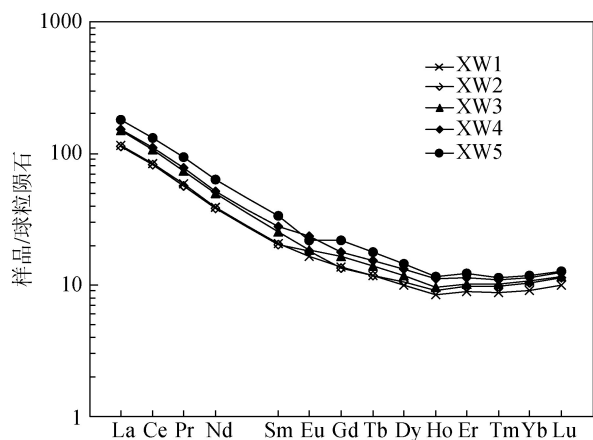
图3 西吉盆地花岗岩  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ (a)<sup>[24]</sup>和  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$  图解(b)<sup>[25]</sup>Fig. 3  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  (a) and  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$  (b) diagrams of the granite in the Xiji basin图4 西吉盆地花岗岩稀土元素球粒陨石标准化曲线<sup>[27]</sup>

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the granite in the Xiji basin

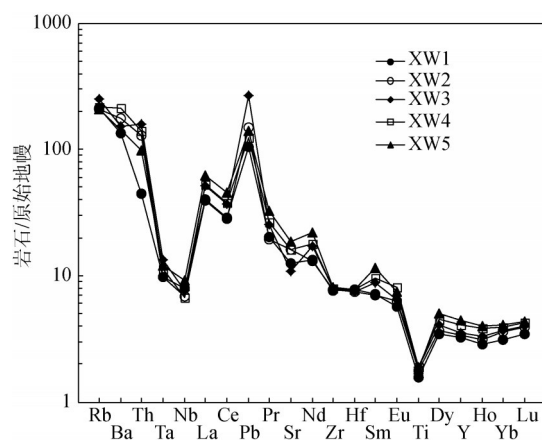
图5 西吉盆地花岗岩微量元素原始地幔标准化蛛网图<sup>[27]</sup>

Fig. 5 Trace elements spider diagram of the granite in the Xiji basin

2个方向演化,  $\text{P}_2\text{O}_5$  从0.02%变化到0.42%, 大多数酸性S型花岗岩的  $\text{P}_2\text{O}_5$  大于0.1%<sup>[28]</sup>。在  $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{O}$  图解(图6-a)中, 西吉盆地花岗岩的11个样品点均投入I型区域。花岗岩体  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量较低(0.085%~0.098%), 明显不同于S型花岗岩  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量高(大于0.1)的特征。在  $\text{SiO}_2$ - $\text{P}_2\text{O}_5$  图解(图6-b)上,  $\text{P}_2\text{O}_5$  随着  $\text{SiO}_2$  的增加而降低, 呈反相关关系, 均与I型花岗岩演化趋势一致。综上所述, 宁夏西吉盆地钻孔所见花岗岩体的成因类型为I型。

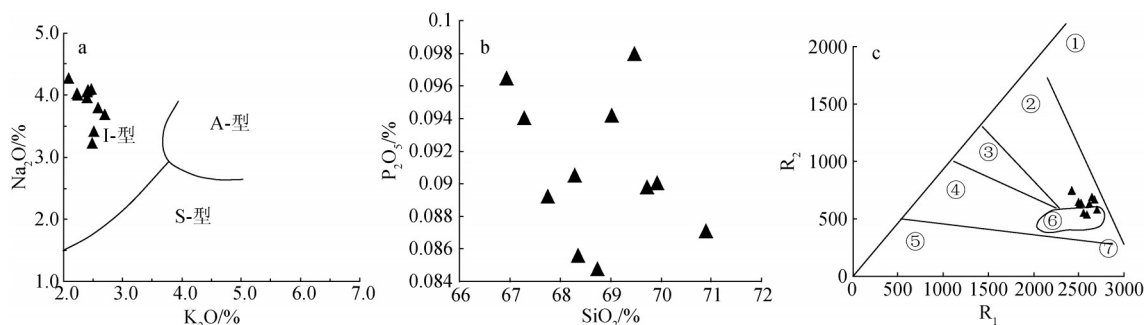
在  $\text{R}_1$ - $\text{R}_2$  构造环境判别图解(图6-c)上, 多数样品点落入活动板块边缘(板块碰撞前)花岗岩区, 少数样品点落入碰撞花岗岩区。在  $(\text{Y}+\text{Nb})$ - $\text{Rb}$  图解(图7-a)中投入火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩

分界线附近, 在  $\text{Y}$ - $\text{Nb}$  图解(图7-b)中投入火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩区。按 Barbarin 构造分类<sup>[29]</sup>, 属岛弧高钾钙碱性花岗岩类(KCG), 为板块俯冲作用的产物。从区域构造分析, 宁夏西吉盆地所在区域为北祁连早古生代造山带东端的白银-西吉岛弧, 晚奥陶世晚期-志留纪早期, 西吉盆地属于板块汇聚环境, 综上所述认为, 西吉盆地花岗岩体形成于陆缘弧环境, 是板块俯冲作用的产物。

### 3 花岗岩 U-Pb 测年

#### 3.1 分析方法

锆石分选在河北省地质矿产局廊坊实验室完成。锆石阴极发光(CL)照相、锆石 U-Pb 定年在武

图 6  $K_2O-Na_2O$ 图解<sup>[29]</sup>(a)、 $SiO_2-P_2O_5$ 图解(b)和  $R_1-R_2$ 构造判别图(c)Fig. 6  $K_2O-Na_2O$ (a),  $SiO_2-P_2O_5$ (b) and  $R_1-R_2$  diagrams(c)

①—地幔斜长花岗岩;②—活动板块边缘(板块碰撞前)花岗岩;③—板块碰撞后隆起期花岗岩;  
④—晚造期花岗岩;⑤—非造山区 A 型花岗岩;⑥—同碰撞(S 型)花岗岩;⑦—造山期后 A 型花岗岩

汉上谱分析科技有限责任公司完成,利用 LA-ICP-MS 方法测定。分析所用激光剥蚀系统为 GeoLas Pro, 等离子体质谱仪为 Agilent7700, 激光能量 80mJ, 频率 5Hz, 激光束斑直径 32 $\mu$ m。锆石 U-Pb 同位素测定过程中元素分馏效应采用标样 91500 为外标进行校正, 具体分析条件及流程见 Liu 等<sup>[31-32]</sup>。

### 3.2 测年结果

西吉盆地花岗岩(图 2)所选锆石在双目镜下为无色透明, 自形程度较好, 样品编号为 TW1。阴极发光图像(图 8)显示, TW1 中的锆石全部为具有典型岩浆结晶环带的锆石。对 23 颗锆石进行了有效的 U-Pb 同位素年龄测定, 其中 20 个数据点的  $^{206}Pb/^{238}U$  年龄加权平均值为  $434.3 \pm 9.0Ma$  (95%置

信度)(图 9)。该年龄代表西吉盆地花岗岩的岩浆结晶年龄, 为早志留世, 属早古生代加里东期岩浆侵入活动的产物。

## 4 区域对比

区域上, 西吉盆地钻孔所见花岗岩体可以与北祁连造山带东段的南华山—甘肃岷吴山一线带状展布的花岗闪长岩体进行对比。南华山—岷吴山花岗闪长岩成因类型为 I 型, 具有大陆岛弧型花岗岩特征。3 组锆石 U-Pb 同位素年龄值分别为  $431 \pm 5Ma$ 、 $451 \pm 54/-32Ma$  和  $437 \pm 5Ma$ , 甘肃岷吴山花岗闪长岩中测得的全岩 K-Ar 同位素年龄值为  $425.8Ma$ <sup>①</sup>。上述 4 组年龄说明, 南华山—岷吴山花岗闪长岩体侵位时代为加里东晚期, 形成于早志留

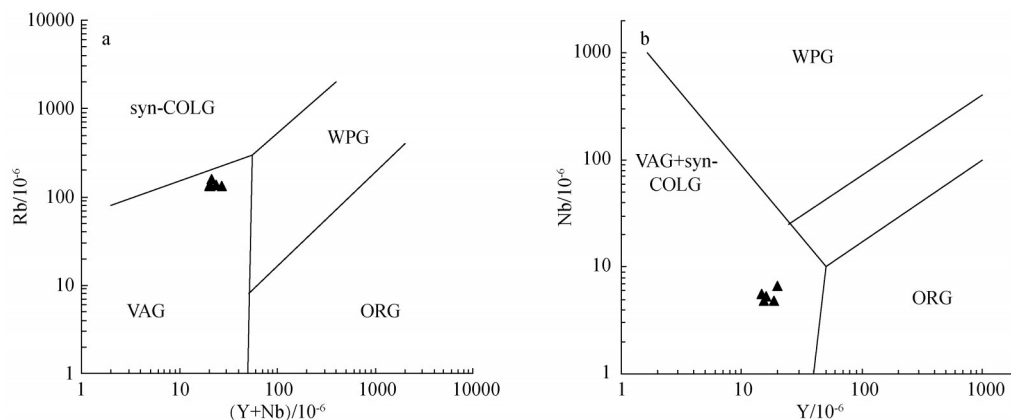
图 7 西吉盆地花岗岩微量元素构造环境判别图解<sup>[30]</sup>

Fig. 7 Diagrams of tectonic setting of trace elements for Xiji basin granite

syn-GOLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;VAG—火山弧花岗岩类;ORG—洋脊花岗岩

表2 西吉盆地花岗岩微量和稀土元素含量

Table 2 Trace and rare earth elements contents of the granite in the Xiji basin

| 含量                   | XW1    | XW2    | XW3    | XW4    | XW5    |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sc                   | 1.2    | 1.2    | 1.2    | 1.2    | 1.2    |
| Ba                   | 946    | 1223   | 1066   | 1493   | 1009   |
| Ti                   | 2053   | 2319   | 2445   | 2469   | 2352   |
| V                    | 104    | 96.0   | 94.3   | 88.9   | 96.3   |
| Cr                   | 66.3   | 67.4   | 68.6   | 71.5   | 69.2   |
| Co                   | 8.6    | 8.5    | 8.7    | 8.1    | 8.0    |
| Ni                   | 4.7    | 1.8    | 2.0    | 2.6    | 2.2    |
| Pb                   | 7.4    | 10.5   | 19.1   | 8.8    | 10.0   |
| Th                   | 3.8    | 10.9   | 13.6   | 11.8   | 8.4    |
| Rb                   | 134    | 132    | 160    | 139    | 132    |
| Zr                   | 85.9   | 87.5   | 88.9   | 88.3   | 91.1   |
| Hf                   | 2.4    | 2.3    | 2.3    | 2.4    | 2.4    |
| Nb                   | 5.6    | 4.8    | 5.4    | 4.8    | 6.6    |
| Ta                   | 0.4    | 0.4    | 0.6    | 0.5    | 0.5    |
| Sr                   | 264    | 340    | 228    | 341    | 389    |
| Cu                   | 26.7   | 27.3   | 27.6   | 26.4   | 26.4   |
| La                   | 27.5   | 26.8   | 35.5   | 35.9   | 43.0   |
| Ce                   | 51.0   | 50.4   | 65.7   | 67.7   | 80.7   |
| Pr                   | 5.57   | 5.37   | 6.99   | 7.35   | 8.91   |
| Nd                   | 18.2   | 17.8   | 23.0   | 24.1   | 29.5   |
| Sm                   | 3.18   | 3.1    | 3.89   | 4.24   | 5.15   |
| Eu                   | 0.96   | 1.05   | 1.08   | 1.35   | 1.26   |
| Gd                   | 2.83   | 2.78   | 3.37   | 3.65   | 4.47   |
| Tb                   | 0.44   | 0.44   | 0.52   | 0.58   | 0.66   |
| Dy                   | 2.55   | 2.7    | 2.98   | 3.36   | 3.7    |
| Ho                   | 0.47   | 0.51   | 0.54   | 0.63   | 0.66   |
| Er                   | 1.47   | 1.62   | 1.69   | 1.87   | 2.01   |
| Tm                   | 0.22   | 0.25   | 0.26   | 0.28   | 0.29   |
| Yb                   | 1.54   | 1.76   | 1.82   | 1.93   | 2.00   |
| Lu                   | 0.25   | 0.29   | 0.3    | 0.31   | 0.32   |
| Y                    | 14.8   | 15.4   | 16     | 18.6   | 20.1   |
| ΣREE                 | 116.27 | 114.84 | 147.65 | 153.25 | 182.59 |
| LREE                 | 106.49 | 104.48 | 136.18 | 140.65 | 168.48 |
| HREE                 | 9.78   | 10.35  | 11.46  | 12.61  | 14.12  |
| LREE/HREE            | 10.89  | 10.09  | 11.88  | 11.16  | 11.93  |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 12.8   | 10.9   | 14.03  | 13.36  | 15.41  |
| δEu                  | 0.95   | 1.07   | 0.89   | 1.03   | 0.78   |

世。常华进等<sup>[33]</sup>认为,北祁连山东段(北掌山-屈吴山-南华山)加里东晚期中-酸性侵入岩带可能是一条埃达克岩条带,是由向北俯冲的老虎山弧后盆地洋壳部分熔融形成的。位于北祁连造山带东段的老虎山闪长岩侵位于晚奥陶世阴沟群砂板岩中,闪

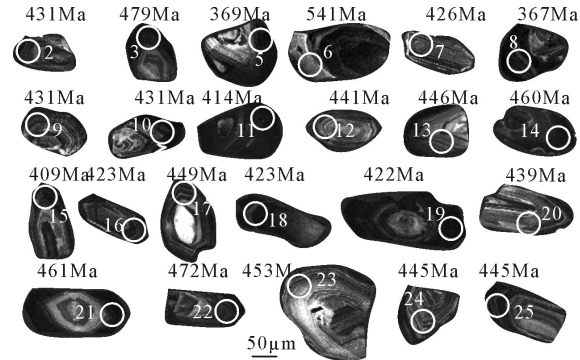


图8 样品TW1锆石阴极发光图像

Fig. 8 The cathodoluminescence images of zircons from TW1

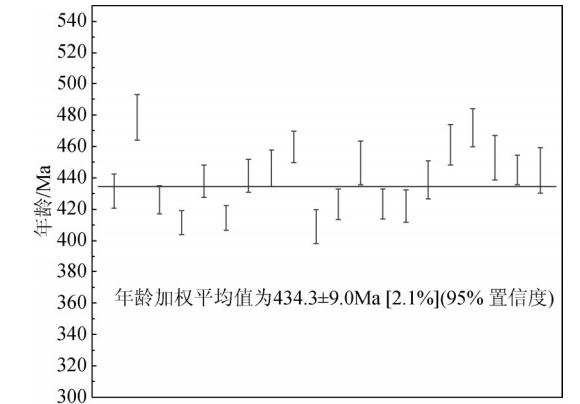


图9 样品TW1锆石U-Pb年龄加权平均值

Fig. 9 U-Pb weighted average ages of zircon from TW1

长岩的单颗粒锆石U-Pb年龄为423.5±2.8Ma,是早志留世侵位的,老虎山闪长岩形成环境具岛弧或活动陆缘环境的特征,是造山后侵位的,其成因可能与岩石圈拆沉作用有关<sup>[34]</sup>。

西吉盆地花岗岩体与北祁连造山带东段南华山-岷吴山一线的花岗闪长岩体及甘肃老虎山闪长岩体具有相同的地球化学特征和形成环境,成因类型均为I型,均形成于活动陆缘的大陆边缘岛弧环境,且年龄接近,属于志留纪,同属北祁连岩浆弧带,是同期岩浆活动的产物,其成因可能与岩石圈拆沉作用有关,是板块俯冲消减作用的产物。

5 结 论

宁夏西吉盆地花岗岩成因类型为I型,具有陆缘弧岩石的特点,形成于陆缘弧环境,为板块碰撞

表 3 花岗岩锆石 U-Th-Pb 测试结果  
Table 3 Zircon U-Th-Pb data of granite

| 样品<br>编号 | 含量/ $10^{-6}$     |                  | Th/U | 同位素比值                             |           |                                  |           |                                  |           | 年龄/Ma                             |           |                                  |           |                                  |           |
|----------|-------------------|------------------|------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
|          | $^{232}\text{Th}$ | $^{238}\text{U}$ |      | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $1\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | $1\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | $1\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $1\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | $1\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | $1\sigma$ |
| TW1-02   | 345               | 660              | 0.52 | 0.05586                           | 0.00128   | 0.5350                           | 0.0133    | 0.06921                          | 0.00090   | 456                               | 51.8      | 435                              | 8.8       | 431                              | 5.4       |
| TW1-03   | 341               | 821              | 0.42 | 0.05519                           | 0.00131   | 0.5877                           | 0.0160    | 0.07710                          | 0.00121   | 420                               | 53.7      | 469                              | 10.3      | 479                              | 7.3       |
| TW1-05   | 1337              | 3890             | 0.34 | 0.05588                           | 0.00096   | 0.4559                           | 0.0096    | 0.05888                          | 0.00068   | 456                               | 37.0      | 381                              | 6.7       | 369                              | 4.1       |
| TW1-06   | 142               | 359              | 0.40 | 0.05973                           | 0.00152   | 0.7207                           | 0.0187    | 0.08751                          | 0.00100   | 594                               | 54.5      | 551                              | 11.0      | 541                              | 5.9       |
| TW1-07   | 610               | 784              | 0.78 | 0.05500                           | 0.00126   | 0.5183                           | 0.0120    | 0.06830                          | 0.00073   | 413                               | 50.0      | 424                              | 8.0       | 426                              | 4.4       |
| TW1-08   | 460               | 1373             | 0.33 | 0.05659                           | 0.00108   | 0.4565                           | 0.0105    | 0.05863                          | 0.00108   | 476                               | 42.6      | 382                              | 7.3       | 367                              | 6.6       |
| TW1-09   | 352               | 838              | 0.42 | 0.05879                           | 0.00145   | 0.5364                           | 0.0135    | 0.06589                          | 0.00062   | 567                               | 53.7      | 436                              | 8.9       | 411                              | 3.8       |
| TW1-10   | 358               | 702              | 0.51 | 0.05510                           | 0.00136   | 0.5355                           | 0.0136    | 0.07028                          | 0.00086   | 417                               | 58.3      | 435                              | 9.0       | 438                              | 5.2       |
| TW1-11   | 940               | 2515             | 0.37 | 0.05675                           | 0.00115   | 0.5221                           | 0.0107    | 0.06637                          | 0.00066   | 483                               | 46.3      | 427                              | 7.2       | 414                              | 4.0       |
| TW1-12   | 134               | 287              | 0.47 | 0.05611                           | 0.00166   | 0.5502                           | 0.0166    | 0.07085                          | 0.00088   | 457                               | 64.8      | 445                              | 10.9      | 441                              | 5.3       |
| TW1-13   | 128               | 222              | 0.58 | 0.05507                           | 0.00176   | 0.5457                           | 0.0180    | 0.07166                          | 0.00097   | 417                               | 70.4      | 442                              | 11.8      | 446                              | 5.8       |
| TW1-14   | 327               | 926              | 0.35 | 0.05540                           | 0.00111   | 0.5693                           | 0.0125    | 0.07392                          | 0.00083   | 428                               | 44.4      | 458                              | 8.1       | 460                              | 5.0       |
| TW1-15   | 1327              | 1662             | 0.80 | 0.05579                           | 0.00114   | 0.5073                           | 0.0113    | 0.06546                          | 0.00088   | 443                               | 44.4      | 417                              | 7.6       | 409                              | 5.4       |
| TW1-16   | 568               | 1115             | 0.51 | 0.05620                           | 0.00122   | 0.5296                           | 0.0119    | 0.06783                          | 0.00082   | 461                               | 48.1      | 432                              | 7.9       | 423                              | 5.0       |
| TW1-17   | 164               | 368              | 0.45 | 0.05630                           | 0.00166   | 0.5624                           | 0.0173    | 0.07220                          | 0.00116   | 465                               | 64.8      | 453                              | 11.2      | 449                              | 7.0       |
| TW1-18   | 868               | 2281             | 0.38 | 0.05661                           | 0.00101   | 0.5350                           | 0.0111    | 0.06784                          | 0.00079   | 476                               | 40.7      | 435                              | 7.4       | 423                              | 4.8       |
| TW1-19   | 2291              | 3390             | 0.68 | 0.05745                           | 0.00106   | 0.5406                           | 0.0115    | 0.06762                          | 0.00085   | 509                               | 36.1      | 439                              | 7.6       | 422                              | 5.1       |
| TW1-20   | 158               | 281              | 0.56 | 0.05680                           | 0.00193   | 0.5535                           | 0.0189    | 0.07041                          | 0.00100   | 483                               | 80.5      | 447                              | 12.4      | 439                              | 6.1       |
| TW1-21   | 450               | 905              | 0.50 | 0.05571                           | 0.00133   | 0.5749                           | 0.0156    | 0.07415                          | 0.00106   | 439                               | 53.7      | 461                              | 10.1      | 461                              | 6.3       |
| TW1-22   | 856               | 1404             | 0.61 | 0.05529                           | 0.00114   | 0.5837                           | 0.0137    | 0.07599                          | 0.00102   | 433                               | 50.9      | 467                              | 8.8       | 472                              | 6.1       |
| TW1-23   | 145               | 411              | 0.35 | 0.05783                           | 0.00168   | 0.5852                           | 0.0190    | 0.07277                          | 0.00119   | 524                               | 64.8      | 468                              | 12.2      | 453                              | 7.1       |
| TW1-24   | 321               | 596              | 0.54 | 0.05601                           | 0.00132   | 0.5519                           | 0.0124    | 0.07146                          | 0.00081   | 454                               | 53.7      | 446                              | 8.1       | 445                              | 4.9       |
| TW1-25   | 1054              | 1812             | 0.58 | 0.05556                           | 0.00113   | 0.5505                           | 0.0141    | 0.07140                          | 0.00120   | 435                               | 46.3      | 445                              | 9.2       | 445                              | 7.2       |

造山作用的产物,岩浆来源于下地壳的部分熔融,岩浆结晶年龄为  $434.3 \pm 9.0\text{Ma}$  (95%置信度)。西吉盆地花岗岩与北祁连造山带东段的南华山—崛吴山一线的花岗闪长岩体及甘肃老虎山闪长岩体同属北祁连岩浆弧带,是同期岩浆活动的产物,为板块俯冲消减作用的产物,也间接证明了西吉盆地属于北祁连造山带。

## 参考文献

- [1] 杜远生, 朱杰, 韩欣, 等. 从弧后盆地到前陆盆地—北祁连造山带奥陶纪—泥盆纪的沉积盆地与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 911-917.
- [2] 冯益民, 何世平. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 81-82.
- [3] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山早古生代洋脊—洋岛和弧后盆地火山作用[J]. 地质学报, 1998, 72(4): 301-312.
- [4] 冯益民. 祁连山带研究概况——历史、现状及展望[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4): 307-314.
- [5] 葛肖虹, 刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景[J]. 地学前缘, 1996, 6(4): 223-230.
- [6] 宋述光. 北祁连山俯冲杂岩带的构造演化[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4): 340-350.
- [7] 李文渊, 夏林圻, 夏祖春, 等. 北祁连早古生代弧后盆地火山作用及成矿特点[J]. 地质论评, 1999, 45: 1048-1053.
- [8] 张建新, 许志琴, 徐惠芬, 等. 北祁连加里东俯冲增生楔结构及动力学[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 290-301.
- [9] 张旗, 王焰, 钱青. 北祁连早古生代是裂陷槽还是大洋盆——与葛肖虹讨论[J]. 地质科学, 2000, 35(1): 121-128.
- [10] 左国朝. 北祁连中段早古生代双向俯冲碰撞造山模式剖析[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4): 315-323.
- [11] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山构造—火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 1-28.
- [12] 张建新, 许志琴, 李海兵. 北祁连加里东造山带从挤压到伸展造山机制的转换[J]. 长春地质学院学报, 1997, 27(3): 277-283.
- [13] 李天斌, 张学文, 王成, 等. 北祁连山东段海原一带海原群变质岩原岩恢复及其构造背景[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2): 194-203.

- [14] 吴才来, 杨经绥, 杨宏仪, 等. 北祁连东部两类 I 型花岗岩定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2004, 20(30):425-432.
- [15] 徐卫东, 岳世东, 张国成. 北祁连西段黑下佬同碰撞花岗岩地质特征[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(2):110-114.
- [16] 吴才来, 徐学义, 高前明, 等. 北祁连早古生代花岗质岩浆作用及构造演化[J]. 岩石学报, 2010, 26(4):1027-1044.
- [17] 秦海鹏. 北祁连造山带早古生代花岗岩岩石学特征及其与构造演化的关系[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2012.
- [18] 霍福臣, 郑昭昌. 宁夏海原地区海原群的时代对比[J]. 地质论评, 1988, 34(1): 1-9.
- [19] 闫志强, 李天斌. 宁夏南华山-西华山大型韧性剪切带特征[J]. 西北地质, 1991, 12(2): 13-18.
- [20] 王崇礼, 李厚民, 等. 海原群变质地质及含矿性研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996: 1-60.
- [21] 李天斌. 宁夏南华山-西华山北麓断裂最大水平位移质疑[J]. 中国区域地质, 1999, 18(4): 359-365.
- [22] 闫志强. 宁夏海原地区的元古宇[J]. 地层学杂志, 1994, 18(1): 30-38.
- [23] 王成, 李明涛, 马彦云. 海原岩群锆石 SHRIMP U-Pb 测年及时代归属讨论[J]. 地质论评, 2014, 13(1): 13-17.
- [24] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(4): 247-263.
- [25] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101(5): 635-643.
- [26] 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 西秦岭糜署岭花岗岩体年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(8):2617-2634.
- [27] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for Mantle composition and processes[J]. Geological Society, 1989, 42 (1):313-345.
- [28] Chappell B W. Aluminium saturation in I and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. Lithos, 1999, 46:535-551.
- [29] Collins W J, Beams S D, White A J R. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia Contrib[J]. Miner. Petro., 1982, 80: 189-200.
- [30] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999, 46: 605-626.
- [31] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chem. Geol., 2008, 257: 34-43.
- [32] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [33] 常华进, 储雪蕾, 王金荣, 等. 被祁连山东段埃达克岩带 Cu、Au 成矿初探[J]. 西北地质, 2008, 41(3): 30-37.
- [34] 钱青, 王岳明, 李蕙民, 等. 甘肃老虎山闪长岩的地球化学特征及其成因[J]. 岩石学报, 1998, 14(4):520-528.
- ① 王成, 陈国新, 杨军宁, 等. 1:25 万固原市幅区域地质调查报告. 宁夏回族自治区地质调查院, 2004.