

张德贤, 曹 汇, 束正祥, 等. 西秦岭造山带夏河—合作地区印支期岩浆活动及成矿作用——以德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩为例[J]. 中国地质, 2015, 42(5): 1257–1273.

Zhang Dexian, Cao Hui, Shu Zhengxiang, et al. Indosinian magmatism and tectonic setting of Xiahe-Hezuo area, western Qinling Mountains——implications from the Dewulu quartz diorite and Laodou quartz dioritic porphyry[J]. Geology in China, 2015, 42(5): 1257–1273(in Chinese with English abstract).

# 西秦岭造山带夏河—合作地区印支期岩浆活动及成矿作用——以德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩为例

张德贤<sup>1</sup> 束正祥<sup>1</sup> 曹 汇<sup>2</sup> 鲁安怀<sup>1</sup>

(1. 中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083;  
2. 大陆构造与动力学国家重点实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:**西秦岭造山带印支期岩浆活动十分频繁,发育在夏河—合作地区的德乌鲁石英闪长岩和老豆花岗闪长岩与区域上金矿床的形成密切相关。岩石地球化学特征表明,这两类岩石地球化学性质相似,均为过铝质钙碱性中性岩。微量元素具有富集大离子亲石元素 LILE,如 Rb、Th、U 等和轻稀土元素,亏损 Ba、K、Nb、Sr、Ti 和低 Sr 和 Y 的特点。稀土元素组成表现为轻稀土富集而重稀土亏损,轻重稀土分馏强烈,且具有弱的负铈异常。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年获得 2 个德乌鲁石英闪长岩样品(LD103 和 LD107)的加权平均年龄分别为(245.8±1.7) Ma 和(243.4±1.9) Ma(图 10-a),而 3 个老豆花岗闪长岩样品(LD102、LD106 和 LD113-2)的加权平均年龄分别为(241.4±2.1) Ma、(238.2±1.7) Ma 和(241.4±1.6) Ma。德乌鲁石英闪长岩和老豆花岗闪长岩具有低 Sr 的特点,属于喜马拉雅型花岗岩,是由来自不同深源部分熔融形成的不同批次岩浆多次侵位聚集而成的,有利于与喜马拉雅型花岗岩有关的斑岩型 Cu-Au、矽卡岩型 Cu-Au 和浅成低温 Cu-Au-Sb 矿床的形成。

**关键词:** 西秦岭造山带; 岩浆作用; 大地构造背景; 印支期

中图分类号: P588.12<sup>2</sup> 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)05-1257-17

## Indosinian magmatism and tectonic setting of Xiahe-Hezuo area, western Qinling Mountains——implications from the Dewulu quartz diorite and Laodou quartz dioritic porphyry

ZHANG De-xian<sup>1</sup>, SHU Zheng-xiang<sup>1</sup>, CAO Hui<sup>2</sup>, LU An-huai<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitor of Ministry of Education; School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2. State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The tectonic setting of western Qinling orogenic belt was studied through the research on the petrogeochemical characteristics and U-Pb age of zircon from Dawulu quartz-diorite and Laodou granitic-diorite using LA ICP-MS. These two

收稿日期: 2015-06-18; 改回日期: 2015-08-08

基金项目: 大陆构造与动力学国家重点实验室开放基金(K201405) 资助。

作者简介: 张德贤, 男, 1978 年生, 博士, 讲师, 从事微量元素地球化学和有色金属矿床地质研究工作; E-mail: 35463552@qq.com。

kinds of rocks belong to peraluminous calc-alkaline middle rocks. Trace element studies suggest that the rocks are predominately characterized by enrichment of LILE elements such as Rb, Th and U and other light rare-earth elements, depletion of Ba, K, Nb, Sr, P, and low Sr and Y, suggesting typical characteristics of Himalaya-type granite. REE data indicate that the light rare earth elements were abundant, and heavy rare-earth elements are poor in these rocks. The light and heavy rare-earth fractionation is obvious.  $\delta\text{Eu}$  has a weak negative anomaly. U-Pb age of zircon indicates that the weighted average ages of both Dewulu quartz-diorite and Laodou granitic diorite are  $(245.8 \pm 1.7)$  Ma and  $(243.4 \pm 1.9)$  Ma,  $(241.4 \pm 2.1)$  Ma,  $(38.2 \pm 1.7)$  Ma and  $(241.4 \pm 1.6)$  Ma respectively, which suggests that these two intrusions formed at the earlier stage of Indosinian. It is pointed out that Laodou granitic diorite and Dewulu quartz diorite were derived from the different sources which came from the different depths, and the emplacement and accumulation were from multiple origins. The Laodou granitic diorite and Dewulu quartz diorite are projected into the range of arc magma. The tectonic setting research suggests that the western Qinling lies in the continental-to-continental collision in the earlier Indosinian period, and hence this region is favorable in search for porphyry Cu-Au deposits, skarn Cu-Au deposits and epithermal Cu-Au-Sb deposits.

**Key words:** western Qingling orogenic belt; magmatism; tectonic setting; Indosinian

**About the first author:** ZHANG De-xian, male, born in 1978, doctor, lecturer, majors in trace element geochemistry and economic geology of non-ferrous metal deposits; E-mail: 35463552@qq.com.

## 1 引言

西秦岭造山带是我国重要的铅-锌-银-锑-金等多金属成矿区<sup>[1-6]</sup>。近些年,随着李坝金矿、枣子沟 Sb-Au 矿床、老豆 Au-Sb-W-Cu-Pb-Zn 多金属矿床等一大批矿床的发现,使得该区再次成为造山与成矿作用研究的热点。上述矿床的形成、分布均与本区的构造演化及印支期类型繁多的花岗质岩石的分布密切相关<sup>[4,6-11]</sup>。同时,西秦岭西段夏河—合作地区印支期的构造控制着本区金多金属成矿,研究该区域印支期岩浆活动对于认识区内多金属矿床的成因和时空分布特征,以及研究区域成矿规律和指导区域地质找矿具有重要的理论和现实意义。

本文以西秦岭西段夏河—合作地区老豆金矿床中的德乌鲁石英闪长岩体和老豆闪长斑岩体作为研究对象,结合野外地质观察,通过对这两个岩体岩相学研究、全岩主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征的分析以及锆石 LA ICP-MS U-Pb 测年的综合研究,探讨西秦岭造山带夏河—合作地区印支期岩浆活动与成矿作用之间的联系。

## 2 地质背景

### 2.1 区域地质背景

西秦岭造山带指介于青海南山北缘断裂—土门关断裂以南,宝成铁路以西,玛沁—略阳断裂以北,柴达木地块以东的区域,该区是多个地块和造

山带汇聚的交汇部位<sup>[6]</sup>。区域上,西秦岭以发育大量的 NW 向走滑断裂带和拉分盆地为其典型特征<sup>[6]</sup>。沿着西秦岭造山带北缘西部,密集发育印支早期碱性花岗岩类,东部岩浆岩多形成于印支晚期。其南缘岩浆活动相对较弱(图 1)。在成矿作用方面,北带主要发育与碱性花岗岩有关的岩浆成矿作用,如斑岩型、矽卡岩型和热液型的 Cu-Au 矿床,而南带则主要是产在三叠系中的卡林型和类卡林型为主。

区域上印支期多旋回侵入的岩浆造就了区内大量与之密切相关的斑岩-矽卡岩型矿床。其中位于合作东北的老豆金多金属矿床,是西秦岭西段夏河—合作地区除枣子沟矿床外,新近发现的一个大型金矿床(截至 2014 年底,探明资源量已超过 50 t)。该矿床主要位于夏河—合作断裂以北的德乌鲁岩体周边,矿体受多条近 NS 向次级断裂构造控制,赋矿围岩主要为石英闪长岩、石英闪长斑岩,下二叠统大关山群(P<sub>2</sub>dg)以及下一中侏罗统(J<sub>1-2</sub>)尕日火山岩(图 1)。矿床主要包括 4 个主矿体且矿种在空间上具有明显的分带性,自东向西依次为下看木仓 Au 矿体、老豆 Au-Sb 矿体、以地南 Au-Sb-Cu-Pb-Zn 矿体和老虎山 Au(-Sb)矿体。其中,老豆 Au-Sb 矿体产在老豆石英闪长斑岩中,其东侧下看木仓 Au 矿体则主要产在侏罗系安山岩与老豆石英闪长斑岩接触带位置,以地南 Au-Sb-Cu-Pb-Zn 主要产在德乌鲁石英闪长岩内部南北向的断裂中,老虎山 Au(-Sb)矿体则主要受 NW 向构造和闪长玢

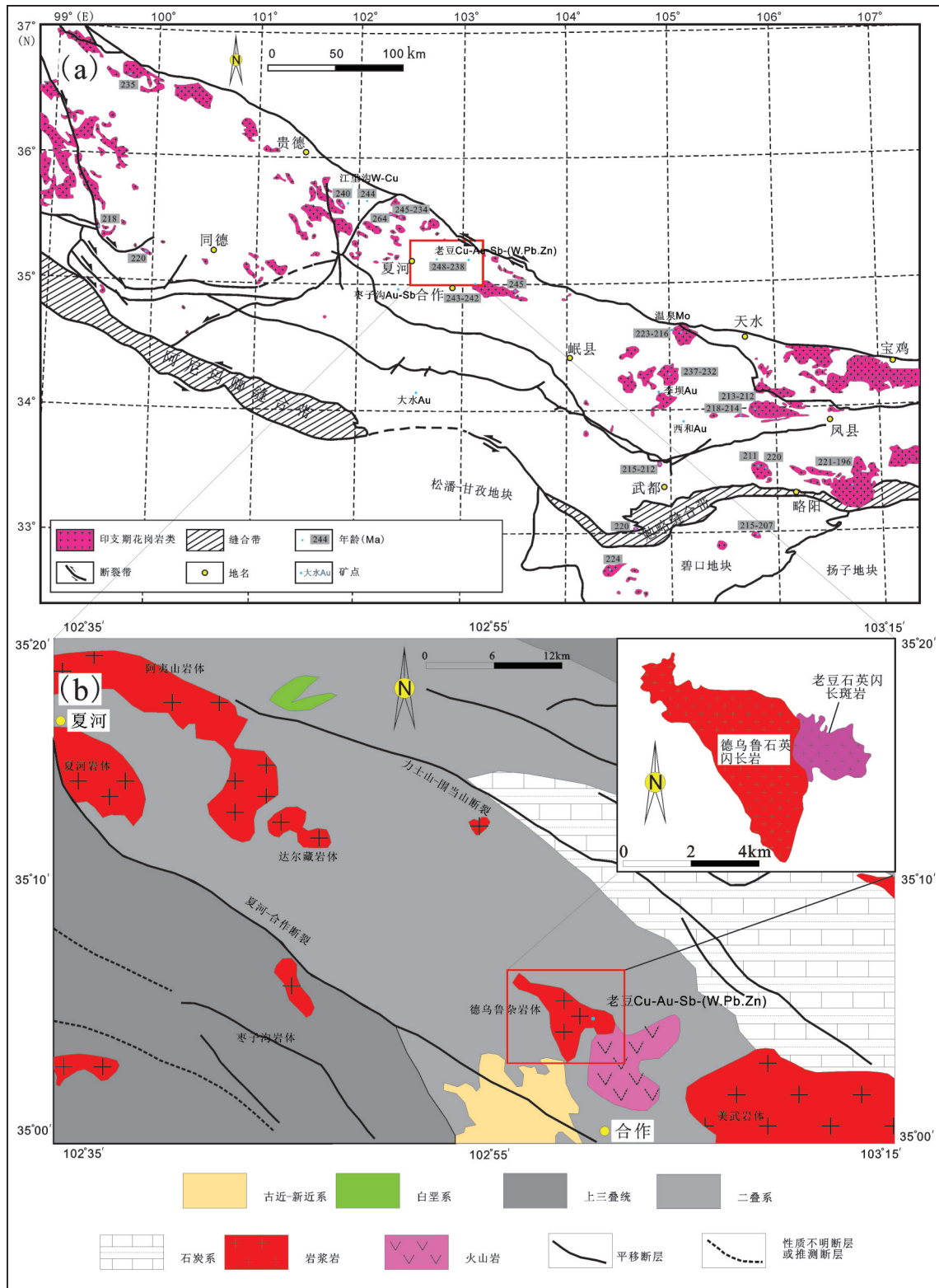


图1 西秦岭造山带区域地质简图及矿床(点)分布图(a)和夏河—合作地区区域地质简图(b)

Fig.1 Geological sketch map and distribution of ore deposits of western Qinling orogenic belt (a) and geological sketch map of Xiahe-Hezuo region of western Qinling orogenic belt(b)



岩侵入体的控制。

## 2.2 岩相学研究

德乌鲁石英闪长岩在区内呈北西向展布, 出露面积约4 km<sup>2</sup>。岩体主要侵入于上三叠砂岩和粉砂岩中, 岩性单一, 为中粗粒石英闪长岩。半自形粒状结构, 主要由半自形中长石(45%)和角闪石(25%)组成, 次要矿物为黑云母(5%)和少量石英(8%)。角闪石呈不等粒半自形长柱状(图2-C), 颗粒大者长轴粒径可达1.5 mm, 颗粒小者长轴粒径约0.3 mm, 角闪石颗粒表面蚀变现象明显, 主要发生了钠黝帘石化蚀变, 部分角闪石颗粒可见暗化边结构(图2-D); 石英呈不等粒他形粒状, 大者粒径可达1.4 mm, 小者粒径只有0.1 mm, 小颗粒石英主要分布于大颗粒矿物之间, 部分大颗粒石英中包裹了中长石和黑云母构成包含结构(图2-E); 中性斜长石呈不等粒半自形板状, 大颗粒长轴粒径可达1.3 mm, 小颗粒长轴粒径约0.3 mm, 少部分未发生蚀变的中长石颗粒可见环带结构, 大部分中长石发生了绢云母化和泥化蚀变现象(图2-F); 黑云母呈半自形-他形片状, 颗粒大小不一, 大者粒径约0.6 mm, 小者粒径不到0.1 mm, 黑云母颗粒未发生蚀变(图2-F)。蚀变石英闪长岩结构为不等粒半自形粒状结构, 构造为块状构造。

老豆石英闪长斑岩: 斑状结构, 块状构造。主要矿物成分为角闪石(25%)和中性斜长石(45%), 次要矿物成分为石英(10%)、黑云母(13%)和碱性长石(7%)。角闪石主要呈单晶的形态分布于岩石中(图3-C), 为不等粒半自形-他形长柱状结构, 颗粒大小不一, 大颗粒长轴粒径可达1.5 mm, 小颗粒长轴粒径约0.2 mm, 部分角闪石颗粒可见简单双晶现象, 少部分角闪石颗粒可见黑云母的反应边结构, 部分颗粒发生了碳酸盐化、蚀变和钾化等蚀变; 中性斜长石为中粒半自形-自形板状结构, 颗粒大小中等, 颗粒长轴粒径为0.3~1.2 mm, 中性斜长石颗粒可见卡钠复合双晶现象, 中长石的环带结构明显(图3-D), 部分中性斜长石颗粒发生绢云母化和泥化蚀变; 石英为不等粒他形粒状结构, 颗粒大小不一, 颗粒大者粒径可达1 mm, 颗粒小者粒径不到0.1 mm, 大颗粒石英中包裹了他形黑云母颗粒构成包含结构, 小颗粒石英主要分布于大颗粒矿物之间; 黑云母为不等粒半自形-他形片状结构, 大颗粒

长轴粒径可达1.3 mm, 小颗粒长轴粒径约0.1 mm, 黑云母中包裹了斜长石颗粒构成包含结构, 部分黑云母颗粒可见蚀变现象(图3-E); 碱性长石为细粒他形板状结构, 颗粒粒径约0.1 mm, 主要分布于大颗粒矿物之间(图3-F)。

## 3 分析方法

### 3.1 化学全分析

本次研究中采集了5件德乌鲁石英闪长岩和7件老豆石英闪长斑岩的新鲜岩石样品。回到室内后, 首先将岩石破碎至200目, 然后分出一部分(5 g左右)用于主量元素分析, 其余部分用于微量元素分析。所有实验在中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室完成。其中主量元素Na<sub>2</sub>O、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O、CaO、TiO<sub>2</sub>、MnO和TFeO和烧失量的测量采用如下方法, 首先将试样破碎至200目, 然后在试样中加入硼酸锂和硝酸锂的助熔剂并充分混合后, 加入脱模剂置于铂金模子进行高温熔融, 冷却后形成扁平玻璃片后, 再用日本理学Rigaku Primus II荧光光谱仪测定。对于微量元素和稀土元素的分析, 首先将试样中加入LiBO<sub>2</sub>, 混合均匀后, 高温进行融化。熔液冷却后, 用硝酸定容, 再用ThermalX2的ICP-MS进行分析。

### 3.2 LA ICP-MS 锆石U-Pb定年

野外采集了2块德乌鲁石英闪长岩(LD103和LD102)和3块老豆石英闪长斑岩(LD106、LD107和LD113-2)。新鲜岩石样品经破碎后经过电磁选和重选, 然后在双目镜下挑出透明的且无明显裂痕、晶形较规则(如长柱状)的锆石。将锆石用双面胶带粘好配合环氧树脂制成1英寸靶。然后在Leica 2700下透反双光源显微镜观察以便于发现裂隙及锆石中的包裹体, 做好相关标记。之后镀炭, 在中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室的电子探针岛津EMPA1720上进行阴极发光(CL)照相, 进一步查明锆石的形貌特征及内部结构, 最终选择最佳分析位置。

锆石U-Pb同位素分析是在山东冶金地勘局测试中心的LA ICP-MS上完成。该实验室的激光剥蚀系统工程为Geolas 2005, ICP-MS为Thermal X2, 在实验过程中采用氦气作为载气。每个样品的分



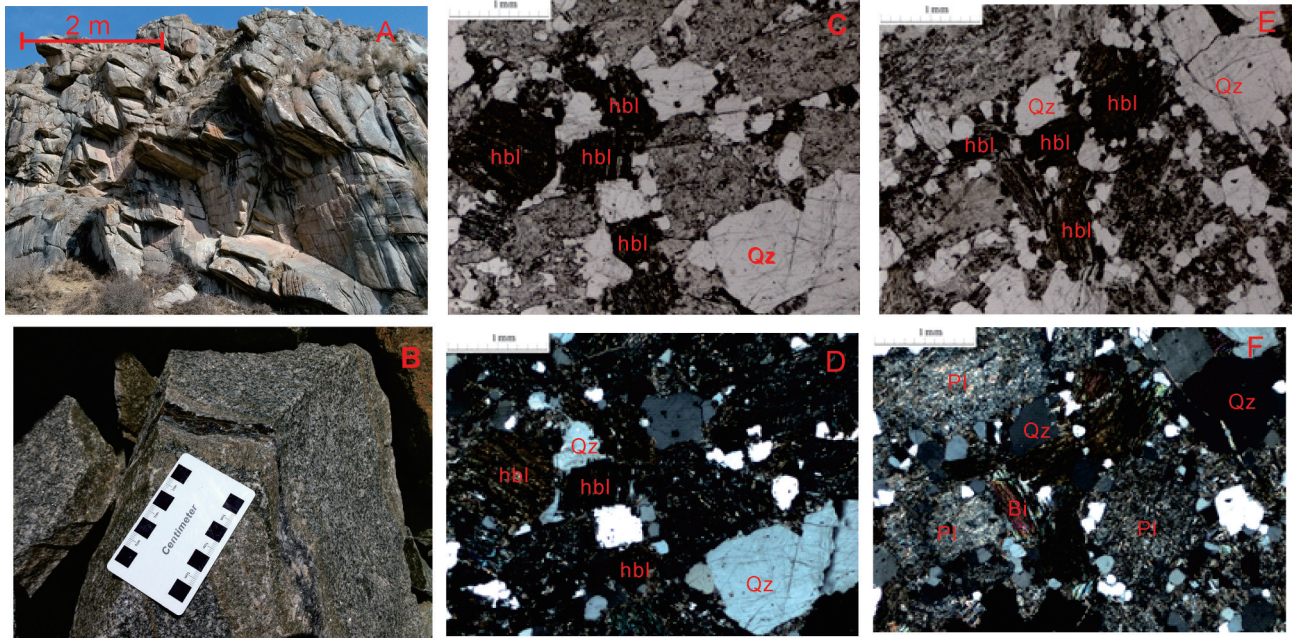


图2 德乌鲁石英闪长岩的野外露头(A),手标本照片(B)及显微镜下矿物组成和显微结构  
 C和E:单偏光,D和F:正交偏光,C和D为同一视域,E和F为同一视域.矿物缩写:Qz—石英, hbl—角闪石, Bi—黑云母, Pl—斜长石,样品LD103  
 Fig.2 Outcrop (A), hand specimen (B), minerals and micro-texture under optical microscopy of Dewulu quartz-diorite  
 C and E: plainlight; D and F: crossed nicols, C and D in the same vision field, E and F in the same field. Mineral abbreviation: Qz—Quartz, hbl—Hornblende, Bi—Biotite, Pl—Plagioclase. Sample is from LD103

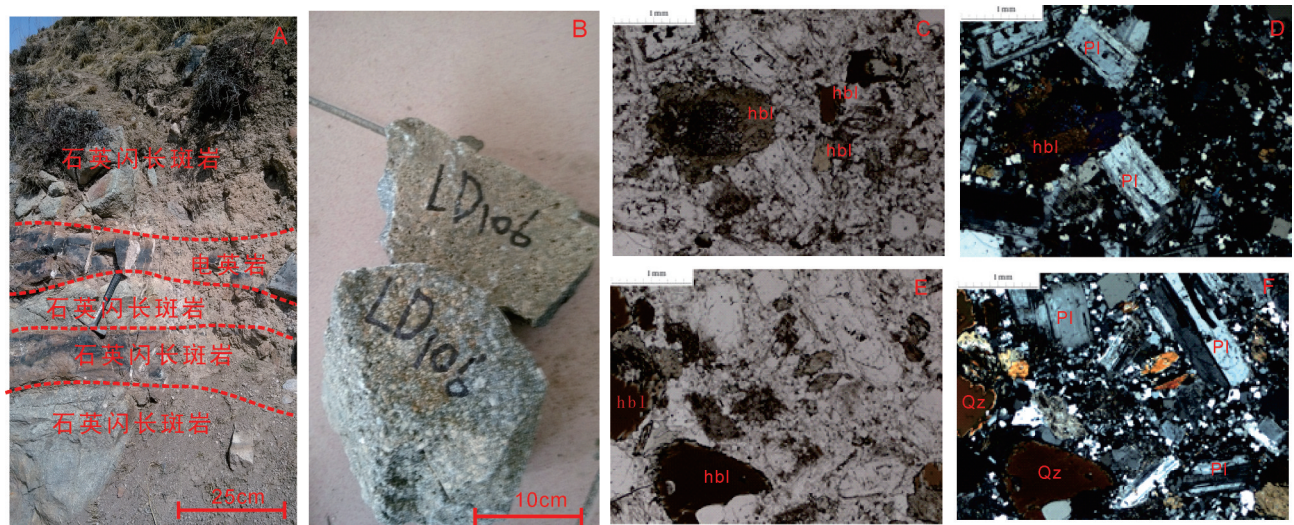


图3 老豆石英闪长斑岩的野外露头(A),手标本照片(B)及显微镜下矿物组成和显微结构  
 C和E为单偏光,D和F为正交偏光,C和D为同一视域,E和F为同一视域,矿物缩写:Qz—石英, hbl—角闪石, Pl—斜长石,样品LD106  
 Fig.3 Outcrop (A), hand specimen (B), minerals and micro-texture under optical microscopy of Laodou quartz dioritic-porphry  
 (C and E: plainlight, D and F: crossed nicols, C and D in the same vision field, E and F in the same vision field. Mineral abbreviation: Qz—Quartz, hbl—Hornblende, Pl—Plagioclase. Sample is from LD106



辨分析时间包括大约30 s的空白信号和60 s的分析信号。实验中对所有锆石采用的束斑大小为30  $\mu\text{m}$ , 能量密度8  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 频率为10 Hz, 采用跳峰模式采集数据, 元素含量采用NIST610作为外标, Si作为内标, 锆石年龄特征采用91500作为内标, 每分析5个样品点, 分析2次91500, 对于仪器操作条件和数据处理方法基本同<sup>[12]</sup>。应用ICPDataCal96对分析数据进行离线处理。所有样品中均无普通铅, 故不需要普通铅校正, 锆石的U-Pb年龄谱和图绘制和年龄加权平均值计算均采用Ludwig's Isoplot 3.75完成。

## 4 分析结果

### 4.1 岩石地球化学特征

德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩的主量元素分析结果见表1, 主量元素具有以下特点:

(1) 化学成份略有差别, 德乌鲁石英闪长岩 $\text{SiO}_2$ 含量介于54.5%~63%, 平均为58.8%, 而老豆石英闪长斑岩 $\text{SiO}_2$ 含量均>60%, 介于61.6%~65.0%, 平均为63.3%。

(2) 全碱含量均较高, 相对而言, 老豆石英闪长斑岩全碱更高。老豆石英闪长斑岩 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 大都远大于1, 而德乌鲁石英闪长岩则接近或略大于1, 二者( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )含量近似相当, 德乌鲁石英闪长岩( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )为3.57%~5.31%, 老豆石英闪长斑岩( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )为3.64%~6.15%。老豆石英闪长斑岩 $\text{K}_2\text{O}$ 的含量在0.20%~2.75%, 德乌鲁石英闪长岩 $\text{K}_2\text{O}$ 的含量在1.41%~4.16%。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解(图4)中, 老豆石英闪长斑岩属于低钾(拉斑)系列-钙碱性系列, 而德乌鲁石英闪长岩属于高钾钙碱性-钾玄岩系列。

(3) 高 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 老豆石英闪长斑岩 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量在15.45%~18.10%, 平均16.41%; 德乌鲁石英闪长岩 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量在13.50%~16.30%, 平均15.12%。

(4) 所有的样品(图5)均属于准铝质-过铝质(A/CNK)为0.80~1.12,  $\text{Mg}^\#$ 较高, 为52.9~66.6, 表明这两个岩体具有典型I型花岗岩类的特征。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 图解中(图6), 虽然两种岩石均落在辉长闪长岩, 闪长岩和花岗闪长岩的范围内, 这与野外观察和岩相学定名结果一致。

德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩的微量元素和稀土元素分析结果分别见表2和表3, 其微量元素具有以下特点:

(1) 相容元素Cr、Ni含量比较高, 老豆石英闪长斑岩中的Cr和Ni的含量分别为(91~106  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )和(13.9~30.8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ); 德乌鲁石英闪长岩中Cr和Ni的含量分别为(120~395  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )和(16~165.5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), 相对而言, 德乌鲁石英闪长岩中的Cr和Ni要远高于老豆石英闪长斑岩中的Cr和Ni。

(2) 从表2和微量元素蛛网图上(图7), 德乌鲁石英闪长岩和老豆花岗闪长岩大都具有富集大亲石元素(LILE)(如Rb、Th、U等)和轻稀土元素, 亏损Ba、K、Nb、Sr、P和Y, 无明显Zr、Hf异常为特征, 总体反映出富集型地幔的特征。德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩具有低Sr、Y的特点(图7), 具有喜马拉雅型花岗岩的地球化学特点<sup>[8]</sup>。

(3) 两个岩体具有相似的球粒陨石标准化稀土配分模式(图8), 均表现为右倾模式, 但重稀土元素部分的曲线较平缓, 存在中等到弱的Eu异常(0.66~1.08), 具体表现为轻稀土富集而重稀土亏损, 轻、重稀土分馏比较强烈,  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$ 为5.89到10.85, 而 $\text{La}_N/\text{Yb}_N$ 为8.01到30.91。

### 4.2 LA ICP-MS 锆石U-Pb定年结果

样品中的锆石大多数为半透明-透明的短柱状, 长径60~150 mm, 长宽比为1.4~2.5。锆石阴极发光图像显示清晰的韵律环带或振荡环带结构, 显示典型岩浆锆石的特征(图9)。用LA ICP-MS锆石测年方法分析了5个样品, 其中德乌鲁石英闪长岩中Th的含量为56.70~1666.3  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均192.3  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $N=29$ )。U的含量介于148.0~1700.4  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均395.1  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $N=35$ )。Th/U比值介于0.2~1.3, 平均0.5 ( $N=35$ ), 显示锆石为岩浆成因, 而老豆石英闪长斑岩中Th的含量为61.90~456.4  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均121.2  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $N=56$ )。U的含量介于138.3~573.7  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均249.6  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $N=56$ )。Th/U比值介于0.29~0.80, 平均0.49 ( $N=56$ ), 同样显示锆石为岩浆成因。在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄谱和图上(图10), 2个德乌鲁石英闪长岩(LD103和LD107)的加权平均年龄分别为(245.8 $\pm$ 1.7) Ma和(243.4 $\pm$ 1.9) Ma(图10-a), 而3个老豆花岗闪长岩(LD102、LD106和LD113-2)的加权平均年龄分别为(241.4 $\pm$ 2.1) Ma、(238.2 $\pm$ 1.7) Ma和(241.4 $\pm$ 1.6) Ma(图10-b), 这些年龄分别代表了德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩的侵位年龄, 即这两个岩体均形成于印支早期, 属于西秦岭北缘印支早期岩浆活

表1 西秦岭西段夏河—合作地区德乌鲁石英闪长岩和老石石英闪长斑岩主元素分析结果(%)  
Table 1 Analytical results of major elements of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

序号	样品号	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO	LOI	Total	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O/NaO	σ	A/CNK	A/NK	Mg <sup>a</sup>
1	LD101	石英闪长斑岩	63.8	0.48	15.45	2.87	0.06	2.92	9.15	3.37	0.20	0.05	0.03	0.02	0.05	0.90	99.35	3.57	0.06	0.61	0.69	2.68	65
2	LD102	石英闪长斑岩	64.1	0.54	16.40	3.00	0.06	3.27	6.91	3.74	0.23	0.11	0.03	0.02	0.05	1.32	99.78	3.97	0.06	0.75	0.86	2.56	66
3	LD106	石英闪长斑岩	64.6	0.52	16.15	3.70	0.02	3.21	5.03	3.35	1.48	0.11	0.04	0.02	0.04	1.06	99.33	4.83	0.44	1.08	0.99	2.27	61
4	LD110-1	石英闪长斑岩	61.6	0.67	18.10	3.25	0.03	3.13	6.62	3.84	0.91	0.14	0.03	0.02	0.04	1.04	99.42	4.75	0.24	1.21	0.93	2.48	63
5	LD110-2	石英闪长斑岩	61.8	0.61	16.50	5.32	0.05	3.58	5.36	2.90	1.73	0.12	0.05	0.02	0.04	1.73	99.81	4.63	0.60	1.14	1.01	2.48	55
6	LD111	石英闪长斑岩	62.2	0.58	16.10	5.19	0.05	3.40	4.87	2.56	2.75	0.11	0.08	0.02	0.04	1.65	99.60	5.31	1.07	1.47	1.00	2.24	54
7	LD113-1	石英闪长斑岩	65.0	0.52	16.20	2.51	0.03	2.78	6.06	3.96	0.42	0.10	0.03	0.02	0.04	1.57	99.24	4.38	0.11	0.87	0.90	2.32	67
		平均值	63.30	0.56	16.41	3.69	0.04	3.18	6.29	3.39	1.10	0.11	0.04	0.02	0.04	1.32	99.50	4.49	0.37	1.02	0.91	2.43	61
		标准偏差	1.40	0.06	0.82	1.13	0.02	0.27	1.48	0.51	0.94	0.03	0.02	0.00	0.00	0.33	0.23	0.58	0.37	0.29	0.11	0.16	30
		最大值	65.00	0.67	18.10	5.32	0.06	3.58	9.15	3.96	2.75	0.14	0.08	0.02	0.05	1.73	99.81	5.31	1.07	1.47	1.01	2.68	55
		最小值	61.60	0.48	15.45	2.51	0.02	2.78	4.87	2.56	0.20	0.05	0.03	0.02	0.04	0.90	99.24	3.57	0.06	0.61	0.69	2.24	67
8	G3	石英闪长岩	55.5	0.39	13.5	3.98	0.09	3.04	5.53	2.26	2.75	0.08	0.02	0.03	0.02	11.98	99.17	5.01	1.22	2.01	0.80	2.01	58
9	G4	石英闪长岩	58.5	0.57	16.3	4.82	0.09	3.01	3.75	1.99	4.16	0.12	0.04	0.03	0.02	6.28	99.68	6.15	2.09	2.44	1.12	2.09	53
10	G6	石英闪长岩	62.7	0.53	15.8	4.57	0.07	3.3	4.74	2.96	2.93	0.11	0.06	0.02	0.04	1.91	99.74	5.89	0.99	1.76	0.95	1.96	57
11	G10	石英闪长岩	63.0	0.41	14.7	3.05	0.11	2.6	4.11	2.72	3.14	0.09	0.05	0.02	0.03	4.69	98.72	5.86	1.15	1.72	0.96	1.86	61
12	LD107	石英闪长岩	54.5	0.63	15.30	7.21	0.11	8.39	5.68	2.23	1.41	0.10	0.05	0.08	0.04	3.60	99.33	3.64	0.63	1.15	0.98	2.94	68
		平均值	58.84	0.51	15.12	4.73	0.09	4.07	4.76	2.43	2.88	0.10	0.04	0.04	0.03	5.69	99.33	5.31	1.22	1.82	0.96	2.18	61
		标准偏差	3.95	0.10	1.08	1.55	0.02	2.43	0.85	0.40	0.99	0.02	0.02	0.03	0.01	3.86	0.41	1.03	0.54	0.47	0.11	0.44	74
		最大值	63.00	0.63	16.30	7.21	0.11	8.39	5.68	2.96	4.16	0.12	0.06	0.08	0.04	11.98	99.74	6.15	2.09	2.44	1.12	2.94	68
		最小值	54.50	0.39	13.50	3.05	0.07	2.60	3.75	1.99	1.41	0.08	0.02	0.02	0.02	1.91	98.72	3.64	0.63	1.15	0.80	1.86	61



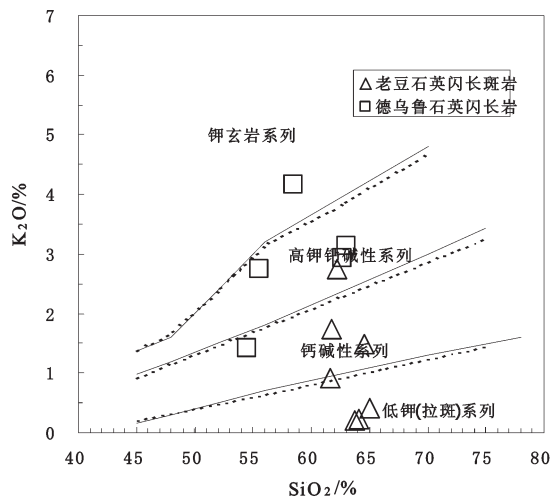


图4 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 岩石钙碱性系列判别图解(据文献[13]和[14])  
 Fig.4 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O geochemical diagram of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry (after [13] and[14])

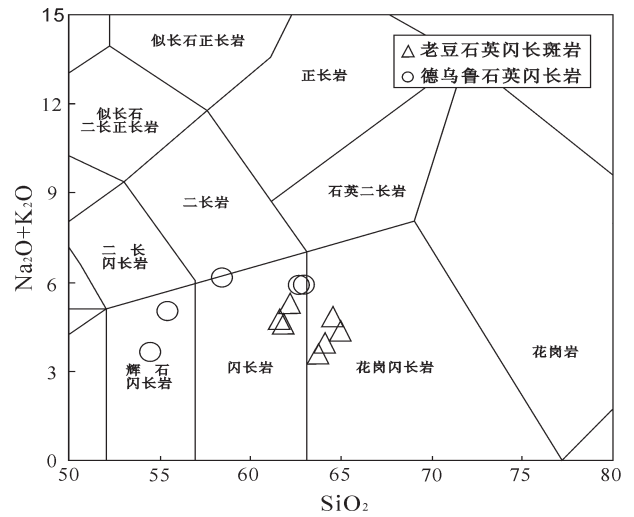


图6 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 岩石系列判别图解(据文献[14])  
 Fig. 4 SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) discrimination diagram of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry (after [14])

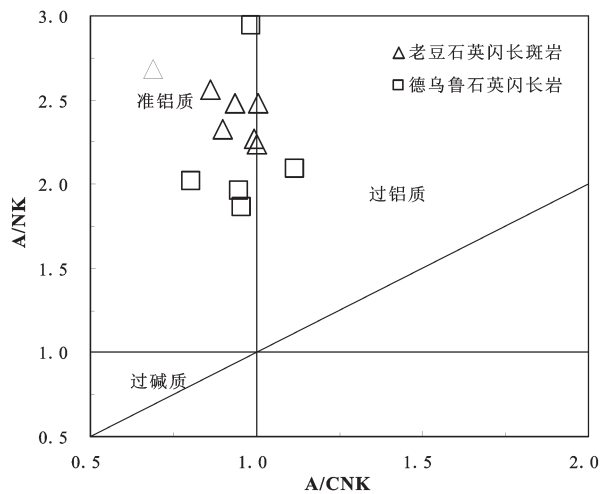


图5 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩 A/CNK-A/NK 地球化学图解  
 Fig.5 A/CNK-A/NK geochemical diagram of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

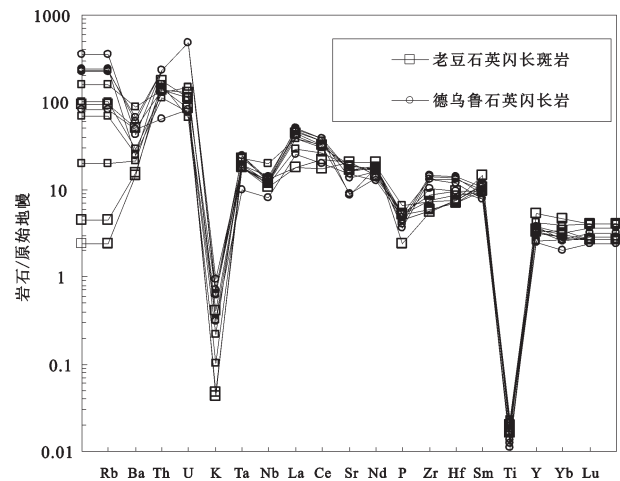


图7 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩微量元素原始地幔标准化蛛网图  
 Fig.7 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

动的产物。

## 5 讨论及结论

### 5.1 岩浆岩源岩和岩石成因

德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩在地球化学特征上相似近于相同,二者均为高 Mg<sup>#</sup>,高钾-钾玄质钙碱性准铝至过铝质中性岩,均具富集

大亲石元素(LILE)(如Rb、Th、U等)和轻稀土元素,亏损Ba、K、Nb、Sr、P和Y,且低Sr、Y的特点,显示出I型花岗岩的特征。岩石在全岩化学成分上,具有较高的MgO(二者平均值分别为3.70%和3.21%),反映出其源区还存在幔源组分的加入。印支早期该区域有基性岩和闪长岩产出,从而具备了岩浆混合作用的基本条件。锆石U-Pb同位素定年的结

表2 西秦岭西段夏河—合作地区德乌鲁石英闪长岩和老豆花岗闪长岩微量元素分析结果  
Table 1 Analytical results of trace elements of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

序号	样品号	岩性	Zr	Hf	EREE	Cr	Ni	Co	K	Rb	Cs	Sr	Ba	Nb	Ta	Th	U	P	Sc	Ti	V	Mn	Fe	Cu
			μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	%	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	%	μg/g	μg/g	%	μg/g
1	LD101	石英闪长斑岩	62.0	2.3		97	13.9	2.8	0.15	1.5	2.48	440	100	9.2	0.92	14.90	2.40	230	11.0	0.288	56	449	1.97	6.4
2	LD102	石英闪长斑岩	66.4	2.2		100	23.6	3.0	0.17	2.8	4.54	433	110	7.5	0.74	12.30	1.80	480	11.6	0.286	62	409	1.96	2.1
3	LD106	石英闪长斑岩	85.3	2.7		106	30.8	10.4	1.15	65.4	6.71	412	200	8.3	0.74	10.80	3.10	490	11.3	0.314	65	192	2.55	1.8
4	LD110-1	石英闪长斑岩	80.2	2.3		103	23.8	10.1	0.78	44.5	6.41	349	180	14.4	0.95	9.40	1.60	620	17.1	0.399	73	276	2.26	3.1
5	LD110-2	石英闪长斑岩	98.5	3.0		91	23.5	12.5	1.42	60.5	8.67	352	350	9.1	0.73	11.80	2.70	510	13.4	0.351	64	358	3.49	19.4
6	LD111	石英闪长斑岩	65.5	2.2		92	25.0	13.0	2.25	100.0	9.98	338	610	9.1	0.72	11.90	2.40	480	12.1	0.340	63	342	3.49	1.5
7	LD113-1	石英闪长斑岩	63.7	2.3		92	25.8	13.6	0.36	12.6	3.64	397	150	8.2	0.74	13.60	1.40	430	10.9	0.294	57	236	1.70	6.9
8	G3	石英闪长岩	145	4.1		120	16	5	2.2	155	15.7	181	200	9.4	1	20.00	10.00	340	8	0.21	51	696	2.72	8
9	G4	石英闪长岩	146	3.7		180	41	16	3.3	224	10.35	187	336	8.7	0.8	20.00	10.00	510	12	0.24	85	696	3.32	63
10	G6	石英闪长岩	161	4.3		160	34	14	2.28	143.5	14.6	342	531	10	0.8	20.00	10.00	430	11	0.31	72	531	3.12	7
11	G10	石英闪长岩	158	4.2		120	27	12	2.54	150.5	13.55	290	480	8.7	1	20.00	10.00	380	9	0.19	54	830	2.09	10
12	LD107	石英闪长岩	114.5	3.0		395	165.5	30.9	1.09	51.8	9.09	323	340	5.7	0.41	5.40	1.70	460	22.3	0.374	131	822	4.74	49.9

表3 西秦岭西段夏河—合作地区德乌鲁石英闪长岩和老豆花岗闪长岩稀土元素分析结果(μg/g)  
Table 1 Analytical results of rare earth elements of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry (μg/g)

序号	样品号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	δEu	δCe
1	LD101	石英闪长斑岩	12.40	38.60	6.20	27.70	6.40	1.00	5.50	0.80	4.40	0.90	2.60	0.30	2.30	0.30	24.30	117.14	106.09	11.05	9.60	10.85	1.04	0.97
2	LD102	石英闪长斑岩	12.20	31.20	4.50	19.70	4.80	1.00	4.00	0.50	3.10	0.60	1.60	0.20	1.70	0.20	16.50	138.86	118.06	20.80	5.68	7.12	0.90	1.00
3	LD106	石英闪长斑岩	26.30	53.00	6.20	22.10	4.10	1.00	3.10	0.50	2.50	0.50	1.30	0.20	1.30	0.20	13.70	165.02	147.51	17.51	8.42	8.88	0.66	1.09
4	LD110-1	石英闪长斑岩	26.70	57.80	6.60	25.40	5.00	1.00	4.50	0.70	3.60	0.70	2.00	0.30	1.90	0.30	20.20	69.98	58.71	11.27	5.21	5.89	0.87	0.89
5	LD110-2	石英闪长斑岩	30.30	58.20	6.40	23.60	4.30	1.10	3.50	0.50	2.70	0.50	1.60	0.20	1.50	0.20	16.20	131.76	112.64	19.12	5.89	6.72	0.75	0.95
6	LD111	石英闪长斑岩	31.10	62.70	6.80	24.10	4.20	1.00	3.50	0.50	2.90	0.60	1.50	0.20	1.40	0.20	15.80	130.31	115.46	14.85	7.78	9.22	0.75	1.00
7	LD113-1	石英闪长斑岩	20.00	46.70	5.90	23.30	4.90	0.90	4.20	0.50	2.90	0.60	1.70	0.20	1.50	0.20	16.90	129.12	115.78	13.34	8.68	9.84	0.92	1.10
8	G3	石英闪长岩	34.40	68.60	7.14	24.30	4.41	0.86	3.47	0.51	2.74	0.58	1.73	0.27	1.56	0.27	17.00	143.63	126.15	17.48	7.22	8.01	0.94	1.11
9	G4	石英闪长岩	28.00	54.50	5.47	18.50	3.49	0.70	2.88	0.37	1.93	0.42	1.13	0.18	0.98	0.18	11.30	188.50	170.86	17.64	9.69	11.37	0.88	1.14
10	G6	石英闪长岩	33.80	67.50	6.97	24.60	4.68	1.00	3.70	0.53	2.90	0.56	1.61	0.22	1.29	0.23	17.30	223.68	212.73	10.95	19.43	30.91	0.62	1.02
11	G10	石英闪长岩	32.20	64.50	6.71	22.20	4.03	0.81	3.26	0.47	2.46	0.51	1.49	0.20	1.28	0.21	15.40	130.77	124.04	6.73	18.43	27.53	1.08	0.92
12	LD107	石英闪长岩	17.20	35.60	4.20	17.30	3.40	0.90	3.40	0.50	2.80	0.60	1.40	0.30	1.40	0.20	16.10	137.38	126.26	11.12	11.35	15.03	0.75	1.12

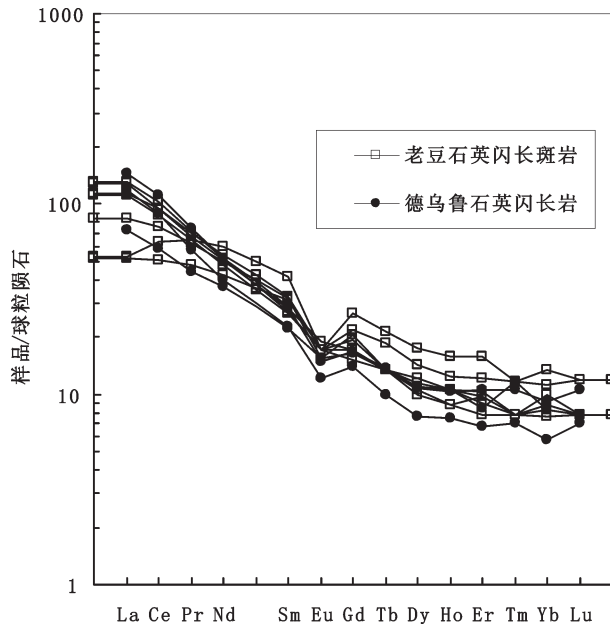


图8 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig.8 Chondrite-normalized REE patterns of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

果,德乌鲁石英闪长岩的加权平均年龄分别为(245.8±1.7) Ma和(243.4±1.9)Ma,而老豆花岗闪长岩的加权平均年龄分别为(241.4±2.1) Ma、(38.2±1.7)Ma和(241.4±1.6)Ma,则相对比较集中,说明整个德乌鲁石英闪长岩体的形成是一个相对

跨度较长的过程,而老豆石英闪长斑岩体侵入时间相对较短。以上说明老豆花岗闪长岩和德乌鲁石英闪长岩形成过程中存在不同期次岩浆侵入和岩浆源区的混合过程,在该过程中的确亦存在多次侵位的过程,由此可见,早三叠世和中三叠世早期,即235~247 Ma为西秦岭西北缘印支早期岩浆活动的集中时期。从区域来看,德乌鲁石英闪长岩体和老豆石英闪长斑岩与其东南侧的美武岩体、冶力关岩体,西北侧的达尔藏岩体、夏河岩体以及西北方向青海同仁县的岗盆岩体等岩基构造西秦岭造山带北西西向岩浆岩构造带(图1)。

德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩都具有准铝质-过铝质的I型花岗岩,且其轻重稀土分馏较强烈且重稀土分异不明显的特征,说明在岩浆源区不含石榴子石但含有一定数量的角闪石,这也在显微镜观察中得到了验证<sup>[15]</sup>,因为角闪石的分解脱水作用可能是岩浆源区部分熔融的主要驱动机制<sup>[16]</sup>。而中到弱的Eu负异常也说明了在岩浆演化过程中发生了斜长石的分离结晶作用。前人<sup>[5,17]</sup>的研究亦发现在德乌鲁石英闪长岩中有暗色微粒包体,而这些微粒包体的初始岩浆可能是受板片流体或熔体交代的地幔橄榄岩发生部分熔融作用的产物。

基于德乌鲁石英闪长岩体和老豆石英闪长斑岩体的岩石地球化学特征以及岩石中锆石的U-Pb

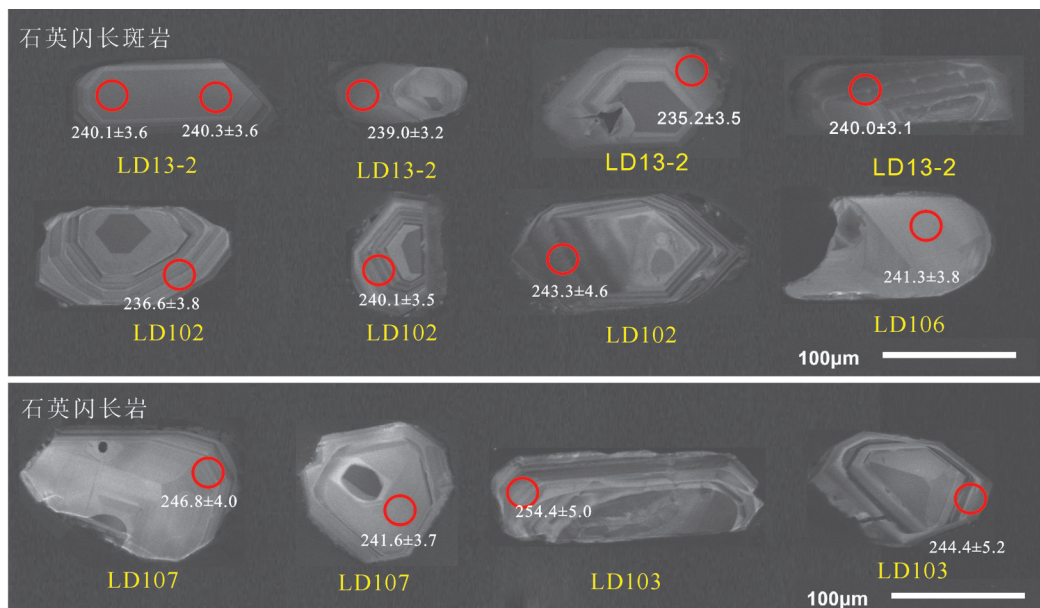
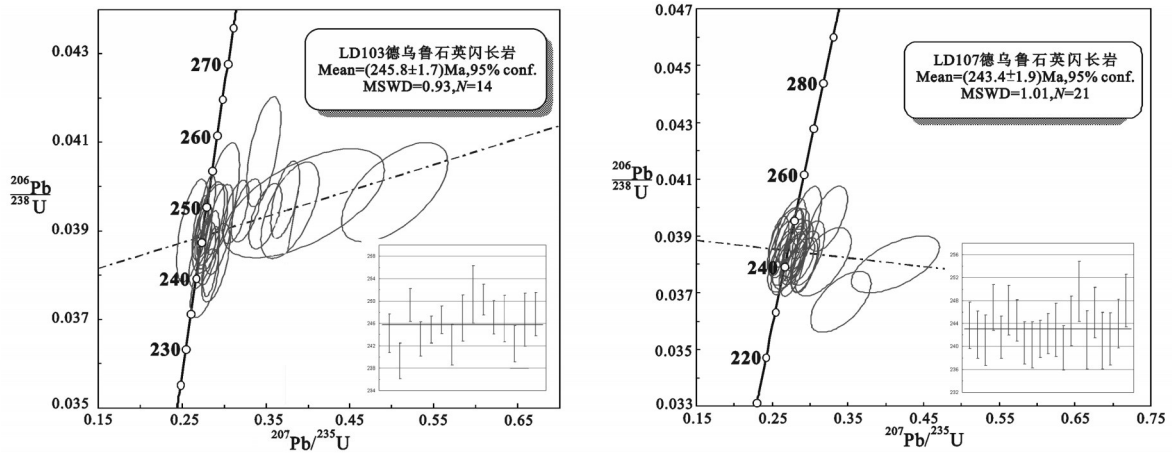


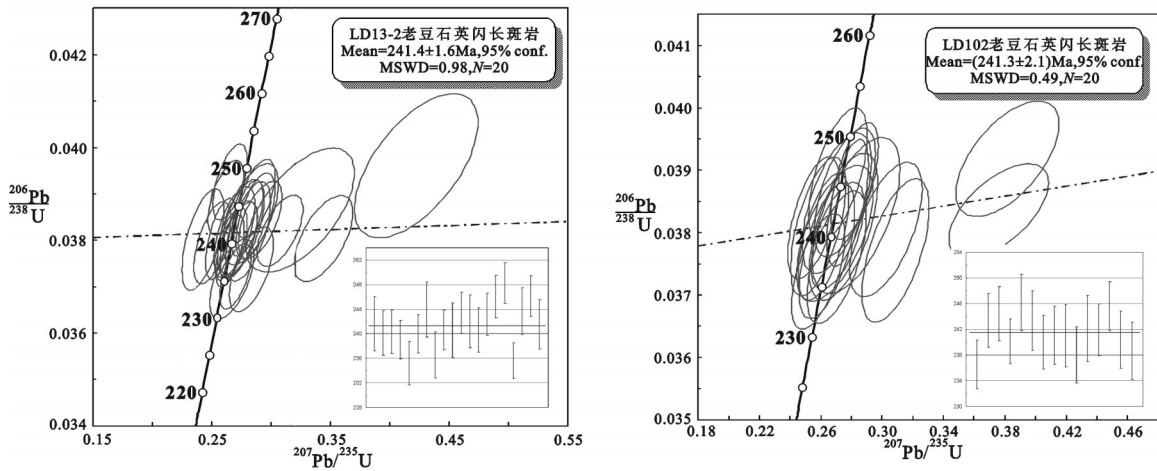
图9 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩中锆石典型CL特征及U-Pb年龄(Ma)

Fig.9 Typical CL characteristics and U-Pb age of zircon from Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry





(a) 德乌鲁石英闪长岩中 LD103、LD107 的年龄协和图和加权平均值



(b) 老豆石英闪长斑岩 LD13-2、LD102 和 LD106 的年龄协和图和加权平均值

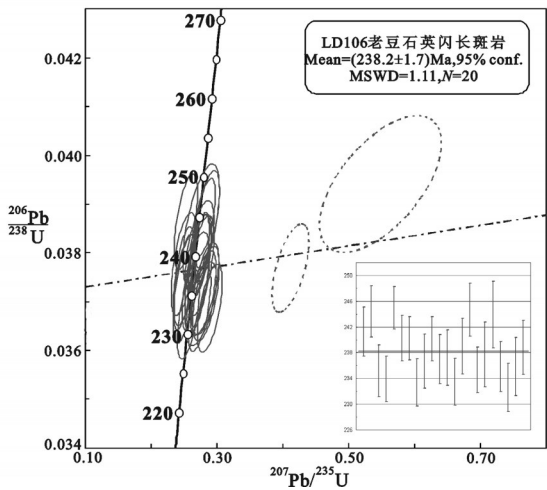


图10 德乌鲁石英闪长岩(a)和老豆石英闪长斑岩(b)锆石U-Pb年龄协和图和加权平均值  
Fig.10 Concordia diagrams and weighted average ages of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

表 4 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英英闪长斑岩中锆石 U-Pb 定年分析结果  
Table 4 Analytical results of U-Pb dating of zircon from Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry

	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U	Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ		
LD103-02	281.5	472.4	0.60	0.0529	0.0016	0.2817	0.0085	0.0386	0.0006	324.1	68.5	252.0	6.7	244.2	3.4
LD103-04	367.6	405.4	0.91	0.0530	0.0022	0.2768	0.0112	0.0378	0.0005	327.8	92.6	248.1	8.9	239.3	3.2
LD103-06	119.9	410.3	0.29	0.0576	0.0019	0.3139	0.0102	0.0394	0.0005	522.3	74.1	277.2	7.9	249.3	2.9
LD103-08	145.9	336.8	0.43	0.0519	0.0021	0.2743	0.0106	0.0384	0.0005	279.7	90.7	246.1	8.5	243.2	3.1
LD103-09	1666.3	1308.5	1.27	0.0517	0.0011	0.2766	0.0055	0.0387	0.0004	272.3	41.7	248.0	4.4	244.9	2.4
LD103-11	299.3	1342.1	0.22	0.0513	0.0011	0.2766	0.0062	0.0390	0.0004	253.8	45.4	247.9	4.9	246.6	2.4
LD103-12	247.4	381.2	0.65	0.0551	0.0021	0.2899	0.0112	0.0383	0.0006	416.7	83.3	258.5	8.8	242.2	3.6
LD103-13	107.0	207.3	0.52	0.0524	0.0025	0.2833	0.0139	0.0391	0.0007	301.9	107.4	253.3	11.0	247.0	4.1
LD103-14	71.5	224.2	0.32	0.0552	0.0029	0.2968	0.0144	0.0397	0.0008	420.4	116.7	263.9	11.3	251.2	5.1
LD103-15	407.3	1700.4	0.24	0.0512	0.0011	0.2805	0.0061	0.0396	0.0004	250.1	43.5	251.0	4.8	250.2	2.8
LD103-16	257.3	938.4	0.27	0.0503	0.0011	0.2721	0.0065	0.0391	0.0005	209.3	47.2	244.4	5.2	247.1	3.0
LD103-19	240.0	351.9	0.68	0.0553	0.0023	0.2942	0.0113	0.0390	0.0007	433.4	94.4	261.9	8.9	246.8	4.2
LD103-21	430.4	1480.8	0.29	0.0538	0.0012	0.2847	0.0064	0.0383	0.0005	361.2	51.8	254.4	5.0	242.4	3.2
LD103-22	96.3	181.4	0.53	0.0497	0.0024	0.2623	0.0125	0.0390	0.0008	189.0	117.6	236.5	10.0	246.7	4.8
LD103-23	97.1	299.0	0.32	0.0526	0.0022	0.2827	0.0116	0.0392	0.0006	309.3	128.7	252.8	9.2	247.7	3.9
LD107-03	79.9	189.7	0.42	0.0500	0.0023	0.2627	0.0114	0.0385	0.0007	194.5	105.5	236.9	9.2	243.7	4.1
LD107-04	64.7	167.1	0.39	0.0508	0.0021	0.2667	0.0113	0.0383	0.0007	235.3	63.9	240.0	9.0	242.0	4.1
LD107-05	89.8	170.7	0.53	0.0569	0.0026	0.2935	0.0125	0.0381	0.0007	487.1	101.8	261.3	9.8	241.1	4.4
LD107-06	93.2	178.7	0.52	0.0512	0.0025	0.2728	0.0123	0.0390	0.0006	255.6	83.3	245.0	9.8	246.8	4.0
LD107-07	162.6	276.8	0.59	0.0527	0.0020	0.2790	0.0113	0.0382	0.0006	322.3	82.4	249.9	8.9	241.6	3.7
LD107-08	73.3	160.0	0.46	0.0508	0.0029	0.2682	0.0146	0.0389	0.0007	231.6	134.2	241.3	11.7	246.3	4.3
LD107-09	84.2	173.8	0.48	0.0535	0.0024	0.2846	0.0129	0.0387	0.0006	350.1	103.7	254.3	10.2	244.5	3.6
LD107-10	74.1	156.3	0.47	0.0516	0.0025	0.2720	0.0139	0.0380	0.0006	333.4	104.6	244.3	11.1	240.6	3.6
LD107-11	78.3	163.1	0.48	0.0566	0.0023	0.2929	0.0112	0.0380	0.0006	479.7	88.9	260.9	8.8	240.2	4.0
LD107-12	93.3	223.3	0.42	0.0546	0.0024	0.2874	0.0123	0.0381	0.0005	394.5	102.8	256.5	9.7	241.3	3.2
LD107-13	126.3	229.2	0.55	0.0532	0.0023	0.2786	0.0108	0.0383	0.0006	344.5	96.3	249.6	8.6	242.2	3.5
LD107-15	73.4	152.3	0.48	0.0580	0.0032	0.2970	0.0148	0.0384	0.0008	531.5	125.0	264.0	11.6	242.9	4.7
LD107-17	147.6	251.4	0.59	0.0506	0.0021	0.2648	0.0108	0.0379	0.0006	233.4	97.2	238.5	8.7	239.7	3.9
LD107-18	169.2	309.4	0.55	0.0486	0.0018	0.2579	0.0092	0.0386	0.0007	131.6	85.2	233.0	7.4	244.4	4.3
LD107-19	117.3	237.4	0.49	0.0550	0.0027	0.2939	0.0137	0.0395	0.0008	409.3	109.2	261.6	10.8	249.5	5.2
LD107-20	86.6	178.5	0.49	0.0534	0.0024	0.2781	0.0120	0.0381	0.0008	346.4	101.8	249.1	9.6	241.1	5.1

续表4

	同位素比值				年龄/Ma										
	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ						
LD107-21	102.3	182.4	0.56	0.0525	0.0026	0.2792	0.0133	0.0389	0.0007	305.6	111.1	250.1	10.6	245.9	4.4
LD107-22	135.9	220.3	0.62	0.0605	0.0049	0.3172	0.0244	0.0381	0.0008	620.4	176.7	279.7	18.8	241.0	5.0
LD107-23	83.9	148.0	0.57	0.0515	0.0031	0.2696	0.0167	0.0381	0.0007	264.9	137.0	242.4	13.4	241.3	4.5
LD107-24	95.5	263.7	0.36	0.0522	0.0019	0.2794	0.0107	0.0386	0.0007	294.5	83.3	250.2	8.5	243.9	4.2
LD107-25	56.7	151.1	0.37	0.0513	0.0027	0.2740	0.0136	0.0392	0.0007	253.8	120.4	245.9	10.8	248.0	4.6
max	1666.3	1700.4	1.3	0.0605	0.0049	0.3172	0.0244	0.0397	0.0008	620.4	176.7	279.7	18.8	251.2	5.2
min	56.7	148.0	0.2	0.0486	0.0011	0.2579	0.0055	0.0378	0.0004	131.6	41.7	233.0	4.4	239.3	2.4
average	192.3	395.1	0.5	0.0530	0.0023	0.2810	0.0117	0.0386	0.0006	330.3	94.9	251.4	9.2	244.4	3.9
stdev	271.7	410.2	0.2	0.0026	0.0007	0.0132	0.0034	0.0005	0.0001	107.5	29.1	10.4	2.7	3.2	0.7
LD102-01	93.6	212.6	0.44	0.0508	0.0024	0.2584	0.0114	0.0374	0.0006	231.6	112.0	233.4	9.2	236.6	3.8
LD102-02	456.4	573.7	0.80	0.0524	0.0016	0.2775	0.0090	0.0385	0.0007	301.9	72.2	248.7	7.1	243.4	4.2
LD102-05	116.1	293.3	0.40	0.0529	0.0028	0.2757	0.0131	0.0386	0.0007	324.1	122.2	247.2	10.5	244.4	4.2
LD102-06	119.1	262.3	0.45	0.0519	0.0022	0.2710	0.0113	0.0380	0.0006	279.7	91.7	243.5	9.0	240.1	3.5
LD102-07	90.4	195.9	0.46	0.0511	0.0025	0.2713	0.0125	0.0389	0.0007	255.6	112.9	243.7	10.0	246.1	4.4
LD102-09	96.7	182.3	0.53	0.0520	0.0032	0.2705	0.0149	0.0385	0.0007	287.1	147.2	243.1	11.9	243.3	4.6
LD102-10	139.6	250.7	0.56	0.0502	0.0021	0.2618	0.0109	0.0379	0.0007	211.2	96.3	236.1	8.8	240.0	4.2
LD102-11	77.4	168.2	0.46	0.0496	0.0023	0.2583	0.0118	0.0381	0.0007	176.0	109.2	233.3	9.5	241.0	4.5
LD102-12	88.5	188.9	0.47	0.0537	0.0031	0.2748	0.0147	0.0381	0.0008	366.7	125.0	246.6	11.7	241.0	4.8
LD102-13	142.7	221.8	0.64	0.0524	0.0024	0.2703	0.0128	0.0376	0.0007	301.9	136.1	242.9	10.2	238.0	4.4
LD102-14	79.1	166.5	0.47	0.0562	0.0044	0.2831	0.0189	0.0383	0.0008	457.5	180.5	253.1	14.9	242.1	5.1
LD102-15	123.7	255.5	0.48	0.0490	0.0022	0.2553	0.0110	0.0382	0.0006	146.4	110.2	230.9	8.9	241.9	4.0
LD102-16	131.8	347.9	0.38	0.0532	0.0022	0.2820	0.0102	0.0388	0.0006	344.5	92.6	252.2	8.1	245.6	3.8
LD102-17	79.4	152.8	0.52	0.0526	0.0034	0.2692	0.0164	0.0380	0.0007	309.3	141.6	242.1	13.1	240.4	4.5
LD102-20	133.1	226.4	0.59	0.0509	0.0022	0.2640	0.0119	0.0377	0.0007	235.3	100.0	237.9	9.6	238.6	4.5
LD106-01	71.8	161.3	0.45	0.0531	0.0030	0.2730	0.0143	0.0381	0.0006	331.5	129.6	245.1	11.4	241.3	3.8
LD106-02	89.4	182.0	0.49	0.0477	0.0022	0.2521	0.0117	0.0386	0.0006	83.4	107.4	228.3	9.5	244.4	4.0
LD106-03	101.0	229.6	0.44	0.0550	0.0024	0.2831	0.0133	0.0372	0.0006	409.3	91.7	253.1	10.5	235.2	4.0
LD106-04	84.5	191.0	0.44	0.0538	0.0029	0.2755	0.0154	0.0370	0.0006	364.9	124.1	247.1	12.3	233.9	3.5
LD106-07	180.7	306.0	0.59	0.0527	0.0021	0.2811	0.0106	0.0387	0.0005	316.7	116.7	251.5	8.4	244.9	3.3
LD106-08	217.8	343.0	0.64	0.0527	0.0018	0.2744	0.0089	0.0380	0.0006	322.3	79.6	246.2	7.1	240.3	3.5
LD106-09	130.3	301.5	0.43	0.0521	0.0020	0.2725	0.0099	0.0380	0.0005	300.1	80.5	244.7	7.9	240.2	3.4
LD106-10	153.5	283.3	0.54	0.0569	0.0025	0.2887	0.0124	0.0369	0.0006	487.1	96.3	257.5	9.7	233.4	3.7
LD106-11	65.5	157.2	0.42	0.0525	0.0028	0.2672	0.0137	0.0374	0.0007	309.3	125.0	240.5	11.0	236.7	4.2
LD106-12	119.4	269.1	0.44	0.0519	0.0021	0.2737	0.0116	0.0380	0.0006	279.7	92.6	245.6	9.2	240.2	3.4
LD106-13	146.6	250.0	0.59	0.0489	0.0022	0.2507	0.0109	0.0374	0.0006	142.7	105.5	227.1	8.9	237.0	3.8
LD106-14	115.1	192.5	0.60	0.0488	0.0022	0.2486	0.0106	0.0375	0.0007	200.1	102.8	225.5	8.6	237.2	4.3
LD106-15	110.9	243.6	0.46	0.0541	0.0024	0.2729	0.0112	0.0369	0.0006	372.3	69.4	245.0	8.9	233.5	3.7
LD106-16	61.9	148.9	0.42	0.0486	0.0026	0.2487	0.0126	0.0378	0.0007	127.9	127.8	225.5	10.3	239.0	4.3



续表 4

	$^{232}\text{Th}$		$^{238}\text{U}$		$\text{Th/U}$		同位素比值						年龄/Ma			
		1 $\sigma$		1 $\sigma$		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 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
LD106-17	83.5	186.2	0.45	0.0534	0.0024	0.2844	0.0125	0.0387	0.0007	346.4	106.5	254.1	9.8	244.7	4.1	
LD106-18	113.8	188.0	0.61	0.0554	0.0028	0.2786	0.0129	0.0372	0.0006	427.8	145.4	249.5	10.2	235.3	3.6	
LD106-19	111.4	190.4	0.59	0.0532	0.0027	0.2702	0.0131	0.0376	0.0008	344.5	119.4	242.9	10.5	237.7	5.1	
LD106-20	70.0	138.3	0.51	0.0528	0.0035	0.2755	0.0185	0.0386	0.0008	320.4	158.3	247.1	14.7	243.9	5.2	
LD106-22	74.2	183.0	0.41	0.0554	0.0028	0.2816	0.0135	0.0373	0.0006	431.5	108.3	251.9	10.7	235.8	3.9	
LD106-23	91.8	247.4	0.37	0.0506	0.0022	0.2562	0.0111	0.0367	0.0006	233.4	100.0	231.6	9.0	232.6	3.8	
LD106-24	82.2	167.0	0.49	0.0497	0.0024	0.2504	0.0117	0.0373	0.0007	189.0	111.1	226.9	9.5	235.8	4.5	
LD106-25	75.3	147.4	0.51	0.0538	0.0027	0.2753	0.0131	0.0377	0.0007	361.2	111.1	246.9	10.4	238.8	4.2	
LD13-2-01	83.6	170.4	0.49	0.0541	0.0025	0.2807	0.0125	0.0382	0.0007	376.0	71.3	251.2	9.9	241.6	4.4	
LD13-2-02	121.7	200.9	0.61	0.0481	0.0020	0.2504	0.0102	0.0379	0.0006	101.9	100.9	226.9	8.3	240.1	3.6	
LD13-2-03	134.9	220.1	0.61	0.0524	0.0025	0.2703	0.0118	0.0380	0.0006	301.9	107.4	242.9	9.4	240.3	3.6	
LD13-2-04	149.6	416.3	0.36	0.0506	0.0014	0.2653	0.0080	0.0378	0.0005	233.4	60.2	238.9	6.4	239.0	3.2	
LD13-2-05	76.9	211.0	0.36	0.0521	0.0024	0.2669	0.0122	0.0372	0.0006	300.1	103.7	240.2	9.7	235.2	3.5	
LD13-2-06	186.1	493.9	0.38	0.0511	0.0015	0.2682	0.0077	0.0379	0.0005	255.6	66.7	241.3	6.1	240.0	3.1	
LD13-2-07	76.2	190.9	0.40	0.0543	0.0034	0.2827	0.0154	0.0386	0.0007	383.4	140.7	252.8	12.2	243.9	4.4	
LD13-2-08	78.2	192.9	0.41	0.0550	0.0024	0.2833	0.0123	0.0374	0.0006	413.0	91.7	253.3	9.7	236.5	3.8	
LD13-2-10	149.0	255.7	0.58	0.0521	0.0022	0.2728	0.0104	0.0380	0.0005	300.1	96.3	244.9	8.3	240.6	3.2	
LD13-2-11	77.6	170.8	0.45	0.0470	0.0024	0.2426	0.0117	0.0380	0.0007	50.1	118.5	220.5	9.6	240.5	4.5	
LD13-2-12	210.6	514.2	0.41	0.0522	0.0016	0.2797	0.0088	0.0385	0.0005	300.1	70.4	250.4	7.0	243.4	3.4	
LD13-2-13	85.7	179.7	0.48	0.0519	0.0024	0.2746	0.0129	0.0383	0.0007	283.4	109.2	246.3	10.3	242.0	4.3	
LD13-2-15	172.6	433.4	0.40	0.0491	0.0017	0.2576	0.0086	0.0380	0.0006	153.8	79.6	232.8	6.9	240.6	3.6	
LD13-2-17	93.5	212.1	0.44	0.0553	0.0024	0.2907	0.0121	0.0384	0.0006	433.4	98.1	259.1	9.5	243.1	3.4	
LD13-2-19	197.2	316.8	0.62	0.0531	0.0019	0.2869	0.0109	0.0389	0.0006	331.5	81.5	256.1	8.6	246.0	3.5	
LD13-2-20	141.2	354.8	0.40	0.0491	0.0018	0.2653	0.0094	0.0393	0.0005	150.1	87.0	238.9	7.6	248.2	3.3	
LD13-2-21	179.5	467.0	0.38	0.0525	0.0017	0.2698	0.0087	0.0372	0.0005	305.6	72.2	242.5	6.9	235.6	2.9	
LD13-2-22	167.4	284.5	0.59	0.0544	0.0021	0.2868	0.0108	0.0385	0.0006	387.1	89.8	256.0	8.5	243.7	3.8	
LD13-2-24	95.7	329.6	0.29	0.0488	0.0019	0.2618	0.0099	0.0389	0.0005	200.1	95.4	236.1	8.0	246.1	3.3	
LD13-2-25	115.0	206.6	0.56	0.0517	0.0023	0.2690	0.0114	0.0382	0.0006	272.3	103.7	241.9	9.1	241.5	4.0	
max	456.4	573.7	0.80	0.0569	0.0044	0.2907	0.0189	0.0393	0.0008	487.1	180.5	259.1	14.9	248.2	5.2	
min	61.9	138.3	0.29	0.0470	0.0014	0.2426	0.0077	0.0367	0.0005	50.1	60.2	220.5	6.1	232.6	2.9	
average	121.2	249.6	0.49	0.0520	0.0024	0.2702	0.0119	0.0380	0.0006	288.8	105.3	242.8	9.5	240.2	3.9	
stdev	59.8	98.8	0.09	0.0023	0.0005	0.0115	0.0023	0.0006	0.0001	97.0	24.1	9.2	1.8	3.7	0.5	

表5 西秦岭西段典型矿床与其特征

Fig. 5 Characteristics of typical deposit from Eastern Qinling orogenic belt

序号	矿床(点)	主要矿种	地层时代	侵入岩	成矿时代
1	西和	Au	泥盆纪,侏罗世	花岗闪长斑岩,花岗玢岩	中生代
2	李坝	Au	中泥盆世,石炭纪,二叠纪	花岗闪长岩	印支期-燕山早期
3	温泉	Mo	古-中元古代,石炭纪,二叠纪	花岗闪长岩,似斑状花岗岩,含斑黑云母二长花岗岩	中生代
4	合作德乌鲁+老豆	Cu-Au-(W-Pb-Zn-Sb)	三叠纪	花岗闪长岩,石英闪长岩,石英闪长斑岩	中生代
5	夏河阿夷山	Cu-Au-W	三叠纪	石英闪长岩,二长花岗岩	中生代
6	铁钩-兴时钩	Cu-Au	石炭纪,二叠纪,三叠纪	中酸性侵入岩,多为小型岩株	中生代

同位素特征,再加上在德乌鲁石英闪长岩体中存在暗色微粒包体,因此可以将其成因概述如下:原始岩浆起源于软流圈释放的小体积富挥发分硅酸盐熔体交代形成的富集岩石圈地幔<sup>[18]</sup>,在早中生代俯冲洋壳发生脱水作用形成的板片流体对地幔楔进行了交代,由于流体的加入使得地幔橄榄岩发生部分熔融,形成了高温幔源玄武质基性岩浆,之后该基性岩浆上升侵入到下地壳,进而导致西秦岭的中元古代基性下地壳中的角闪石等含水矿物脱水,同时诱发了下地壳岩石的部分熔融最终在该岩浆房形成中酸性岩浆,该中酸性岩浆和较早的基性岩浆在岩浆房发生混合作用<sup>[7]</sup>,进而上升侵入到一定的位置,最终导致了德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩的形成<sup>[4, 5, 17, 19-21]</sup>。德乌鲁石英闪长岩体和老豆石英闪长斑岩的成岩年龄为220~250 Ma,属三叠世早期<sup>[22]</sup>,而在该时期秦岭造山带已进入陆陆碰撞造山阶段,扬子板块向华北板块下俯冲消减致使地壳厚度明显增加,地热梯度增大,为下地壳中变质的玄武岩部分熔融提供了必要的条件<sup>[23]</sup>。

## 5.2 岩浆活动与成矿作用

秦岭造山带经历了新元古代陆陆碰、早古生代商丹洋壳向华北板块下俯冲消减和中生代三叠世早期的华北地台与扬子地台的全面碰撞造山三个重大地质事件,说明西秦岭地区经历了一个多期、多旋回碰撞造山的过程,在这个过程中也造就了印支早期多期次、多旋回的岩浆活动,区域岩浆岩广泛出露,各个矿床(点)大都分布在岩体周边,与岩浆作用关系密切<sup>[24]</sup>(表5)。

西秦岭西段印支早期岩浆活动主要集中在夏河—合作地区,侵位时代介于早—中三叠世(230~250 Ma),与西秦岭东段印支期活动的时间(主要集中在—晚三叠世,即206~224 Ma)具有明显区别。老

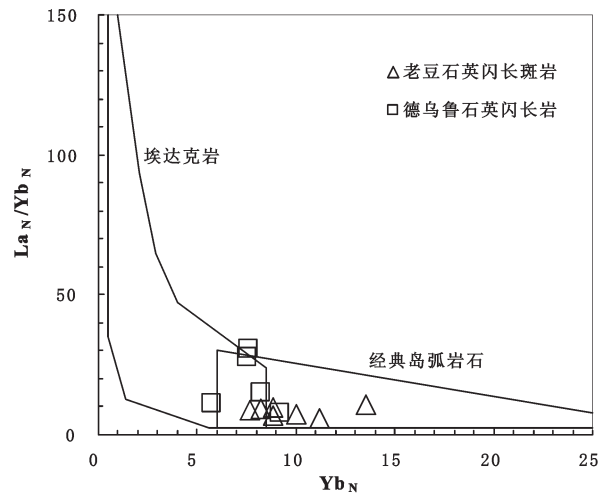


图11 德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩  $Yb_N-La_N/Yb_N$  图解(据文献[29])

Fig. 11  $Yb_N-La_N/Yb_N$  diagram of Dewulu quartz diorite and Ladou quartz dioritic porphyry (after[29])

豆石英闪长斑岩属于低钾(拉斑)—钙碱性系列,而德乌鲁石英闪长岩属于高钾钙碱性—钾玄岩系列,前者  $Na_2O/K_2O$  大都远大于1,而后者  $Na_2O/K_2O$  则接近或略大于1,前者具有明显的明显的岛弧岩浆岩的特征<sup>[4, 5, 8, 11, 21, 23, 25]</sup>,而后者可能是活动陆缘环境,可能陆壳混染的可能性增加了。德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩  $Yb_N-(La/Yb)_N$  图中可见二者均落入到岛弧岩浆岩区域(图11)。和区域上的夏河岩体、冶力关岩体一致,这些岩体都具有典型的活动大陆边缘岛弧岩浆的岩石地球化学特征<sup>[4, 8, 21, 26]</sup>,有利于斑岩型铜矿床的成矿。除此之外,这些岩体在空间分布上与西秦岭造山带的构造线方向一致,构造向NWW方向呈带状分布的特征(图1),结合年代学的研究表明,这些岩体侵位于印支早期的早三叠至中三叠世早期,且具有与该区域上的洋壳俯冲相

关的典型岛弧岩浆组合的特征,可能与古特提斯洋洋盆闭合过程中商丹洋壳向北俯冲有关<sup>[5, 9, 22, 23, 27, 28]</sup>。

三叠纪早期秦岭造山带的陆陆碰撞,扬子地台俯冲至华北板块下使得地壳增厚、地热梯度增高,下地壳中变质的玄武岩部分熔融通过底侵作用将金铜等成矿元素从地幔中带入地壳底部。德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩具有典型的喜马拉雅型花岗岩的地球化学特点即低Sr、Y的特点,而喜马拉雅型花岗岩与金铜矿床有着密切的关系,Au和Cu主要来源于幔源玄武岩的源区<sup>[8, 30]</sup>,与该类型岩体有关的成矿作用主要有斑岩型、矽卡岩型号和中低温热液型矿床。因此,西秦岭造山带夏河—合作地区十分有利于与喜马拉雅型花岗岩有关的斑岩型Cu—Au、矽卡岩型Cu—Au和浅成低温热液Cu—Au—Sb矿床的形成。

## 参考文献

- [1] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(01): 1-16.  
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. *Geology in China*, 2009, 36(01): 1-16 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈衍景, 张静, 张复新, 等. 西秦岭地区卡林—类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式[J]. 地质论评, 2004, 50(02): 134-152.  
Cheng Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, et al. Carlin and Carlin-like gold deposits in Western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model[J]. *Geological Review*, 2004, 50(02): 134-152(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘勇. 甘肃省枣子沟金矿中酸性脉岩与金成矿关系研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.  
Liu Yong. Relationship between Intermediate-acid Dike Rock and Gold Mineralization of the Zaozigou Gold Deposit, Gansu Province[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013(in Chinese with English abstract).
- [4] 徐学义, 李婷, 陈隽璐, 等. 西秦岭西段花岗岩浆作用与成矿[J]. 西北地质, 2012, 45(04): 76-82.  
Xu Xueyi, Li Ting, Chen Junlu, et al. The granitoids magmatism and mineralization in west section of the Western Qinling, NW China[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(04): 76-82 (in Chinese with English abstract).
- [5] 靳晓野, 李建威, 隋吉祥, 等. 西秦岭夏河—合作地区德乌鲁杂岩体的侵位时代、岩石成因及构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 2013(03): 20-38.  
Jin Xiaoye, Li Jianwei, Sui Jixiang, et al. Geochronological and geochemical constraints on the genesis and tectonic setting of Dewulu intrusive complex in Xiahe—Hezuo district of Western Qinling[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2013, 35(3): 20-38 (in Chinese with English abstract).
- [6] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(04): 307-314.  
Liu Jiajun, Zheng Minghua, Liu Jianming, et al. Geotectonic evolution and mineralization zone of gold deposit in Western Qinling[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1997, 21(04): 307-314(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘勇, 刘云华, 董福辰, 等. 甘肃枣子沟金矿床成矿时代精确测定及其地质意义[J]. 地球科学进展, 2012, 27(S1): 229-231.  
Liu Yong, Liu Yunhua, Dong Fuchen, et al. Precious measurement of ore-forming time of Zaozigou gold deposit in Gansu Province and its geological significance[J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(S1): 229-231(in Chinese with English abstract).
- [8] 徐学义, 陈隽璐, 高婷, 等. 西秦岭北缘花岗岩浆作用及构造演化[J]. 岩石学报, 2014, 30(02): 371-389.  
Xu Xueyi, Cheng Junlu, Gao Ting, et al. Granitoid magmatism and tectonic evolution in northern edge of the Western Qinling terrane, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(02): 371-389(in Chinese with English abstract).
- [9] 杜子图. 西秦岭地区构造体系对金矿分布规律的控制作用[D]. 北京: 中国地质科学院, 1997.  
Du Zitu. Study on Tectonic Systems and Their Controlling to the Gold Deposits Distribution in the Region of West Qinling[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Science, 1997(in Chinese with English abstract).
- [10] 高景民, 裴先治, 李佐臣, 等. 西秦岭天水地区流水沟岩浆杂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年和岩石地球化学特征[J]. 地质通报, 2012, 31(09): 1482-1495.  
Gao Jingming, Pei Xianzhi, Li Zuochen, et al. LA ICP-MS Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the liushuigou igneous complex, Tianshui area, West Qinling Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(09): 1482-1495(in Chinese with English abstract).
- [11] 何进忠, 姚书振. 新元古代以来甘肃西秦岭造山过程的地球化学证据及其成矿背景[J]. 中国地质, 2011, 38(03): 637-656.  
He Jinzhong, Yao Shuzhen. Geochemical evidence for the orogenic process of West Qinling in Gansu since Neoproterozoic and its metallogenic background[J]. *Geology in China*, 2011, 38(03): 637-656(in Chinese with English abstract).
- [12] 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.
- [13] Peccerillor R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. *Contribution of Mineral Petrology*, 1976, 58: 63-81.
- [14] Middlemost et al. Magmas and Magmatic Rocks[M]. Longdon: Longman, 1985: 1-266.
- [15] 张宏飞, 陈岳龙, 徐旺春, 等. 青海共和盆地周缘印支期花岗岩类的成因及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2910-2922.  
Zhang Hongfei, Chen Yuelong, Xu Wangchun, et al. Granitoids



- around Gonghe basin in Qinghai Province: Petrogenesis and tectonic implication[J]. 2012, 22(12):2910–2922(in Chinese with English abstract).
- [16] Sisson. Voluminous Granitic Magmas from Common Basaltic Sources[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2005, 148(6): 636–661.
- [17] 靳晓野. 西秦岭夏河—合作地区老豆金矿床成因的地球化学和同位素年代学制约[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.  
Jin Xiaoye. Genesis of the Laodou Gold Deposit, Xiahe–Hezuo Area, West Qinling Orogen: Constraints from the Geochemistry and Isotopic Geochronology[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2013(in Chinese with English abstract)
- [18] 黄雄飞, 喻学惠, 莫宣学, 等. 西秦岭甘加地区OIB型钾质拉斑玄武岩的发现: 对西秦岭晚中生代大陆裂谷作用的启示[J]. 地学前缘, 2013(03): 204–216.  
Huang Xiongfei, Yu Xuehui, Mo Xuanxue, et al. The discovery of OIB–type potassic tholeiitic basalts from the Ganjia area in West Qinling: Implications for the late Mesozoic continental rift of West Qinling[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(3): 204–216(in Chinese with English abstract).
- [19] 李道喜, 赵军. 甘肃合作德乌鲁岩体控矿规律及找矿方向[J]. 甘肃冶金. 2006(03): 52–53.  
Li Daoxi, Zhao Jun. The ore–controlled regularity and prospect of Dewulu complex in Hezuo city, Gansu Province[J]. Gansu Metallurgy, 2006, 28(3): 52–53(in Chinese with English abstract).
- [20] 周俊烈, 随凤春, 张世新. 甘肃省合作市德乌鲁岩体及外围金多金属成矿区成矿地质特征[J]. 地质与勘探, 2010(05): 779–787.  
Zhou Junlie, Sui Fengchun, Zhang Shixin. Geological characteristics of the gold and multiple–metal mineralization area in the Dewulu rockbody and surroundings in Hezuo City, Gansu Province[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 779–787(in Chinese with English abstract).
- [21] 韦萍. 西秦岭夏河地区印支期花岗岩成因及其构造意义[D]. 中国地质大学(北京), 2013.  
Wei Ping. Petrogenesis and Tectonic Settings of the Indosinian Granites from Xiahe Area, West Qinling[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013(in Chinese with English abstract).
- [22] 高婷. 西秦岭西段北部重要侵入体年代学、地质地球化学、形成构造环境及与成矿作用关系[D]. 西安: 长安大学, 2011.  
Gao Ting. The LA ICP–MS Zircon U–Pb Dating, Geology and Geochemistry, Tectonic Setting of several Important Intrusions from the North Part of the Western Stage of West Qinling and Their Relationship with Mineralization[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011(in Chinese with English abstract).
- [23] 辛宇佳. 西秦岭北部花岗岩地球化学特征及其大地构造意义[D]. 长沙: 中南大学, 2014.  
Xin Yujia. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Granite from North of Qinling Region[D]. Changsha: Central South University, 2014(in Chinese with English abstract).
- [24] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(04): 854–865.  
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, Central China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854–865(in Chinese with English abstract).
- [25] 闫海卿, 贺宝林, 刘巧峰, 等. 西秦岭大水金矿岩浆岩年代学、地球化学特征[J]. 地球科学与环境学报, 2014(01): 98–110.  
Yan Haiqing, He Baolin, Liu Qiaofeng, et al. Characteristics of magmatic geochronology and geochemistry of Dashui gold deposit in West Qinling[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36(1): 98–110(in Chinese with English abstract).
- [26] 李育慈, 方国庆, 张晓宝. 西秦岭海西—印支期成矿大地构造背景及主要构造型式[J]. 矿产与地质, 1994, 3: 197–200.  
Li Yuci, Fang Guoqing, Zhang Xiaobao. Hercy–Indosinian metallotectonic settings and tectonic styles of the West Qinling MTS[J]. Mineral Resource and Geology, 1994, 3(3): 197–200(in Chinese with English abstract).
- [27] 熊莉娟. 原特提斯北界西段构造演化与拼合方式[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.  
Xiong Lijuan. The Tectonic Evolution and Split Mode of Western Part of the Northern Boundary of Proto Tethys[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014(in Chinese with English abstract).
- [28] 闫臻, 王宗起, 李继亮, 等. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1808–1828.  
Yan Zhen, Wang Zongqi, Li Jiliang, et al. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling terrane, northeastern Margin of the Tibet Plateau[J]. Acta Petrological Sinica, 2012, 28(6): 1808–1828(in Chinese with English abstract).
- [29] Martin. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites, and granodiorites from eastern Finland: Major and trace element Geochemistry[J]. Journal of Petrology, 1987, 28(5): 45–50.
- [30] 张旗, 殷先明, 殷勇, 等. 西秦岭与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金铜成矿及找矿问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3103–3122.  
Zhang Qi, Yin Xianming, Yin Yong, et al. Issues on metallogenesis and prospecting of gold and copper deposits related to adakite and Himalayan type granite in west Qinling[J]. Acta petrologica Sinica, 2009, 25(12): 3103–3122(in Chinese with English abstract).
- [23] Longerich H P, Jackson S E, Günether D. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric transient signal data acquisition and analytic concentration calculation [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 1996, 11: 899–904.
- [24] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center, 2003: 1–71.