

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.163>



扬子板块西北缘大安花岗岩体锆石 U-Pb 年代学、 地球化学特征及其地质意义

栗朋¹,裴先治^{1,2*},李瑞保^{1,2},李佐臣^{1,2},杨运军³,陈有忻^{1,2},刘成军^{1,2},
王盟^{1,2},裴磊^{1,2},高峰¹,苏联国¹,梁国冰¹,高翔宇¹

1. 长安大学地球科学与资源学院,陕西西安 710054

2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,陕西西安 710054

3. 陕西省地质调查中心,陕西西安 710065

摘要:位于扬子板块西北缘宁强地区的大安花岗岩体,岩石类型主要为黑云母花岗闪长岩,但其形成时代却有一定的争议,成因及地质意义尚未明确。对大安花岗岩体进行详细的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究,结果表明,花岗闪长岩年龄为 212.3 ± 1.6 Ma 和 212.48 ± 0.43 Ma, 属晚三叠世。地球化学特征显示花岗闪长岩相对高硅($67.61\% \sim 69.02\%$)、高 Al_2O_3 ($16.14\% \sim 16.80\%$)、 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, 富集大离子亲石元素(Cs, Ba)和轻稀土元素, Eu 负异常不明显, 强烈富集 Sr($538 \times 10^{-6} \sim 907 \times 10^{-6}$)和亏损 Y($3.10 \times 10^{-6} \sim 3.90 \times 10^{-6}$), 高 Sr/Y 比值(138~291), 表现出明显的埃达克质岩石的地球化学特征。综合区域地质资料认为, 大安花岗岩体形成于后碰撞构造环境, 是在华北板块与扬子板块碰撞后期伸展体制下, 由于地幔物质上涌带来的热量导致加厚基性下地壳脱水熔融, 形成了具有埃达克质性质的岩浆。

关键词:扬子板块西北缘;后龙门山构造带;大安花岗岩体;锆石 U-Pb 定年;地球化学;构造环境。

中图分类号:P597

文章编号: 1000-2383(2019)04-1338-19

收稿日期: 2018-05-04

Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Daan Granite in Northwestern Margin of Yangtze Block

Li Peng¹, Pei Xianzhi^{1,2*}, Li Ruibao^{1,2}, Li Zuochen^{1,2}, Yang Yunjun³, Chen Youxin^{1,2}, Liu Chengjun^{1,2}, Wang Meng^{1,2}, Pei Lei^{1,2}, Gao Feng¹, Su Zhenguo¹, Liang Guobing¹, Gao Xiangyu¹

1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China

3. Shaanxi Center of Geological Survey, Xi'an 710065, China

Abstract: Located in the Ningqiang area of the northwest margin of the Yangtze block, the Daan granite consists mainly of biotite granodiorite. However, the petrogenesis and geological significances of the Daan pluton remain unclear in addition to the controversial formation age. In this paper, a detailed study of LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and geochemistry is presented for the Daan granite. The results show that the age of granodiorite is 212.3 ± 1.6 Ma and 212.48 ± 0.43 Ma, belonging to the Late Triassic. Geochemically, the Daan granites have relatively high SiO_2 ($67.61\% - 69.02\%$) and Al_2O_3 ($16.14\% - 16.80\%$) contents, and are enriched in LILE (Cs, Ba) and LREE. The samples display an insignificant negative Eu anomaly, low Y ($3.10 \times 10^{-6} - 3.90 \times 10^{-6}$) contents, and high Sr contents ($538 \times 10^{-6} - 907 \times 10^{-6}$) and Sr/Y ratios (138~291), ex-

基金项目:国家自然科学基金项目(Nos.41872233,41472191,41502191,41172186,40972136);陕西省公益性基础地质调查专项“陕西省勉略宁地区基础地质调查”(No.20150102);中央高校基本科研业务费专项资金项目(Nos.310827161002,310827161006)。

作者简介:栗朋(1994—),男,硕士研究生,构造地质学专业。ORCID:0000-0001-8071-2339. E-mail:997846193@qq.com

* 通讯作者:裴先治,ORCID:0000-0001-6344-7879. E-mail:peixzh@163.com

引用格式:栗朋,裴先治,李瑞保,等,2019.扬子板块西北缘大安花岗岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义.地球科学,44(4):1338~1356.

hibiting marked geochemical features of adakite. Combined with regional geological data, it is proposed that the Daan granite was formed in a post-collisional tectonic environment. The extensional regime after collision between the North China block and the Yangtze block induced the upwelling of mantle material, resulting in the dehydration and melting of thickened basic lower crust and formed the adakitic magma.

Key words: northwestern margin of Yangtze block; back-Longmenshan tectonic belt; Daan granite; zircon U-Pb dating; geochemistry; tectonic environment.

0 引言

花岗岩体是造山带的一个重要组成部分,将花岗岩体的研究与碰撞后造山过程的研究密切配合,这已成为造山带研究的中心问题之一(杨坤光和杨巍然,1997).本次研究的大安花岗岩体出露于扬子板块西北缘后龙门山构造带北段宁强县大安镇附近(图1),是该构造带中迄今为止识别出的唯一的印支期花岗岩体.目前,虽然前人对大安花岗岩体进行了岩相学及年代学研究,但研究工作还有待加强,具体表现为:一方面,对于大安花岗岩体的形成时代存在一定的争议:(1)陕西省地质矿产勘查开发局综合研究队(1995,1:5万大安镇幅(I48E018018)地质图)利用锆石U-Pb法测得大安花岗岩体年龄为141.2 Ma,陕西省地质调查院(2005,1:25万略阳县幅(I48C003003)地质图)沿用了此年龄值,将其形成时代归属于侏罗纪;(2)刘树文等(2011)利用LA-ICP-MS锆石U-Pb法测得大安花岗岩体年龄为 212 ± 2 Ma,并且利用SHRIMP锆石U-Pb法测得岩体年龄为 210 ± 4 Ma,将该岩体形成时代归属于晚三叠世;(3)平先权等(2014)利用LA-ICP-MS锆石U-Pb法测得岩体年龄为 854 ± 10 Ma,将其划为新元古代花岗岩.另一方面,对于大安花岗岩体的研究缺乏详细的岩石地球化学资料,对该岩体的成因、产出环境以及地质意义等问题尚未得到明确解释.

基于此,本文选择扬子板块西北缘后龙门山构造带北段出露的大安花岗岩体进行LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学和岩石地球化学分析,并探讨其岩石成因和物质来源,试图进一步为扬子板块西北缘的构造演化以及与秦岭造山带的构造关系的研究提供一定的地质依据.

1 区域地质背景及岩体地质特征

1.1 区域地质背景

龙门山造山带为一陆内复合造山带(罗志立,1991;龙学明,1991;刘树根等,1991;林茂炳和吴山,

1991;林茂炳,1994;李佐臣,2009),位于扬子板块西北缘,南侧为川西前陆盆地和汉南—米仓山构造带,北西侧为碧口微地块,北东侧以勉略缝合带为界与秦岭造山带相邻,西缘为印支期松潘—甘孜造山带.带内主要发育有3条北东向断裂带,西界断裂为青川—阳平关断裂,东界断裂为安县—都江堰断裂,中央断裂为北川—映秀断裂.中央断裂将龙门山造山带分为南、北两部分,中央断裂以南为前龙门山褶皱冲断带,以北为后龙门山构造带.

后龙门山构造带位于龙门山造山带北段,基底主要由新元古代通木梁群火山岩和刘家坪群火山岩以及新元古代花岗岩组成(李智武等,2008;李佐臣等,2011).新元古代花岗岩主要以轿子顶S型花岗岩(裴先治等,2009)和大滩I型花岗岩(李佐臣等,2013)为主.研究区位于后龙门山构造带北段、碧口微地块南侧的宁强县大安地区,两者被NEE向青川—阳平关断裂分隔,北侧碧口微地块主要出露地层为新元古界碧口岩群($Pt_3\ bk$),南侧后龙门山构造带北段主要出露地层为下南华统莲沱组(Nh_1l)、下震旦统陡山沱组(Z_1d)、上震旦统灯影组(Z_2dn)以及志留系茂县群(SM).其中,新元古界碧口岩群主要为一套浅变质海相火山—沉积岩系;下南华统莲沱组、下震旦统陡山沱组以及上震旦统灯影组主要为一套碎屑岩和碳酸盐岩沉积组合,下南华统莲沱组与下震旦统陡山沱组为平行不整合接触,下震旦统陡山沱组与上震旦统灯影组为断层接触;志留系茂县群主要为一套浅变质细碎屑岩夹少量碳酸盐岩沉积组合,与下伏下南华统莲沱组呈断层接触.研究区出露的侵入岩为大安花岗岩体(图1).

1.2 岩体地质特征

大安花岗岩体分布于陕西省宁强县大安镇南部地区,构造位置处于青川—阳平关断裂东南侧的后龙门山构造带北段(图1).岩体主要岩性为黑云母花岗闪长岩(图2a,2c,2d),岩体形态整体略呈扁平的纺锤状,长轴方向近东西向,其南西侧主要侵位于下南华统莲沱组(Nh_1l)和上震旦统灯影组(Z_2dn),东侧主要侵位于志留系茂县群(SM)中,侵入接触界

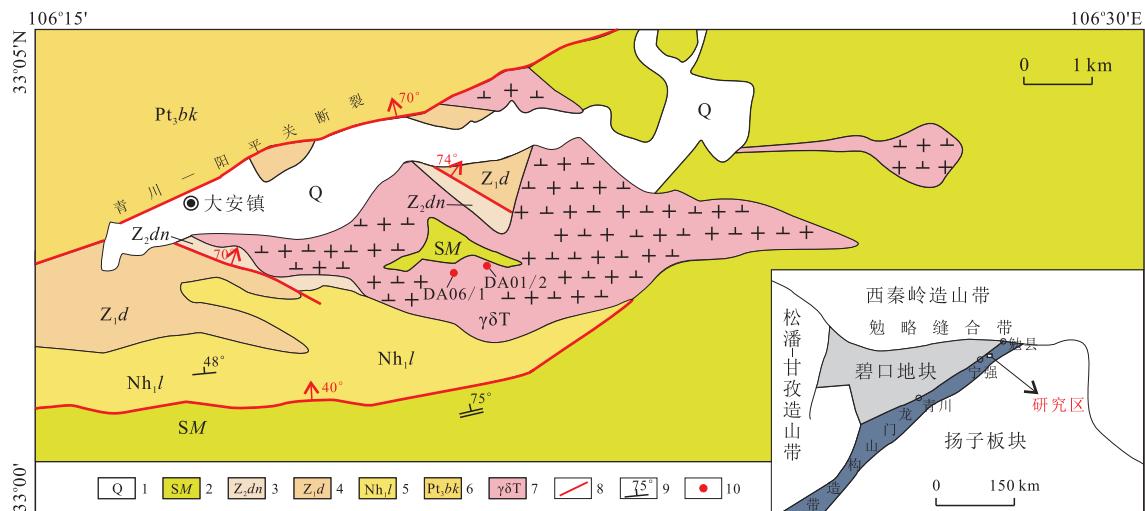


图 1 大安花岗岩体构造位置及岩体地质简图

Fig.1 Regional location map and geological map of Daan granite

1.第四系;2.志留系茂县群;3.上震旦统灯影组;4.下震旦统陡山沱组;5.下南华统莲沱组;6.新元古界碧口岩群;7.大安花岗岩体;8.断层;9.产状;10.采样位置. 据陕西省地质调查中心,2017,1:5万陕西省勉略宁地区地质图

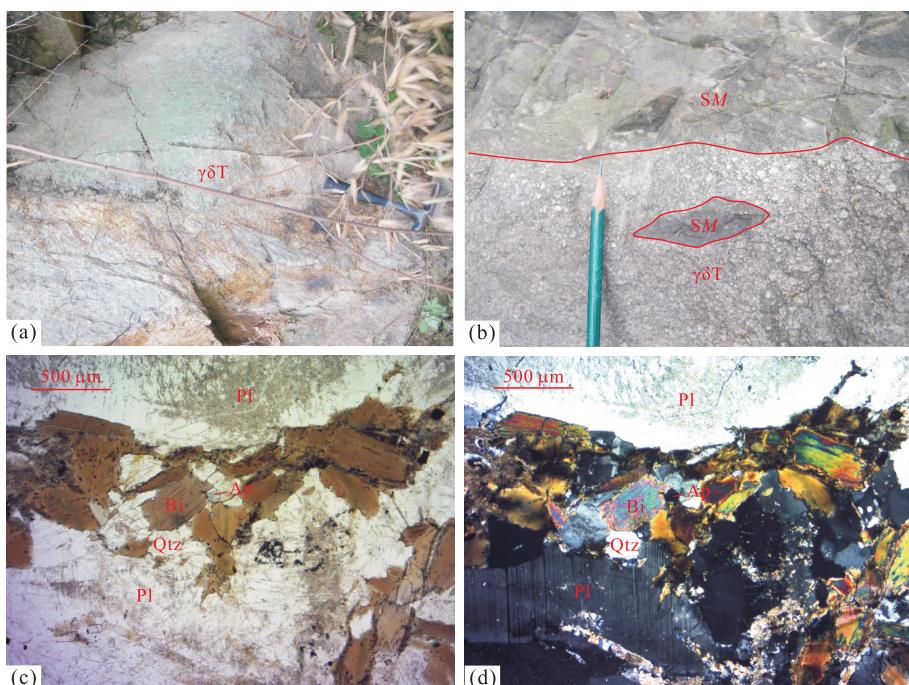


图 2 大安花岗岩体野外露头及显微镜下照片

Fig.2 Field and microscopic photos of Daan granite

a,c,d.黑云母花岗闪长岩;b.大安花岗岩体($\gamma\delta T$)与志留系茂县群(SM)侵入接触,岩体中可见围岩捕掳体.矿物名称缩写:Pl.斜长石;Qtz.石英;Bi.黑云母;Ap.磷灰石

线清晰截然(图 2b),北侧多被第四系覆盖(图 1).岩体边缘可见围岩捕掳体(图 2b).

花岗闪长岩风化面呈灰黄色,新鲜面呈灰白色,中粗粒花岗结构,块状构造,岩石整体风化较为严重(图 2a),主要矿物组成为斜长石($\sim 50\%$)、石英

($\sim 20\%$)、黑云母($\sim 15\%$)、碱性长石($\sim 10\%$)及角闪石($\sim 5\%$),副矿物有磷灰石、锆石等.其中,斜长石呈灰白色,自形一半自形结构,板柱状,大小约为 $1.5 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm} \sim 2.5 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$,解理面具玻璃光泽,镜下可见聚片双晶发育;石英,烟灰色,他形

粒状,大小约为2~3 mm,填隙状分布;黑云母为黑褐色,片状,一组解理发育,解理面具珍珠光泽,棕褐色—棕黄色多色性;碱性长石略带淡红色,半自形柱状为主,大小约为1.5 mm×2 mm~2 mm×3 mm,表面可见高岭土化蚀变;角闪石偶见,呈短柱状;磷灰石,自形,短柱状,一级灰干涉色。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

为了保证样品的代表性和研究的科学性,本次采样对岩体的新鲜面以多地点、等距离的方式采集了花岗闪长岩的地球化学样品和锆石U-Pb定年样品。其中地球化学样品8件,锆石定年样品2件。同位素年龄采样点地理坐标为:灰白色中粒黑云母花岗闪长岩(DA01/2)33°02'44.9"N,106°20'5.2"E;灰白色中粗粒黑云母花岗闪长岩(DA06/1)33°02'45.5"N,106°19'55.4"E。

2.2 锆石U-Pb定年

用于年代学研究的样品由河北省廊坊市峰泽源岩矿检测技术有限公司完成粉碎和锆石的分离工作。锆石制靶及阴极发光照相工作由北京锆年领航科技有限公司完成。锆石U-Pb测年在天津地质矿产研究所通过Neptune质谱仪利用LA-ICP-MS方法完成测定,首先根据锆石阴极发光照片、反射光和透射光照片选择锆石的合适的测年晶域,再利用193 nm激光器对锆石进行剥蚀,通常采用的激光剥蚀的斑束直径为35 μm,以TEMORA作为外部锆石年龄标准。采用中国地质大学(武汉)刘勇胜博士研发的ICPMS Data Cal程序和Kenneth R.Ludwig的Isoplot程序进行数据处理,利用²⁰⁸Pb校正法对普通铅进行校正。以NIST612玻璃标样作为外标计算锆石样品的Pb、U、Th含量。详细分析方法及仪器参数见李怀坤等(2009)。

2.3 岩石地球化学分析

全岩主量、稀土和微量元素测试在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成。主量元素测试采用XRF法,测定流程包括:(1)烧失量计算:将坩埚置于烘箱内150 °C下干燥3 h后,称其重量W₁,加入约1 g样品,称样品重量W₂;然后放入900 °C的马弗炉中8 h,降温后放入干燥器静置20 min,随后称重得W₃。通过公式LOI=(W₁+W₂-W₃)/W₂计算出样品的烧失量(LOI);(2)玻璃融熔法制样:主量元素测定时首先称取样品

0.50 g,以无水四硼酸锂和硝酸铵为氧化剂,倒入铂金坩埚中,再加入适量溴化锂,在1200 °C左右振荡熔融制成玻璃薄片;(3)使用X射线荧光光谱仪测定。稀土和微量元素分析采用Thermo-X7电感耦合等离子体质谱仪,分析精度和准确度优于10%。将200目以下样品(500 mg)置于PTFE坩埚,加入添加剂(1.0 mL高纯HF和1.5 mL高纯HNO₃),按照标准测试程序,反复添加、加热、冷却后,最后在离心管中稀释到50 mL;将所得溶液在电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)上完成测定。

3 分析结果

3.1 锆石U-Pb测年

中粒黑云母花岗闪长岩样品(DA01/2)中锆石晶粒多数为无色透明至淡黄色,呈自形短柱状或者长柱状,一般长约100~200 μm,宽约50~100 μm,锆石长宽比为1:1~3:1。阴极发光图像显示大多数锆石具有典型的岩浆韵律环带(图3a);由附表1可以看出,锆石U含量为202×10⁻⁶~645×10⁻⁶,Th含量为133×10⁻⁶~313×10⁻⁶,Th/U比值为0.21~1.36,均大于0.1,显示其具有岩浆锆石特征(Corfu *et al.*, 2003)。所有测点都尽量选择锆石边部的振荡环带区,24个分析测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U和²⁰⁷Pb/²³⁵U谐和性较好,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值大致可分为两组,第1组有3个测点(12,14,21),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于212~213 Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为212.3±1.6 Ma(MSWD=0.1)(图4a,4b),代表了花岗闪长岩的结晶年龄,为晚三叠世;其余21个测点为第2组,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于246~838 Ma,可能为继承锆石。

中粗粒黑云母花岗闪长岩样品(DA06/1)中锆石多为自形程度较高的长柱状晶体,少数为短柱状,长轴约75~200 μm,短轴约40~80 μm,锆石长宽比为1:1~3:1。阴极发光图像显示清晰的振荡环带(图3b),属于典型的岩浆成因锆石。由附表1可以看出,锆石的U含量为266×10⁻⁶~561×10⁻⁶,Th含量为199×10⁻⁶~368×10⁻⁶,Th/U比值为0.36~1.01,均大于0.1,表明属于岩浆锆石(Corfu *et al.*, 2003)。本次测试了24个测点,由于放射性Pb丢失造成1个测点(23号测点)远离谐和线(Keppie and Krogh, 1999),剔除后,其余23个测点均投影于谐和线上或其附近,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值大致可分为两组,第1组有14个测点(1,5,7~13,19~22,

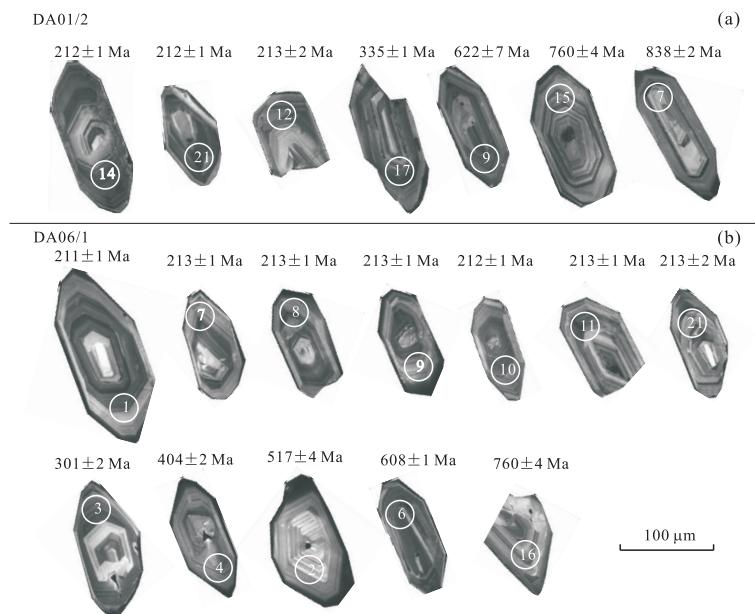


图 3 大安花岗岩体中粒黑云母花岗闪长岩(DA01/2)(a)和中粗粒黑云母花岗闪长岩(DA06/1)(b)代表性单颗粒锆石阴极发光图像和年龄值

Fig.3 CL images and age values of selected zircons for biotite granodiorite (DA01/2) (a) and middle-coarse biotite granodiorite (DA06/1) (b) of the Daan granite

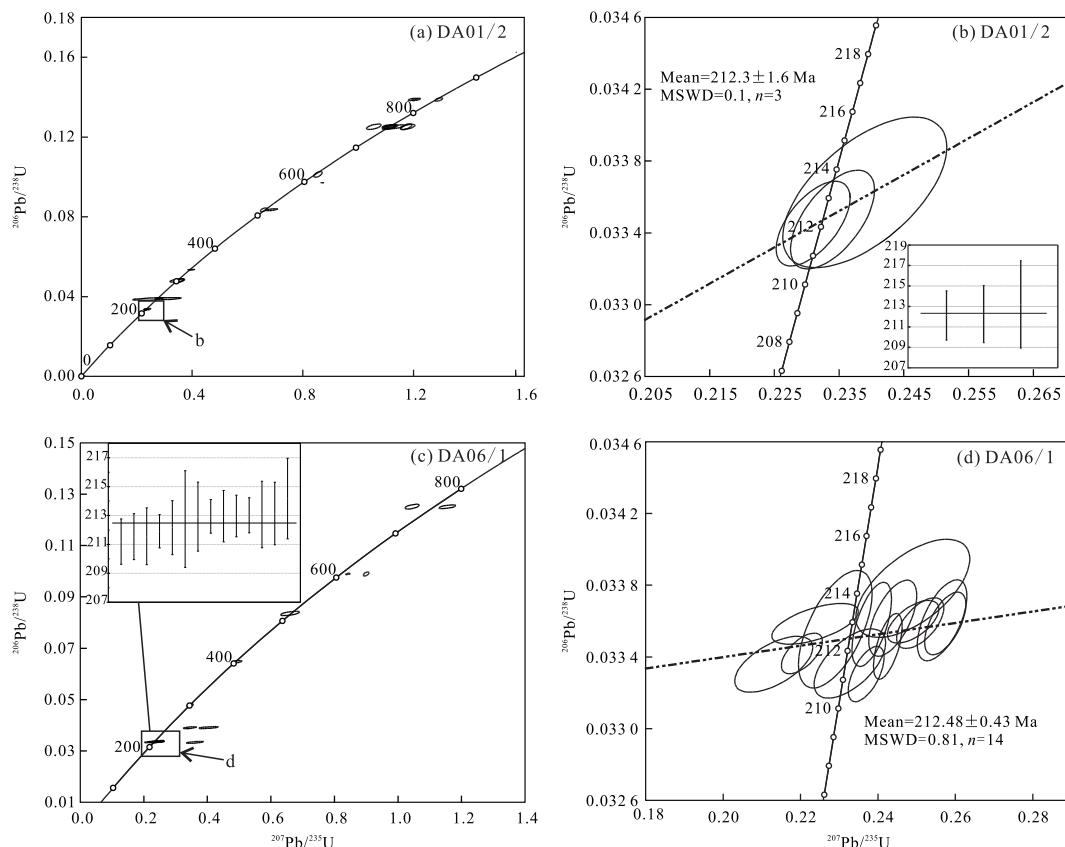


图 4 大安花岗岩体中粒黑云母花岗闪长岩(DA01/2)(a,b)和中粗粒黑云母花岗闪长岩(DA06/1)(c,d)锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.4 U-Pb concordia diagrams of zircon for biotite granodiorite (DA01/2) (a, b) and middle-coarse biotite granodiorite (DA06/1) (c, d) of the Daan granite

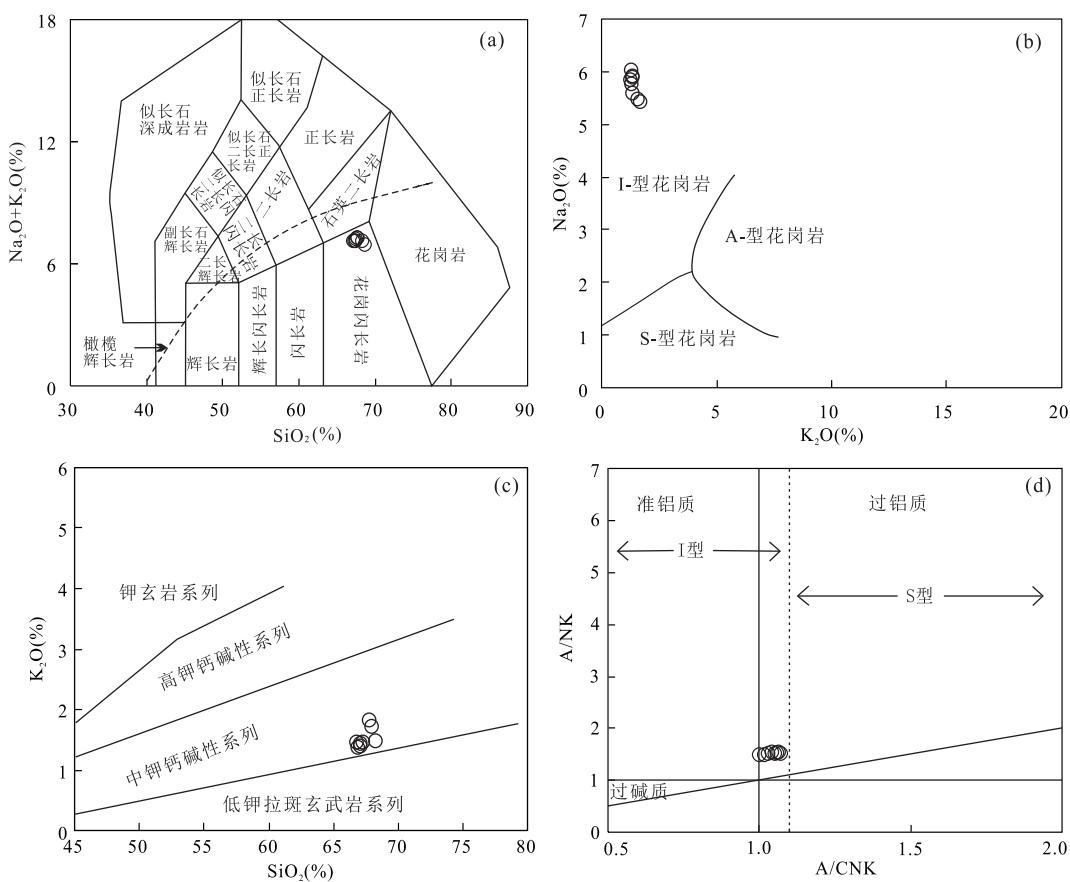


图5 大安花岗岩体TAS(a)、K₂O—Na₂O(b)、SiO₂—K₂O(c) and A/NK—A/CNK(d)图解

Fig.5 TAS (a), K₂O—Na₂O (b), SiO₂—K₂O (c) and A/NK—A/CNK (d) diagrams for Daan granite

图a据 Rickwood(1989),图b据 Maniar and Piccoli(1989),虚线代表I型和S型花岗岩之间的边界(Chappell and White,1992)

24), ²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于211~213 Ma, ²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄值为212.48±0.43 Ma(MSWD=0.81)(图4c,4d),代表了花岗闪长岩的结晶年龄,为晚三叠世,其余9个测点为第2组,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于247~760 Ma,可能为继承锆石。

综上所述,大安花岗岩岩体两个样品的结晶年龄分别为212.3±1.6 Ma和212.48±0.43 Ma,平均年龄为212.43±0.42 Ma,属晚三叠世,并且在该岩体中存在继承锆石。

3.2 主量元素特征

本次测试的8件花岗闪长岩样品的烧失量较小,均不超过2%。岩石SiO₂含量变化较小,为67.61%~69.02%,均大于56%。Al₂O₃的含量为16.14%~16.80%,平均为16.43%;MgO的含量为1.10%~1.52%,平均为1.34%;TiO₂的含量为0.20%~0.23%,平均为0.22%;K₂O的含量介于1.33%~1.78%,平均为1.48%;Na₂O的含量介于5.40%~6.00%,平均为5.73%;K₂O/Na₂O在0.23~0.33之间,平均为0.26;碱度率AR=3.81~

4.08;在TAS岩石分类图解中(图5a),岩石均落入花岗闪长岩区域;样品里特曼指数为1.88~2.19,小于3.3,在SiO₂—K₂O图解上(图5c)落入中钾钙碱性区域;岩石A/CNK值介于1.02~1.08,平均为1.05,具有弱铝质特征(图5d)。

在哈克图解上(图6),大安花岗岩体各元素随SiO₂含量增加的变化趋势不太明显,大致可看出Al₂O₃、MgO、Na₂O、CaO、Ba、Sr及Sr/Y表现出随SiO₂含量增加而降低的趋势;TiO₂、K₂O、MnO表现出随SiO₂含量增加而增加的趋势;P₂O₅、TFe₂O₃的变化趋势不明显。

3.3 稀土元素和微量元素特征

由附表2可以看出,大安花岗岩体的稀土总量(Σ REE)变化不大,为 18.38×10^{-6} ~ 24.84×10^{-6} ,平均为 21.32×10^{-6} 。 $(La/Yb)_N = 6.98 \sim 10.44$,平均值8.46,轻重稀土强烈分异; $(La/Sm)_N$ 值为2.64~3.11,平均值2.80; $(Gd/Yb)_N = 1.78 \sim 2.19$,平均值2.01,表明轻、重稀土内部都发生了分异作用,并且轻稀土内部分异作用更为明显; δEu 介于0.91~

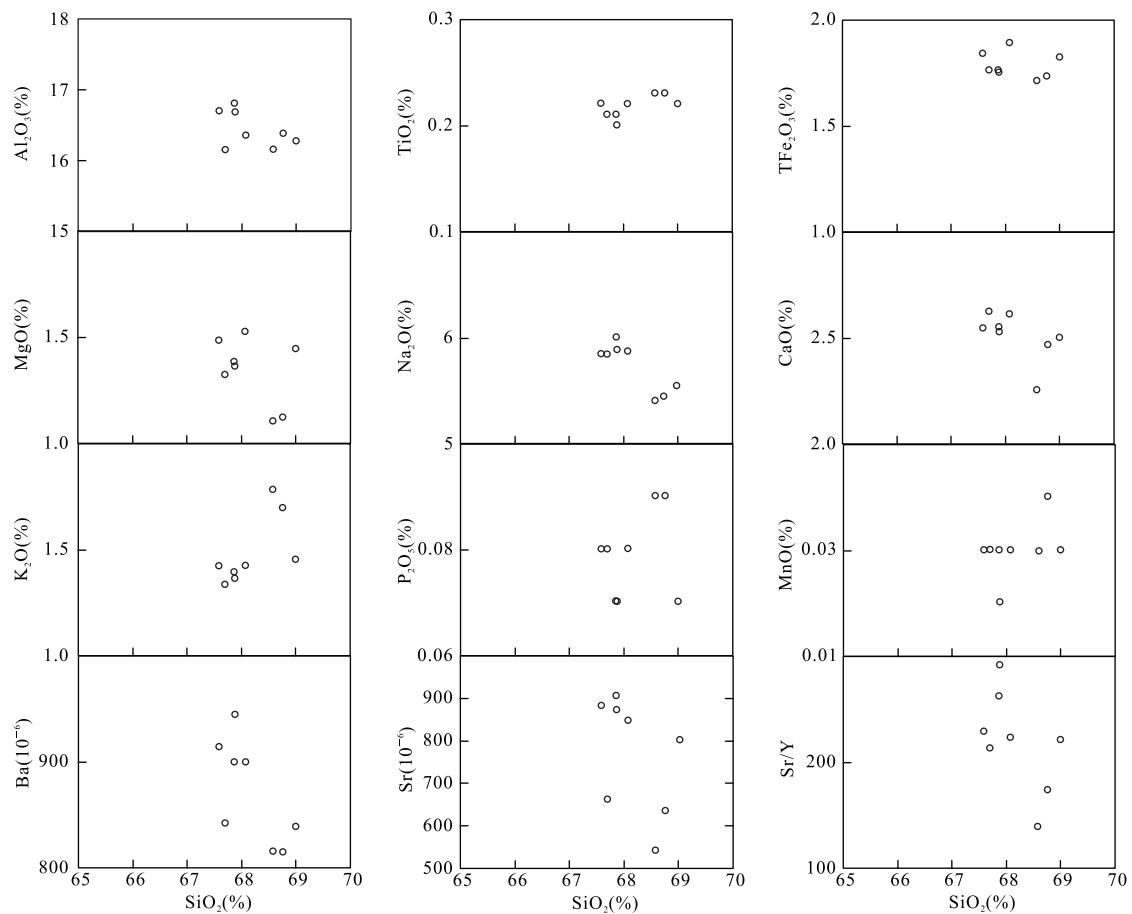


图 6 大安花岗岩体主要氧化物、微量元素 Harker 图解

Fig.6 Harker plots of selected major and trace elements for the Daan granite

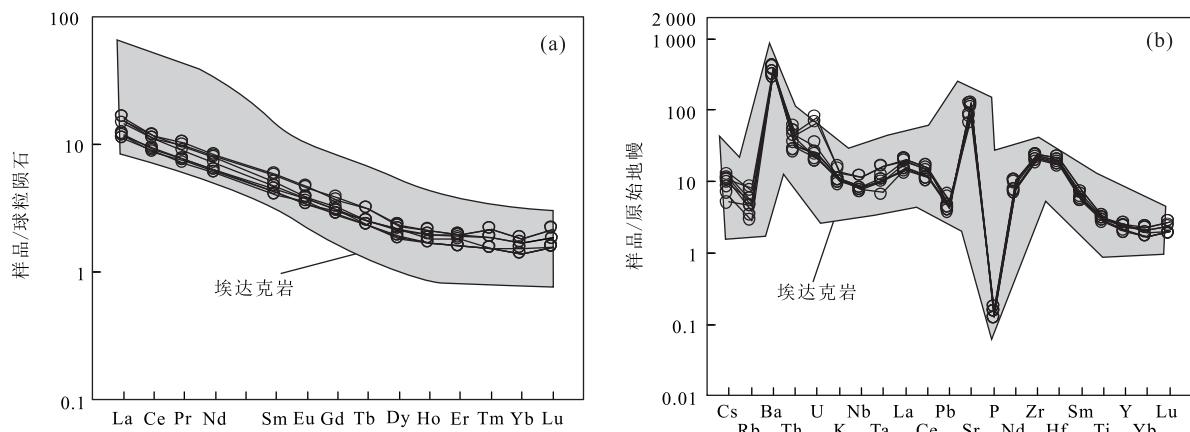


图 7 大安花岗岩体稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b) for Daan granite
球粒陨石标准化数据值引自 Boynton(1984); 原始地幔标准化数据值引自 Sun and McDonough(1989). 埃达克岩据张旗等(2001)

1.05, 平均值为 0.97, 总体上具有弱的 Eu 负异常, 表明斜长石没有发生明显的分离结晶作用。在稀土元素球粒陨石标准化图解中(图 7a), 8 个样品具有一致的稀土配分曲线, 总体显示出轻稀土元素富集、重

稀土元素亏损的右倾型特征, 与埃达克岩大致相同(图 7a)。

微量元素表现出高 Ba、Sr, 低 Y, 低 Yb, 富集大离子亲石元素元素 Cs、Ba、Sr, 亏损高场强元素 Nb、

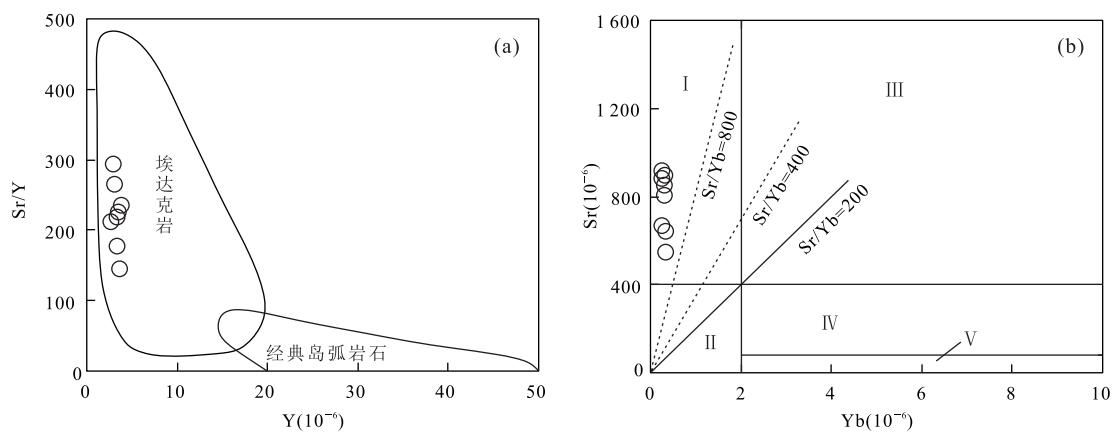


图8 大安花岗岩体Sr/Y-Y图解(a)和Sr-Yb图解(b)

Fig.8 Sr/Y-Y (a) and Sr-Yb (b) diagrams of Daan granite

图a据Defant *et al.*(2002);图b据张旗等(2008);I.埃达克岩;II.喜马拉雅型花岗岩;III.广西型花岗岩;IV.南岭型花岗岩

Ta、P、Ti、Zr、Hf相对富集(图7b);高Sr/Y比值(138~291),在Sr/Y-Y图解(图8a)以及Sr-Yb图解上(图8b),样品全部落在埃达克质岩范围内。

4 讨论

4.1 岩体的形成时代

如前所述,关于扬子板块西北缘后龙门山构造带大安花岗岩体的形成时代主要有3种不同认识:(1)141.2 Ma(陕西省地质矿产勘查开发局综合研究队,1995,1:5万大安镇幅(I48E018018)地质图);(2)212±2 Ma和210±4 Ma(刘树文等,2011);(3)854±10 Ma(平先权等,2014).基于此,本文采用LA-ICP-MS锆石U-Pb测年方法对大安花岗岩体的两个花岗闪长岩样品(DA01/2,DA06/1)进行精确测试,得出的年龄如分析结果中所述,将花岗闪长岩的形成年龄定为212.43±0.42 Ma.并且,从图1可以看出,大安花岗岩体侵入到志留系茂县群地层中,表明大安花岗岩体形成时代应晚于志留系,因此本文更趋向于第2种观点。

另外,在本次测试结果中也出现了246~838 Ma的继承锆石,表明扬子板块西北缘后龙门山构造带经历了从新元古代时期到早中生代印支期复杂构造热事件的影响。新元古代时期,扬子板块西北缘及周缘地区的岩浆活动较发育(杨阳,2017),如上所述,平先权等(2014)在大安花岗岩体中获得LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为854±10 Ma,以及在碧口微地块白雀寺岩体中获得角闪石英二长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为855±6 Ma.除此之外,

在扬子板块西北缘碧口微地块中罗素河二长花岗岩单颗粒锆石U-Pb年龄为835±33 Ma(张宗清等,2006),碧口微地块中铜厂闪长岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为842±7 Ma(叶霖等,2009),碧口微地块中碧口群火山岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为846±19 Ma(Yan *et al.*,2004);后龙门山构造带轿子顶花岗闪长岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为793±11 Ma(裴先治等,2009),刘家坪地区大滩花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为806±19 Ma(李佐臣等,2013);扬子板块西缘关刀山岩体花岗岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为857±13 Ma(李献华等,2002),桥头基性杂岩体锆石U-Pb年龄为853±42 Ma(沈渭洲等,2002),康定地区3个杂岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄分别为797±10 Ma、795±13 Ma、796±14 Ma(Zhou *et al.*,2002);扬子板块北缘汉南地块中天平河岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为863±10 Ma(凌文黎等,2006),西乡群火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为845±17 Ma(夏林圻等,2009).以上年龄记录了扬子板块西北缘及周边新元古代时期重要的岩浆活动事件,因此大安花岗岩体中获得的838 Ma、760 Ma、622 Ma以及608 Ma锆石年龄,是对该区域新元古代岩浆活动事件的响应。

早古生代早期,在扬子板块西北缘及周边区域关于构造热事件的报道较少,李佐臣(2009)获得后龙门山构造带毛塔子碱性火山岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为472.6±9.3 Ma,认为后龙门山构造带在早奥陶世存在裂谷性岩浆活动;凌文黎等(2007)在对南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群的研究中报道了579±3 Ma后期热事件的年龄.因此,本

文在大安花岗岩体中获得的 517 Ma 的锆石年龄说明该区域在中寒武世可能存在构造热事件。

早古生代晚期的岩浆热事件在研究区及周缘地区均不发育,在秦岭造山带中主要集中在北秦岭构造带,例如:岩湾岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 414±2 Ma(王洪亮等,2009),熊山沟岩体、仙坪岩体、葡萄园岩体和南头河岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 438.1±2.6 Ma、423.8±2.8 Ma、413.8±2.1 Ma、410.9±2.2 Ma(王银川,2013),百花杂岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 373±3 Ma(杨阳,2017)。另外,李佐臣等(2013)在对扬子西北缘大滩花岗岩体的研究认为 403 Ma 可能为岩体中穿插的石英脉的年龄,因此,本次获得的大安花岗岩体中 404 Ma、335 Ma、302 Ma、301 Ma 的锆石年龄的记录,仍需进一步验证。

华北板块与扬子板块的全面碰撞时间为 254~220 Ma(李曙光等,1996;张旗等,2001),伴随着碰撞事件,在扬子板块西北缘及勉略带北侧引发了大规模的后碰撞花岗岩的形成(Sun *et al.*, 2002; 张宗清等,2006; 张宏飞等,2007; 李佐臣等,2007, 2009, 2010, 2013; 秦江锋,2010; 骆金诚等,2010, 2011; 刘树文等,2011; Wang *et al.*, 2011; Dong *et al.*, 2012; 孟旭阳等,2013; 李源等,2015; Deng *et al.*, 2016; 曹正琦等,2017; 杨阳,2017),其年龄主要集中在 220~200 Ma。但在扬子板块西北缘及周边,关于出现在华北板块与扬子板块主碰撞期间的岩浆活动鲜有记录,有学者在研究秦岭造山带中段印支期岩浆作用时,认为该区域在 250~235 Ma 存在同碰撞花岗岩(秦江锋,2010; 刘树文等,2011)。因此,大安花岗岩体中获得的 246 Ma、247 Ma 的锆石年龄可能为华北板块与扬子板块全面碰撞事件的年代学记录,只是在地表未有出露。

4.2 岩石源区与成因

大安花岗岩体中花岗闪长岩具有 $\text{SiO}_2 > 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 0.5$, 富集轻稀土元素以及大离子亲石元素,Eu 负异常不明显,强烈富集 Sr ($\text{Sr} = 538 \times 10^{-6} \sim 907 \times 10^{-6}$, 平均为 766×10^{-6}) 和亏损 Y ($\text{Y} = 3.10 \times 10^{-6} \sim 3.90 \times 10^{-6}$, 平均为 3.55×10^{-6}), 高 Sr/Y 比值(138~291)等特征,具有与埃达克岩相似的地球化学特征(表 1),在 Sr/Y-Y 图解(图 8a)以及 Sr-Yb 图解上(图 8b),样品全部落在埃达克岩范围内。结合区域地质资料,认为大安花岗岩体应具有与埃达克岩相同的产出环境。但是,大安花岗岩体 La/Yb(10.35~15.48, 均值为

表 1 大安花岗岩体与典型埃达克岩地球化学特征对比

Table 1 Comparison of geochemical characteristics of Daan granite and adakites

	典型埃达克岩	大安花岗岩体
$\text{SiO}_2(\%)$	>56	68.20
$\text{Al}_2\text{O}_3(\%)$	>15	16.43
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	<0.5	0.26
$\text{Sr}(10^{-6})$	>400	766
$\text{Yb}(10^{-6})$	<2	0.33
$\text{Y}(10^{-6})$	≤18	3.55
$\text{Mg}^{\#}$	>47	35.66
Sr/Y	>40	218
Zr/Sm	>50	93
La/Yb	>20	12.54
Eu 异常	无 Eu 异常或 Eu 负异常不明显	弱负异常
Sr 异常	正	正

注:据张旗等(2001)。

12.54)明显小于典型埃达克岩(>20),并且 $\text{Mg}^{\#}$ (32.27~37.33, 均值为 35.66)也小于典型的埃达克岩(>47)(Durmmong and Deafnt, 1990; Defant and Drummond, 1993; 钱青, 2001)。因此,大安花岗岩体中花岗闪长岩可能有其特殊的成因机制。

大安花岗岩体的 Nb/Ta 比值(12.09~19.11, 均值为 13.96),接近大陆地壳比值(10~14)(Sun and McDonough, 1989; 赵振华等, 2008),Nb/U 比值(4.59~11.68, 均值为 9.19)和 Ta/U(0.38~0.88, 均值为 0.66)均低于 MORB/OIB 相应比值(Nb/U≈47, Ta/U≈2.7)(Hofmann, 1988),与地壳比值(Nb/U≈12.1, Ta/U≈1.1)(Taylor and McLennan, 1995)较为接近,暗示其源岩可能为地壳物质;其低 $\text{Mg}^{\#}$ (32.27~37.33)也支持地壳熔融成因。实验岩石学表明, $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 0.3~1.5 之间的花岗质岩石来源于变杂砂岩或火成岩(Jung and Pfänder, 2007)。大安花岗岩体中花岗闪长岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 0.42~0.45, 均值为 0.44, 暗示其可能来源于变杂砂岩或火成岩;但岩石低硅(67.61%~69.02%)、低 P_2O_5 (0.07%~0.09%),暗色矿物以角闪石和黑云母为主,而未见碱性暗色矿物及石榴子石和堇青石等富铝矿物(Chappell and White, 1992),在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解(图 5b)上样品落入 I 型花岗岩区域,在源区判别图解上(图 9a),样品落入下地壳角闪岩熔融区,由此推断其源区以变基性岩为主,可能含少量的变杂砂岩。

实验岩石学研究表明,石榴子石强烈富集 HREE,而角闪石相对更富集中稀土(MREE)(Green, 1994),因此当石榴子石为主要残留相时,

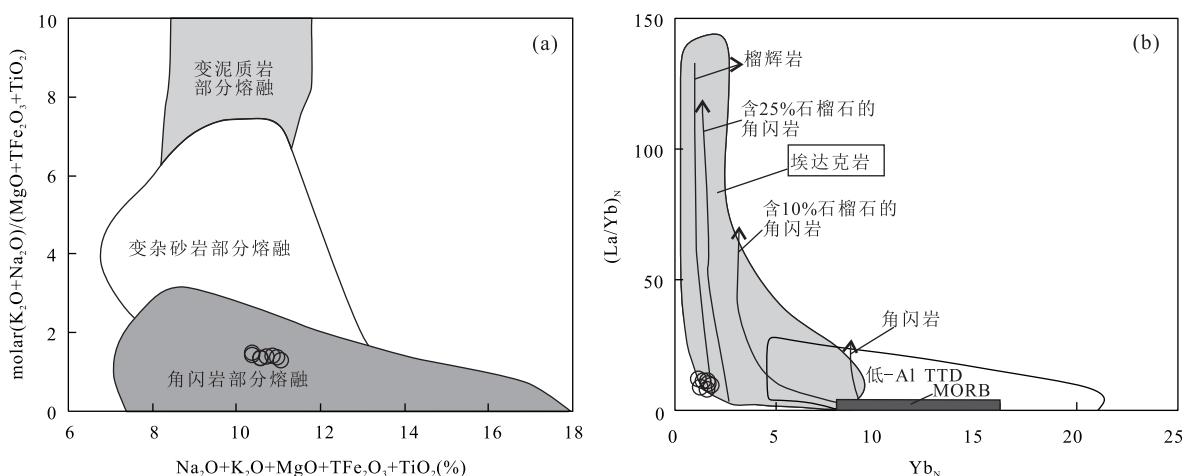


图9 大安花岗岩体岩石化学成分与变泥质岩、变杂砂岩、变角闪岩派生的实验熔体化学成分对比(a)和 $\text{Yb}_N-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图解(b)
Fig.9 Chemical content contrast between Daan granite and meta-mudstone-, greywacke-, meta-amphibolite-derived experimental melt (a) and $\text{Yb}_N-(\text{La}/\text{Yb})_N$ diagram(b) of Daan granite

图a据 Kaygusuz et al.(2008);图b据 Drummond and Defant(1990)

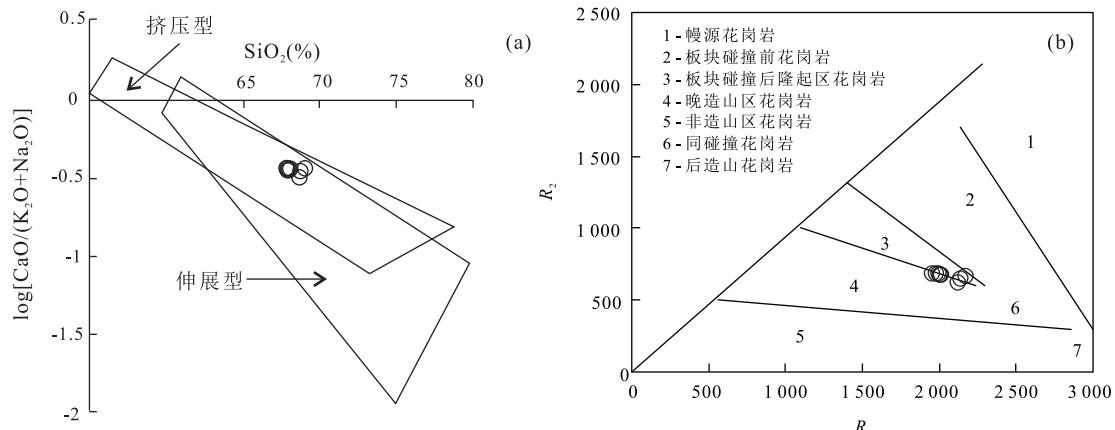


图10 大安花岗岩体 $\text{SiO}_2-\lg[\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]$ 图解(a)和 R_1-R_2 图解(b)
Fig.10 $\text{SiO}_2-\lg[\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})]$ diagram (a) and R_1-R_2 diagram (b) of Daan granite

图a据 Brown and Nordin(1982);图b据 Batchelor and Bowden(1985)

熔体表现为HREE的强烈亏损,这时, $\text{Y/Yb} > 10$, $(\text{Ho/Yb})_N > 1.2$;当角闪石为主要残留相时,熔体表现为HREE相对平坦($\text{Y/Yb} \approx 10$, $(\text{Ho/Yb})_N \approx 1$) (葛小月等,2002).大安花岗岩体相关的地球化学参数为: $\text{Y/Yb} = 9.66 \sim 12.02$,均值为 $10.75 > 10$; $(\text{Ho/Yb})_N = 1.15 \sim 1.23$,均值为 $1.19 \approx 1.2$.这暗示了大安花岗岩体的残留相主要为石榴子石. $\text{Yb}_N-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图解(图9b)表明大安花岗岩体源区残留矿物相主要为石榴子石,为下地壳榴辉岩相岩石部分熔融的产物.Sr在石榴子石、角闪石和单斜辉石中的分配系数很小(分别为0.015、0.058和0.200),而Y的分配系数很大(分别为3.2、12.5和2.0),当残留相中存在上述矿物时,将导致岩浆中富集Sr、高

Sr/Y比值、亏损Y和HREE(Drummond and Defant,1990;杨进辉等,2003).因此,大安花岗岩体中花岗闪长岩的Sr正异常和高Sr/Y比值以及强烈亏损Y和HREE,表明残留相中不存在或很少有斜长石.

由以上论述可知,大安花岗岩体的源区残留相以石榴子石为主,很少或没有斜长石,综合分析认为其主要是加厚的基性下地壳部分熔融的产物.

4.3 构造环境

近年来,许多学者(罗志立,1991;龙学明,1991;刘树根等,1991;郭斌,2006;李月等,2008;李智武等,2008;李佐臣等,2009,2011;乔秀夫等,2012)对后龙门山构造带的构造演化做出了详细研究.李佐

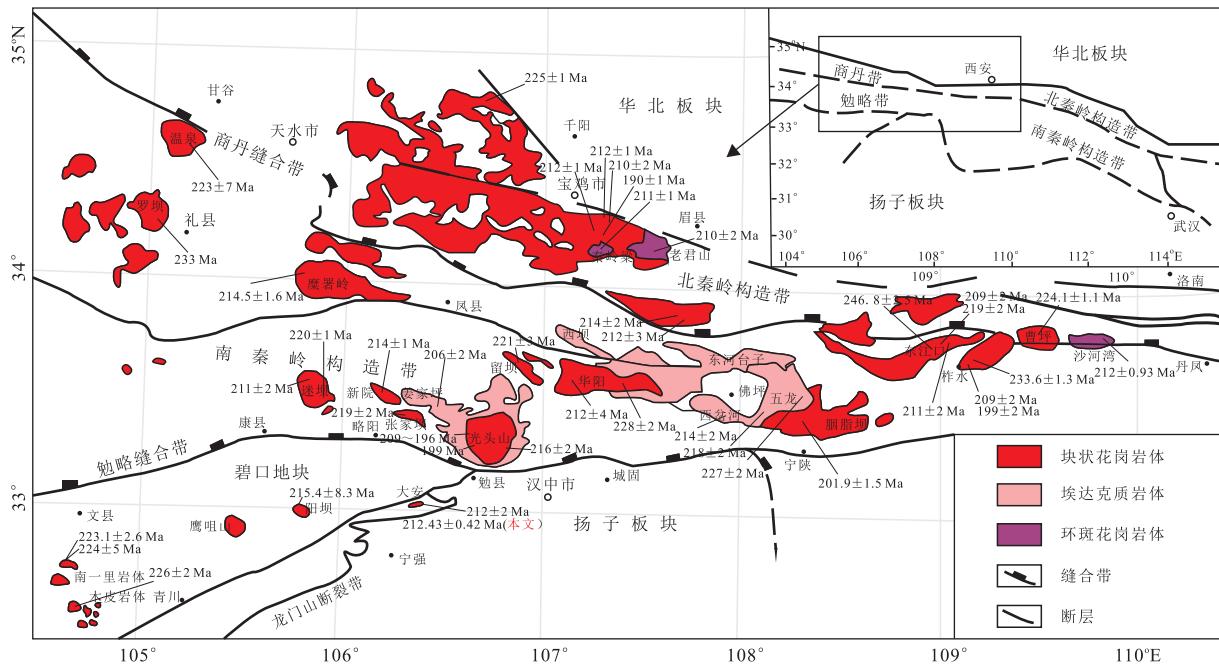


图 11 秦岭造山带中段印支期花岗岩年龄分布

Fig.11 Age distribution of Indosinian granites in the middle segment of the Qinling orogenic belt

底图据张成立等(2005)补充修改。数据来源:张宗清等(1999,2006),卢欣祥等(1999),孙卫东和李曙光(2000),Sun et al.(2002),王娟(2006),Zhang et al.(2006),张宏飞等(2005,2007),弓虎军等(2009),杨恺等(2009),陈旭等(2009),吴峰辉等(2009),吕崧等(2010),秦江锋等(2005),秦江锋(2010),骆金诚等(2010,2011),刘树文等(2011),Wang et al.(2011),Dong et al.(2012),李佐臣等(2007,2009,2010,2013),孟旭阳等(2013),刘春花等(2014),吕星球等(2014),Deng et al.(2016),韦龙猛等(2016),Lu et al.(2016),Ju et al.(2017);杨阳(2017)

臣(2009)认为后龙门山构造带经历了3个阶段的构造演化:新元古代早中期基底形成阶段、南华纪—早古生代伸展裂陷—晚古生代—中三叠世被动大陆边缘演化阶段、晚三叠世—新生代陆内构造演化阶段。本次研究获得的大安花岗岩体的年龄为 212.43 ± 0.42 Ma,暗示其处于陆内构造演化阶段。另外,大安花岗岩体地球化学特征显示其属于中钾钙碱性的I型花岗岩。I型花岗岩既可形成于岛弧环境,也可在造山带的后碰撞阶段形成(Pitcher, 1993)。虽然后碰撞阶段形成的花岗岩和岛弧花岗岩都具有富集大离子亲石元素、轻稀土元素以及亏损高场强元素的特征,但是相对于岛弧花岗岩,后碰撞花岗岩具有更高的碱($K_2O + Na_2O$)和Sr含量,并且其Nb/Y、Zr/Y、 K_2O/Na_2O 等比值也较高(李晓勇等,2002)。大安花岗岩体具有较高的 $K_2O + Na_2O$ 含量(7.00~7.39)、高Nb/Y(0.50~0.77)、高Zr/Y(22~27)、高 K_2O/Na_2O (0.23~0.33),并且在 $SiO_2 - lg[CaO/(K_2O + Na_2O)]$ 图解(图10a)和 $R_1 - R_2$ 图解(图10b)中,样品均落在挤压型和伸展型的交界区域,以及碰撞后期和造山后期交界区域,由此暗示其形成环境与后碰撞阶段花岗岩相一致,不属于岛弧花岗岩。

另一方面,从附表2中,大安花岗岩体与邻近碧口微地块中的晚三叠世阳坝花岗岩体(秦江锋等,2005)、南一里花岗岩体(张宏飞等,2007)和勉略构造带北部的南秦岭光头山花岗岩体(张成立等,2005;秦江锋等,2007)的地球化学数据对比来看,大安花岗岩体具有和邻近花岗岩相似的主、微量元素含量特征,都具有亏损高场强元素和富集轻稀土元素、大离子亲石元素的特点,都具有高Sr、低Y、高Sr/Y、 $Al_2O_3 > 15\%$ 、弱的Eu负异常等埃达克岩的特征,暗示其具有相同的产出环境。另外,前人资料显示(附表3),碧口微地块中的阳坝花岗岩体和南秦岭光头山花岗岩体的锆石U-Pb年龄分别为 215.4 ± 8.3 Ma和 $196 \sim (216 \pm 2)$ Ma,而本次研究获得的大安花岗岩体中花岗闪长岩的结晶年龄为 212.43 ± 0.42 Ma,与阳坝花岗岩体、光头山花岗岩体的年龄相近,暗示其岩浆侵入时期相一致,而阳坝花岗岩体和光头山花岗岩体均属于后碰撞环境,这也表明了大安花岗岩体也属于后碰撞环境。此外,华北板块与扬子板块的全面碰撞时间为254~220 Ma(张旗等,2001),李曙光等(1996)提出西秦岭沿勉略构造带印支期发生碰撞的峰期时间至少为 242 ± 21 Ma,其中可代表碰撞年龄的绿片岩的峰期变质

年龄为240 Ma (Yin and Jagout, 1991),如果将240 Ma作为两板块碰撞的峰期年龄,则大安花岗岩体的侵入年龄至少晚了27~28 Ma,而对典型碰撞造山带的研究认为后碰撞花岗岩的出现只比碰撞峰期年龄晚26 Ma(如高喜马拉雅地区)或10~20 Ma(如阿尔卑斯)(Sylvester, 1998),这一点也佐证了大安花岗岩体形成于后碰撞环境这一结论。

4.4 地质意义

秦岭造山带构成中国大陆造山带的重要构造单元(张国伟等,1997,2001,2004a,2004b),沿秦岭造山带发育有一条长约400 km、呈东西向展布的印支期花岗岩带(Sun et al., 2002),该花岗岩带的发现成为秦岭造山带中生代以来构造演化的重要记录。对于扬子板块西北缘大安花岗岩体的归属,本文有如下讨论:(1)从秦岭造山带及周缘印支期花岗岩年龄数据表(附表3)及秦岭造山带中段印支期花岗岩年龄分布图(图11)可以看出,印支期出露的花岗岩年龄主要集中在220~200 Ma(张宗清等,1999,2006;卢欣祥等,1999;孙卫东和李曙光,2000;Sun et al., 2002;秦江锋等,2005,2007;张宏飞等,2005,2007;王娟,2006;Zhang et al., 2006;李佐臣等,2007,2009,2010,2013;弓虎军等,2009;杨恺等,2009;陈旭等,2009;吴峰辉等,2009;吕崧等,2010;骆金诚等,2010,2011;刘树文等,2011;Wang et al., 2011;Dong et al., 2012;孟旭阳等,2013;刘春花等,2014;吕星球等,2014;李源等,2015;Deng et al., 2016;韦龙猛等,2016;Ju et al., 2017;杨阳,2017),而大安花岗岩体的结晶年龄(212.43±0.42 Ma)正好在上述范围内;(2)从大安花岗岩体分布位置来看,大安花岗岩体处于扬子板块与秦岭造山带交界区域,属于二者碰撞后的响应区;(3)从大安花岗岩体的构造环境来看,产出于后碰撞环境,而秦岭造山带印支期花岗岩带中出露的花岗质岩石属于同造山(Sun et al., 2002)或后碰撞环境(张成立等,2005,2008),两者有一致的产出环境。因此,从时间、空间及构造环境方面分析,大安花岗岩体在华北板块与扬子板块全面碰撞之后形成,属于秦岭造山带印支期岩浆活动的产物。

如前所述,大安花岗岩体具有后碰撞埃达克质岩石的特点,表明其属于增厚基性下地壳部分熔融的产物,说明在晚三叠世,扬子板块西北缘地区存在加厚地壳,可能大于50 km,后碰撞构造环境暗示扬子板块与华北板块在此之前已完成碰撞造山,此时扬子板块西北缘已进入陆内演化阶段。另外,结合前

人资料(附表3)可知,在华北板块与扬子板块主碰撞期之后,扬子板块西北缘、祁连造山带、秦岭造山带均发生了大规模的岩浆侵入活动,这些岩体略晚于勉略洋盆的闭合及大别山超高压变质时代(Yin and Jagout, 1991;李曙光等,1996),显示了它们与勉略洋盆闭合及华北、扬子两板块碰撞的内在联系。因此,通过对大安花岗岩体的研究,对于华北板块与扬子板块在晚三叠世完成碰撞提供一定的证据,对于研究扬子板块西北缘晚三叠世的构造演化具有重要意义。

5 结论

(1)扬子板块西北缘后龙门山构造带大安花岗岩体中花岗闪长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为212.43±0.42 Ma,代表岩体形成时代为晚三叠世。

(2)大安花岗岩体地球化学特征表现为高SiO₂、高Al₂O₃、高Sr、低Y、高La/Yb,富集大离子亲石元素和轻稀土元素,亏损高场强元素以及具有弱的Eu负异常特征,与埃达克岩的特征相似。

(3)大安花岗岩体形成于华北板块与扬子板块全面碰撞后期,伸展体制下地幔物质上涌带来的热量导致加厚基性下地壳脱水熔融,形成了具有埃达克质性质的岩浆,是秦岭造山带印支期花岗质岩浆的产物。

致谢:两位匿名审稿专家和编委对文章提出宝贵的修改意见,天津地质矿产研究所同位素实验室工作人员在锆石U-Pb年龄测定及调试过程中的大力支持和帮助,在此一并深表谢意。

附表1~3见本刊官网(<http://www.earth-science.net>)。

References

- Batchelor, R. A., Bowden, P., 1985. Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. *Chemical Geology*, 48 (1~4): 43~55. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90034-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90034-8)
- Boynton, W. V., 1984. Chapter 3—Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. *Developments in Geochemistry*, 2(2): 63~114.
- Brown, G. C., Nordin, G. L., 1982. An Epizootic Model of an Insect-Fungal Pathogen System. *Bulletin of Mathematical Biology*, 44(5): 731~739.
- Cao, Z. Q., Cai, Y. T., Zeng, Z. X., et al., 2017. Discovery of Neoproterozoic A-Type Granite in Northern Yangtze

- Craton and Its Tectonic Significance. *Earth Science*, 42 (6): 957—973(in Chinese with English abstract).
- Chappell, B. W., White, A. J. R., 1992. I- and S-Type Granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences*, 83(1—2): 1—26. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007720>
- Chen, X., Liu, S. W., Li, Q. G., et al., 2009. EPMA Monazite U-Th-Pb Chemical Dating for Monzogranites from Guangtoushan Intrusion in Western Qinling Mountains, Central China and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 28 (7): 888 — 895 (in Chinese with English abstract).
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., et al., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 469 — 500. <https://doi.org/10.2113/0530469>
- Defant, M. J., Drummond, M. S., 1993. Mount St. Helens: Potential Example of the Partial Melting of the Subducted Lithosphere in a Volcanic Arc. *Geology*, 21 (6): 547 — 550.
- Defant, M. J., Xu, J. F., Kepezhinskas, P., et al., 2002. Adamites: Some Variation on a Theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 129—142.
- Deng, Z. B., Liu, S. W., Zhang, W. Y., et al., 2016. Petrogenesis of the Guangtoushan Granitoid Suite, Central China: Implications for Early Mesozoic Geodynamic Evolution of the Qinling Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 30: 112—131. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.07.012>
- Dong, Y. P., Liu, X. M., Zhang, G. W., et al., 2012. Triassic Diorites and Granitoids in the Foping Area: Constraints on the Conversion from Subduction to Collision in the Qinling Orogen, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47 (1): 123 — 142. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.06.005>
- Drummond, M. S., Defant, M. J., 1990. A Model for Trond Hjemite-Tonalite-Dacite Genesis and Crustal Growth via Slab Melting: Archean to Modern Comparisons. *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 95 (B13): 21503—21521.
- Ge, X. Y., Li, X. H., Chen, Z. G., et al., 2002. Geochemical Characteristics and Genesis of the High Sr and Low Y Intermediate Acid Igneous Rocks in Yanshan, Eastern China: Constraints on the Crust Thickness in Eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 47 (6): 474 — 480 (in Chinese).
- Gong, H. J., Zhu, L. M., Sun, B. Y., et al., 2009. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotope Characteristics and Their Geological Significance of the Shahewan, Caoping and Zhashui Granitic Plutons in the South Qinling Orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 248—264 (in Chinese with English abstract).
- Green, T. H., 1994. Experimental Studies of Trace-Element Partitioning Applicable to Igneous Petrogenesis: Sedona 16 Years Later. *Chemical Geology*, 117 (1—4): 1—36. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90119-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90119-8)
- Guo, B., 2006. The Research of Tectonic Characteristics and Evolution in Longmen Orogenic Belt(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Hofmann, A. W., 1988. Chemical Differentiation of the Earth: The Relationship between Mantle, Continental Crust, and Oceanic Crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90 (3): 297 — 314. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(88\)90132-x](https://doi.org/10.1016/0012-821x(88)90132-x)
- Ju, Y. J., Zhang, X. L., Lai, S. C., et al., 2017. Permian-Triassic Highly-Fractionated I-Type Granites from the Southwestern Qaidam Basin (NW China): Implications for the Evolution of the Paleo-Tethys in the Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Journal of Earth Science*, 28 (1): 51—62. <https://doi.org/10.1007/s12583-017-0745-5>
- Jung, S., Pfänder, J. A., 2007. Source Composition and Melting Temperatures of Orogenic Granitoid: Constraints from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and Accessory Mineal Saturation Thermometry. *European Journal of Mineralogy*, 19: 859—870. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2007/0019-1774>
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., et al., 2008. Petrochemistry and Petrology of I-Type Granitoids in an Arc Setting: The Composite Torul Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97 (4): 739 — 764. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0188-9>
- Keppie, J. D., Krogh, T. E., 1999. U-Pb Geochronology of Devonian Granites in the Meguma Terrane of Nova Scotia, Canada: Evidence for Hotspot Melting of a Neoproterozoic Source. *The Journal of Geology*, 107 (5): 555—568.
- Li, H. K., Geng, J. Z., Hao, S., et al., 2009. A Laser Ablation Multi Receiver Plasma Mass Spectrometer (LA-MC-ICP-MS) was Used to Determine the U-Pb Isotopic Age of Zircon. *Acta Mineralogica Sinica (Suppl.)*: 600—601 (in Chinese).
- Li, S. G., Sun, W. D., Zhang, G. W., et al., 1996. Chronology and Geochemistry of Metavolcanic Rocks from Heigouxia Valley in the Mianlue Tectonic Arc, South Qinling: Observations for a Paleozoic Oceanic Basin and

- Its Close Time. *Science China Earth Sciences*, 26(3): 223—230(in Chinese).
- Li, X.H., Li, Z.X., Zhou, H.W., et al., 2002. SHRIMP Zircon U-Pb Ages, Elements and Nd Isotopes Geochemistry—Petrogenesis and Tectonic Significance of the Guandaoshan Pluton in the Southwest of Sichuan. *Science China Earth Sciences*, 32(Z1): 60—68(in Chinese).
- Li, X.Y., Guo, F., Wang, Y.J., 2002. Post-Orogenic Tectono-Magmatism and Its Implications for Evolution of Orogenic Belts. *Geological Journal of China Universities*, 8(1): 68—78(in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Xu, Z.Q., Pei, X.Z., et al., 2015. The Probability of the Mianlue Suture Zone, South Qinling Extends to Dabie-Sulu UHP Belt, East Qinling: Constraint from the Activity Time of Ningshan Shear Zone. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3595—3608(in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Zhou, Y.Q., Yan, S.Y., et al., 2008. Establishment of Tectonic Evolution Pattern of Longmenshan Orogen. *Journal of China University of Petroleum*, 32(2): 12—15, 20(in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., 2009. Composition, Structural Characteristics and Evolution of Back-Longmenshan Orogen (North Section) in the Northwest Margin of Yangtze Block (Dissertation). Chang'an University, Xi'an(in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Ding, S.P., et al., 2007. Zircon U-Pb Dating of the Nanyili Granodiorite in the Pingwu Area, Northwestern Sichuan, and Its Geological Significance. *Geology in China*, 34(6): 1003—1012(in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Ding, S.P., et al., 2009. Geochemical Features and Tectonic Setting of the Nanyili Granite in the Pingwu Area, Northwestern Sichuan. *Acta Geologica Sinica*, 83(2): 260—271(in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Ding, S.P., et al., 2010. Geochemical Features and Tectonic Setting of the Laohegou Granite and the Shaiziyan Granite in Bikou Block, in Northwest Sichuan. *Acta Geologica Sinica*, 84(3): 343—356 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2013. Geochronological and Geochemical Study on Datan Granite in Liujiaping Area, Northwest Yangtze Block and Its Tectonic Setting. *Geological Review*, 59(5): 869—884 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Liu, Z.Q., et al., 2011. Characteristics of Sedimentary Strata and Their Forming Environments of Nanhuhan Period-Early Paleozoic of Back-Longmenshan in the Northwest Margin of Yangtze Block. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33(2): 117—124 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z.W., Liu, S.G., Chen, H.D., et al., 2008. Structural Segmentation and Zonation and Differential Deformation across and along the Longmen Thrust Belt, West Sichuan, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 35(4): 440—454 (in Chinese with English abstract).
- Lin, M.B., 1994. A Discussion on the Basic Textural Style of the Nappe Tectonic Belt in Longmen Mountains. *Journal of Chengdu University of Technology*, 21(3): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Lin, M.B., Wu, S., 1991. Deformational Features of Nappe Structures in the Longmenshan Mountains. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 18(1): 46—55 (in Chinese with English abstract).
- Ling, W.L., Gao, S., Cheng, J.P., et al., 2006. Neoproterozoic Magmatic Events within the Yangtze Continental Interior and along Its Northern Margin and Their Tectonic Implication: Constraint from the ELA-ICPMS U-Pb Geochronology of Zircons from the Huangling and Hannan Complexes. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 387—396 (in Chinese with English abstract).
- Ling, W.L., Ren, B.F., Duan, R.C., et al., 2007. Zircon U-Pb Isotopic Chronology and Geological Significance of the Wudangshan Group, the Yaolinghe Group and the Basic Intrusive Rock Group in Southern Qinling. *Chinese Science Bulletin*, 52(12): 1445—1456 (in Chinese).
- Liu, C.H., Wu, C.L., Gao, Y.H., et al., 2014. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating and Lu-Hf Isotopic System of Dongjiangkou, Zhashui, and Liyuantang Granitoid Intrusions, South Qinling Belt, Central China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(8): 2402—2420 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S.G., Luo, Z.L., Cao, S.H., 1991. On the Mechanism of a New Type of Intracontinental Subduction—The Longmenshan Subduction. *Experimental Petroleum Geology*, 13(4): 314—324 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S.W., Yang, P.T., Li, Q.G., et al., 2011. Indosian Granitoids and Orogenic Processes in the Middle Segment of the Qinling Orogen, China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1928—1943 (in Chinese with English abstract).
- Long, X.M., 1991. Several Questions of Geochronic Evolution in the Mid-Northern Segment of Longmenshan Mountains. *Journal of Chengdu College of Geology*, 18(1): 8—16 (in Chinese with English abstract).
- Lü, S., Yan, D.P., Wang, Y., et al., 2010. Geochemical and

- Geochronological Constraints on the Mashan and Mupi Plutons in the South Qinling Orogenic Belt: Implications for Tectonic Nature of the Bikou Terrane. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6):1889—1901(in Chinese with English abstract).
- Lü, X.Q., Wang, X.X., Ke, C.H., et al., 2014. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Taibai Pluton in North Qinling Mountains and Its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 33(1): 37—52(in Chinese with English abstract).
- Lu, X.X., Wei, X.D., Xiao, Q.H., et al., 1999. Geochronological Studies of Rapakivi Granites in Qinling and Its Geological Implications. *Geological Journal of China Universities*, 5(4):372—377(in Chinese with English abstract).
- Lu, Y.H., Zhao, Z.F., Zheng, Y.F., 2016. Geochemical Constraints on the Source Nature and Melting Conditions of Triassic Granites from South Qinling in Central China. *Lithos*, 264: 141—157. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.08.018>
- Luo, J.C., Lai, S.C., Qin, J.F., et al., 2010. Petrogenesis and Geological Significance of Wangbachu Granite from Bikou Area, Northwest Margin of Yangtze Block. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 40(6): 1055—1063(in Chinese with English abstract).
- Luo, J.C., Lai, S.C., Qin, J.F., et al., 2011. Genesis of Nanyili Granite in Bikou Block, Northwest Margin of Yangtze Plate. *Acta Geoscientia Sinica*, 32(5):559—569(in Chinese with English abstract).
- Luo, Z.L., 1991. The Dynamical Model of the Lithospheric Evolution in Longmenshan Orogenic Belt. *Journal of Chengdu College of Geology*, 18(1): 1—7(in Chinese with English abstract).
- Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635—643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)1010635:tdog>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)1010635:tdog>2.3.co;2)
- Meng, X.Y., Wang, X.X., Ke, C.H., et al., 2013. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age, Geochemistry and Hf Isotope of the Granitoids from Huayang Pluton in South Qinling Orogen: Constraints on the Genesis of Wulong Plutons. *Geological Bulletin of China*, 32(11): 1704—1719 (in Chinese with English abstract).
- Pei, X.Z., Li, Z.C., Ding, S.P., et al., 2009. Neoproterozoic Jiaozidong Peraluminous Granite in the Northwest Margin of Yangtze Block: Zircon SHRIMP U-Pb Age and Geochemistry, and Their Tectonic Significance. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 231—249 (in Chinese with English abstract).
- Ping, X.Q., Zheng, J.P., Xiong, Q., et al., 2014. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotope Characteristics of the Granitic Plutons in Bikou Terrane, Northwestern Yangtze Block, and Their Geological Significance. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(4):1200—1218(in Chinese with English abstract).
- Pitcher, W.S., 1993. The Nature and Origin of Granite. Chapman and Hall, London, 193—291.
- Qian, Q., 2001. Adakite: Geochemical Characteristics and Genesis. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20 (3): 297—306(in Chinese with English abstract).
- Qiao, X.F., Guo, X.P., Li, H.B., et al., 2012. Soft-Sediment Deformation in the Late Triassic and the Indosinian Tectonic Movement in Longmenshan. *Acta Geologica Sinica*, 86(1): 132—156(in Chinese with English abstract).
- Qin, J.F., 2010. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt(Dissertation). Northwest University, Xi'an(in Chinese with English abstract).
- Qin, J.F., Lai, S.C., Li, Y.F., 2005. Petrogenesis and Geological Significance of Yangba Granodiorites from Bikou Area, Northern Margin of Yangtze Plate. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3):697—710(in Chinese with English abstract).
- Qin, J.F., Lai, S.C., Li, Y.F., 2007. Genesis of the Indosinian Guangtoushan Adakitic Biotite Plagiogranite in the Mianxian-Lueyang (Mianlue) Suture, South Qinling, China, and Its Tectonic Implications. *Geological Bulletin of China*, 26(4):466—471(in Chinese with English abstract).
- Rickwood, P.C., 1989. Boundary Lines within Petrologic Diagrams Which Use Oxides of Major and Minor Elements. *Lithos*, 22 (4): 247—263. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90028-5)
- Shen, W.Z., Gao, J.F., Xu, S.J., et al., 2002. Geochemical Characteristics and Genesis of the Qiaotou Basic Complex, Luding County, Western Yangtze Block. *Geological Journal of China Universities*, 8(4):380—389 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42 (1): 313—345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Sun, W.D., Li, S.G., Chen, Y.D., et al., 2002. Timing of Synorogenic Granitoids in the South Qinling, Central China: Constraints on the Evolution of the Qinling-Dabie Orogenic Belt. *The Journal of Geology*, 110(4):457—468. <https://doi.org/10.1086/340632>
- Sun, W.D., Li, S.G., Chen, Y.D., et al., 2000. Zircon U-Pb

- Dating of Granitoids from South Qinling, Central China and Their Geological Significance. *Geochimica*, 29(3): 209—216(in Chinese with English abstract).
- Sylvester, R., 1998. The Government's Obsession with Spin Doctoring: Putting the Best Gloss on Any Story; Is Rebounding, Causing Damage. *Nursing Times*, 94(29):24.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995. The Geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2):241.<https://doi.org/10.1029/95rg00262>
- Wang, H. L., Xu, X. Y., Chen, J. L., et al., 2009. Dating and Geochemical Characteristics of the Yanwan Paleozoic Collisional Intrusion in the West Segment of Northern Qinling Mts.. *Acta Geologica Sinica*, 83(3):353—364 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J., 2006. A Study on Geochemistry of the Granitic Rocks in Fuping Region of Shaanxi Province during Early Triassic and Its Geological Significance(Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.X., Wang, T., Castro, A., et al., 2011. Triassic Granitoids of the Qinling Orogen, Central China: Genetic Relationship of Enclaves and Rapakivi-Textured Rocks. *Lithos*, 126(3—4):369—387.<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.07.007>
- Wang, Y. C., 2013. Geological Characteristics and Tectonic Significance of Caledonian Collision-Post Collision Type Granite at the Conjunction of Qinling and Qilian(Dissertation). Chang'an University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Wei, L. M., Yang, Y. Z., Zhang, H., et al., 2016. Petrogenesis of Yanzhiba Granite in South Qinling: Constraints from Zircon U-Pb Ages, Geochemistry and Sr-Nd-Pb Isotope. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 38(4): 527—546(in Chinese with English abstract).
- Wu, F. H., Liu, S. W., Li, Q. G., et al., 2009. Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Guangtoushan Granitoids from Western Qinling, Central China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45 (5): 811—818(in Chinese with English abstract).
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Ma, Z. P., et al., 2009. Petrogenesis of Volcanic Rocks from Xixiang Group in Middle Part of South Qinling Mountains. *Northwestern Geology*, 42 (2):1—37(in Chinese with English abstract).
- Yan, Q. R., Hanson, A. D., Wang, Z. Q., et al., 2004. Neoproterozoic Subduction and Rifting on the Northern Margin of the Yangtze Plate, China: Implications for Rodinia Reconstruction. *International Geology Review*, 46(9): 817—832.<https://doi.org/10.2747/0020-6814.46.9.817>
- Yang, J. H., Zhu, M. F., Liu, W., et al., 2003. Geochemistry and Petrogenesis of Guojialing Granodiorites from the Northwestern Jiaodong Peninsula, Eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 692—700 (in Chinese with English abstract).
- Yang, K., Liu, S.W., Li, Q.G., et al., 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Zhashui Granitoids and Dongjiangkou Granitoids from Qinling, Central China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45 (5): 841—847 (in Chinese with English abstract).
- Yang, K. G., Yang, W. R., 1997. Post-Collision Orogeny Process and Origin of Huge Quantity Granites in Orogenic Belt. *Geological Science and Technology Information*, 16(4):16—22(in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., 2017. Spatial-Temporal Distribution and Sources of Granitoids in the Middle Qinling Orogenic Belt, Central China: Implications for the Nature of Deep Crustal Basement(Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Ye, L., Cheng, Z. T., Lu, L. N., et al., 2009. Petrological Geochronology and Zircon SHRIMP U-Pb of Tongchang Diorites, Mianluening Area, Southern Shaanxi Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (11): 2866—2876(in Chinese with English abstract).
- Yin, Q., Jagout, K. A., 1991. Precambrian (?) Blueschist/ Coesite Bearing Eclogite Belt in Central China. *Terra Abstract*, 3:85—86.
- Zhang, C. L., Wang, T., Wang, X. X., 2008. Origin and Tectonic Setting of the Early Mesozoic Granitoids in Qinling Orogenic Belt. *Geological Journal of China Universities*, 14 (3):304—316(in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. L., Zhang, G. W., Yan, Y. X., et al., 2005. Origin and Dynamic Significance of Guangtoushan Granitic Plutons to the North of Mianlue Zone in Southern Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3): 711—720 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Cheng, S. Y., Guo, A. L., et al., 2004b. Mianlue Paleo-Suture on the Southern Margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie—with a Discussion of the Assembly of the Main Part of the Continent of China. *Geological Bulletin of China*, 23 (9): 846—853 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Dong, Y. P., Yao, A. P., 1997. The Crustal Compositions, Structures and Tectonic Evolution of the Qinling Orogenic Belt. *Geology of Shaanxi*, 15(2):1—14(in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Dong, Y. P., Yao, A. P., et al., 2001. Review on

- the Development of Studies on the Tectonic and Orogen Process of Orogenic Belt, and Discussing on Some New Key Problems. *Northwestern Geology*, 34(1): 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G.W., Guo, A.L., Yao, A.P., 2004a. Western Qinling-Songpan Continental Tectonic Node in China's Continental Tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 23—32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H.F., Zhang, B.R., Harris, N., et al., 2006. U-Pb Zircon SHRIMP Ages, Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Compositions of Intrusive Rocks from the Longshan-Tianshui Area in the Southeast Corner of the Qilian Orogenic Belt, China: Constraints on Petrogenesis and Tectonic Affinity. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(6): 751—764. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2005.07.008>
- Zhang, H.F., Jin, L.L., Zhang, L., et al., 2005. The Limitation of the Geochemistry and Pb-Sr-Nd Isotopic Composition of the Western Qinling Orogenic Belt Granitoids on the Properties of the Basement and Their Tectonic Properties. *Science China Earth Sciences*, 35(10): 914—926 (in Chinese).
- Zhang, H.F., Xiao, L., Zhang, L., et al., 2007. Geochemistry and Pb-Sr-Nd Isotopic Composition of the Indosian Granitoids in the Northwestern Margin of the Yangtze Block: Limiting the Genesis and Dynamic Background of the Rocks. *Science China Earth Sciences*, 37(4): 460—470 (in Chinese).
- Zhang, Q., Wang, Y., Qian, Q., et al., 2001. The Characteristics and Tectonic-Metallogenetic Significances of the Adakites in Yanshan Period from Eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 236—244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y., Xiong, X.L., et al., 2008. Adakite and Granite: Challenge and Opportunity. China Earth Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, Z.Q., Zhang, G.W., Tang, S.H., et al., 1999. Age of Rapakivi Granite in Shahewan, Qinling Mountains and Its Restriction on the End Time of the Main Orogenic Period of the Qinling Orogenic Belt. *Chinese Science Bulletin*, 44(9): 981—984 (in Chinese).
- Zhang, Z.Q., Zhang, G.W., Liu, D.Y., et al., 2006. Isotopic Chronology and Geochemistry of Ophiolite, Granite and Clastic Sedimentary Rocks in the Qinling Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhao, Z.H., Xiong, X.L., Wang, Q., et al., 2008. Some Aspects on Geochemistry of Nb and Ta. *Geochimica*, 37(4): 304—320 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, M.F., Kennedy, A.K., Sun, M., et al., 2002. Neoproterozoic Arc-Related Mafic Intrusions along the Northern Margin of South China: Implications for the Accretion of Rodinia. *The Journal of Geology*, 110(5): 611—618. <https://doi.org/10.1086/341762>
- ### 附中文参考文献
- 曹正琦,蔡逸涛,曾佐勋,等,2017.扬子克拉通北缘新元古代A型花岗岩的发现及大地构造意义.地球科学,42(6): 957—973.
- 陈旭,刘树文,李秋根,等,2009.西秦岭勉县北部光头山二长花岗岩独居石电子探针U-Th-Pb化学法定年及其地质意义.地质通报,28(7): 888—895.
- 葛小月,李献华,陈志刚,等,2002.中国东部燕山期高Sr低Y型中酸性火成岩的地球化学特征及成因:对中国东部地壳厚度的制约.科学通报,47(6): 474—480.
- 弓虎军,朱赖民,孙博亚,等,2009.南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石U-Pb年龄、Hf同位素特征及其地质意义.岩石学报,25(2): 248—264.
- 郭斌,2006.龙门山造山带构造特征及演化过程研究(硕士学位论文).北京:中国地质大学.
- 李怀坤,耿建珍,郝爽,等,2009.用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICP-MS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究.矿物学报(增刊): 600—601.
- 李曙光,孙卫东,张国伟,等,1996.南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学:古生代洋盆及其闭合时代的证据.中国科学(D辑),26(3): 223—230.
- 李献华,李正祥,周汉文,等,2002.川西南关刀山岩体的SHRIMP锆石U-Pb年龄、元素和Nd同位素地球化学:岩石成因与构造意义.中国科学(D辑),32(Z1): 60—68.
- 李晓勇,郭锋,王岳军,2002.造山后构造岩浆作用研究评述.高校地质学报,8(1): 68—78.
- 李源,许志琴,裴先治,等,2015.秦岭一大别—苏鲁印支造山带连接枢纽的形成时代:来自宁陕断裂带同构造花岗岩锆石U-Pb年代学的限定.岩石学报,31(12): 3595—3608.
- 李月,周瑶琪,颜世永,等,2008.龙门山造山带构造演化模式的建立.中国石油大学学报(自然科学版),32(2): 12—15, 20.
- 李智武,刘树根,陈洪德,等,2008.龙门山冲断带分段一分带性构造格局及其差异变形特征.成都理工大学学报(自然科学版),35(4): 440—454.
- 李佐臣,2009.扬子地块西北缘后龙门山造山带(北段)物质组成、构造特征及其形成演化(博士学位论文).西安:长安大学.
- 李佐臣,裴先治,丁仁平,等,2007.川西北平武地区南一里花岗闪长岩锆石U-Pb定年及其地质意义.中国地质,34

- (6):1003—1012.
- 李佐臣,裴先治,丁仁平,等,2009.川西北平武地区南一里花岗岩体地球化学特征及其构造环境.地质学报,83(2):260—271.
- 李佐臣,裴先治,丁仁平,等,2010.川西北碧口地块老河沟岩体和筛子岩岩体地球化学特征及其构造环境.地质学报,84(3):343—356.
- 李佐臣,裴先治,李瑞保,等,2013.扬子地块西北缘刘家坪地区大滩花岗岩体年代学、地球化学及其构造环境.地质论评,59(5):869—884.
- 李佐臣,裴先治,刘战庆,等,2011.扬子地块西北缘后龙门山南华纪—早古生代沉积地层特征及其形成环境.地球科学与环境学报,33(2):117—124.
- 林茂炳,1994.初论龙门山推覆构造带的基本结构样式.成都理工学院学报,21(3):1—7.
- 林茂炳,吴山,1991.龙门山推覆构造变形特征.成都地质学院学报(自然科学版),18(1):46—55.
- 凌文黎,高山,程建萍,等,2006.扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义:来自黄陵和汉南侵入杂岩ELA-ICPMS锆石U-Pb同位素年代学的约束.岩石学报,22(2):387—396.
- 凌文黎,任邦方,段瑞春,等,2007.南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群锆石U-Pb同位素年代学及其地质意义.科学通报,52(12):1445—1456.
- 刘春花,吴才来,郜源红,等,2014.南秦岭东江口、柞水和梨园堂花岗岩类锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学与锆石Lu-Hf同位素组成.岩石学报,30(8):2402—2420.
- 刘树根,罗志立,曹树恒,1991.一种新的陆内俯冲类型:龙门山型俯冲成因机制研究.石油实验地质,13(4):314—324.
- 刘树文,杨朋涛,李秋根,等,2011.秦岭中段印支期花岗质岩浆作用与造山过程.吉林大学学报(地球科学版),41(6):1928—1943.
- 龙学明,1991.龙门山中北段地史发展的若干问题.成都地质学院学报(自然科学版),18(1):8—16.
- 卢欣祥,尉向东,肖庆辉,等,1999.秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义.高校地质学报,5(4):372—377.
- 吕崧,颜丹平,王焰,等,2010.碧口地块麻山、木皮岩体岩石地球化学与地质年代学:对构造属性的指示意义.岩石学报,26(6):1889—1901.
- 吕星球,王晓霞,柯昌辉,等,2014.北秦岭太白花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb测年及其地质意义.矿床地质,33(1):37—52.
- 骆金诚,赖绍聪,秦江锋,等,2010.碧口地块王坝楚花岗岩成因及其地质意义.西北大学学报(自然科学版),40(6):1055—1063.
- 骆金诚,赖绍聪,秦江锋,等,2011.扬子地块西北缘碧口地块南一里花岗岩成因研究.地球学报,32(5):559—569.
- 罗志立,1991.龙门山造山带岩石圈演化的动力学模式.成都地质学院学报(自然科学版),18(1):1—7.
- 孟旭阳,王晓霞,柯昌辉,等,2013.南秦岭华阳花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄、地球化学和Hf同位素组成:对五龙岩体群成因的约束.地质通报,32(11):1704—1719.
- 裴先治,李佐臣,丁仁平,等,2009.扬子地块西北缘轿子顶新元古代过铝质花岗岩:锆石SHRIMP U-Pb年龄和岩石地球化学及其构造意义.地学前缘,16(3):231—249.
- 平先权,郑建平,熊庆,等,2014.扬子西北缘碧口块体花岗岩体锆石U-Pb年龄、Hf同位素特征及其地质意义.吉林大学学报(地球科学版),44(4):1200—1218.
- 钱青,2001.adakite的地球化学特征及成因.岩石矿物学杂志,20(3):297—306.
- 乔秀夫,郭宪璞,李海兵,等,2012.龙门山晚三叠世软沉积物变形与印支期构造运动.地质学报,86(1):132—156.
- 秦江锋,2010.秦岭造山带晚三叠世花岗岩类成因机制及深部动力学背景(博士学位论文).西安:西北大学.
- 秦江锋,赖绍聪,李永飞,2007.南秦岭勉县—略阳缝合带印支期光头山埃达克质花岗岩的成因及其地质意义.地质通报,26(4):466—471.
- 秦江锋,赖绍聪,李永飞,2005.扬子板块北缘碧口地区阳坝花岗闪长岩体成因研究及其地质意义.岩石学报,21(3):697—710.
- 沈渭洲,高剑峰,徐士进,等,2002.扬子板块西缘泸定桥头基性杂岩体的地球化学特征和成因.高校地质学报,8(4):380—389.
- 孙卫东,李曙光,Chen, Yadong,等,2000.南秦岭花岗岩锆石U-Pb定年及其地质意义.地球化学,29(3):209—216.
- 王洪亮,徐学义,陈隽璐,等,2009.北秦岭西段岩湾加里东期碰撞型侵入体形成时代及地球化学特征.地质学报,83(3):353—364.
- 王娟,2006.佛坪地区印支期花岗岩的地球化学研究及研究的地质意义(硕士学位论文).西安:西北大学.
- 王银川,2013.秦祁结合部位加里东期碰撞—后碰撞型花岗岩地质特征及构造意义(硕士学位论文).西安:长安大学.
- 韦龙猛,杨一增,张贺,等,2016.南秦岭胭脂坝花岗岩成因:锆石U-Pb年龄、地球化学和Sr-Nd-Pb同位素的制约.地球科学与环境学报,38(4):527—546.
- 吴峰辉,刘树文,李秋根,等,2009.西秦岭光头山花岗岩锆石U-Pb年代学及其地质意义.北京大学学报(自然科学版),45(5):811—818.
- 夏林圻,夏祖春,马中平,等,2009.南秦岭中段西乡群火山岩成因.西北地质,42(2):1—37.
- 杨进辉,朱美妃,刘伟,等,2003.胶东地区郭家岭花岗闪长岩的地球化学特征及成因.岩石学报,19(4):692—700.
- 杨恺,刘树文,李秋根,等,2009.秦岭柞水岩体和东江口岩体

- 的锆石 U-Pb 年代学及其意义.北京大学学报(自然科学版),45(5):841—847.
- 杨坤光,杨巍然,1997.碰撞后的造山过程及造山带巨量花岗岩的成因.地质科技情报,16(4):16—22.
- 杨阳,2017.秦岭造山带中段花岗岩的时空格架、源区物质及其对地壳深部物质组成的示踪(博士学位论文).北京:中国地质科学院.
- 叶霖,程增涛,陆丽娜,等,2009.陕南勉略宁地区铜厂闪长岩岩石地球化学及 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学.岩石学报,25(11):2866—2876.
- 张成立,王涛,王晓霞,2008.秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境.高校地质学报,14(3):304—316.
- 张成立,张国伟,晏云翔,等,2005.南秦岭勉略带北光头山花岗岩体群的成因及其构造意义.岩石学报,21(3):711—720.
- 张国伟,程顺有,郭安林,等,2004b.秦岭一大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识:兼论中国大陆主体的拼合.地质通报,23(9):846—853.
- 张国伟,董云鹏,姚安平,1997.秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化.陕西地质,15(2):1—14.
- 张国伟,董云鹏,姚安平,等,2001.造山带与造山作用及其研究的新起点.西北地质,34(1):1—9.
- 张国伟,郭安林,姚安平,2004a.中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结.地学前缘,11(3):23—32.
- 张宏飞,靳兰兰,张利,等,2005.西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制.中国科学(D辑),35(10):914—926.
- 张宏飞,肖龙,张利,等,2007.扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成:限制岩石成因及其动力学背景.中国科学(D辑),37(4):460—470.
- 张旗,王焰,钱青,等,2001.中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义.岩石学报,17(2):236—244.
- 张旗,王焰,熊小林,等,2008.埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇.北京:中国大地出版社.
- 张宗清,张国伟,唐索寒,等,1999.秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制.科学通报,44(9):981—984.
- 张宗清,张国伟,刘敦一,等,2006.秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学.北京:地质出版社.
- 赵振华,熊小林,王强,等,2008.铌与钽的某些地球化学问题.地球化学,37(4):304—320.

附表 1 大安花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Appendix table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytic data for Daan granite

测点	含量 ($\mu\text{g/g}$)			Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)			
	Th	U			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ
中粒黑云母花岗闪长岩 (DA01/2)														
1	209	498	0.42	0.0480	0.0006	0.3466	0.0220	0.0521	0.0032	302	4	302	17	
2	244	308	0.79	0.0836	0.0004	0.6876	0.0168	0.0598	0.0015	517	2	531	10	
3	183	519	0.35	0.0480	0.0008	0.3547	0.0129	0.0532	0.0018	302	5	308	10	
4	133	645	0.21	0.0388	0.0005	0.2734	0.0719	0.0506	0.0133	246	3	245	57	
5	190	291	0.65	0.1388	0.0007	1.2915	0.0114	0.0676	0.0006	838	4	842	5	
6	195	487	0.40	0.0480	0.0008	0.3520	0.0158	0.0540	0.0024	302	5	306	12	
7	210	270	0.78	0.1389	0.0004	1.2100	0.0126	0.0632	0.0006	838	2	805	6	
8	212	267	0.79	0.1388	0.0005	1.1966	0.0134	0.0625	0.0007	838	3	799	6	
9	267	247	1.08	0.1013	0.0012	0.8548	0.0126	0.0612	0.0006	622	7	627	7	
10	171	336	0.51	0.1252	0.0012	1.1732	0.0164	0.0685	0.0010	760	7	788	8	
11	217	282	0.77	0.1252	0.0008	1.1379	0.0226	0.0659	0.0013	760	4	772	11	
12	242	492	0.49	0.0336	0.0003	0.2390	0.0104	0.0518	0.0022	213	2	218	8	
13	213	518	0.41	0.0391	0.0002	0.2851	0.0059	0.0528	0.0011	247	1	255	5	
14	282	453	0.62	0.0335	0.0002	0.2340	0.0053	0.0511	0.0013	212	1	213	4	
15	277	209	1.33	0.1252	0.0006	1.0982	0.0097	0.0636	0.0005	760	4	752	5	
16	246	230	1.07	0.1252	0.0008	1.1148	0.0183	0.0645	0.0010	760	4	761	9	
17	294	342	0.86	0.0534	0.0002	0.3965	0.0089	0.0538	0.0012	335	1	339	6	
18	189	347	0.54	0.1251	0.0011	1.0561	0.0216	0.0611	0.0011	760	6	732	11	
19	235	383	0.61	0.0835	0.0008	0.6588	0.0099	0.0569	0.0005	517	5	514	6	
20	199	534	0.37	0.0391	0.0003	0.2755	0.0080	0.0510	0.0014	247	2	247	6	
21	313	425	0.74	0.0335	0.0002	0.2310	0.0047	0.0500	0.0010	212	1	211	4	

22	227	269	0.84	0.1252	0.0008	1.1154	0.0140	0.0645	0.0006	760	5	761	7
23	276	202	1.36	0.1251	0.0010	1.1143	0.0228	0.0646	0.0013	760	6	760	11
24	193	323	0.60	0.1251	0.0010	1.1794	0.0210	0.0686	0.0012	760	6	791	10

中粗粒黑云母花岗闪长岩 (DA06/1)

1	249	505	0.49	0.0333	0.0001	0.2370	0.0038	0.0515	0.0008	211	1	216	3
2	263	338	0.78	0.0835	0.0007	0.6606	0.0242	0.0590	0.0024	517	4	515	15
3	289	422	0.68	0.0478	0.0004	0.3454	0.0087	0.0522	0.0012	301	2	301	7
4	261	395	0.66	0.0647	0.0004	0.4931	0.0134	0.0551	0.0014	404	2	407	9

续附表 1

5	264	475	0.56	0.0333	0.0003	0.3607	0.0220	0.0741	0.0032	211	2	313	16
6	285	282	1.01	0.0989	0.0002	0.8420	0.0057	0.0616	0.0004	608	1	620	3
7	273	480	0.57	0.0336	0.0002	0.2384	0.0042	0.0515	0.0009	213	1	217	3
8	277	470	0.59	0.0336	0.0001	0.2491	0.0054	0.0537	0.0012	213	1	226	4
9	289	466	0.62	0.0336	0.0001	0.2238	0.0091	0.0482	0.0020	213	1	205	8
10	295	460	0.64	0.0334	0.0002	0.2328	0.0076	0.0506	0.0016	212	1	212	6
11	366	370	0.99	0.0336	0.0001	0.2509	0.0050	0.0544	0.0012	213	1	227	4
12	368	376	0.98	0.0334	0.0001	0.2204	0.0043	0.0479	0.0010	212	1	202	4
13	254	488	0.52	0.0338	0.0002	0.2490	0.0120	0.0530	0.0025	214	1	226	10
14	246	266	0.92	0.1251	0.0006	1.1557	0.0213	0.0674	0.0013	760	3	780	10
15	199	383	0.52	0.0989	0.0007	0.8998	0.0071	0.0660	0.0004	608	4	652	4
16	260	460	0.57	0.0390	0.0003	0.3451	0.0173	0.0640	0.0031	247	2	301	13
17	313	396	0.79	0.0391	0.0003	0.4037	0.0245	0.0711	0.0035	247	2	344	18
18	191	345	0.55	0.1251	0.0008	1.0444	0.0183	0.0604	0.0009	760	4	726	9
19	318	426	0.75	0.0336	0.0001	0.2574	0.0044	0.0557	0.0010	213	1	233	4
20	317	424	0.75	0.0336	0.0002	0.2566	0.0052	0.0555	0.0011	213	1	232	4
21	202	561	0.36	0.0336	0.0003	0.2290	0.0078	0.0496	0.0016	213	2	209	6

22	308	438	0.70	0.0336	0.0002	0.2438	0.0051	0.0529	0.0011	213	1	222	4
23*	46	745	0.06	0.0334	0.0001	0.2131	0.0082	0.0463	0.0018	212	1	196	7
24	355	385	0.92	0.0335	0.0001	0.2426	0.0030	0.0526	0.0007	212	1	221	2

注: *表示未参与加权平均年龄计算的点

附表 2 大安花岗岩体主量元素 (%) 和微量元素 (10^{-6}) 分析结果
Appendix table 2 Major (%) and trace elements (10^{-6}) data of the Daan granite

样品号	DA02/1	DA02/2	DA03/1	DA05/1	DA05/2	DA06/1	DA06/2	DA06/3	光头山	阳坝	南一里
SiO ₂	68.78	68.60	69.02	67.89	67.90	67.72	67.61	68.10	70.58	67.76	72.25
TiO ₂	0.23	0.23	0.22	0.21	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.33	0.32
Al ₂ O ₃	16.37	16.14	16.26	16.80	16.67	16.14	16.69	16.35	15.98	16.12	14.98
TFe ₂ O ₃	1.73	1.71	1.82	1.76	1.75	1.76	1.84	1.89	1.56	2.66	
MnO	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05	0.03
MgO	1.12	1.10	1.44	1.38	1.36	1.32	1.48	1.52	0.37	1.53	0.78
CaO	2.47	2.25	2.50	2.53	2.55	2.62	2.54	2.61	2.37	2.82	2.08
Na ₂ O	5.45	5.40	5.55	6.00	5.88	5.84	5.84	5.87	4.94	4.75	3.86
K ₂ O	1.69	1.78	1.45	1.39	1.36	1.33	1.42	1.42	3.16	3.48	3.18
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.18	0.11
LOI	0.53	1.12	0.51	0.62	0.53	1.86	0.82	0.77	0.55	0.36	0.51
Total	98.50	98.45	98.87	98.68	98.29	98.91	98.57	98.86	99.81	100.04	
A/CNK	1.07	1.08	1.07	1.05	1.06	1.02	1.06	1.03	1.01		1.10
A/NK	1.52	1.49	1.52	1.48	1.50	1.46	1.50	1.46	2.39		
Mg [#]	32.41	32.27	36.95	36.74	36.53	35.71	37.33	37.33	32.56	53.45	
Ba	814	815	838	899	944	841	913	899	1235	991	735
Rb	17.2	10.6	6.68	12.2	18.4	8.91	10.7	12.2	80	89	125
Sr	633	538	799	870	907	659	880	845	828	967	419

Y	3.65	3.90	3.62	3.33	3.12	3.10	3.85	3.80	7.65	12.2	8.37
Zr	93	95	81	89	77	81	89	84	147	165	129
Nb	2.83	2.87	2.11	1.94	1.97	1.98	2.07	1.89	6.12	9.13	6.97
Th	1.38	1.27	0.90	1.19	0.88	1.03	1.30	0.91	7.36	14.3	7.00
Pb	13.1	13.6	10.8	10.9	11.3	10.2	11.3	10.8	15.0		24
Ga	13.9	13.9	12.6	12.8	11.9	12.2	12.8	12.4	18.6	20	21
Zn	33	32	30	29	29	30	32	32	46		43
Cu	4.80	5.05	2.39	2.28	3.62	1.69	2.80	48	5.67		9.80
Ni	19.6	12.9	29	34	29	29	30	33	2.14	16.5	15.5
V	27	27	30	29	29	29	31	32	14.5	49	26
Cr	25	14.3	23	31	24	22	24	24	2.19	25	16.4
Hf	2.26	2.30	1.93	2.06	1.84	1.91	2.08	1.99	3.70	3.56	3.46
Cs	2.49	1.00	1.17	1.70	1.98	1.88	2.08	2.26	1.17	3.10	
Sc	1.14	1.12	1.15	1.26	1.04	1.07	1.33	1.41	1.98	5.00	3.94
Ta	0.23	0.23	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.10	0.58	0.60	0.78
Co	3.04	2.69	4.63	4.59	4.49	4.39	4.75	4.71	132	139	4.87
U	0.62	0.52	0.19	0.17	0.17	0.18	0.24	0.20	1.54	1.76	1.77
La	4.90	4.68	3.62	4.49	3.44	3.56	4.73	3.65	23.88	34.90	19.26
Ce	9.41	8.86	7.41	8.98	7.13	6.97	9.40	7.35	42.99	65.85	35.23
Pr	1.25	1.19	0.92	1.08	0.87	0.90	1.17	0.92	4.47	6.95	3.72
Nd	4.92	4.78	3.72	4.26	3.61	3.69	4.67	3.79	16.26	25.75	14.89
Sm	1.12	1.11	0.82	0.91	0.79	0.82	0.98	0.87	2.71	4.04	2.74
Eu	0.34	0.33	0.25	0.27	0.26	0.25	0.28	0.27	0.72	1.06	0.69
Gd	0.95	0.98	0.77	0.79	0.71	0.74	0.84	0.80	2.16	3.42	2.31
Tb	0.15	0.15	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.29	0.38	0.30
Dy	0.73	0.75	0.68	0.62	0.60	0.59	0.69	0.69	1.33	1.83	1.36

Ho	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.24	0.33	0.25
Er	0.41	0.41	0.40	0.34	0.34	0.34	0.38	0.41	0.61	0.87	0.65
Tm	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.09	0.13	0.10
Yb	0.38	0.38	0.35	0.29	0.29	0.29	0.32	0.35	0.51	0.86	0.62
Lu	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.14	0.09
Sr/Y	174	138	221	261	291	213	229	222	125	80	50
La/Yb	12.98	12.19	10.35	15.48	11.87	12.27	14.79	10.42	45.61	40.58	31.39
δEu	0.99	0.93	0.96	0.97	1.05	0.95	0.91	0.97	0.89	0.86	0.81

注：光头山、阳坝、南一里数据为样品均值，数据来源：光头山（秦江锋等，2007）；阳坝（秦江锋等，2005）；南一里（张宏飞等，2007）； TFe_2O_3 ，是以 Fe_2O_3 表示的全铁含量； $A/\text{CNK} = (\text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 摩尔分数比， $A/\text{NK} = (\text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 摩尔分数比； $\text{Mg}^\# = (\text{MgO}/40.31)/(\text{MgO}/40.31 + \text{TFe}_2\text{O}_3 \times 0.8998/71.85)$ ； $\delta\text{Eu} = \text{Eu}_{\text{CN}} / (\text{Sm}_{\text{CN}} \times \text{Gd}_{\text{CN}})^{0.5}$ ，下标CN表示用球粒陨石标准化。

附表3 秦岭造山带及周缘印支期花岗岩年龄数据表
Appendix table 3 Age data of Indosian granites in the Qinling orogenic belt and its periphery

构造带	岩体名称	岩石类型	年龄值 (Ma)	测试方法	数据来源
北祁连造山带东段	关山岩体	花岗岩	229±7	锆石 SHRIMP U-Pb	Zhang <i>et al.</i> , 2006;
北秦岭构造带	宝鸡岩体	似斑状黑云母花岗岩	210±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		似斑状黑云母花岗岩	212±1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		似斑状黑云母花岗岩	212±1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		二云母二长花岗岩	210±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		黑云母二长花岗岩	216±1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		黑云母二长花岗岩	190±1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨阳, 2017
	似斑状黑云母花岗岩	210±1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨阳, 2017	

	老君山岩体	环斑花岗岩	214.4±3	锆石 TIMS U-Pb	卢欣祥等, 1999
		花岗闪长岩	211±1	单颗粒锆石 U-Pb	张宗清等, 2006
	秦岭梁岩体	环斑花岗岩	217.3±3.2	锆石 TIMS U-Pb	卢欣祥等, 1999
	太白岩体	黑云母二长花岗岩	214±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	吕星球等, 2014
		黑云母二长花岗岩	212±3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	吕星球等, 2014
	糜署岭岩体	黑云母石英二长闪长岩	214.5±1.6	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	李佐臣等, 2013
南秦岭构造带	沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	213±2	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	张宗清等, 1999
	沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	213.9±0.5	全岩 Rb-Sr 等时线	张宗清等, 1999
	沙河湾岩体	奥长环斑花岗岩	212.1±1.8	锆石 TIMS U-Pb	张宗清等, 1999
	沙河湾岩体	石英二长斑岩	212±0.93	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	弓虎军等, 2009
	曹坪岩体	石英二长岩	224.1±1.1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	弓虎军等, 2009
	柞水岩体	黑云母二长花岗岩	224.8±1.1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	弓虎军等, 2009
		似斑状二长花岗岩	209±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨恺等, 2009
		似斑状二长花岗岩	199±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨恺等, 2009
		花岗岩	233.6±1.3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘春花等, 2014
东江口岩体		石英二长花岗岩	211±2	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
		似斑状二长花岗岩	209±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨恺等, 2009

	似斑状二长花岗岩	219±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	杨恺等, 2009
	花岗闪长岩	248.2±2.5	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘春花等, 2014
五龙岩体	二长花岗岩	207±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	Dong <i>et al.</i> ,2012
	花岗闪长岩	189±3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	Dong <i>et al.</i> ,2012
	石英闪长岩	227±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	秦江锋, 2010
	花岗闪长岩	218±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	秦江锋, 2010
	似斑状二长花岗岩	206±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	秦江锋, 2010
华阳岩体	黑云母二长花岗岩	214±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	孟旭阳等, 2013
	黑云母二长花岗岩	228±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	孟旭阳等, 2013
	黑云母二长花岗岩	212±4	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	Lu <i>et al.</i> , 2016
胭脂坝岩体	黑云母花岗岩	201.9±1.5	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	韦龙猛等, 2016
西岔河岩体	石英闪长岩	214±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	王娟, 2006
光头山岩体	二长花岗岩	209~196	独居石 U-Th-Pb 化学法	陈旭等, 2009
	二长花岗岩	199	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	吴峰辉等, 2009
	黑云花岗闪长岩	216±2	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
	二云母花岗岩	207±3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	Lu <i>et al.</i> ,2016
	二云母花岗岩	211±5	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	Lu <i>et al.</i> ,2016

	姜家坪岩体	二云二长花岗岩	206±2	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
	迷坝岩体	二长花岗岩	220±1	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
	张家坝岩体	石英闪长岩	219±2	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
	新院岩体	闪长花岗岩	214±1	锆石 SHRIMP U-Pb	孙卫东和李曙光, 2000
	宁陕断裂带	细粒花岗岩	214.4±1.1	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	李源等, 2015
		钾长花岗岩	212.8±1.6	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	李源等, 2015
扬子板块西北缘	阳坝岩体	花岗闪长岩	215.4±8.3	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	秦江锋, 2005
	南一里岩体	黑云母花岗岩	224±5	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	张宏飞等, 2007
		花岗闪长岩	223.1±2.6	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	李佐臣等, 2007
	木皮岩体	黑云母花岗闪长岩	226±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	吕崧等, 2010
	大安花岗岩体	花岗闪长岩	212±2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	刘树文等, 2011
		黑云母花岗闪长岩	212.43±0.42	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	本文