青海南山当家寺花岗岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义

张永明[1,2]，裴先治[1]，李佐臣[1]，李瑞保[1]，刘成军[1]，裴磊[3]，陈有炘[1]，陈国超[1,4]，王盟[1]，林广春[1]

1）西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室，国土资源部岩浆作用与找矿重点实验室，长安大学地球科学与资源学院，西安，710054；

2）山东理工大学资源与环境工程学院，山东淄博，255049；

3）中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京，100083；

4）南阳理工学院土木工程学院，河南南阳，473000

内容提要：青海南山构造带发育北西—南东向展布的印支期花岗岩带，其研究对厘清古特提斯演化阶段西秦岭造山带与南祁连构造带的衔接转换关系具有重要意义。当家寺花岗岩体是由花岗闪长岩和二长花岗岩组成的复合花岗岩基。本文对当家寺花岗岩体进行了详细的岩石学、岩石地球化学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学研究。结果表明，花岗闪长岩和二长花岗岩的结晶年龄分别为 240.1±2.1 Ma 和 241.0±2.6 Ma，属于中三叠世。地球化学研究显示岩体相对高硅（SiO_2＝66.37％～73.99％）和富钾（K_2O＝3.37％～4.73％），属于准铝质—弱过铝质高钾钙碱性 I 型花岗岩。岩石稀土配分曲线表现为轻稀土富集的右倾型，具中等程度的铕负异常（δEu＝0.32～0.64）。微量元素显示富集大离子亲石元素 Cs、Rb、K，相对亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti。岩石成因研究表明其形成于下地壳基性岩为主的源岩的部分熔融，同时存在一定程度幔源岩浆贡献。结合区域地质背景资料，认为当家寺花岗岩体形成于洋壳俯冲阶段，可能为宗务隆洋向南俯冲的地球动力学背景下的产物。

关键词：青海南山；西秦岭北缘；当家寺花岗岩体；锆石 U-Pb 定年；地球化学；构造环境

“中央造山系”是呈东西向横亘于中国大陆中央的巨型造山系，其东段为东秦岭-大别造山带；西段分为西秦岭造山带、祁连造山带和昆仑造山带，中间夹有中祁连、欧龙布鲁克（全吉）和柴达木等微陆块(Zhang Guowei et al.，1998，2004；Lu Songnian et al.，2002；Lu Songnian et al.，2006；Xu Zhiqin et al.，2006)。中国中西部地区造山带发育的多条蛇绿（混杂）岩、岛弧火山岩和相应的变质基底及沉积盖层展现了从原特提斯洋至古特提斯洋演化阶段“多微陆块/多洋（海）盆/多岛弧”的复杂构造格局，构造演化表现为多个微陆块之间的裂离与聚合(Pan Guitang et al.，1997；Yin Hongfu et al.，1998；Lu Songnian et al.，2004；Shi Rendeng et al.，2004；Xu Zhiqin et al.，2006；Wang Zongqi et al.，2009；Chen Yibing et al.，2010；Liu Chengjun et al.，2014；Zhang Zhaowei et al.，2015；Sun Jiaopeng et al.，2015；Li Zhao et al.，2016；Li Ruibao et al.，2016；Yang Zhangzhang et al.，2016；Dai Xiong，et al.，2016；Guo Xianqing et al.，2016)。因此中国中西部诸造山带及夹于其中的微陆块的衔接、拼合关系成为特提斯构造域研究的关键科学问题。

西秦岭造山带西部的共和盆地作为西秦岭-松潘大陆构造结中次一级的西南构造结点，处于西秦岭、东昆仑、祁连、柴达木及欧龙布鲁克等多个构造带及块体交接转换的重要结点地区(Zhang Guowei et al.，2004)。共和盆地为一新生代盆地(Chang Hong et al.，2009)目前对于其构造归属有坳拉谷(Sun Yangui et al.，2004；Zhang Guowei et al.，

注：本文为国家自然科学基金项目（编号 41472191、40572121、41172186、40972136）、国家自然科学青年基金项目（编号 41502191）、中央高校基本科研业务费专项资金项目（编号 CHD2011TD020、2013G1271091、2013G1271092、310827161002、30827161006）和中国地质调查局地质调查项目（青海共和曲什那地区，编号 12120114041201）资助的成果。

收稿日期：2016-03-30；改回日期：2016-06-09；责任编辑：周健。

作者简介：张永明，男，1971 年生。在读博士，构造地质学专业，主要从事造山带岩浆作用研究。Email：yongmzh@163.com。通讯作者：裴先治，男，1963 年生。教授，博士生导师，主要从事构造地质学和区域地质学研究。通讯地址：710054，陕西省西安市雁塔路 126 号；Email：peixzh@sina.com。

2004)、西秦岭楔(Yan Zhen et al.,2012)和西秦岭造山带西延(Feng Yimin et al.,2003)等不同的认识。同时对共和盆地周缘广泛发育的印支期花岗岩的成因也存在争议,一是岩体形成的构造体制是阿尼玛卿-勉略洋向北俯冲碰撞的结果(Guo et al.,2012;Luo Biji et al.,2012;Luo et al.,2012;Wei Ping et al.,2013;Jin Xiaoye et al.,2013;Huang Xiongfei et al.,2014),或是宗务隆洋俯冲的产物(Guo Anlin et al.,2009;Peng Yuan et al.,2016),亦或是以先期存在于柴达木地块与欧龙布鲁克微地块之间的早古生代蛇绿岩带为基础发生的陆壳俯冲(Zhang Hongfei et al.,2006);二是岩体形成的构造环境是俯冲环境或俯冲板片的断离(Zhang Hongfei et al.,2006;Guo Anlin et al.,2009;Wei Ping et al.,2013;Peng Yuan et al.,2016)还是后碰撞阶段的地壳加厚或岩石圈拆沉(Jin Weijun et al.,2005;Zhang Hongfei et al.,2006;Zhang Chengli et al.,2008;Yin Yong et al.,2009;Li Ting et al.,2012;Xu Xueyi et al.,2012,2014;Sun Xiaopan et al.,2013;Zhang Tao et al.,2014;Yang Shuanhai et al.,2015);目前对于西秦岭地区印支晚期处于后碰撞阶段的认识分歧较小(Zhang Hongfei et al.,2006;Zhang Chengli et al.,2008;Liu Zhipeng et al.,2012;Li Zuochen et al.,2013;Ren Houzhou et al.,2014;Zhang Tao et al.,2015;Yang Yang et al.,2015;Lu Dongyu et al.,2015),但 Huang Xiongfei et al.(2014)对印支早期西秦岭地区存在加厚地壳背景下的埃达克岩提出质疑。因此,进一步开展共和盆地周缘花岗岩的研究,对于揭示西秦岭造山带印支期造山过程,厘清古特提斯演化阶段中央造山系西段各造山带及块体的衔接转换关系等具有重要理论意义。

本文选取青海南山构造带东段龙羊峡水库北侧的当家寺花岗岩体为研究对象,通过野外详细观察、系统采样及室内测试分析,提供了该岩体的全岩地球化学和精确的锆石 U-Pb 测年结果,结合区域上前人地质研究成果,对该岩体岩石成因及动力学背景进行讨论,试图为认识西秦岭北缘、宗务隆构造带及南祁连构造带交接部位的印支期构造格局和深部地球动力学过程提供证据。

1　区域地质概况及岩体地质特征

青海南山构造带是位于共和盆地北缘,呈北西—南东向展布,其北侧以青海湖南山断裂为界与南祁连构造带相接,西端与柴达木盆地北缘地区宗务隆构造带相接,为衔接西秦岭造山带、南祁连构造带和宗务隆构造带的交接部位。青海南山构造带内出露的主要地层包括属于南祁连构造带化隆微地块的古元古代化隆岩群中深变质岩系,该变质岩系主体为黑云石英片岩、二云石英片岩,夹二云母斜长片麻岩和黑云斜长片麻岩;属于宗务隆构造带的石炭纪—二叠纪中浅变质岩系,岩石组合为黑云石英片岩夹含石榴石黑云石英片岩及黑云母变粒岩、大理岩、长石石英岩等;属于西秦岭北缘构造带的下三叠统隆务河组,该套地层由砾岩、含砾砂岩、砂岩、泥岩及灰岩共同组成,发育正粒序层理、平行层理、波纹层理、包卷层理以及底模构造等浊流沉积等典型构造标志,同时可见滑塌褶曲。在龙羊峡一带,该套沉积组合总体由砂岩、粉砂岩、黑色泥岩和薄层灰岩局部夹透镜状砾屑灰岩或砾岩构成,具有浊流和碎屑流沉积特征;新近系、第四系在区内分布广泛。区内侵入岩主要为印支早期基性、中性及中酸性侵入岩,属于西秦岭北缘印支期岩浆岩带的一部分。基性侵入岩以辉长岩、辉石岩为主,多与同期的中酸性侵入岩伴生,区内主要的基性侵入岩体包括与黑马河花岗岩体伴生的辉长岩体以及江西沟地区的拉日陇哇、拉日托陇和拉木陇哇等辉长岩体;中性侵入岩以闪长岩、石英闪长岩为主,多分布于区内主要的花岗岩基内;中酸性侵入岩以花岗闪长岩和二长花岗岩为主,研究区出露有黑马河、江西沟和当家寺等大型花岗岩基。依据野外接触关系和同位素年代学资料,总体上基性侵入岩的形成时代早于中性侵入岩,中性侵入岩的形成时代早于中酸性侵入岩。区内侵入岩多侵位于下三叠统隆务河组中。

当家寺花岗岩体位于共和盆地的东北缘,青海南山构造带东段(图 1a),岩体整体略呈椭圆状,长轴方向为 NNW—SSE,出露面积约 290km^2,其主体侵位于下三叠统隆务河组(T_1l),但其周围多被新近系及第四系覆盖。岩体主要由花岗闪长岩和二长花岗岩组成,其中二长花岗岩分布于岩体中部,花岗闪长岩分布于岩体边部,二者呈渐变接触关系(图 1b),野外未见明显接触界线。接触带两侧的花岗闪长岩和二长花岗岩多具似斑状结构,花岗闪长岩中斑晶以钾长石为主,二长花岗岩中斑晶以斜长石为主,花岗闪长岩和二长花岗岩均具有中粒—中粗粒结构,内部无明显相变。花岗闪长岩和二长花岗岩中均发育少量暗色微粒包体(图 2g),但含量和规模均较小,包体岩性多为闪长质,直径一般 3～5

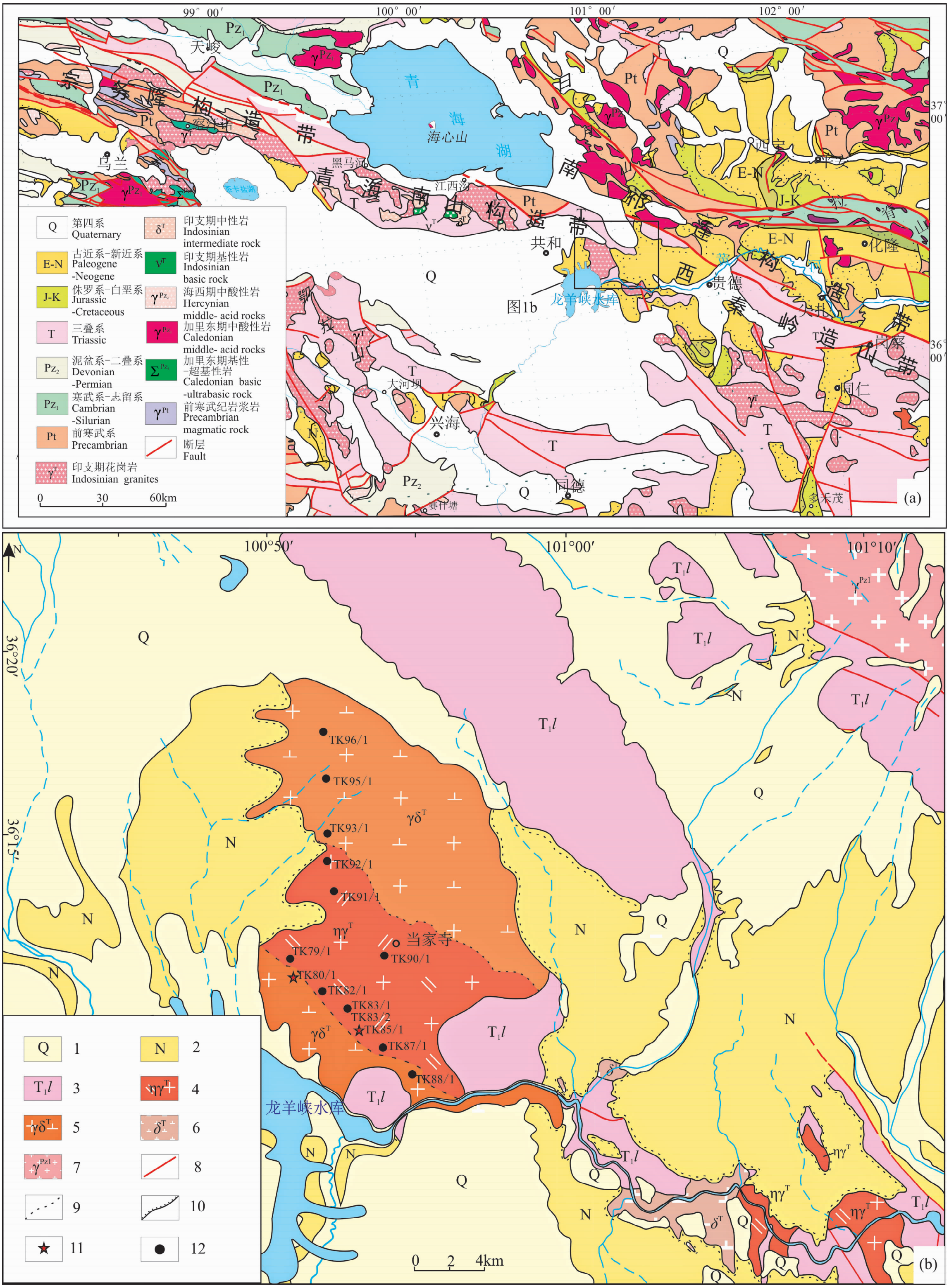

图 1　青海南山当家寺花岗岩体构造位置(a)及岩体地质简图(b)

Fig. 1　Regional location map (a) and geological map (b) of Dangjiasi granitic complex in the Qinghai Nanshan tectonic zone

1—第四系；2—新近系；3—下三叠统隆务河组；4—三叠纪二长花岗岩；5—三叠纪花岗闪长岩；6—三叠纪闪长岩；7 早古生代花岗岩；8—断层；9—岩相界线；10—角度不整合界线；11—同位素采样；12—全岩采样

1—Quaternary；2—Neogene；3—Lower Triassic Longwuhe Formation；4—Triassic monzonite granite；5—Triassic granodiorite；6—Triassic diorite；7—Early Paleozoic granite；8—fault；9—boundaries of lithofacies；10—angular unconformity；11—isotopes sample position；12—sample position

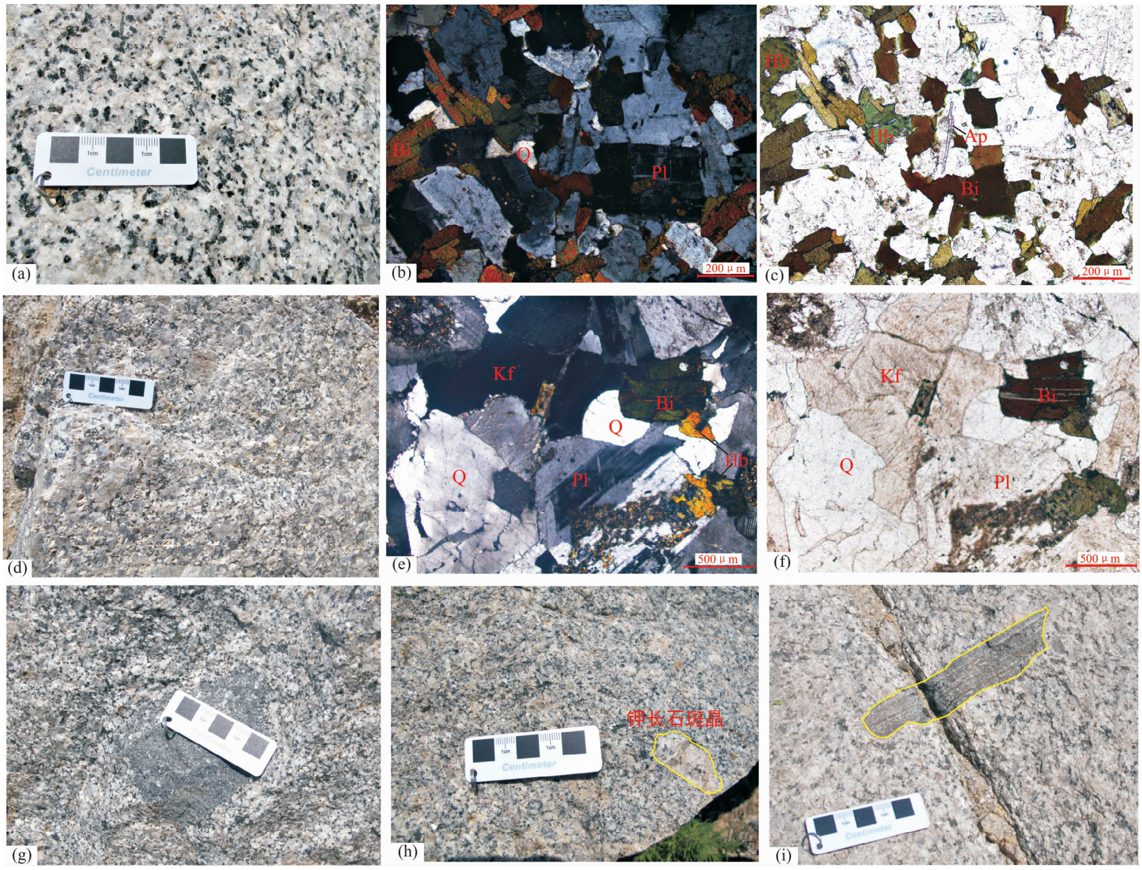

图 2　当家寺花岗岩体野外露头及显微镜下照片

Fig. 2　Filed and photomicrographs of representative samples of the Dangjiasi granitic complex

(a)、(b)、(c)—花岗闪长岩;(d)、(e)、(f)—二长花岗岩;(g)—花岗闪长岩中包体;(h)—似斑状二长花岗岩中钾长石斑晶;(i)—二长花岗岩中的围岩捕掳体;Pl—斜长石;Q—石英;Kf—钾长石;Bi—黑云母;Hb—角闪石;Ap—磷灰石

(a), (b), (c)—granodiorite; (d), (e), (f)—monzonite granite; (g)—enclaves in granodiorite; (h)—crystals of feldspar in porphyritic monzonite granite; (i)—xenolith in monzonite granite; Pl—plagioclase; Q—quartz; Kf—K-feldspar; Bi—biotite; Hb—hornblende; Ap—apatite

cm,小者约 1 cm,大者可达 20 cm。包体形态多样,多呈不规则状、水滴状或椭圆状,与寄主岩界线截然。岩体中偶见围岩捕掳体(图 2i)。

花岗闪长岩呈灰白色,中粒花岗结构,块状构造,主要由斜长石(50%～55%)、钾长石(10%～15%)、石英(20%±)、角闪石(5%±)和黑云母(5%～10%)组成;副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石、褐帘石等。斜长石呈半自形板状,大小一般 3～5 mm,部分 2～3 mm,局部被绢云母及少量方解石交代;钾长石为半自形板状,偶见卡氏双晶,粒径以 2～5 mm 为主;石英呈他形粒状,填隙状分布,大小一般 2～5m,部分 5～8 mm;角闪石为浅绿色半自形、他形柱状,大小一般 0.2～1 mm;黑云母棕褐色—棕黄色多色性,呈片状。具似斑状结构的花岗闪长岩,斑晶主要为钾长石(1%～5%),呈半自形板状,大小一般 5～10 mm。基质呈中粒花岗结构,主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成,矿物粒径一般为 2～5 mm。

二长花岗岩呈浅肉红色,中粗粒花岗结构,块状构造,主要矿物为钾长石(35%～40%)、斜长石(30%～35%)、石英(25%～30%)、黑云母(5%±);副矿物包括磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石等。钾长石呈半自形宽板状,粒度大小一般 2～5 mm,部分 5～8 mm,发育卡式双晶,少数颗粒表面高岭土化;斜长石呈半自形板状,部分颗粒可见环带结构,颗粒大小以 3～5 mm 为主,部分 5～6 mm;石英颗粒大小在 2～5 mm 之间,呈半自形、他形粒状,填隙状分布;黑云母呈自形、半自形片状,片直径一般 1～2 mm,镜下具有黄褐色—棕褐色多色性,少数黑云母已风化蚀变为绿泥石。具似斑状结构的二长花岗岩的斑晶为石英(5%～10%)和斜长石(5%±),均为半自形晶,大小一般 5～10 mm,基质主要由斜长石、钾长石、石英、角闪石、

黑云母组成，大小一般 2～3 mm。

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及研究的科学性，本次野外工作选择了由南至北穿越岩体路线，沿线系统采集了花岗闪长岩和二长花岗岩的地球化学样品和锆石 U-Pb 定年样品。其中，锆石 U-Pb 定年样品 2 件，地球化学样品 14 件。同位素年龄采样点地理坐标为：花岗闪长岩（TK80/1）36°10′57.8″N，100°51′48.7″E；二长花岗岩（TK85/1）36°11′21.8″N，100°51′38.3″E（图 1b）。

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 ^{208}Pb 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 Li Huaikun et al. (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：将坩锅在烘箱内 150℃干燥 3 h 后，称其重量 W_1，加入约 1 g 样品，称样品重量 W_2；然后放入 900℃的马弗炉中 8 h，降温后放入干燥器静置 20 min，随后称重得 W_3。通过公式（LOI）＝（$W_1+W_2-W_3$）/W_2 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，倒入铂金坩锅中，再加入适量溴化锂，在 1200℃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 坩锅，加入添加剂（1.0 mL 高纯 HF 和 1.5 mL 高纯 HNO_3），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

花岗闪长岩样品（TK80/1）中锆石多数晶粒为无色透明至淡黄色，呈自形短柱状或长柱状，一般长约 100～200 μm，宽约 60～110 μm。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）；锆石的 U 含量为 $398\times10^{-6}\sim522\times10^{-6}$，Th 含量为 $123\times10^{-6}\sim290\times10^{-6}$，Th/U 的比值为 0.20～0.71（表 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震荡环带区，在 24 个测点中，有 2 个测点（7、22 号测点）可能由于锆石封闭体系遭破坏，使放射成因铅丢失而明显远离谐和线，因而不参与计算。其余 22 分析测点的 ^{206}Pb/^{238}U 和 ^{207}Pb/^{235}U 谐和性较好，^{206}Pb/^{238}U 年龄值介于 232～251 Ma 之间，^{206}Pb/^{238}U 加权平均年龄值为 240.1±2.1 Ma（MSWD＝0.79）（图 4a），代表了花岗闪长岩的结晶年龄。

二长花岗岩样品（TK85/1）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 100～310 μm，短轴约 60～130 μm。阴极发光图像显示清晰的震荡环带（图 3b），属于典型的岩浆成因锆石。锆石的 U 含量为 $380\times10^{-6}\sim531\times10^{-6}$，Th 含量为 $213\times10^{-6}\sim348\times10^{-6}$，Th/U 的比值为 0.40～0.92，均大于 0.1（表 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 3 个测点（11、12、24 号测点）远离谐和线（Duncan et al.，1999），剔除 3 个测点后，其余 21 个测点均投影于谐和线上或其附近，^{206}Pb/^{238}U 年龄值变化于 235～250 Ma 之间，加权平均年龄为 241.0±2.6 Ma（MSWD＝1.2）（图 4b），代表了岩石结晶年龄。因此，当家寺花岗岩体侵位年龄为 240～241 Ma，为中三叠世。

3.2　主量元素特征

花岗闪长岩 SiO_2 含量为 66.37%～69.86%，样品相对富钾，K_2O 为 3.37%～4.29%，平均为 3.82%，K_2O/Na_2O（0.79～1.59），平均为 1.3；Na_2O+K_2O 为 6.4%～8%，碱度率 AR＝1.96～3.12；岩石 Al_2O_3、TFe_2O_3、MgO 和 TiO_2 含量相对较高，Al_2O_3 为 14.15%～15.84%，TFe_2O_3 为

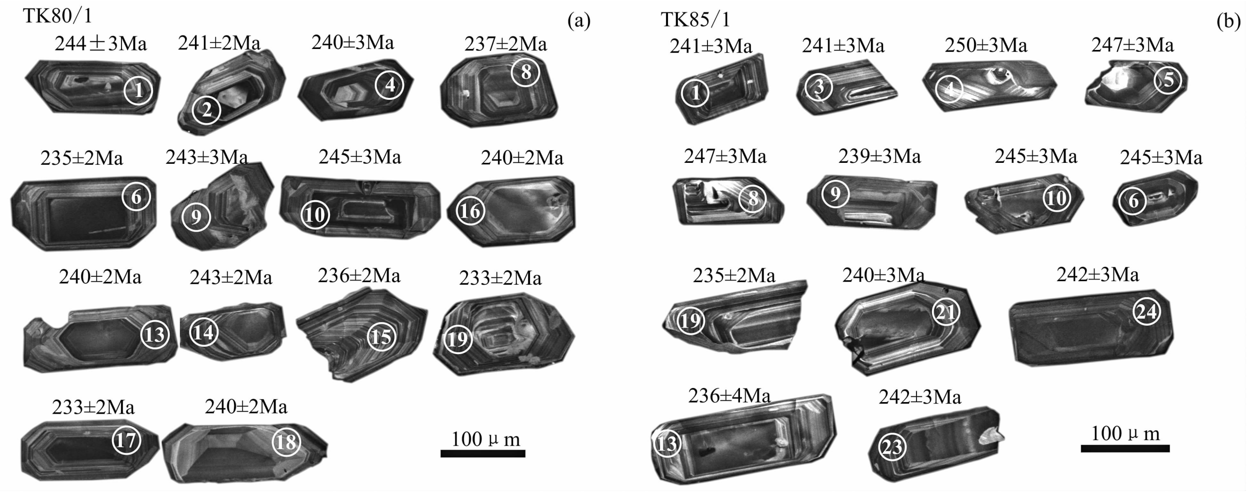

图 3 当家寺花岗岩体花岗闪长岩(TK80/1)(a)和二长花岗岩(TK85/1)(b)代表性单颗粒锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of selected zircons for granodiorite (TK80/1) (a) and monzonitic granite (TK85/1) (b) of the Dangjiasi granitic complex

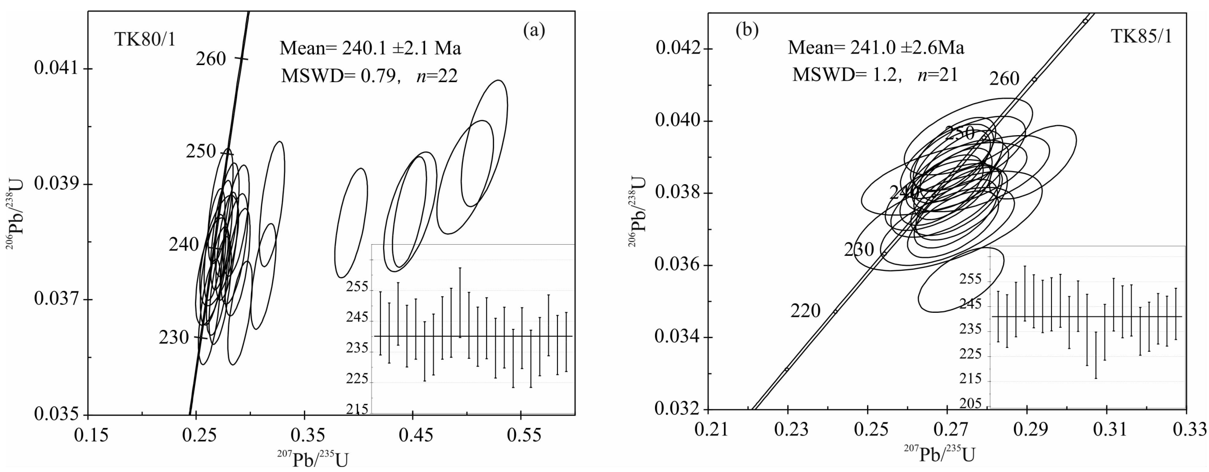

图 4 当家寺花岗岩体花岗闪长岩(TK80/1)(a)和二长花岗岩(TK85/1)(b)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams of zircon for granodiorite (TK80/1) (a) and monzonitic granite (TK85/1) (b) of the Dangjiasi granitic complex

3.09%~4.11%,MgO 为 1.16%~1.39%,TiO_2为 0.39%~0.51%,平均为 0.45%(表 2)。在 QAP 岩石分类图解上(图 5a)样品主体落入花岗闪长岩区。样品里特曼指数介于 1.67~2.40 之间,为钙碱性系列,与 AFM 图解(图 5b)及 SiO_2-K_2O 图解(图 6a)所反映的信息一致,所有样品均落在高钾钙碱性区域;岩体 A/CNK 值介于 1.00~1.11 之间,大部分小于 1.10,平均为 1.04,表现为弱过铝质特征(图 6b)。分异指数 DI 介于 72.22~88.95 之间。

二长花岗岩 SiO_2含量相对较高,为 69.58%~73.99%, Al_2O_3 变化范围较大(12.92% ~14.89%);样品富钾特征明显,Na_2O+K_2O(6.7%~8%),K_2O/Na_2O 均值为 1.3,碱度率 AR=2.43~3.12;TFe_2O_3、MgO、TiO_2和 CaO 含量相对花岗闪长岩为低,TFe_2O_3 为 1.69%~3.2%,MgO 为 0.42%~0.91%,CaO 为 1.44%~2.80%,TiO_2为 0.19%~0.37%)(表 2),在 QAP 岩石分类图解上(图 5a)都落入二长花岗岩范围内。样品里特曼指数为 1.53~2.46,在 AFM 图解(图 5b)及 SiO_2-K_2O图解(图 6a)上落入高钾钙碱性区域;岩体 A/CNK 值介于 0.89~1.06 之间,平均为 1.04,具有准铝质—弱过铝质特征(图 6b)。

当家寺花岗岩体在哈克图解(图 7)上,均表现为TiO_2、Al_2O_3、TFe_2O_3、MgO、CaO、P_2O_5随着 SiO_2含量的增加而降低的趋势,Na_2O的变化趋势不明显,K_2O 含量随着 SiO_2含量增加而增加。

表 1　当家寺花岗岩体花岗闪长岩(TK80/1)和二长花岗岩(TK85/1)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1　LA-ICP-MS zircon U-Pb analytic data for Dangjiasi granitic complex

测点	含量($\times10^{-6}$)		Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
	Th	U		$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ
TK80/1(花岗闪长岩)															
1	211	522	0.40	0.0386	0.0002	0.2725	0.0032	0.0513	0.0006	244	1	245	3	254	23
2	245	485	0.50	0.0381	0.0001	0.2735	0.0023	0.0520	0.0004	241	1	245	2	287	14
3	236	443	0.53	0.0391	0.0001	0.4985	0.0087	0.0932	0.0018	247	1	411	6	1492	37
4	251	481	0.52	0.0380	0.0001	0.2670	0.0021	0.0510	0.0004	240	1	240	2	243	12
5	290	409	0.71	0.0383	0.0001	0.3932	0.0036	0.0745	0.0007	242	1	337	3	1054	19
6	221	514	0.43	0.0372	0.0001	0.2722	0.0024	0.0531	0.0004	235	1	244	2	345	17
7	200	467	0.43	0.0405	0.0001	0.5647	0.0047	0.1012	0.0007	256	1	455	3	1647	14
8	243	487	0.50	0.0375	0.0001	0.2655	0.0034	0.0514	0.0006	237	1	239	3	257	30
9	219	513	0.43	0.0384	0.0001	0.2784	0.0030	0.0526	0.0005	243	1	249	2	322	22
10	123	610	0.20	0.0387	0.0002	0.3200	0.0026	0.0604	0.0006	245	1	282	2	617	20
11	275	398	0.69	0.0397	0.0002	0.5162	0.0058	0.0939	0.0007	251	1	423	4	1507	15
12	267	420	0.64	0.0385	0.0002	0.4477	0.0083	0.0836	0.0013	244	1	376	6	1283	34
13	231	501	0.46	0.0379	0.0001	0.2783	0.0022	0.0532	0.0004	240	1	249	2	339	23
14	224	506	0.44	0.0384	0.0001	0.2869	0.0033	0.0542	0.0006	243	1	256	3	389	19
15	246	489	0.50	0.0373	0.0001	0.2702	0.0028	0.0525	0.0005	236	1	243	2	309	22
16	258	475	0.54	0.0379	0.0001	0.2852	0.0036	0.0546	0.0007	240	1	255	3	398	32
17	233	508	0.46	0.0368	0.0001	0.2623	0.0025	0.0517	0.0005	233	1	237	2	272	22
18	249	488	0.51	0.0379	0.0001	0.2712	0.0065	0.0519	0.0012	240	1	244	5	283	58
19	259	478	0.54	0.0368	0.0001	0.2904	0.0028	0.0573	0.0005	233	0	259	2	502	20
20	245	483	0.51	0.0374	0.0001	0.3122	0.0026	0.0606	0.0005	237	1	276	2	633	19
21	283	437	0.65	0.0385	0.0001	0.4470	0.0031	0.0844	0.0007	244	1	375	2	1302	17
22	237	428	0.55	0.0386	0.0001	0.5863	0.0049	0.1101	0.0009	244	1	469	3	1811	15
23	254	475	0.54	0.0375	0.0001	0.2645	0.0051	0.0512	0.0010	237	1	238	4	256	44
24	223	504	0.44	0.0377	0.0001	0.2883	0.0030	0.0555	0.0006	238	1	257	2	435	22
TK85/1(二长花岗岩)															
1	348	380	0.92	0.0381	0.0001	0.2686	0.0026	0.0512	0.0005	241	3	242	2	250	19
2	275	463	0.59	0.0378	0.0002	0.2695	0.0044	0.0517	0.0008	239	3	242	4	272	37
3	271	459	0.59	0.0385	0.0002	0.2784	0.0061	0.0519	0.0010	244	3	249	5	280	41
4	243	496	0.49	0.0396	0.0002	0.2753	0.0056	0.0503	0.0010	250	3	247	4	209	44
5	311	418	0.74	0.0391	0.0002	0.2718	0.0025	0.0505	0.0005	247	3	244	2	220	22
6	336	391	0.86	0.0387	0.0001	0.2710	0.0021	0.0508	0.0004	245	3	244	2	232	21
7	277	458	0.60	0.0389	0.0002	0.2699	0.0033	0.0503	0.0006	246	3	243	3	209	26
8	255	472	0.54	0.0391	0.0002	0.2752	0.0048	0.0510	0.0008	247	3	247	4	239	32
9	217	523	0.41	0.0377	0.0002	0.2736	0.0032	0.0526	0.0006	239	3	246	3	322	26
10	254	481	0.53	0.0388	0.0001	0.2735	0.0025	0.0512	0.0005	245	3	246	2	250	53
11	273	425	0.64	0.0386	0.0001	0.4950	0.0060	0.0931	0.0012	244	3	408	4	1500	29
12	278	428	0.65	0.0405	0.0001	0.4665	0.0060	0.0838	0.0012	256	3	389	4	1288	28
13	213	531	0.40	0.0372	0.0004	0.2702	0.0090	0.0516	0.0011	236	4	243	7	333	48
14	300	437	0.69	0.0356	0.0001	0.2735	0.0027	0.0557	0.0005	225	2	245	2	443	20
15	284	451	0.63	0.0371	0.0002	0.2700	0.0060	0.0523	0.0007	235	3	243	5	298	1
16	278	456	0.61	0.0389	0.0001	0.2915	0.0026	0.0544	0.0004	246	3	260	2	387	49
17	253	492	0.51	0.0384	0.0001	0.2692	0.0078	0.0508	0.0015	243	3	242	6	232	67
18	286	455	0.63	0.0385	0.0001	0.2725	0.0040	0.0513	0.0007	243	3	245	3	254	27
19	336	401	0.84	0.0371	0.0001	0.2715	0.0032	0.0530	0.0006	235	2	244	3	328	26
20	311	424	0.73	0.0374	0.0001	0.2721	0.0026	0.0528	0.0005	237	2	244	2	320	20
21	273	462	0.59	0.0380	0.0001	0.2677	0.0042	0.0512	0.0008	240	3	241	3	250	35
22	252	486	0.52	0.0378	0.0001	0.2723	0.0032	0.0523	0.0006	239	3	245	3	298	26
23	267	468	0.57	0.0383	0.0001	0.2714	0.0021	0.0515	0.0004	242	3	244	2	261	10
24	218	508	0.43	0.0383	0.0001	0.3115	0.0027	0.0590	0.0005	242	3	275	2	565	17

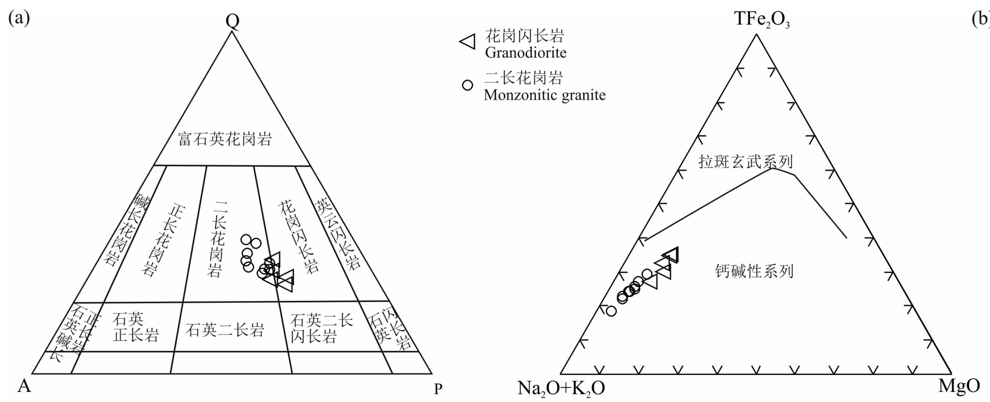

图 5 当家寺花岗岩体 QAP 图解(a)及 AFM 图解(b)(据 Irvine and Baragar,1971)

Fig. 5 QAP diagrams (a) and AFM diagrams (b) for Dangjiasi granitic complex (after Irvine and Baragar,1971)

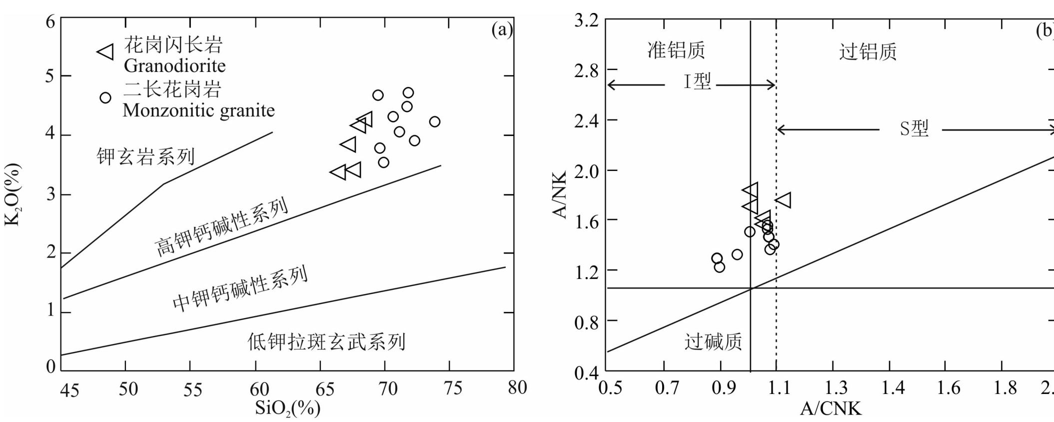

图 6 当家寺花岗岩体 SiO_2-K_2O 图解(a,据 Rickwood,1989)和 A/NK-A/CNK 图解(b,据 Maniar and Piccoli,1989,虚线代表 I 型和 S 型花岗岩之间的边界,据 Chappell and White,1992)

Fig. 6 SiO_2 vs. K_2O diagram (a, after Rickwood,1989) and A/NK-A/CNK diagram (b, after Maniar and Piccoli, 1989; dashed line represents boundary between I- and S-type granitoides, after Chappell and White, 1992) for Dangjiasi granitic complex

3.3 稀土与微量元素特征

由表 3 可以看出,当家寺花岗岩体稀土总量变化较大,其中花岗闪长岩稀土总量($\sum$REE)为 $175.14\times10^{-6}\sim223.73\times10^{-6}$,平均 205.47×10^{-6},二长花岗岩稀土总量稍高($\sum$REE)为 $167.67\times10^{-6}\sim282.39\times10^{-6}$,平均 228.06×10^{-6}。球粒陨石标准化稀土配分图解中表现为轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型(图 8),$(La/Yb)_N=8.31\sim15.97$,轻重稀土强烈分异;$(La/Sm)_N$ 值为 4.37~6.39,轻稀土内部分异较明显;$(Gd/Yb)_N$ 值为 1.22~2.02,中重稀土分异不明显,重稀土稀土配分曲线具有相对平坦并略微上翘的特征;$\delta Eu=0.32\sim0.64$,呈现出中等程度 Eu 负异常。

微量元素原始地幔标准化蛛网图解上(图 8),岩体富集大离子亲石元素(Cs、Rb、Th、K),亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti),具 Zr、Hf 正异常。随着分异程度的增高(花岗闪长岩→二长花岗岩),总体表现为不相容元素逐渐富集,Sr、P、Ti 亏损程度增加,Cr、Co、Ni、V 等相容元素丰度随着 SiO_2 含量增加而降低,反映岩浆经历了一定程度的分离结晶作用。岩体 Nb/Ta 为 7.24~23.21;Sr/Y 比值较低,均值为 9.75;Rb/Sr 均值为 0.92;La/Y 值较低,为 0.87~1.55。

4 讨论

4.1 岩石源区与成因

当家寺花岗岩体含有角闪石以及副矿物组合中的榍石、磁铁矿;岩体具有较低的 P_2O_5 含量(0.05%~0.10%),并且随 SiO_2 的增加而呈现明显的降低趋势(图 7),A/CNK 小于 1,这些特征显示岩体具有 I 型花岗岩特征(Wolf and Wyllie, 1994; Chappell,1999;Wu et al.,2003;Wu Fuyuan et al.,2007)。岩体富集Rb、Th、Cs等大离子亲石元素

表 2　当家寺花岗岩体主量元素组成(%)

Table 2　Major elements compositions (%) of the Dangjiasi granitic complex

样品号	花岗闪长岩					二长花岗岩								
	TK80/1	TK88/1	TK93/1	TK95/1	TK96/1	TK79/1	TK82/1	TK83/1	TK83/2	TK85/1	TK87/1	TK90/1	TK91/1	TK92/1
SiO_2	67.17	68.45	66.37	68.00	67.55	71.78	69.58	70.75	69.86	69.56	71.19	72.37	73.99	71.88
TiO_2	0.41	0.39	0.51	0.45	0.50	0.28	0.31	0.31	0.37	0.37	0.28	0.29	0.19	0.25
Al_2O_3	14.85	15.30	15.84	15.03	15.13	14.02	14.89	14.13	14.51	14.15	13.97	13.69	12.92	14.49
TFe_2O_3	3.46	3.09	4.11	3.79	4.02	2.48	2.72	2.70	3.20	3.20	2.58	2.48	1.69	2.35
MnO	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02	0.06
MgO	1.39	1.16	1.33	1.22	1.30	0.64	0.78	0.72	0.87	0.91	0.60	0.66	0.42	0.60
CaO	2.79	2.69	3.93	3.40	2.73	1.97	2.36	2.24	2.80	2.60	2.22	2.25	1.44	1.67
Na_2O	3.04	3.12	3.03	2.62	3.00	2.87	2.84	3.62	4.46	3.22	4.27	2.78	2.98	3.18
K_2O	3.85	4.29	3.37	4.17	3.42	4.50	4.69	4.32	3.54	3.78	4.07	3.92	4.23	4.73
P_2O_5	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06
LOI	1.04	0.73	0.68	1.34	1.72	0.71	0.56	0.68	0.93	2.04	0.58	0.67	0.69	0.63
Total	98.14	99.37	99.34	100.18	99.53	99.34	98.83	99.56	100.65	99.95	99.84	99.20	98.62	99.90
K_2O/Na_2O	1.27	1.37	1.11	1.59	1.14	1.57	1.65	1.19	0.79	1.17	0.95	1.41	1.42	1.49
AR	2.28	2.40	1.96	2.17	2.12	2.71	2.55	2.88	2.72	2.44	3.12	2.45	3.02	2.92
A/NK	1.62	1.56	1.83	1.70	1.75	1.46	1.53	1.33	1.30	1.51	1.22	1.55	1.36	1.40
ACNK	1.04	1.04	1.00	1.00	1.11	1.06	1.06	0.96	0.89	1.00	0.90	1.06	1.07	1.08
σ	1.96	2.16	1.75	1.84	1.68	1.89	2.13	2.27	2.38	1.84	2.47	1.53	1.68	2.17
DI	77.65	79.47	72.22	75.61	76.75	84.89	82.22	84.81	83.09	80.9	86.91	83.44	88.95	86.45

注：TFe_2O_3是全铁含量；A/NKC=(Al_2O_3)/(CaO+K_2O+Na_2O)摩尔分数比，A/NK=(Al_2O_3)/(K_2O+Na_2O)摩尔分数比；里特曼指数 $\sigma=(K_2O+Na_2O)^2/(SiO_2-43)$(参见 Deng Jinfu et al.，2015b)。

(LILE)，亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素(HFSE)，具陆壳或弧岩浆特征(Thompson et al.，1984；Zheng Yongfei et al.，2013)。同时，当家寺花岗岩体较低的 Sr 含量和 La/Yb、Sr/Y 比值，不具有埃达克质岩石特征，说明其不可能为俯冲洋壳部分熔融的产物。Ba 相对于 Rb 和 Th 亏损明显，体现出的是成熟度较高的陆壳岩石特征(Ma Changqian et al.，2004)。当家寺花岗岩体中花岗闪长岩 Nb/Ta 比值介于 10.95～16.68 之间，平均 13.31；二长花岗岩 Nb/Ta 比值介于 7.25～23.21 之间，平均 14.69，均值较接近大陆地壳比值(10～14)(Sun et al.，1989；Zhao Zhenhua et al.，2008)，暗示岩浆主要为地壳部分熔融形成。实验岩石学已证明地壳中玄武质岩石的部分熔融可以产生偏基性的准铝质花岗岩类(Beard and Lofgren，1991；Rapp and Watson，1995；Johannes and Holtz，1996；Sisson et al.，2005)，而地壳中碎屑岩类的部分熔融可以产生偏酸性的过铝质花岗岩类(Johannes and Holtz，1996；Patino-Douce and Harris，1998；Patino-Douce and McCarty，1998)。当家寺花岗岩体总体呈现准铝质—弱过铝质特征，岩体存在中等程度的负 Eu 异常，同时具有较为平坦的重稀土元素分布模式，可能反映的是下地壳基性岩为主的源岩发生部分熔融作用，且源区残留矿物包含有一定数量的斜长石和角闪石(Beard and Lofgren，1991；Rushmer，1991；Tepper et al.，1993)。实验岩石学表明，CaO/Na_2O 比值介于 0.3～1.5 的花岗质岩石来源于变杂砂岩或火成岩(Jung et al.，2007)。当家寺花岗岩体 CaO/Na_2O 比值为 0.48～1.3，平均为 0.8；同时在图 9a 中岩体样品主体落入角闪岩熔融区域，由此推断当家寺花岗岩体的源区可能以变基性岩为主。岩体 Nb/Ta 比值有较宽的变化范围，说明岩体的原始岩浆可能受到了幔源岩浆的影响。岩体中发育暗色微粒包体，也佐证了幔源岩浆的贡献；岩体中包体含量较少，显示幔源岩浆对岩体成分影响有限，幔源岩浆对岩体的影响更多的是提供热源，可能为地幔楔受俯冲流体交代发生部分熔融形成的镁铁质岩浆底侵下地壳的结果。岩体 $A1_2O_3$ 含量较低，具有明显 Eu 负异常，显示岩体形成的深度可能较浅(Deng Jinfu et al.，1995；Deng et al.，2004)。当家寺花岗岩体相对高 K(Rb)(Rb 平均含量 188.34×10^{-6})，其原因可能类似于多数西秦岭花岗岩，是继承了下地壳高 K 的特征(Zhang Hongfei et al.，2005)，与高 K 的岛弧玄武质下地壳的角闪石和黑云母的脱水熔融反应有关(Sisson et al.，2005)。

当家寺花岗岩体中花岗闪长岩、二长花岗岩具有演化的主微量元素特征，说明两者可能为同一岩浆演化的产物。在 Harker 图解上(图 7)岩体显示

表 3 当家寺花岗岩体稀土和微量元素组成($\times10^{-6}$)

Table 3 Trace element abundance ($\times10^{-6}$) of the Dangjiasi granitic complex

样品号	花岗闪长岩					二长花岗岩								
	TK80/1	TK88/1	TK93/1	TK95/1	TK96/1	TK79/1	TK82/1	TK83/1	TK83/2	TK85/1	TK87/1	TK90/1	TK91/1	TK92/1
Li	108.22	114.22	68.69	73.97	121.53	94.18	77.75	86.88	105.12	88.40	82.32	58.61	96.77	143.88
Be	2.71	2.71	2.01	1.96	2.42	2.69	2.03	1.69	2.23	2.48	2.56	2.06	2.93	2.88
Sc	8.12	5.81	10.13	9.91	10.44	3.55	8.67	8.04	10.46	9.90	6.65	6.59	1.19	3.09
V	36.92	32.83	40.47	34.31	37.53	19.21	20.90	18.74	23.02	23.57	16.01	16.75	12.61	17.92
Cr	30.16	18.14	14.93	15.15	13.54	7.12	9.62	12.97	10.47	11.05	7.70	8.65	3.81	5.56
Co	7.77	6.63	8.31	7.52	8.22	5.00	4.94	4.61	5.34	5.38	3.86	4.82	2.66	3.58
Ni	6.14	10.76	12.51	13.25	12.59	13.43	12.79	13.62	13.15	15.49	14.45	14.38	15.74	15.19
Cu	11.90	1.57	2.99	1.88	1.75	3.56	2.54	3.24	9.48	12.36	2.31	9.40	1.72	0.75
Zn	42.98	47.54	49.25	45.89	48.40	24.54	36.59	40.62	49.30	39.63	42.73	38.35	21.35	38.79
Ga	16.71	17.24	17.70	15.98	17.03	14.82	16.53	15.85	17.52	16.87	16.92	15.65	13.81	15.63
Rb	200.62	200.45	149.96	172.65	155.24	190.22	204.35	160.66	159.99	180.64	221.09	171.89	217.87	251.27
Sr	241.96	316.19	281.65	264.45	307.40	188.71	185.33	179.70	195.62	293.72	150.82	172.04	152.10	173.81
Y	29.73	25.46	30.53	33.81	34.87	31.72	38.47	32.43	42.66	44.48	49.06	32.28	24.39	29.13
Zr	190.13	199.12	239.83	221.85	269.88	211.54	217.42	225.55	268.59	238.07	206.55	229.01	169.36	179.17
Nb	13.73	13.48	12.39	11.82	13.17	13.43	13.12	13.23	16.51	15.11	15.47	11.97	11.33	15.23
Mo	0.49	0.62	0.73	0.72	0.64	0.46	0.42	0.49	0.57	0.58	0.50	0.59	0.62	0.60
Cd	0.12	0.13	0.15	0.15	0.17	0.21	0.15	0.14	0.19	0.14	0.13	0.22	0.12	0.11
In	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.02	0.06	0.06	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06
Cs	17.00	22.25	8.71	5.04	16.59	14.60	12.87	7.84	9.18	8.50	14.82	11.36	14.95	30.21
Ba	445.58	496.10	482.94	610.94	400.43	378.95	568.13	575.08	347.07	540.53	368.01	380.11	224.30	273.37
La	44.32	39.52	42.82	29.51	40.06	43.32	53.74	39.49	48.75	38.95	44.03	44.47	32.37	33.52
Ce	93.02	81.89	83.36	61.78	83.97	86.51	114.61	81.83	108.66	83.24	94.25	93.60	69.39	68.66
Pr	6.69	6.17	6.32	4.91	6.18	6.46	8.63	6.33	8.04	6.49	7.42	6.86	4.97	5.03
Nd	30.84	29.36	29.98	24.66	29.20	29.38	41.39	31.09	38.73	32.17	36.20	32.93	22.28	23.05
Sm	4.36	4.62	4.49	4.24	4.47	4.38	6.15	4.89	5.97	5.33	5.96	4.84	3.24	3.60
Eu	0.79	0.87	0.94	0.89	0.88	0.63	0.79	0.78	0.76	0.79	0.65	0.70	0.46	0.51
Gd	4.24	4.19	4.36	4.31	4.52	4.22	5.84	4.79	6.06	5.68	6.17	4.70	2.95	3.44
Tb	0.60	0.57	0.63	0.66	0.68	0.61	0.85	0.72	0.92	0.90	0.95	0.68	0.44	0.52
Dy	3.56	3.13	3.69	4.08	4.07	3.69	4.89	4.20	5.49	5.43	5.93	4.06	2.62	3.15
Ho	0.70	0.59	0.74	0.81	0.83	0.74	0.95	0.82	1.09	1.11	1.19	0.81	0.53	0.64
Er	2.16	1.74	2.19	2.37	2.51	2.27	2.80	2.35	3.13	3.29	3.54	2.39	1.65	2.07
Tm	0.31	0.25	0.32	0.35	0.37	0.35	0.37	0.32	0.43	0.48	0.51	0.34	0.26	0.32
Yb	2.10	1.67	2.08	2.40	2.46	2.40	2.53	2.04	2.75	3.25	3.35	2.16	1.84	2.27
Lu	0.32	0.25	0.31	0.36	0.38	0.39	0.38	0.31	0.42	0.47	0.51	0.32	0.29	0.35
Hf	3.93	4.05	4.18	4.13	5.12	4.47	4.45	4.31	5.34	4.71	4.44	4.45	3.69	3.92
Ta	1.22	1.23	0.74	0.86	0.94	1.37	0.77	0.57	0.86	0.97	1.05	0.70	1.56	1.82
Pb	21.18	28.47	20.14	22.49	21.60	22.11	22.71	22.64	22.00	20.69	22.35	20.46	25.65	32.91
Bi	0.08	0.22	0.05	0.04	0.04	0.35	0.09	0.04	0.20	0.09	0.04	0.07	0.02	0.11
Th	18.53	18.25	14.24	13.78	19.86	23.03	20.07	12.36	15.05	13.54	22.92	16.38	21.39	25.64
U	2.02	2.13	1.29	2.59	2.50	3.16	1.18	0.98	1.17	1.31	2.01	1.13	2.27	2.62
∑REE	223.74	200.28	212.76	175.14	215.44	217.06	282.39	212.39	273.88	232.06	259.69	231.13	167.67	176.27
$(La/Yb)_N$	14.26	15.97	13.89	8.31	10.98	12.18	14.34	13.05	11.95	8.07	8.87	13.91	11.84	9.95
δEu	0.56	0.60	0.64	0.63	0.59	0.44	0.40	0.49	0.38	0.44	0.32	0.44	0.44	0.44
Nb/Ta	11.27	10.96	16.68	13.73	13.94	9.82	16.99	23.21	19.25	15.58	14.70	17.13	7.25	8.35
Nb/U	6.80	6.31	9.58	4.55	5.28	4.25	11.14	13.47	14.12	11.52	7.68	10.61	5.00	5.82
Sr/Y	8.14	12.42	9.22	7.82	8.82	5.95	4.82	5.54	4.59	6.60	3.07	5.33	6.24	5.97

注:$\delta Eu = Eu_{CN}/(Sm_{CN}\times Gd_{CN})^{0.5}$,下标 CN 表示用球粒陨石标准化。

存在较明显的岩浆演化趋势,随着 SiO_2增加,MgO、TFe_2O_3、Al_2O_3、TiO_2、P_2O_5减少,可能与角闪石、斜长石、Ti-Fe 氧化物和磷灰石的分离结晶有关。二长花岗岩 Eu 负异常高于花岗闪长岩,亦说明岩浆存在着斜长石的分离结晶;这也与 Rb/Sr-Sr 图解(图 9b)所反映的信息一致(Peccerillo et al.,1976)。二长花岗岩的 Rb/Sr 比值和稀土元素含量高于花岗闪长岩,从微量元素方面印证了二长花岗岩和花岗闪长岩为同一岩浆演化的结果。

4.2 构造环境

青海南山构造带存在广泛的印支早期岩浆活动,造成大量壳幔岩浆的侵位,形成了区内辉石岩、辉长

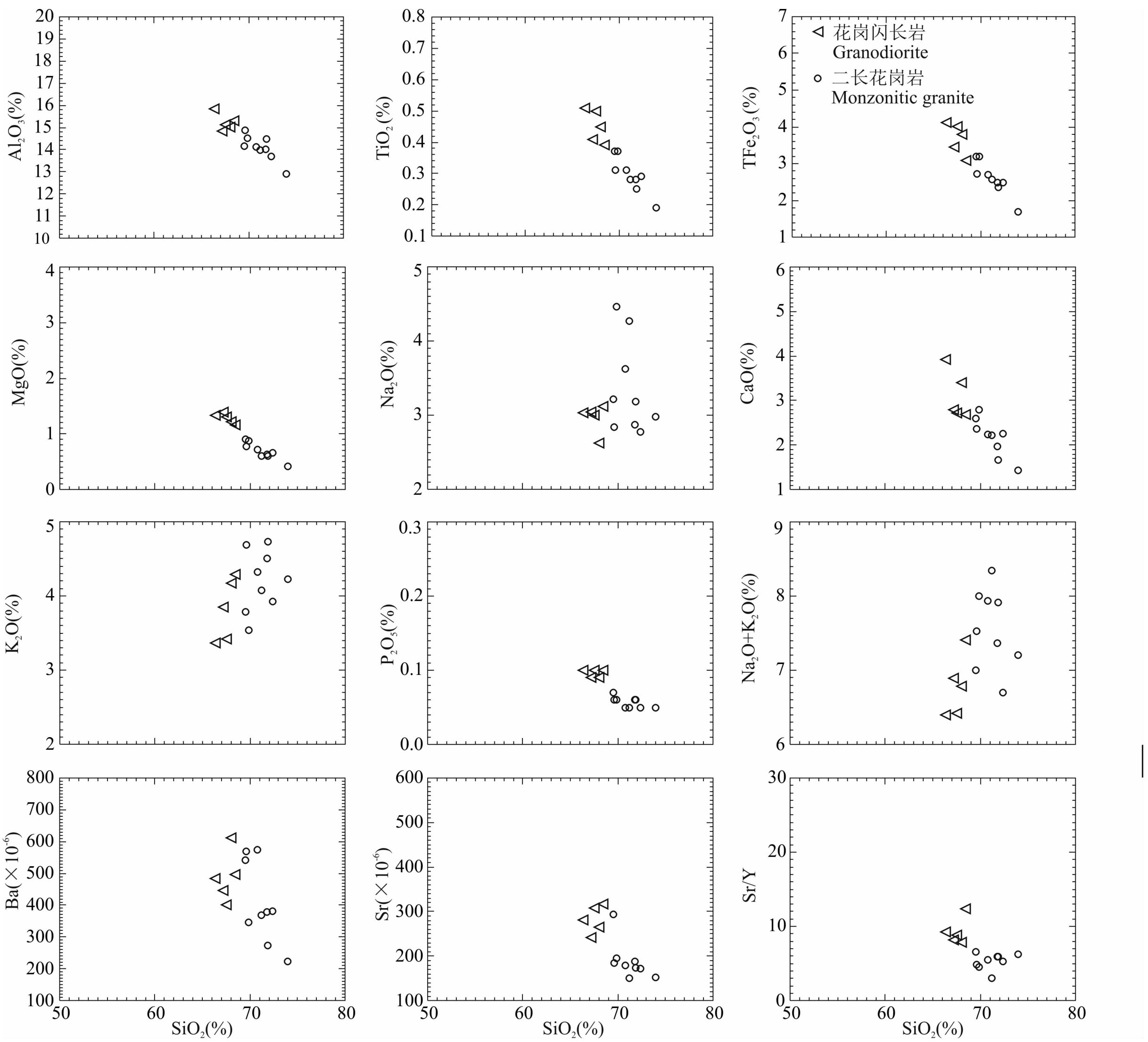

图 7　当家寺花岗岩体主要氧化物、微量元素 Harker 图解

Fig. 7　Harker plots of selected major and trace elements for the Dangjiasi granitic complex

岩、闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩等岩石系列。如前述，对于研究区印支早期的构造背景及花岗岩的成因尚存在争议，但多认为与海西—印支期南北板块的汇聚碰撞有关(Jin Weijun et al.，2005；Zhang Hongfei et al.，2006；Zhang Chengli et al.，2008；Yin Yong et al.，2009；Li Ting et al.，2012；Xu Xueyi et al.，2012，Guo et al.，2012；Luo Biji et al.，2012；Wei Ping et al.，2013；Jin Xiaoye et al.，2013；Huang Xiongfei et al.，2014)。本课题组获得区内江西沟花岗岩体南侧的拉木陇哇辉长岩侵位年龄为 247.8±1.2 Ma，岩石具有典型的弧岩浆特征(裴先治等，未刊资料)，江西沟花岗岩体东南侧形成于早三叠世晚期—中三叠世早期的沟后杂岩体的辉长岩、辉长闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩岩石组合和先后侵位关系(张永明等，待刊资料)，与岛弧及大陆边缘弧火成岩组合(Deng Jinfu et al.，2007，2015a)类似；通过对区内隆务河组(T_1l)砂岩的地球化学分析，认为其源区构造背景为活动大陆边缘或大陆岛弧(裴先治等，未刊资料)，暗示青海南山构造带印支早期存在洋壳俯冲消减相关的弧环境。当家寺花岗岩体形成于中三叠世，岩石富集大离子亲石元素和亏损等高场强元素，可能反映了俯冲环境的影响。在 Rb-Yb+Ta 图解上(图 10a)，当家寺花岗岩体样品点落入火山弧花岗岩(VAG)与同碰撞花岗岩(Syn-COLG)界线区域；Rb-(Y+Nb)图解上(图 10b)样品点落入火山弧花岗岩(VAG)、同碰撞花岗岩(Syn-COLG)和板内花岗岩(WPG)的界线附近区域。上述特征表明当家寺花岗岩体兼具岛弧花岗岩和同碰撞花岗岩的特征，显示构造转换体制下花岗岩的地球化学特征，可能形成于俯冲阶段的末期。

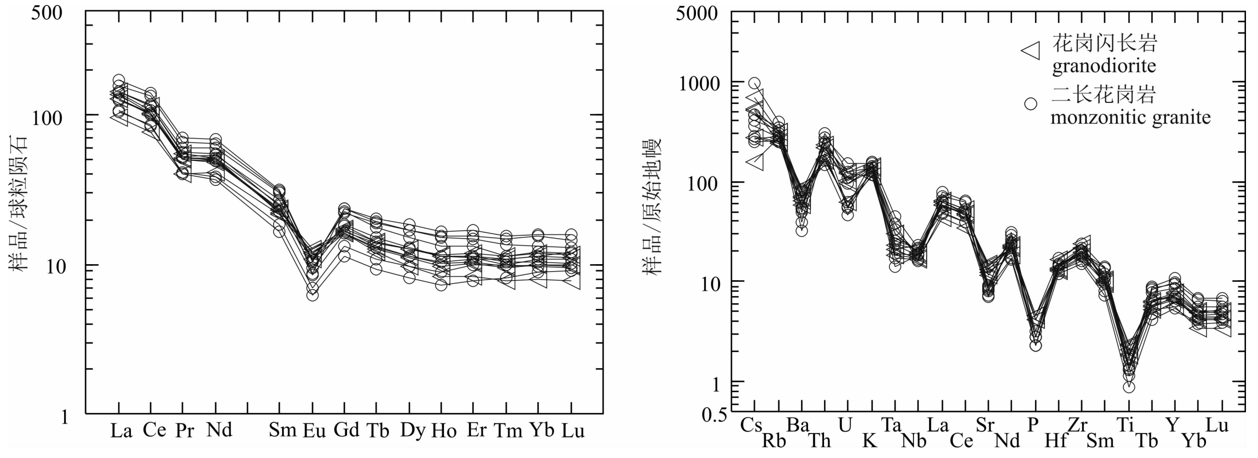

图 8 当家寺花岗岩体稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(a)(球粒陨石标准化数据值引自 Boynton,1984)和微量元素原始地幔标准化蛛网(b)(原始地幔标准化数据值引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns (a) (normalization values after Boynton, 1984) and primitive-mantle normalized trace element spider diagrams (b) (normalization values after Sun and Mcdonough,1989) for Dangjiasi granitic complex

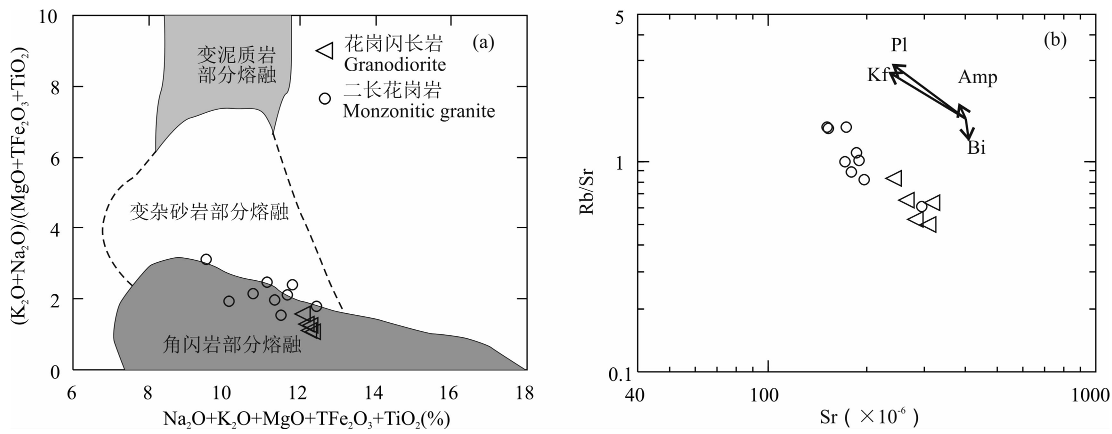

图 9 当家寺花岗岩体岩石化学成分与变泥质岩、变杂砂岩、变角闪岩派生的实验熔体化学成分对比(a,原图据 Kaygusuz et al.,2008)和 Rb/Sr-Sr 图解(b)

Fig. 9 Chemical contents contrast between Dangjiasi granitic complex and meta-mudstone-,greywacke-, meta-amphibolite-derived experimental melt (a,after Kaygusuz et al.,2008) and Rb/Sr-Sr diagram (b)

4.3 构造意义

区域上,东昆仑造山带、柴北缘构造带泥盆系牦牛山组磨拉石组合标志着早古生代造山运动的结束(Pan et al., 1996; Li Rongshe et al., 2007; Xu Zhiqin et al.,2007;Lu Lu et al.,2010),也拉开了古特提斯洋形成的序幕。石炭纪—二叠纪期间,从柴达木地块北缘(包括宗务隆构造带)至柴达木地块以东的西秦岭造山带西部都处于持续拉伸状态。宗务隆构造带晚古生代蛇绿岩的出现(Wang Yizhi et al.,2001)标志着宗务隆构造带于晚石炭世拉开成有限小洋盆,该洋盆与阿尼玛卿晚古生代洋盆的发育时代基本一致(Bian et al.,2004;Yang Jingsui et al.,2004),后经历了洋盆的向南俯冲作用,形成了天峻南山花岗岩体(246 Ma)、青海湖南山花岗岩体(238 Ma)、晒勒克郭来花岗岩体(249.2±2.6 Ma)和察汗诺花岗岩体(242.7±1.9 Ma 和 243.5±2.4 Ma)等俯冲型花岗岩(Guo Anlin et al.,2009;Peng Yuan et al.,2016),后碰撞期的局部拉伸形成了相关基性岩墙群和二郎洞 A 型花岗岩体(215 Ma)(Guo Anlin et al.,2009)。青海南山构造带内发育的石炭—二叠系和下三叠统指示该构造带晚古生代—早中生代的沉积环境与宗务隆构造带存在较强的空间上的延续性。Guo Anlin et al.(2009)也认为宗务隆构造带的晚古生代和早—中三叠世沉积建造向东可能经橡皮山、青海南山与西秦岭商丹带晚古生代和早—中三叠世残余海盆相连。当家寺花岗

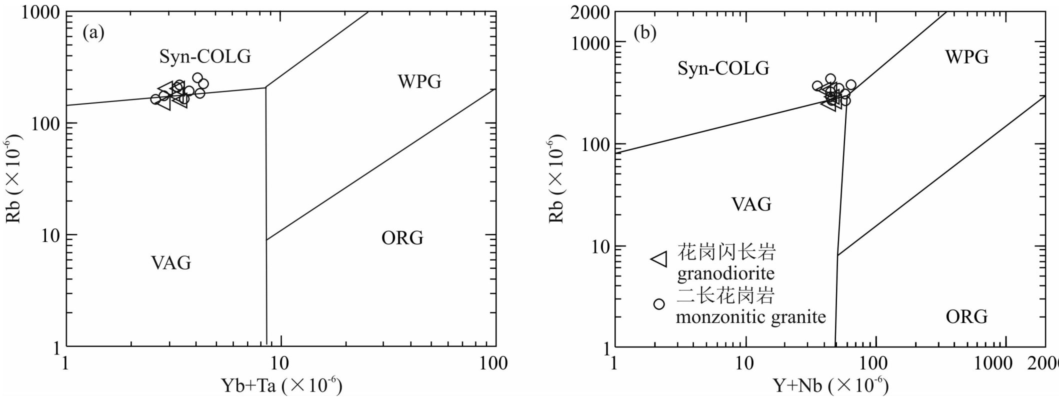

图 10　当家寺花岗岩体 Rb-(Yb＋Ta)图解(a)和 Rb-(Y＋Nb)图解(b)(据 Pearce，1996)

Fig. 10　Tectonic setting diagrams Rb-(Yb＋Ta) (a) and Rb-(Y＋Nb) (b) for Dangjiasi granitic complex (after Pearce，1996)

岩体形成于中三叠世(241～240 Ma)，其具有活动大陆边缘弧花岗岩的地球化学特征，表明研究区在中三叠世处于洋盆俯冲背景下的活动大陆边缘构造环境。Hao Taiping(1990)对龙羊峡地区中酸性火山岩研究认为其成岩环境也为活动大陆边缘，与同期侵入岩为同源岩浆演化。上述资料指示青海南山构造带可能为宗务隆构造带的东延，即存在晚古生代—早中生代有限小洋盆。在洋盆俯冲过程中形成了中三叠世青海南山构造带内广泛的基性—中酸性岩浆侵位，青海南山构造带印支期岩浆岩带分布位置显示其可能为南祁连地块与西秦岭地块间的碰撞并向南俯冲的结果，但有学者(Sun Yangui，2004)认为其为西秦岭地块沿共和盆地北缘(早中三叠世时期共和拗拉谷北缘谷坡与深水盆地的过渡地带)向北俯冲并与南祁连地块在深部发生碰撞的岩石学记录。区域上，在同仁-尖扎一带断续出露有晚二叠世—早三叠世超镁铁质-镁铁质岩石，可能指示西秦岭北缘存在一条晚二叠世—早三叠世蛇绿混杂岩带(Zhang Kexin et al.，2007；Wang Huiqing et al.，2009，2010)。同时，同仁-夏河一带发育有二叠纪具岛弧火山岩地球化学特征的火山-岩浆作用(Kou Xiaohu et al.，2007)；龙羊峡地区也出露中—晚三叠世具弧岩浆岩特征的火山岩(Hao Taiping，1990)及密切相关的深成侵入岩(当家寺花岗岩体)，该火山-岩浆弧可能与天峻南山共同形成一条位于祁连造山带南缘的弧火山-岩浆带。Yan Zhen et al.(2012)认为该弧火山-岩浆带与其北侧早古生代弧火山-岩浆带在时间上呈现出向南跃迁特征，并于三叠纪向北拼贴于南祁连南缘。但深地震反射剖面资料(Gao Rui et al.，2006；Wang Haiyan et al.，2014)显示西秦岭北侧下地壳具南倾的反射特征，其揭示了扬子与华北两个大陆板块在西秦岭造山带北缘的汇聚事件。该汇聚事件可能包含了印支期宗务隆洋的向南俯冲过程的信息。因此，当家寺花岗岩体可能是在宗务隆有限洋盆向南俯冲背景下由俯冲流体交代的上覆地幔楔熔融形成基性岩浆底侵下地壳，造成基性下地壳发生角闪石脱水部分熔融形成的。同时由于在源区有幔源基性岩浆的注入，并发生一定程度的岩浆混合作用，使得长英质岩浆成分受到轻微改造，未完全混合的基性岩浆形成了暗色微粒包体。

5　结论

(1)当家寺花岗岩体的花岗闪长岩和二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 240.1±2.1 Ma 和 241.0±2.6 Ma，代表岩体形成于中三叠世。

(2)岩石具有高硅、富钾和准铝质—弱过铝质特征，属高钾钙碱性 I 型花岗岩，可能由存在于青海南山构造带内的晚古生代—早中生代有限小洋盆的俯冲造成上覆地幔楔熔融形成基性岩浆底侵下地壳，使得基性下地壳部分熔融而形成，其源区受到一定程度的幔源岩浆的混染。

(3)青海南山构造带可能为宗务隆构造带的东延，即研究区存在晚古生代—早中生代有限小洋盆，当家寺花岗岩体是其在中三叠世向南俯冲末期的产物。

References

Beard J S，Lofgren G E. 1991. Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 1，3，and 6.9 kb. Journal of Petrology，32(2)：

365～401.

Bian Q T, Li D H, Pospelov I, Yin L M, Li H S, Zhao D S, Chang C F, Luo X Q, Gao S L, Astrakhantsev O, Chamov N. 2004. Age, geochemistry and tectonic setting of Buqingshan ophiolites, north Qinghai-Tibet plateau, China. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 577～596.

Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: Henderson P, ed. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 63～114.

Chang Hong, Jin Zhangdong, An Zhisheng. 2009. Sedimentary evidences of the uplift of the Qinghai Nanshan (the Mountains South to Qinhai Lake) and its implication for structural evolution of the Lake Qinghai—Gonghe Basin. Geological Review, 55(1): 49～57(in Chinese with English abstract).

Chen Yibing, Zhang Guowei, Lu Rukui, Liang Wentian, Diwu Chunrong, Guo Xiufeng. 2010. Detrital zircon U-Pb geochronology of Dacaotan Group in the conjunction area of North Qinling and Qilian. Acta Geologica Sinica, 84(7): 947～962(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.

Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I-and S-type granites and the characterization of fracationated haplogranites. Lithos, 46: 535～551.

Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53 (1): 469～500.

Deng Jinfu, Wu Zongxu, Yang Jianjun, Zhao Hailing, Liu Houxiang, Lai Shaocong, Di Yongjun. 1995. Crust-mantle petrological structure and deep processes along the Golmud-Ejin qi geoscience section. Acta Geophysica Sinica, 38(Suppl. Ⅱ): 130～144(in Chinese with English abstract).

Dai Xiong, Yang Liu, He Guangxing, Li Jiaqi, Yi Jian, Deng Huabo. 2016. A preliminary study on the medium pressure facies series progressive metamorphic zone in Nanshan area, Qinghai Province. Geological Review, 62(5): 1201～1224(in Chinese with English abstract).

Deng J F, Mo X X, Zhao H L, Wu Z X, Luo Z H, Su S G. 2004. A new model for the dynamic evolution of Chinese lithosphere: continental roots-plume tectonics. Earth-Science Reviews, 65(3～4): 223～275.

Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Liu Cui, Zhao Guochun, Wu Zongxu, Liu Yong. 2007. Igneous petrotectonic assemblages and tectonic settings: a discussion. Geological Journal of China Universities, 13(3): 392～402(in Chinese with English abstract).

Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015a. Magmatic arc and ocean-continent transition: discussion. Geological Review, 61(3): 473～484(in Chinese with English abstract).

Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongguo, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: discussion and suggestion. Geological Review, 61 (4): 717～734 (in Chinese with English abstract).

Duncan J K, Krogh T E. 1999. U-Pb geochronology of Devonian granites in the Meguma Terranme of Nova Scotia, Canada: evidence for hotspot melting of a Neoproterozoic Source. The Journal of Geology, 107: 555～568.

Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, Hu Yunxu, Pan Xiaoping, Yang Junlu, Jia Qunzi, Li Wenming. 2003. Tectonic evolution framework and nature of the West Qinling orogenic belt. Northwestern Geology, 36(1): 1～10(in Chinese with English abstract).

Gao Rui, Ma Yongsheng, Li Qiusheng, Zhu Xuan, Zhang Jisheng, Wang Haiyan, Li Pengwu, Lu Zhanwu, Guan Ye. 2006. Structure of the lower crust beneath the Songpan block and West Qinling orogen and their relation as revealed by deep seismic reflection profiling. Geological Bulletin of China, 25 (12): 1361～1367(in Chinese with English abstract).

Guo Anlin, Zhang Guowei, Qiang Juan, Sun Yangui, Li Guang, Yao Anping. 2009. Indosinian Zongwulong organic belt on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet plateau. Acta Petrologica Sinica, 25(1): 1～12(in Chinese with English abstract).

Guo Xianqing, Yan Zhen, Fu Changlei, Wang Zongqi. 2016. Formation age and tectonic attribute of Jinshuikou Group complex in the Nanshan area, Qinhai. Acta Geologica Sinica, 90 (3): 589～606(in Chinese with English abstract).

Guo X Q, Yan Z, Wang Z Q, Wang T, Hou K J, Fu C L, Li J L. 2012. Middle Triassic arc magmatism along the northeastern margin of the Tibet: U-Pb and Lu-Hf zircon characterization of the Gangcha complex in the West Qinling terrane, central China. Journal of the Geological Society, London, 169: 327～336.

Hao Taiping. 1990. REE geochemistry of intermediate acid volcanic rocks in Longyangxia areas. Northwestern Geology, (4): 24～27(in Chinese).

Huang Xiongfei, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, Li Xiaowei, Yang Mengchu, Luo Mingfei, He Wenyan, Yu Junchuan. 2014. Origin and geodynamic settings of the Indosinian high Sr/Y granitoids in the West Qinling: An example from the Shehaliji pluton in Tongren area. Acta Petrologica Sinica, 30(11): 3255～3270(in Chinese with English abstract).

Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523～548.

Jin Weijun, Zhang Qi, He Dengfa, Jia Xiuqin. 2005. SHRIMP dating of adakites in Western Qinling and their implications. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 959～966(in Chinese with English abstract).

Jin Xiaoye, Li Jianwei, Sui Jixiang, Wenguang, Zhang Jinyang. 2013. Geochronological and geochemical constraints on the genesis and tectonic setting of Dewulu intrusive complex in Xiahe-Hezuo district of Western Qinling. Journal of Earth Sciences and Environment, 35(3): 20～38(in Chinese with English abstract).

Johannes W, Holtz F. 1996. Petrogenesis and Experiment Petrology of Granitic Rock. Berlin: Spinger-Verlag, 1～254.

Jung S, Pfänder J A. 2007. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoid: constraints from CaO/Na_2O, Al_2O_3/TiO_2 and accessory mineral saturation thermometry. European Journal of Mineralogy, 19: 859～870.

Kaygusuz A, Siebel W, Sen C, Satir M. 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.

Kou Xiaohu, Zhu Yunhai, Zhang Kexin, Shi Bin, Luo Genming. 2007. Discovery and geochemistry of upper Permian volcanic rocks in Tongren area, Qinghai province and their tectonic significance. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 32(1): 45～50(in Chinese with English abstract).

Li Huaikun, Geng Jiangzheng, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. Study on the determination of zircon U-Pb isotopic age by laser ablation multireceiver plasma mass spectrometer (LA-MC-ICPMS). Petrology and Geochemistry, 28(Suppl): 600～601(in Chinese).

Li Rongshe, Ji Wenhua, Zhao Zhenming, Chen Shoujian, Meng Yong, Yu Pusheng, Pan Xiaoping. 2007. Progress in the study of the Early Paleozoic Kunlun orogenic belt. Geological Bulletin of China, 26(4): 373～381(in Chinese with English abstract).

Li Ting, Xu Xueyi, Chen Junlu, Wang Hongliang, Li Zhipei, Zhang Xin. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and tectonic setting of Zhongchuan intrusion, Lixian area, Western Qinling orogen. Geological Bulletin of China, 31(6): 875～882(in Chinese with English abstract).

Li Ruibao, Pei Xianzhi, Yang Shuahai, Wang Weifeng, Wei Liyong, Sun Yu, Li Fei, Liu Mannian, Zhao Changcun, Li Zuochen, Yang Gaoxue, Chen Lizi. 2016. LA-ICP-MS zircon age of the etamorphism rocks in Rouqigang area of West Qinglin-maximum depositional ages of protoliths and provenance feature. Acta Geologica Sinica, 90(1): 93～114(in Chinese with English abstract).

Li Zhao, Chen Yuelong, Liu Changzhen, Gu Yuan, Li Dapeng. 2016. Formation and evolution history on the northern Qilian orogen: the evidences from compositions of rivers′ sediments and their zircon U-Pb ages, Hf isotopic compositions. Acta Geologica Sinica, 90(2): 267～283(in Chinese with English abstract).

Li Zuochen, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Pei Lei, Hu Bo, Liu Chenjun, Chen Guochao, Chen Youxin. 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry of the Mishuling intrusion in Western Qinling and their tectonic significance. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2617～2634(in Chinese with English abstract).

Liu Chengjun, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao, Pei Lei, Chen Youxin, Wei Fanghui, Gao Jingmin, Wu Shukuan, Wang Yinchuan, Wei Bo, Xu Xiaochun. 2014. Moshigou meta-basalt in the Tianshui area in the conjunction of the Qinling-Qilian orogens: zircon U-Pb geochronology, geochemistry and tectonic implications. Acta Geologica Sinica, 88(3): 347～360(in Chinese with English abstract).

Liu Zhipeng, Li Jianwei. 2012. Magma mixing genesis of the Jinchang quartz diorite in West Qinling orogen, western China: petrographical and geochronological constraints and their tectonic implications. Acta Geologica Sinica, 86(7): 1077～1090 (in Chinese with English abstract).

Lu Dongyu, Ye Huishou, Yu Miao, Yang Bin, Wang Shenglong, Zhang Jiexian, Chao Weiwei, Wang Peng. 2015. Geological features and molybdenites Re-Os isotopic dating of the Jiangligou W-Cu-Mo polymetallic deposit, West Qinling. Acta Geologica Sinica, 89(4): 731～746(in Chinese with English abstract).

Lu Lu, Wu ZhenHan, Hu Daogong, Patrick J BAROSH, Hao Shuang, Zhou Chunjing. 2010. Zircon U-Pb age for rhyolite of the Maoniushan Formation and its tectonic significance in the East Kunlun Mountains. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(4): 1150～1158(in Chinese with English abstract).

Luo Biji, Zhang Hongfei, Xiao Zunqi. 2012. Petrogenesis and tectonic implications of the Early Indosinian Meiwu pluton in West Qinling, central China. Earth Science Frontiers, 19(3): 199～213(in Chinese with English abstract).

Luo B J, Zhang H F, Lü X B. 2012. U-Pb zircon dating, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic compositions of Early Indosinian intrusive rocks in West Qinling, central China: Petrogenesis and tectonic implications. Contributions to Mineralogy and Petrology, 164(4): 551～569.

Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, Li Huaikun, Zheng Jiankang. 2002. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent. Acta Petorlogica et Mineralogica, 21(4): 317～326(in Chinese with English abstract).

Lu Songnian, Chen Zhihong, Li Huaikun, Hao Guojie, Zhou Hongying, Xiang Zhenqun. 2004. Late Mesoproterozoic-early Neoproterozoic evolution of the Qinling orogen. Geological Bulletin of China, 23(2): 107～112(in Chinese with English abstract).

Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, Chen Zhihong, Wang Huichu, Zhang Chuanlin, Xiang Zhenqun. 2006. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the "Central China Orogen". Geological Bulletin of China, 25(12): 1368～1380(in Chinese with English abstract).

Ma Changqian, Ming Houli, Yang Kunguang. 2004. An Ordovician magmatic arc at the northern foot of Dabie mountains: Evidence from geochronology and geochemistry of intrusive rocks. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 393～402(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.

Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, Yan Yangji, Xu Xiaosong, Xu Qiang, Jiang Xinsheng, Wu Yinglin, Luo Jianning, Zhu Tongxing, Peng Yongmin. 1997. Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys. Beijing: Geological Publishing House, 1～216(in Chinese with English abstract).

Pan Y S, Zhang Y Q, Chen T E, Zhou W M, Xu R H, Wang D A, Xie Y W, Luo H. 1996. Feature and evolution of the Early Paleozoic geology in Kunlun Mts. Science in China (Series D), 26(4): 302～307.

Patino-Douce A E, McCarty T C. 1998. Melting of crustal rocks during continental collision and subduction. In: Hacker B R, Liu J G, eds. When Continents Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-Pressure Rocks. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 27～55.

Patino-Douce A E, Harris N. 1998. Experimental constraints on Himalayan natexis. Journal of Petrology, 39(4): 689～710.

Pearce J A. 1996. Sources and settings granitic rocks. Episoders, 19: 120～125.

Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58(1): 63～81.

Peng Yuan, Ma Yinsheng, Liu Chenglin, Li Zongxing, Sun Jiaopeng, Shao Pengcheng. 2016. Geological characteristics and tectonic significance of the Indosinian granodiorites from the Zongwulong tectonic belt in North Qaidam. Earth Science Frontiers, 23(2): 206～221(in Chinese with English abstract).

Rapp R P, Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8～32 kbar implications for continental growth and crust-mantle recycling. Journal of Petrology, 36(4): 891～931.

Ren Houzhou, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, Li Zuochen, Li Ruibao, Wei Bo, Chen Weinan, Wang Yuanyuan, Xu Xiaochun, Liu Tujie, Chen Youxin. 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemistry of the Taibai intrusion in Tianshui areas of western Qinling Mountains and their geological significance. Geological Bulletin of China, 33(7): 1041～1054(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.

Rushmer T. 1991. Partial melting of two amphibolites: contrasting experimental results under fluid absent conditions. Contributions to Mineralogy and Petrology, 107: 41～59.

Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai, Wooden J. 2004. First SHRIMP dating for the formation of the Late Sinian Yushigou ophiolite, North Qilian Mountains. Acta Geologica Sinica, 78(5):649～657(in Chinese with English abstract).

Sisson T W, Ratajeski K, Hankins W B, Glazner A F. 2005. Voluminous granitic magmas from common basaltic sources. Contributions to Mineralogy and Petrology, 148(6): 635～661.

Sun Jiaopeng, Chen Shiyue, Peng Yuan, Shao Pengcheng, Ma Shuai, Liu Jin. 2015. Determination of Early Cambrian zircon SHRIMP U-Pb datings in Zongwulong tectonic belt, northern margin of Qaidam basin, and its geological significance. Geological Review, 61(4):743～751(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. In: Sunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. London: Geol. Soc. Spec. Publ., 42: 313～345.

Sun Xiaopan, Xu Xueyi, Chen Junlu, Gao Ting, Li Ting, Li Xianbing, Li Xiaoying. 2013. Geochemical characteristics and chronology of the Jiangligou granitic pluton in West Qinling and their geological significance. Acta Geologica Sinica, 87(3): 330～342(in Chinese with English abstract).

Sun Yangui. 2004. Gonghe aulacogen and conjugate and transfer between the west Qinling and east Kunlun orogens. Ph. D. Dissertation of Northwest University, 1～195(in Chinese with English abstract).

Sun Yangui, Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Jin. 2004. Qinling-Kunlun triple junction and isotope chronological evidence of its tectonic process. Geology in China, 31(4): 372～378(in Chinese with English abstract).

Thompson R N, Morrison M A, Hendry G L, Parry S J, Simpson P R, Hutchison R, O'Hara M J. 1984. An assessment of the relative roles of Crust and mantle in magma genesis: an elemental approach and discussion. Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 310(1514): 549～590.

Tepper J H, Nelson B K, Bergantz G W, Irving A J. 1993. Petrology of the Chilliwack batholith, North Cascades, Washington: generation of calc-alkaline granitoids by melting of mafic lower crust with variable water fugacity. Contributions to Mineralogy and Petrology, 113: 333～351.

Wang Haiyan, Gao Rui, Li Qiusheng, Li Wenhui, Hou Hesheng, Kuang Chaoyang, Xue Aiming, Huang Weiyi. 2014. Deep seismic reflection profiling in the Songpan-West Qinling-Linxia basin of the Qinghai-Tibet plateau: data acquisition, data processing and preliminary interpretations. Chinese Journal of Geophysics, 57(5): 1451～1461(in Chinese with English abstract).

Wang Huiqing, Zhu Yunhai, Lin Qixiang, Li Yilong. 2009. Mineral characteristics and tectonic environment of Longwuxia Gorge ophiolite in Tongren, West Qinling area. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(4): 661～667(in Chinese with English abstract).

Wang Huiqing, Zhu Yunhai, Lin Qixiang, Li Yilong, Wang Kun. 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the gabbro from Longwu Gorge ophiolite, Jianzha-Tongren area, Qinghai, China and its geological significance. Geological Bulletin of China, 29(1): 86～92(in Chinese with English abstract).

Wang Yizhi, Bai Yongshan, Lu Hailian. 2001. Geological characteristics of Tianjunnanshan ophiolite in Qinghai and its forming environment. Geology in Qinghai, 21(1): 29～35(in Chinese).

Wei Ping, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, Huang Xiongfei, Ding Yi, Li Xiaowei. 2013. Geochemistry, chronology and geological significance of the granitoids in Xiahe, West Qinling. Acta Petrologica Sinica, 29(11): 3981～3992(in Chinese with English abstract).

Wolf M B, Wyllie P J. 1994. Dehydration-melting of amphibolite at 10kbar: The effects of temperature and time. Contributions to Mineralogy and Petrology, 115(4): 369～383.

Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, Lo C H, Yui T F, Lin Q, Ge W C, Sun D Y. 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): Geochronology and petrogenesis. Lithos, 66(3～4): 241～273.

Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, Zheng Yongfei. 2007. Discussions on the petrogenesis of granites. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217～1238(in Chinese with English abstract).

Xu Xueyi, Li Ting, Chen Junlu, Li Ping. 2012. The granitoids magmatism and mineralization in west section of the West Qinling, NW China. Northwestern Geology, 45(4): 76～82(in Chinese with English abstract).

Xu Xueyi, Chen Junlu, Gao Ting, Li Ping, Li Ting. 2014. Granitoid magmatism and tectonic evolution in northern edge of the Western Qinling terrane, NW China. Acta Petrologica Sinica, 30(2): 371～389(in Chinese with English abstract).

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Yao Jianxin. 2006. The early Palaeozoic terrene framework and the formation of the High-Pressure(HP) and Ultra-High Pressure(UHP) metamorphic belts at the Central Organic Belt(COB). Acta Geologica Sinica, 80(12): 1793～1806(in Chinese with English abstract).

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Zhang Jianxin, Wu Cailai. 2007. Organic plateaux-terrane amalgamation, collision and uplift in the Qinhai-Tibet Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 1～458(in Chinese with English abstract).

Yan Zhen, Wang Zongqi, Li Jiliang, Xu Zhiqin, Deng Jinfu. 2012. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling Terrane, northeastern margin of the Tibet Plateau.

Acta Petrologica Sinica, 28(6): 1808～1828(in Chinese with English abstract).

Yang Jingsui, Wang Xibin, Shi Rendeng, Xu Zhiqin, Wu Cailai. 2004. The Dur′ngoi ophiolite in East Kunlun, northern Qinghai-Tibet Plateau: a fragment of paleo-Tethyan oceanic crust. Geology in China, 31(3): 225～236(in Chinese with English abstract).

Yang Shuanhai, Li Ruibao, Wang Weifeng, Wei Liyong, Li Fei, Liu Mannian, Zhao Changcun, Dong Junchao. 2015. Geochronology, geochemical characteristics and tectonic significance of Qurugou granodiorite in western section of West Qinling orogen. Northwestern Geology, 48(2): 57～72(in Chinese with English abstract).

Yang Yang, Wang Xiaoxia, Ke Changhui, Wang Shun'an, Li Jinbao, Nie Zhengrong, Lu Xingqiu. 2015. Zircon U-Pb ages and petrogenesis of the Luchuba pluton in West Qinling, and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 89(10): 1735～1761(in Chinese with English abstract).

Yang Zhangzhang, Li Silong, Yang Qiangsheng, Liu Xupeng, Shang Pengfei. 2016. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating and geological significance of Shidiquan gabbro in Delingha, Qinghai. Geological Review, 62(4): 1081～1091(in Chinese with English abstract).

Yin Hongfu, Zhang Kexing. 1998. Evolution and characteristics of the central organic belt. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 23(5): 438～442(in Chinese with English abstract).

Yin Yong, Yin Xianming. 2009. Porphyry Cu-Mo-Au mineralization related to adakite and Himalayan type granite in the northern margin of West Qinling. Acta Petrologica Sinica, 25(5): 1239～1252(in Chinese with English abstract).

Zhang Chengli, Wangtao, Wang Xiaoxia. 2008. Origin and Tectonic setting of the Early Mesozoic granitoids in Qinling Organic belt. Geological Journal of China Universities, 14(3): 304～316(in Chinese with English abstract).

Zhang Guowei, Liu Xiaoming. 1998. Some remarks on china central orogenic system. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2(5): 443～448(in Chinese with English abstract).

Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China′s continental tectonics. Earth Science Frontiers, 11(3): 23～32(in Chinese with English abstract).

Zhang Hongfei, Jin Lanlan, Zhang Li, Nigel Harris, Zhou Lian, Hu Shenghong, Zhang Benren. 2005. Geochemistry and Pb-Sr-Nd Isotopic compositions of granitoids from West Qinling: Constraints on basement nature and tectonic affinity. Science in China (Ser. D Earth Sciences), 35(10): 914～926(in Chinese).

Zhang Hongfei, Chen Yuelong, Xu Wangchun, Liu Rong, Yuan Honglin, Liu Xiaoming. 2006. Granitoids around Gonghe basin in Qinghai province: petrogenesis and tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 22(12): 2910～2922(in Chinese with English abstract).

Zhang Kexin, Zhu Yunhai, Lin Qixiang, Kou Xiaohu, Fan Guangming, Chen Fenning, Luo Genming. 2007. Discovery of a mafic-ultramafic belt in the Rongwoxia area, Tongren, Qinghai, China. Geological Bulletin of China, 28(1): 63～71(in Chinese with English abstract).

Zhang Tao, Zhang Dehui, Yang Bing. 2014. SHRIMP zircon U-Pb dating of Gangcha intrusions in Qinghai and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 30(9): 2739～2748(in Chinese with English abstract).

Zhang Tao, Zhang Dehui, Yang Bing, Zhang Hui, Yu Xiao. 2015. Re-Os dating of molybdenite from the Jiangligou porphyry-skarn Cu-W-Mo deposit in Tongren, Qinghai Province and its metallogenic significance. Acta Geologica Sinica, 89(2): 355～364(in Chinese with English abstract).

Zhang Zhaowei, Li Wenyuan, Wang Yalei, Qian Bing, Li Kan, Zhang Jiangwei, Gao Yongbao, Guo Zhouping, You Minxin. 2015. Geological and geochemical characteristics of mafic-ultramafic intrusions in the Hualong area, southern Qilian Mountains and its Ni-Cu mineralization. Acta Geologica Sinica, 89(3): 632～644(in Chinese with English abstract).

Zheng Yongfei, Yang Jinhui, Song Shuguang, Chen Yixiang. 2013. Progress in the study of chemical geodynamics. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 32(1): 1～24(in Chinese with English abstract).

Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, Qiao Yulou. 2008. Some aspects on geochemistry of Nb and Ta. Geochimica, 37(4): 304～320(in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

常宏，金章东，安芷生. 2009. 青海南山隆起的沉积证据及其对青海湖—共和盆地构造分异演化的指示. 地质论评，55(1)：49～57.

陈义兵，张国伟，鲁如魁，梁文天，第五春荣，郭秀峰. 2010. 北秦岭—祁连结合区大草滩群碎屑锆石 U-Pb 年代学研究. 地质学报，84(7)：947～962.

代雄，杨柳，贺光兴，李佳奇，易建，邓华波. 2016. 青海南山地区中压相系递增变质带初步研究. 地质论评，62(5)：1201～1224.

邓晋福，吴宗絮，杨建军，赵海玲，刘厚祥，赖绍聪，狄永军. 1995. 格尔木—额济纳旗地学断面走廊域地壳—上地幔岩石学结构与深部过程. 地球物理学报，38(增刊Ⅱ)：130～144.

邓晋福，肖庆辉，苏尚国，刘翠，赵国春，吴宗絮，刘勇. 2007. 火成岩组合与构造环境：讨论. 高校地质学报，13(3)：392～402.

邓晋福，冯艳芳，狄永军，刘翠，肖庆辉，苏尚国，赵国春，孟斐，马帅，姚图. 2015a. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评，61(3)：473～484.

邓晋福，刘翠，冯艳芳，肖庆辉，狄永军，苏尚国，赵国春，段培新，戴蒙. 2015b. 关于火成岩常用图解的正确使用：讨论与建议. 地质论评，61(4)：717～734.

冯益民，曹宣铎，张二朋，胡云绪，潘晓萍，杨军录，贾群子，李文明. 2003. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质. 西北地质，36(1)：1～10.

高锐，马永生，李秋生，朱铉，张季生，王海燕，李鹏武，卢占武，管烨. 2006. 松潘地块与西秦岭造山带下地壳的性质和关系——深地震反射剖面的揭露. 地质通报，25(12)：1361～1367.

郭安林，张国伟，强娟，孙延贵，李广，姚安平. 2009. 青藏高原东北缘印支期宗务隆造山带. 岩石学报，25(1)：1～12.

郭现轻，闫臻，付长垒，王宗起. 2016. 青海南山"金水口岩群"的时代与构造属性研究. 地质学报，90(3)：589～606.

郝太平. 1990. 龙羊峡地区中酸性火山岩稀土元素地球化学特征. 西北地质，(4)：24～27.

黄雄飞，莫宣学，喻学惠，李小伟，杨梦楚，罗明非，和文言，于峻川. 2014. 西秦岭印支期高 Sr/Y 花岗岩类的成因及动力学背景——以同仁地区舍哈力吉岩体为例. 岩石学报，30(11)：3255

～3270.
金维浚，张旗，何登发，贾秀勤. 2005. 西秦岭埃达克岩的SHRIMP定年及其构造意义. 岩石学报，21(3)：959～966.
靳晓野，李建威，隋吉祥，文广，张金阳. 2013. 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. 地球科学与环境学报，35(3)：20～38.
寇晓虎，朱云海，张克信，施彬，罗根明. 2007. 青海省同仁地区上二叠统石关组上部火山岩的新发现及其地球化学特征和构造环境意义. 地球科学，32(1)：45～50.
李怀坤，耿建珍，郝爽，张永清，李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究. 矿物学报，28(增刊)：600～601.
李荣社，计文化，赵振明，陈守建，孟勇，于浦生，潘小平. 2007. 昆仑早古生代造山带研究进展. 地质通报，26(4)：373～381.
李瑞保，裴先治，杨栓海，王伟峰，魏立勇，孙雨，李飞，刘满年，赵长存，李佐臣，杨高学，陈力子. 2016. 共和盆地西缘柔起岗地区变质岩系LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄－原岩最大沉积时代及物源研究. 地质学报，90(1)：93～114.
李兆，陈岳龙，刘长征，古远，李大鹏. 2016. 北祁连的形成与演化历史：来自河流沉积物地球化学及其碎屑锆石U-Pb年龄、Hf同位素组成的证据. 地质学报，90(2)：267～283.
李婷，徐学义，陈隽璐，王洪亮，李智佩，张欣. 2012. 西秦岭造山带礼县地区中川岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及其构造环境. 地质通报，31(6)：875～882.
李佐臣，裴先治，李瑞保，裴磊，胡波，刘成军，陈国超，陈有炘. 2013. 西秦岭糜署岭花岗岩体年代学、地球化学特征及其构造意义. 岩石学报，29(8)：2617～2634.
刘成军，裴先治，李佐臣，李瑞保，裴磊，陈有炘，魏方辉，高景民，吴树宽，王银川，魏博，胥晓春. 2014. 秦祁结合部位天水地区磨石沟变基性火山岩锆石U-Pb年代学、地球化学及其构造意义. 地质学报，88(3)：347～360.
刘志鹏，李建威. 2012. 西秦岭金厂石英闪长岩的岩浆混合成因：岩相学和锆石U-Pb年代学证据及其构造意义. 地质学报，86(7)：1077～1090.
路东宇，叶会寿，于淼，杨兵，王生龙，张捷先，抄尉尉，王鹏. 2015. 西秦岭江里沟钨铜钼多金属矿床地质特征及辉钼矿Re-Os同位素年龄. 地质学报，89(4)：731～746.
陆露，吴珍汉，胡道功，Patrick J BAROSH，郝爽，周春景. 2010. 东昆仑牦牛山组流纹岩锆石U-Pb年龄及构造意义. 岩石学报，26(4)：1150～1158.
陆松年，于海峰，金巍，李怀坤，郑健康. 2002. 塔里木古大陆东缘的微大陆块体群. 岩石矿物学杂志，21(4)：317～326.
陆松年，陈志宏，李怀坤，郝国杰，周红英，相振群. 2004. 秦岭造山带中—新元古代(早期)地质演化. 地质通报，23(2)：107～112.
陆松年，于海峰，李怀坤，陈志宏，王惠初，张传林，相振群. 2006. "中央造山带"早古生代缝合带及构造分区概述. 地质通报，25(12)：1368～1380.
骆必继，张宏飞，肖尊奇. 2012. 西秦岭印支早期美武岩体的岩石成因及其构造意义. 地学前缘，19(3)：199～213.
马昌前，明厚利，杨坤光. 2004. 大别山北麓的奥陶纪岩浆弧：侵入岩年代学和地球化学证据. 岩石学报，20(3)：393～402.
潘桂棠，陈智梁，李兴振，颜仰基，许效松，徐强，江新胜，吴应林，罗建宁，朱同兴，彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京：地质出版社，1～216.
彭渊，马寅生，刘成林，李宗星，孙娇鹏，邵鹏程. 2016. 柴北缘宗务隆构造带印支期花岗闪长岩地质特征及其构造意义. 地学前缘，23(2)：206～221.
任厚州，裴先治，刘成军，李佐臣，李瑞保，魏博，陈伟男，王元元，胥晓春，刘图杰，陈有炘. 2014. 西秦岭天水地区太白花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质通报，33(7)：1041～1054.
史仁灯，杨经绥，吴才来，Wooden J. 2004. 北祁连玉石沟蛇绿岩形成于晚震旦世的SHRIMP年龄证据. 地质学报，78(5)：649～657.
孙娇鹏，陈世悦，彭渊，邵鹏程，马帅，刘金. 2015. 柴达木盆地北缘宗务隆构造带早古生代锆石SHRIMP年龄的测定及其地质意义. 地质论评，61(4)：743～751.
孙延贵，张国伟，郭安林，王瑾. 2004. 秦—昆三向联结构造及其构造过程的同位素年代学证据. 中国地质，31(4)：372～378.
孙延贵. 2004. 西秦岭-东昆仑造山带的衔接转换与共和坳拉谷. 西安：西北大学博士学位论文，1～195.
孙小攀，徐学义，陈隽璐，高婷，李婷，李现冰，李晓英. 2013. 西秦岭江里沟花岗岩体地球化学特征、年代学及地质意义. 地质学报，87(3)：330～342.
王海燕，高锐，李秋生，李文辉，侯贺晟，匡朝阳，薛爱民，黄薇漪. 2014. 青藏高原松潘-西秦岭-临夏盆地深地震反射剖面-采集、处理与初步解释. 地球物理学报，57(5)：1451～1461.
王绘清，朱云海，林启祥，李益龙. 2009. 西秦岭同仁隆务峡蛇绿岩矿物成分特征及构造环境. 岩石矿物学杂志，28(4)：661～667.
王绘清，朱云海，林启祥，李益龙，王坤. 2010. 青海尖扎-同仁地区隆务峡蛇绿岩的形成时代及意义——来自辉长岩锆石LA-ICP-MSU-Pb年龄的证据. 地质通报，29(1)：86～92.
王毅智，拜永山. 2001. 青海天竣南山蛇绿岩的地质特征及其形成环境. 青海地质，21(1)：29～35.
王宗起，闫全人，闫臻，王涛，姜春发，高联达，李秋根，陈隽璐，张英利，刘平，谢春林，向忠金. 2009. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分. 地质学报，83(11)：1527～1546.
韦萍，莫宣学，喻学惠，黄雄飞，丁一，李小伟. 2013. 西秦岭夏河花岗岩的地球化学、年代学及地质意义. 岩石学报，29(11)：3981～3992.
吴福元，李献华，杨进辉，郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报，23(6)：1217～1238.
徐学义，李婷，陈隽璐，李平. 2012. 西秦岭西段花岗岩浆作用与成矿. 西北地质，45(4)：76～82.
徐学义，陈隽璐，高婷，李平，李婷. 2014. 西秦岭北缘花岗质岩浆作用及构造演化. 岩石学报，30(2)：371～389.
许志琴，杨经绥，李海兵，姚建新. 2006. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成. 地质学报，80(12)：1793～1806.
许志琴，杨经绥，李海兵，张建新，吴才来. 2007. 造山的高原——青藏高原地体的拼合、碰撞造山及隆升机制. 北京：地质出版社：1～458.
闫臻，王宗起，李继亮，许志琴，邓晋福. 2012. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程. 岩石学报，28(6)：1808～1828.
杨经绥，王希斌，史仁灯，许志琴，吴才来. 2004. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩：一个被肢解了的古特提斯洋壳. 中国地质，31(3)：225～236.
杨阳，王晓霞，柯昌辉，王顺安，李金宝，聂政融，吕星球. 2015. 西秦岭碌础坝岩体的锆石U-Pb年龄、成因及其地质意义. 地质学报，89(10)：1735～1761.
杨张张，李四龙，杨强晟，刘旭鹏，商鹏飞. 2016. 青海德令哈石底泉辉长岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地质意义. 地质论评，62(4)：1081～1091.
杨拴海，李瑞保，王伟峰，魏立勇，李飞，刘满年，赵长存，董俊超. 2015. 西秦岭西段曲如沟花岗闪长岩年代学、地球化学特征及构造意义研究. 西北地质，48(2)：57～72.
殷鸿福，张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点. 地球科学——中

国地质大学学报，23(5)：438～442.
殷勇，殷先明. 2009. 西秦岭北缘与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的斑岩型铜-钼-金成矿作用. 岩石学报，25(5)：1239～1252.
张国伟，柳小明. 1998. 关于"中央造山带"几个问题的思考. 地球科学——中国地质大学学报，2(5)：443～448.
张国伟，郭安林，姚安平. 2004. 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，Nigel Harris，周炼，胡圣虹，张本仁. 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，陈岳龙，徐旺春，刘荣，袁洪林，柳小明. 2006. 青海共和盆地周缘印支期花岗岩类的成因及其构造意义. 岩石学报，22(12)：2910～2922.
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.
张涛，张德会，杨兵. 2014. 青海岗察岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报，30(9)：2739～2748.
张涛，张德会，杨兵，张辉，喻晓. 2015. 青海同仁县江里沟斑岩－矽卡岩型铜钨钼矿床辉钼矿 Re－Os 同位素年龄及其成矿意义. 地质学报，89(2)：355～364.
张克信，朱云海，林启祥，寇晓虎，樊光明，陈奋宁，罗根明. 2007. 青海同仁地区隆务峡地区首次发现镁铁质-超镁铁质岩带. 地质通报，28(1)：63～71.
张照伟，李文渊，王亚磊，钱兵，李侃，张江伟，高永宝，郭周平，尤敏鑫. 2015. 南祁连化隆地区镁铁－超镁铁质侵入岩地质、地球化学特征与铜镍成矿. 地质学报，89(3)：632～644.
赵振华，熊小林，王强，乔玉楼. 2008. 铌与钽的某些地球化学问题. 地球化学，37(4)：304～320.
郑永飞，杨进辉，宋述光，陈伊翔. 2013. 化学地球动力学研究进展. 矿物岩石地球化学通报，32(1)：1～24.

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Dangjiasi Granitic Complex in the Qinghai Nanshan Tectonic Zone, and Its Geological Implications

ZHANG Yongming[1,2], PEI Xianzhi[1], LI Zuochen[1], LI Ruibao[1], LIU Chengjun[1], PEI Lei[3], CHEN Youxin[1], CHEN Guochao[1,4], WANG Meng[1], LIN Guangchun[1]

1) *Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Key Laboratory for the study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Faculty of Earth Science and Resources Chang'an University, Xi'an*, 710054;
2) *Faculty of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong*, 255049;
3) *China University of Geosciences, Beijing*, 100083;　4) *Nanyang Institutte of Technology, Nanyang, Henan*, 473000

Abstract

An NW-SE trending Indosinian granitoide belt occurs within the Qinghai Nanshan tectonic zone, and the study of this granite zone has great scientific significance for investigating the transitional relation between the West Qinling and the Qilian orogenic belts in Paleozoic Tethys evolution stage. The Dangjiasi granitic complex consists dominantly of granodiorite pluton and monzogranite pluton. In this paper, a detailed study for the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, petrology and geochemistry characteristics was carried out for the Dangjiasi granitic complex. The results show that the crystallization ages of the Dangjiasi granodiorite and monzogranite are 240.1±2.1 Ma and 241.0±2.6 Ma, respectively, belonging to the Middle Triassic. The whole rock geochemical data show that the Dangjiasi granitic complex is relatively rich in SiO_2 (66.37%～73.99%) and K_2O (3.37%～4.73%), suggesting that the granitic rocks are metaluminous to weak peraluminous high-K calc-alkaline I-type granite. The rocks are enriched in LREE and depleted in HREE. The REE patterns show rightward incline and moderate negative Eu anomaly (δEu=0.32～0.64). The trace element geochemistry is evidently characterized by positive anomaly of LILE(e.g. Cs, Rb, K) and negative anomaly of HFSE(e.g. Nb, Ta, P, Ti). The Dangjiasi grantic complex originated mainly from the partial melting of lower crustal basic rocks, with minor mantle-derived component. In combination with analyses of regional geological setting, we suggest that the Dangjiasi granitic complex was formed in the stage of the southward subduction of the Zongwulong Oceanic crust.

Key words: Qinghai Nanshan; northern margin of West Qinling; Dangjiasi granitic complex; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; geochemistry; tectonic setting