

北秦岭二郎坪群抱树坪组沉积时代 与构造环境



翟文建^{1,2,3)}, 张永⁴⁾, 唐国胜^{1,2,3)}, 赵焕^{1,2)}, 翟文芳^{1,2)}

www.
geojournals.cn/georev

1) 河南省地质研究院, 郑州, 450016;

2) 地质过程与矿产资源国家重点实验室河南技术联合研发和示范中心, 郑州, 450016;

3) 河南省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 郑州, 450001;

4) 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170

内容提要:二郎坪群抱树坪组作为北秦岭早古生代重要的沉积记录,其研究程度较低。本文通过对抱树坪组内火山岩夹层和花岗斑岩脉进行岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 测年研究,旨在进一步确定其沉积时代与构造环境。研究表明:豫西夏馆地区抱树坪组火山岩夹层已变质为(黑云)阳起钠长片岩,常与黑云石英片岩呈“互层状”产出;岩石原岩为安山质凝灰岩,具有相对低的 SiO_2 (52.56%~62.04%)、较高的 Al_2O_3 (10.70%~18.55%)、低的 MgO (4.06%~6.21%) 和 FeO^T/MgO (1.23~1.81),富集轻稀土元素和大离子亲石元素 Rb、Th、U、K,相对亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti,具镁安山质岩石的特点;结合地球化学特征及前人研究认为,抱树坪组可能形成于活动陆缘弧后盆地。获得黑云阳起钠长片岩原岩的结晶锆石 U-Pb 年龄为 446.0 ± 1.7 Ma,以及侵入其中花岗斑岩脉的成岩年龄为 430.0 ± 3.0 Ma,首次将抱树坪组的形成时代准确地限定为晚奥陶世至早志留世。综合区域研究成果认为,小寨组和抱树坪组在地层层序和地层时代上符合广义二郎坪群的划分方案,但大庙组、火神庙组及由小寨组和抱树坪组构成的整体三者形成时代上表现为近于同时性,在空间上主体呈现近平行关系,可能主体属时代大体相当的不同沉积环境的产物;在大地构造属性方面,认为二郎坪群是在约 470 Ma 之前由于商丹洋向北俯冲而形成的火山岛弧,在 470~436 Ma 转化为弧后盆地,至约 430 Ma 之前最终完成消减闭合。

关键词:二郎坪群;抱树坪组;火山岩;晚奥陶世—早志留世;火山岛弧—弧后盆地

二郎坪群最初由金守文于 1976 年在西峡县二郎坪乡创名(李采一等,1990),原指西峡、卢氏一带一套细碧—角斑岩系,根据地层层序自下而上划分为二进沟组、大庙组和火神庙组,产 *Protoleiosphaeridium* sp., *Stenomarginata* sp., *Pseudozonosphaera* sp., *Lignum nematoideum*, *Zonosphaeridium* sp., *Asperatopsophosphaera bavlensis*, *Laminarites antiquissimus* 等微古植物化石(河南省地质局区测队^①),时代归属为早震旦世(金守文,1985;李采一等,1990;安三元等,1993;姜常义等,1995)。1981 年,河南省区域地质调查队在《1:50 万河南省地质图说明书》中将其延伸为广义二郎坪群,将二进沟组并入大庙组,将火神庙组之上的小寨组和抱树坪组合称小寨组,一起归入二郎坪群,自下

而上划分为大庙组、火神庙组和小寨组,因大庙组内较为丰富的微古植物化石组合面貌相当于中元古界(金守文,1985),故将二郎坪群的时代归属中元古代。1993 年,河南省区域地质调查队在《河南 1:5 万寨根等四幅区调报告》中沿用广义二郎坪群,将小寨组再次拆分为小寨组和抱树坪组,自下而上划分为大庙组、火神庙组、小寨组和抱树坪组,在西峡二郎坪、内乡湍源、夏馆北、南召青山等地火神庙组、大庙组硅质岩和大理岩中首次采获大量寒武纪—志留纪的硅放射虫目、海百合纲、珊瑚纲、腹足纲、头足纲等化石(Wang Naiwen, 1989;李采一等,1990;劳子强,1991;安三元等,1993),将地层时代归属为早古生代。2002 年,河南省地质调查院^②在《1:25 万内乡县幅区调报告》中沿用上述划分方案,并认为

注:本文为中国地质调查局项目“河南 1:5 万二郎坪幅等三幅区域地质矿产调查(No. DD20160043-03)”和河南省地质研究院科研项目“郑州市、洛阳市、三门峡市地质图动态更新(No. 2023-901-XM002-KT01)”的成果。

收稿日期:2023-08-08;改回日期:2023-09-27;网络首发:2023-12-20;责任编辑:李明,章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2023.12.032

作者简介:翟文建,男,1983 年生,硕士,主要从事区域地质调查研究;Email:zhaiwenjian@163.com。通讯作者:张永,男,1983 年生,硕士,主要从事区域地质调查研究;Email:278377324@qq.com。

从大庙组到抱树坪组总体表现为沉积—喷发—沉积—喷发的连续演化特征;至此,该命名被广泛接受(河南省地质调查院^③;高联达等,2006;汤清龙等,2010;赵姣等,2012;杨士杰等,2015;欧伟程等,2022)。

自刘文荣等(1989)首次提出二郎坪蛇绿岩的认识后,众多学者从不同侧面否定二郎坪群具地层学“群”的含义,认为是一构造地层单元,并称为二郎坪杂岩,是由不同剪切带链接起来的由物质组成不同、变质级别各异的构造岩片堆垛而成(孙勇等,1996;李亚林等,1998;张宏远,2006;杨敏等,2016),主体由南、北部碎屑岩片和中部蛇绿岩片(李亚林等,1998;杨敏等,2016)或二进沟岩片、火神庙岩片和抱树坪岩片(闫全人等,2009;张宏远,2006)或大庙岩片、二郎坪蛇绿岩片和小寨组岩片(孙勇等,1996)组成。有关二郎坪群形成于早古生代的认识已趋于一致(李采一等,1990;劳子强,1991;王学仁等,1995;陆松年等,2003;Dong Yunpeng et al., 2011a;赵姣等,2012;杨敏等,2016),但依据中奥陶世珠角石和螺类(李采一等,1990)、寒武纪—奥陶纪牙形石类和放射虫类(劳子强,1991;王学仁等,1995)、志留纪床板珊瑚(劳子强,1991)等化石资料二郎坪群内火山岩(443~517 Ma)(陆松年等,2003;闫全人等,2007;Dong Yunpeng et al., 2011a;孙勇等,1996;赵姣,2012;苏文等,2013)及侵入其中的中基性至中酸性岩体(435~496 Ma)(王锦等,2012;苏文等,2013;李名则等,2014;杨士杰等,2015;翟文建等,2020)等的结晶锆石 U-Pb 测年数据显示其形成时代主体为寒武纪至志留纪,甚至延伸至晚古生代中泥盆世(高联达等,2006),时代跨度较大。且有关二郎坪群大地构造属性方面的研究还存在分歧认识。前人依据二郎坪群内细碧岩—角斑岩系岩石组合(赵姣等,2012;胡畔,2016;杨敏等,2016)、N-MORB 玄武岩和辉绿岩(孙勇等,1996)、E-MORB 细碧岩(杨荣勇等,1995)和大陆—远洋盆地硅质岩(冯胜斌等,2007)等认为其形成于弧后盆地(张国伟等,1995;Dong Yunpeng et al., 2011a;赵姣等,2012;胡畔,2016;杨敏等,2016);或发育具弧火山岩性质的钙碱性玄武岩、玄武安山岩和安山岩,而将其归属为岛弧环境成因(Xue et al., 1996;陆松年等,2003;Wang Hao et al., 2011;Wu Yuanbao et al., 2013);或火神庙组“双层楼式”地层结构显示其兼具岛弧—弧后盆地演化特征(翟文建等,2020)。由此可见,以上有关二郎坪群在地层划分、

时代归属和构造背景等方面的分歧认识可直接影响到北秦岭造山带早古生代时期的构造演化格局。

目前,二郎坪群的已有研究主要集中于火神庙组火山岩(王铭生等,1997;陆松年等,2003;闫全人等,2007;Dong Yunpeng et al., 2011b;赵姣等,2012;李振强等,2021)和少量碎屑岩(王学仁等,1995;高联达等,2006)、大庙组碳酸盐岩(Wang Naiwen, 1989;李采一等,1990;劳子强,1991;安三元等,1993)和碎屑岩(劳子强,1991;王学仁等,1995)、小寨组碎屑岩(刘文荣等,1989;刘国惠等,1993;杨敏等,2016),以及侵入各组的中基性(苏文等,2013;李名则等,2014;翟文建等,2020)至酸性岩体(郭彩莲等,2011;李胜利等,2012;王锦等,2012;赵姣等,2012;苏文等,2013;杨士杰等,2015;Hu Pan et al., 2019;李振强等,2021)等,而抱树坪组主体为一套碎屑岩石组合,岩石组合较简单(河南省地质调查院^③),对其关注相对较少。因此,本文选取抱树坪组内火山岩夹层和侵入其中的花岗斑岩脉为研究对象,通过开展岩石学、地球化学及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析,以期获得抱树坪组的形成时代及形成构造背景,为北秦岭造山带早古生代的构造演化提供新的约束资料。

1 区域地质背景

秦岭造山带系中国大陆中央造山带(系)的主要组成部分,由两个主缝合带(商(南)—丹(凤)缝合带和勉(县)—略(阳)缝合带)和北秦岭(及华北克拉通南缘)、扬子克拉通北缘及二者间的中秦岭地块组成(Meng Qingren et al., 2000;张国伟等,2001)。其中北秦岭造山带位于商-丹断裂带与洛南—栾川断裂带之间(图 1a),是秦岭造山带中变形变质、岩浆活动最为强烈的地带(张国伟等,1995, 2001;李运冬,2018),地层单元主要由秦岭岩群、丹凤岩群、宽坪岩群和二郎坪群组成,相邻岩群之间以大型剪切带或断裂带接触,相互叠置呈 NW 向展布(赵姣等,2012),构成北秦岭造山带的主体构造线(第五春荣等,2010)。宽坪岩群出露于北秦岭造山带的最北端,为一套高绿片岩相—角闪岩相的中浅变质岩系,由基性火山岩(绿片岩)—变质碎屑岩(各种片岩)—碳酸盐岩夹碎屑岩(大理岩、片岩)组成,形成时代为元古代(张宗清等,1995;李靠社,2002;何世平等,2007;高胜等,2014);但最新研究认为是由形成于不同时代、不同构造背景的岩石单元通过构造作用混杂叠置而成的混杂地层单位(第五

春荣等,2010;李承东等,2018),主体很可能形成于早古生代(高胜等,2014;李承东等,2018)。秦岭岩群构成北秦岭造山带的主体,是最古老的前寒武纪

结晶基底,主要由各种片麻岩、石英(片)岩、斜长角闪岩、大理岩和钙硅酸岩组成,形成于古元古代(张宗清等,1994;王振东等,1995)或中元古代—新元

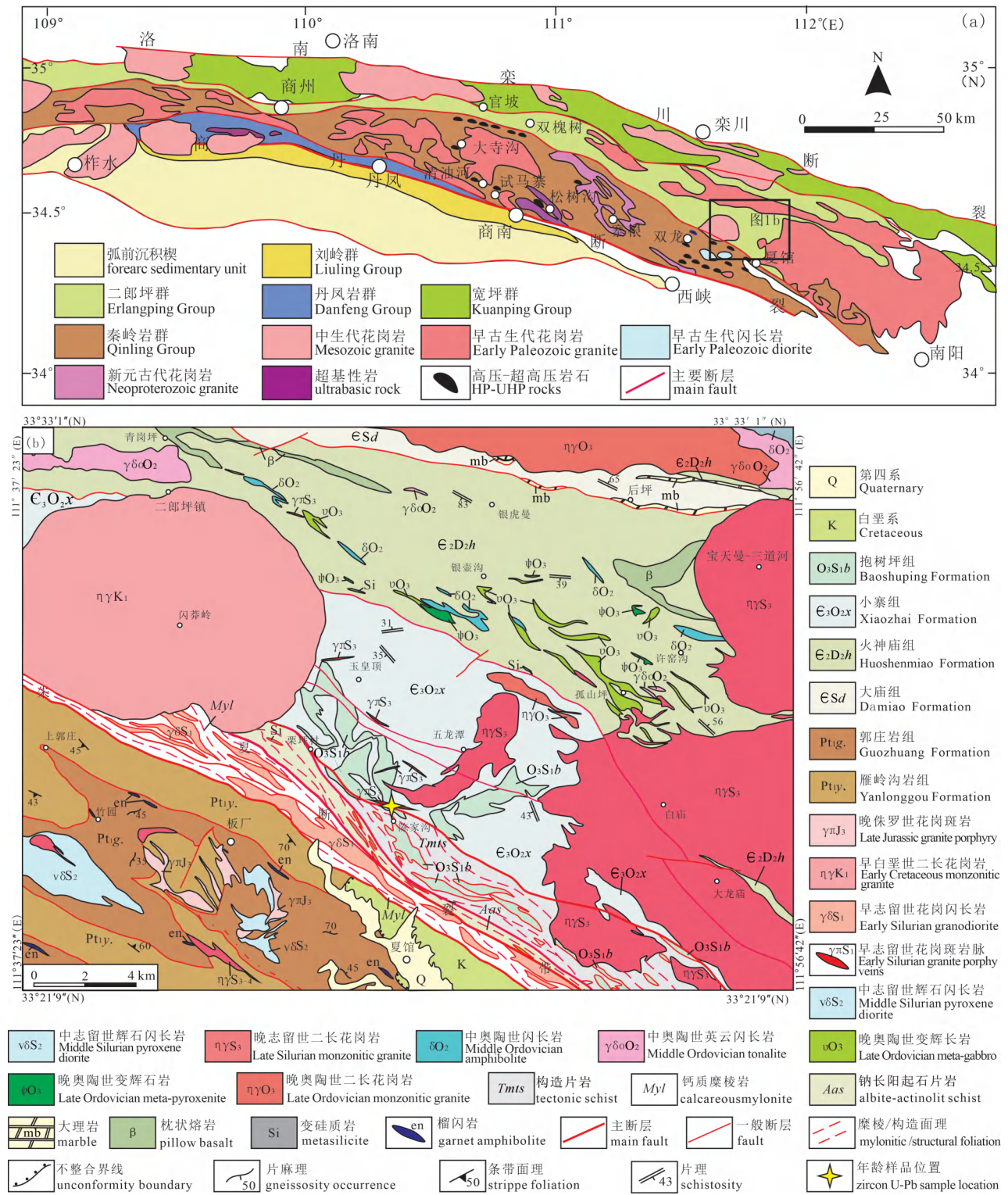


图 1 北秦岭构造地质简图(a)和北秦岭西峡二郎坪—内乡夏馆地区地质略图(b)

Fig. 1 Sketch geological—tectonic maps of the northern Qinling Mountains(a) and geological map of Erlangping, Xixia—Xiaguan, Neixiang aera (b)

古代(时毓等,2009;万渝生等,2011;Wang Hao et al.,2013)。近30年来,基础地质研究方面取得最突破的进展就是在秦岭岩群中相继发现呈面状展布的诸如含柯石英/金刚石榴辉岩(胡能高等,1994;杨经绥等,2002;刘良等,2013)、榴闪岩(唐欢等,2017;翟文建等,2019)、石榴辉石岩(苏犁等,2004)、含柯石英斜长角闪岩(宫相宽等,2016)、高压麻粒岩(Liu Liang et al.,1994)等多种高压—超高压岩石(陈丹玲等,2011;刘良等,2013),原岩形成于新元古代,后期经历了~500 Ma 的峰期变质作用及~450 Ma 和/或~420 Ma 的退变质过程(刘良等,2013)。丹凤岩群发育于北秦岭造山带的最南端,主要由成生于古生代的 N-MORB 和 E-MORB 型蛇绿岩(Dong Yunpeng et al.,2011a,2011b)和形成于洋内岛弧的火山—沉积岩组成,普遍经历绿片岩相—低角闪岩相变质作用,形成于新元古代—早古生代(裴先治等,2001;Dong Yunpeng et al.,2011a)。

二郎坪群则夹持于秦岭岩群和宽坪岩群之间(图1a),区域上出露于河南的汤河、二郎坪乡、夏馆北、桐柏大河镇、信阳和周党一带,向西延伸至陕西境内,分别与云架山群、斜峪关群及草滩沟群相连(翟文建等,2020),空间上构成一呈东宽西窄的楔形体夹持于瓦穴子—乔端断裂与朱阳关—夏馆断裂之间(燕长海等,2008),上部被上三叠统五里川组不整合覆盖。二郎坪群属一套海相火山—沉积建造(徐勇航等,2009),主体由变质火山岩、变质碎屑岩和大理岩等组成(翟文建等,2020),总体以低压连续变质为特色,普遍经历了低绿片岩相—角闪岩相的变质作用(赵姣等,2012)。地层单元自下而上划分为大庙组、火神庙组、小寨组和抱树坪组(河南省地质调查院^②;汤清龙等,2010)。其中大庙组为一套变质碎屑岩、碳酸盐岩沉积建造,寒武纪至志留纪化石较丰富(Wang Naiwen,1989;李采一等,1990;劳子强,1991;王学仁等,1995)。火神庙组为一套变细碧—石英角斑岩建造,主要岩性以变细碧岩、变细碧玢岩、变石英角斑岩、角斑岩为主夹中酸性凝灰岩、凝灰质熔岩和变硅质岩,属一套弧后盆地型的蛇绿岩组合或形成于洋内岛弧环境(孙卫东等,1996;孙勇等,1996;张国伟等,2001;赵姣等,2012)。最新成果显示火神庙组具“双层楼式”地层结构(翟文建等,2020),岛弧型蛇绿岩发育在火神庙组的下部,由一套多具 MORB 型性质的变基性火山岩构成(天津地质调查中心^④),伴生大量辉石岩、橄辉岩等镁

铁质堆积岩;而变细碧岩—石英角斑岩组合则发育在火神庙组的上部,主要岩性以变细碧(玢)岩、变石英角斑岩、变角斑岩为主,夹少量中酸性变凝灰岩、变凝灰质熔岩和变硅质岩,具双峰式火山岩组合特点(河南省地质调查院^②;天津地质调查中心^④),属弧后盆地扩张的标志产物(胡畔等,2016);先后获得的火神庙组火山岩和侵入体的年龄资料将其形成时代限定为早古生代(孙勇等,1996;孙卫东等,1996;王铭生等,1997;陆松年等,2003;闫全人等,2007;Dong Yunpeng et al.,2011a;赵姣等,2012)。小寨组和抱树坪组为一套盆地边缘沉积的类复理石建造,以泥质碎屑岩为主夹含中基性火山岩(杨士杰等,2015;翟文建等,2020)。其中小寨组岩性由以发育石榴石、红柱石、十字石和堇青石等富铝变质矿物为特征的云母石英片岩、变长石石英砂岩和变粉砂质板岩组成(刘文荣等,1989;刘国惠等,1993);抱树坪组则为以强变形的(石榴)黑云(少数为白云、绢云或二云)石英片岩、黑云斜长片岩夹斜长角闪质条带为主的低压中温变质岩系(张宏远等,2009),原岩表现为砂泥岩与沉凝灰岩组成的不等厚互层状韵律性沉积组合(汤清龙等,2010),其成熟度较低,显示快速剥蚀、近距离搬运沉积的物源演化特征(李亚林等,1998,1999)。区域上对小寨组和抱树坪组的形成时代研究相对薄弱,部分学者认为是与火神庙组时代大体相当的不同构造环境的产物(刘文荣等,1989),或局部或稍早于火神庙组,并获得变泥质碎屑岩最大沉积年龄为 500 ± 7 Ma(杨敏等,2016)。

2 样品特征及分析方法

2.1 样品特征

本文分别在黑云阳起钠长片岩和侵入其中的花岗斑岩岩脉中各采集了一个年龄样品(样号分别是 Y1494/1 和 Y1494/3),在黑云阳起钠长片岩中采集了 5 个地球化学样品(样号 Y1494/1、Y1494/2、Y340/25-1、Y340/28-1 和 Y340/34-1)。Y1494/1 样品和 Y1494/3 样品采集于内乡县夏馆镇陈家沟公路边,地理坐标为 $33^{\circ}25'2''N$, $111^{\circ}46'26''E$ 。其中 Y1494/1 样品取自抱树坪组(图 2a、b),岩性为黑云阳起钠长片岩,与抱树坪组灰色黑云石英片岩呈夹层状赋存、“互层状”产出,层理与片理近一致,即 S_0/S_1 (图 2c);黑云阳起钠长片岩单层厚 1~5 cm,局部达 10~30 cm,分布不均匀,占抱树坪组岩石总量的 10%~30%。样品呈灰绿色,具鳞片粒状变晶

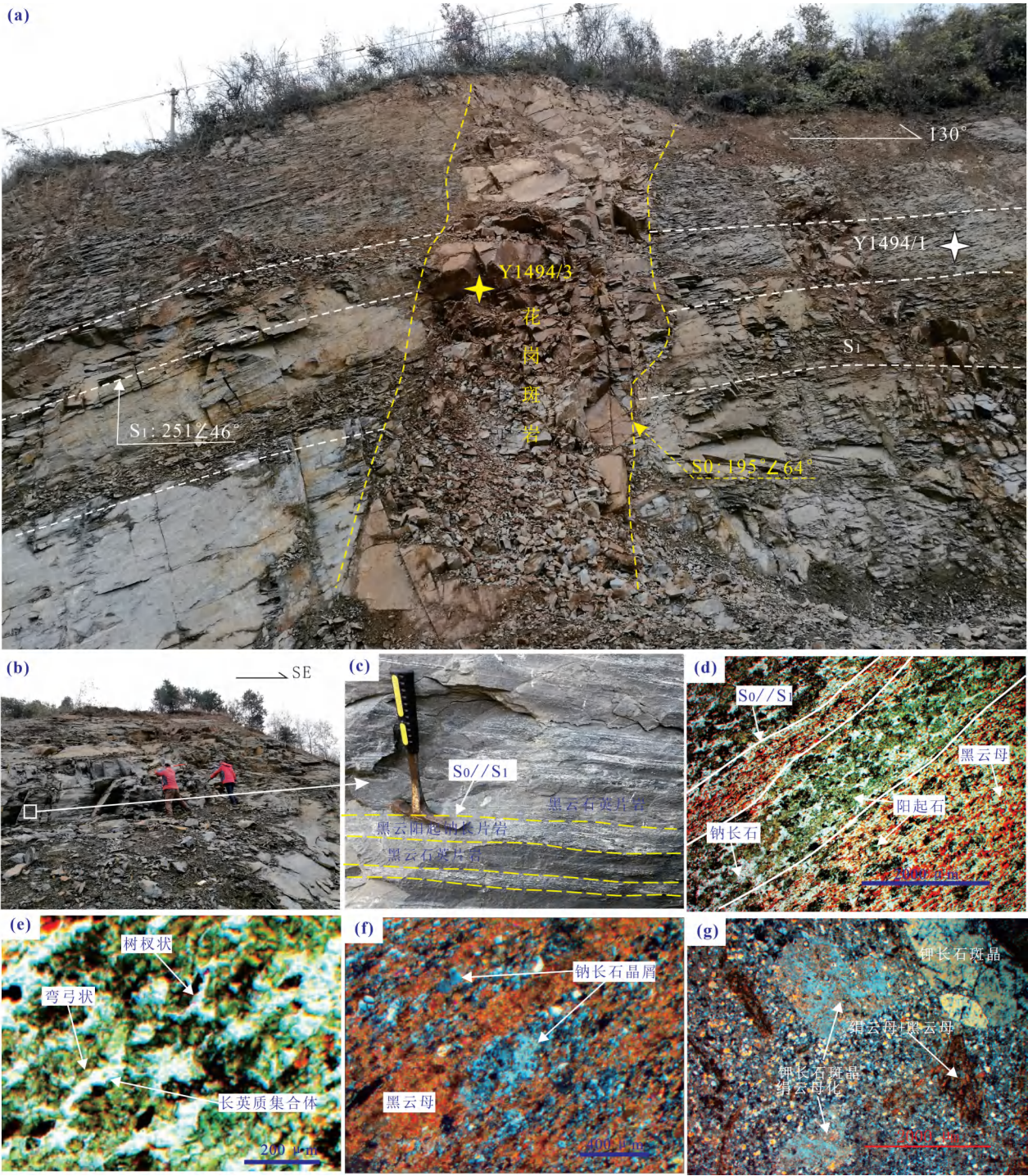


图 2 豫西内乡县夏馆镇陈家沟 Y1494/1 和 Y1494/3 样品野外露头 and 显微照片

Fig. 2 Outcrop and photomicrographs of sample Y1494/1 and Y1494/3 in Chenjiagou area, Xiaguan Town, Neixiang County
(a) Granite veins invaded the Baoshuping Formation, and sample location; (b) photograph of the Baoshuping Formation in the field outcrop; (c) the thin-striped, thin-bedded biotite actinolite sodium schist; (d) the sample Y1494/1 has a layered structure, and the bedding occurrence is consistent with the schistosity occurrence (cross-polarized); (e) the vitric fragments in sample Y1494/1 retain early curved and branched shapes (single-polarized); (f) occasional crystal fragments of albite can be observed in sample Y1494/1 (cross-polarized); (g) blastoporphyritic texture in granite porphy, and granular—hypidiomorphic granular texture in matrix of granite porphy

结构,局部可见变余凝灰结构,层状一片状构造(图 2d),成分由钠长石(50%±)、阳起石(25%±)、黑云母(15%±)、石英(10%±)及少量楣石组成,浅色矿物粒径 0.02~0.10 mm,暗色矿物粒径 0.1~0.3 mm;微观下由于变质重结晶现象普遍发育,玻屑大多已脱玻化形成微粒长英质矿物集合体,但局部保留早期弯弓状、树杈状和棒状形态(图 2e);少量晶屑偶见,由钠长石和石英组成(图 2f),粒径 0.1~0.2 mm,以次棱角状为主。

Y1494/3 样品取自花岗斑岩脉(图 2a),该岩脉近东西走向,切割区域片理,侵入抱树坪组一套黑云石英片岩夹(黑云)阳起钠长片岩内,与围岩接触界面较截然,接触面产状 S_0 为 $195^{\circ}\angle 64^{\circ}$,脉宽约 5

m,延伸大于 50 m。岩石呈灰白色,组成矿物长石多被鳞片状绢云母及片状黑云母不完全交代,形成变余斑状结构(图 2g),变余半自形粒状结构,具弱片麻一块状构造。斑晶为钾长石和石英,其中钾长石斑晶呈半自形板柱状,粒径 1.2~4.0 mm,含量 10%~15%;石英斑晶含量小于 5%,粒状,粒径 0.6~2.8 mm,杂乱分布。基质矿物由微粒状长石和石英组成,粒径 0.05~0.15 mm,弱定向分布。

2.2 分析方法

主量、稀土和微量元素分析由湖北省地质实验测试中心完成。挑选的样品新鲜,但微弱蚀变,共计 5 件样品(表 1),岩性为(黑云)阳起钠长片岩;主量元素分析采用 Magix_pro2440 型 X 荧光光谱仪玻璃

表 1 内乡县夏馆镇陈家沟抱树坪组阳起钠长片岩主量元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table 1 Major(%) and trace elements($\times 10^{-6}$) data for actinolite sodium schist of Baoshuping Formation in Chenjiagou area, Xiaguan Town, Neixiang County

样号	Y1494/1	Y1494/2	Y340/ 25-1	Y340/ 28-1	Y340/ 34-1	样号	Y1494/1	Y1494/2	Y340/ 25-1	Y340/ 28-1	Y340/ 34-1
岩性	黑云阳起 钠长片岩	黑云阳起 钠长片岩	阳起 钠长片岩	黑云阳起 钠长片岩	阳起 钠长片岩	岩性	黑云阳起 钠长片岩	黑云阳起 钠长片岩	阳起钠长 片岩	黑云阳起 钠长片岩	阳起 钠长片岩
SiO ₂	52.56	57.27	53.73	62.04	59.17	Th	12.24	9.51	10.38	9.18	9.37
TiO ₂	0.98	0.75	0.72	0.93	0.89	U	2.64	2.89	2.42	2.09	2.69
Al ₂ O ₃	18.55	10.70	18.40	14.89	13.99	Ba	1041.85	468.88	855.92	682.87	114.49
Fe ₂ O ₃	0.75	1.01	1.58	2.01	2.61	Cr	147.57	132.55	80.50	133.20	151.00
FeO	7.13	4.08	6.62	4.92	6.08	Ni	94.67	55.72	51.65	58.05	57.11
MnO	0.06	0.15	0.07	0.07	0.25	Sr	183.35	503.68	319.49	379.67	241.85
MgO	6.21	4.06	5.60	4.34	4.67	V	167.94	108.52	213.47	151.78	156.04
CaO	2.21	17.17	2.41	2.75	8.28	Sn	3.05	3.28	2.23	2.26	2.44
Na ₂ O	4.39	1.39	3.46	3.37	2.04	La	27.83	28.80	30.10	31.19	37.87
K ₂ O	4.24	1.21	4.80	2.79	0.32	Ce	56.81	54.09	56.94	57.57	67.48
P ₂ O ₅	0.26	0.29	0.33	0.23	0.24	Pr	6.94	6.93	7.15	7.28	8.39
烧失量	1.64	1.24	1.23	0.82	0.59	Nd	27.80	27.83	26.94	26.88	31.28
总量	98.98	99.32	98.95	99.16	99.13	Sm	5.22	5.75	5.74	5.52	6.27
Mg [#]	58.65	59.19	55.38	53.48	49.69	Eu	1.19	1.23	1.22	1.35	1.98
FeO ^T	7.80	4.99	8.04	6.73	8.43	Gd	4.60	5.63	5.28	5.27	5.73
FeO ^T /MgO	1.26	1.23	1.44	1.55	1.80	Tb	0.71	0.94	0.79	0.82	0.88
Sc	19.91	13.18	24.03	23.32	22.02	Dy	3.98	5.58	4.64	4.65	5.28
Li	64.53	5.89	71.03	61.08	14.23	Ho	0.77	1.06	0.92	0.91	1.10
Be	2.24	1.30	2.23	1.66	1.42	Er	2.12	3.06	2.43	2.60	3.26
Co	31.38	14.77	24.84	24.84	22.17	Tm	0.31	0.46	0.35	0.37	0.51
Ga	23.28	11.64	20.90	15.75	16.23	Yb	1.96	2.87	2.16	2.26	3.29
Rb	143.37	28.85	170.90	95.61	13.04	Lu	0.30	0.45	0.33	0.34	0.52
Zr	164.60	144.60	102.53	151.87	154.85	Y	20.40	28.62	24.24	24.98	30.46
Nb	15.45	10.17	6.88	10.88	9.73	Th/Ta	4.9	16.1	13.3	9.6	10.4
Mo	0.23	0.40	0.71	0.39	0.18	ΣREE	140.53	144.69	145.00	147.02	173.85
Cs	10.57	3.50	22.71	19.56	2.37	LREE/HREE	8.54	6.22	7.58	7.54	7.45
Hf	4.60	4.10	2.24	3.87	4.21	(La/Yb) _N	10.19	7.20	10.02	9.88	8.25
Ta	2.52	0.59	0.78	0.96	0.90	δEu	0.74	0.66	0.68	0.76	1.01
W	2.20	1.78	2.40	1.53	6.69	δCe	1.00	0.94	0.95	0.94	0.93

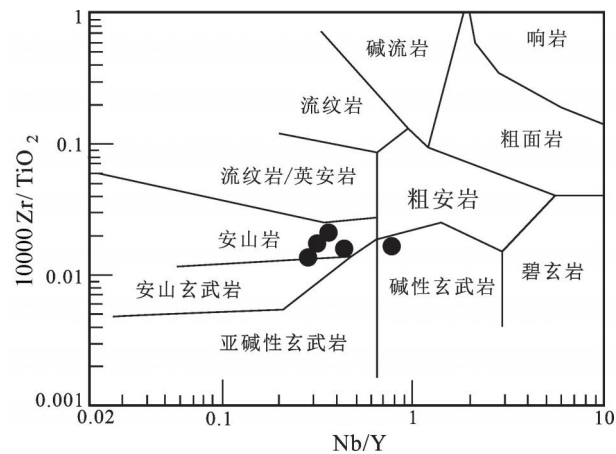


图 3 夏馆镇陈家沟抱树坪组阳起钠长片岩 Zr/TiO_2 — Nb/Y 图解 (据 Winchester et al., 1977)

Fig. 3 Zr/TiO_2 — Nb/Y diagram for actinolite sodium schist of Baoshuping Formation in Chenjiagou area, Xiaguan Town (after Winchester et al., 1977)

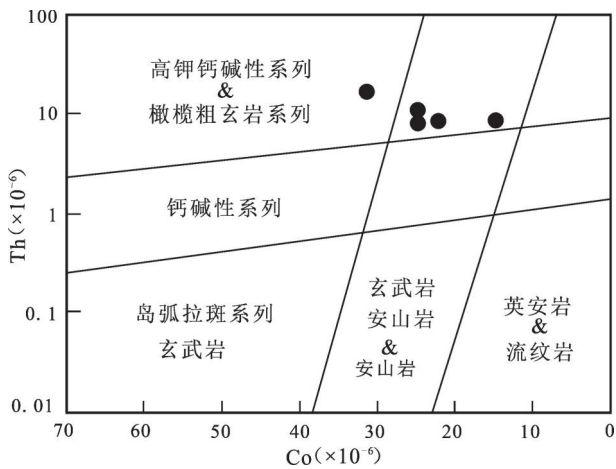


图 4 夏馆镇陈家沟抱树坪组阳起钠长片岩 $Th-Co$ 图解 (据 Hastie et al, 2007)

Fig. 4 $Th-Co$ diagram for actinolite sodium schist of the Baoshuping Formation in Chenjiagou area, Xiaguan Town (after Hastie et al, 2007)

熔片 (XRF) 法测定; 稀土元素和微量元素分析分别采用 X2 型和 ICAP6300 型电感耦合等离子体质谱法测定。测试分析误差一般小于 5%, 结果见表 1。

锆石的挑选由河北省廊坊区域地质调查研究所完成。在天津地质调查中心同位素实验室内使用锆石 U-Pb 同位素进行测试分析, 所用激光烧蚀多接收器等离子质谱设备由美国 ESI 公司的 NEW WAVE 193 nm FX 激光器和美国赛默飞世尔公司的 NEPTUNE 多接收器等离子质谱组成, 激光束斑直径

为 30 μm , 激光剥蚀样品的深度为 40 μm , 能量密度为 13~14 J/cm^3 , 频率为 8~10 Hz。激光剥蚀物质以 He 为载气送到 Neptune (MC-ICP-SM) 中。同位素比值和元素计算采用 ICPMSDataCal [ver5. 6, 中国地质大学(武汉)] 程序, 以标准锆石 TEM 为外标进行同位素比值校正; 元素浓度采用 NIST610 作外标, ^{29}Si 作内标来计算, 年龄计算和谐和图的绘制用 Isoplot (ver2. 49) 完成。本次对 Y1494/1 样品和 Y1494/3 样品分别选取 100 粒锆石和 27 粒锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析, 分析结果见表 2、3。

3 分析结果

3.1 火山岩夹层地球化学特征

5 件 (黑云) 阳起钠长片岩样品的 SiO_2 含量在 52.56%~62.04% 之间, 平均值为 56.95%; Al_2O_3 含量在 10.70%~18.55% 之间, 平均值为 15.31%; FeO^T 含量在 4.66%~8.43% 之间, 平均值为 7.20%。样品具有较高的 K_2O 含量 (0.32%~4.80%, 均值 2.67%)、 MgO 含量 (4.06%~6.21%, 均值 4.98%) 和 $Mg^{\#}$ 值 (49.69~59.19, 均值 55.28), 以及较低的 TiO_2 含量 (0.72%~0.98%, 均值 0.85%) 和 FeO^T/MgO (值在 1.23~1.80); 在 Zr/TiO_2 — Nb/Y 判别图解中除 1 件样品落入碱性玄武岩区, 其余 4 件样品均投入安山岩区 (图 3); 在 $Co-Th$ 图解中 5 件样品均投入了高钾钙碱性系列和橄榄粗玄岩系列区域 (图 4)。

微量元素方面, 样品 Ni 含量为 51.65×10^{-6} ~ 94.67×10^{-6} , Cr 含量为 80.50×10^{-6} ~ 151.00×10^{-6} , Sr 含量为 183.35×10^{-6} ~ 503.68×10^{-6} , Y 含量为 20.40×10^{-6} ~ 30.46×10^{-6} , Yb 含量为 1.96×10^{-6} ~ 3.29×10^{-6} , Sr/Y 值为 7.94~15.20, La/Yb 值为 10.03~14.20, 表现出高的 Ni、Cr, 中等的 Y、Yb 及低的 Sr、Sr/Y 和 La/Yb 值等特征。 ΣREE 为 140.53×10^{-6} ~ 173.85×10^{-6} , 在球粒陨石标准化的稀土配分曲线显示为右倾型, 表现出轻稀土元素 (LREE) 相对富集、重稀土元素 (HREE) 相对平坦的特征 (图 5a), LREE/HREE 为 6.22~8.54 (平均值为 7.46), $(La/Yb)_N = 7.20 \sim 10.19$ (平均值为 9.11)。样品 δEu 为 0.66~1.01, δCe 为 0.93~1.00, 表现为 Eu 的负异常至微弱的正异常, 以及 Ce 的负异常。在微量元素原始地幔标准化图解中 (图 5b), 大离子亲石元素 Rb、Th、U、K 相对富集, Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素相对亏损。

3.2 锆石特征和 U-Pb 定年结果

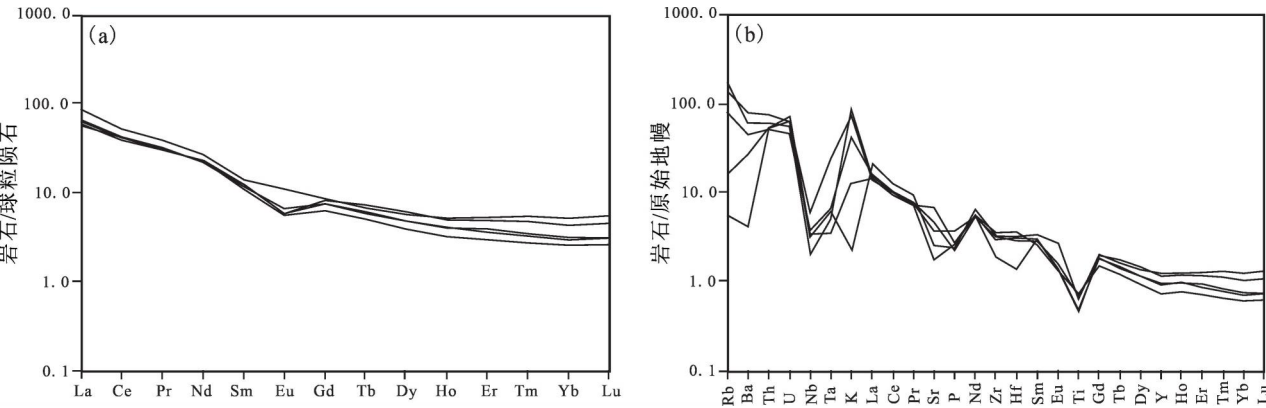


图 5 夏馆镇陈家沟抱树坪组阳起钠长片岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图 (a) (据 Boynton, 1984) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b) (据 Sun Xianshu et al., 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) (after Boynton, 1984) and primitive mantle-normalized spider diagram (b) (after Sun Xianshu et al., 1989) for actinolite sodium schist of the Baoshuping Formation in Chenjiagou area, Xiaguan Town

3.2.1 火山岩夹层——样品 Y1494/1

样品 Y1494/1 的锆石颗粒粒径为 80~120 μm , 个别达到 130~160 μm , 外形规则, 较自形, 阴极发光 (CL) 特征显示两种不同类型锆石 (图 6): 一类为岩浆结晶锆石, 锆石晶体较完整, 以短柱状自形晶为主, 长短轴比值为 1:1~2:1, 部分属长柱状自形晶, 长短轴比值可达 2.5:1~3:1, 除极少量锆石发育残留的核部结构外, 大部分锆石结构单一, 且所有锆石内部普遍发育密集震荡生长环带, 属于岩浆锆石结晶产物 (吴元保等, 2004)。该类锆石数量最多, 本次共分析测试 84 颗锆石, 其中除锆石 69 的

Th/U 值小于 0.1 外, 其余锆石的 Th/U 值变化于 0.20~1.60 之间, 与²⁰⁶Pb/²³⁸U 相关性整体较好 (图 7), 符合岩浆锆石特征。锆石 U-Pb 测年结果显示, 84 颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄值介于 429.2 $\pm$ 7.0 Ma~514.0 $\pm$ 7.7 Ma 之间 (表 2), 其中有 72 颗锆石在谐和曲线上集中分布形成浓集中心 (图 8a、b), 获得加权平均年龄为 446.0 $\pm$ 1.7 Ma (*MSWD*=0.26) (图 8c), 代表了火山岩夹层的成岩年龄。

另一类锆石占据少量, 共计 16 颗 (表 2)。锆石较自形, 以短柱状为主, 个别为锥状或长柱状, 约一半以上的锆石不具有完整的晶形, 在 CL 图像上锆

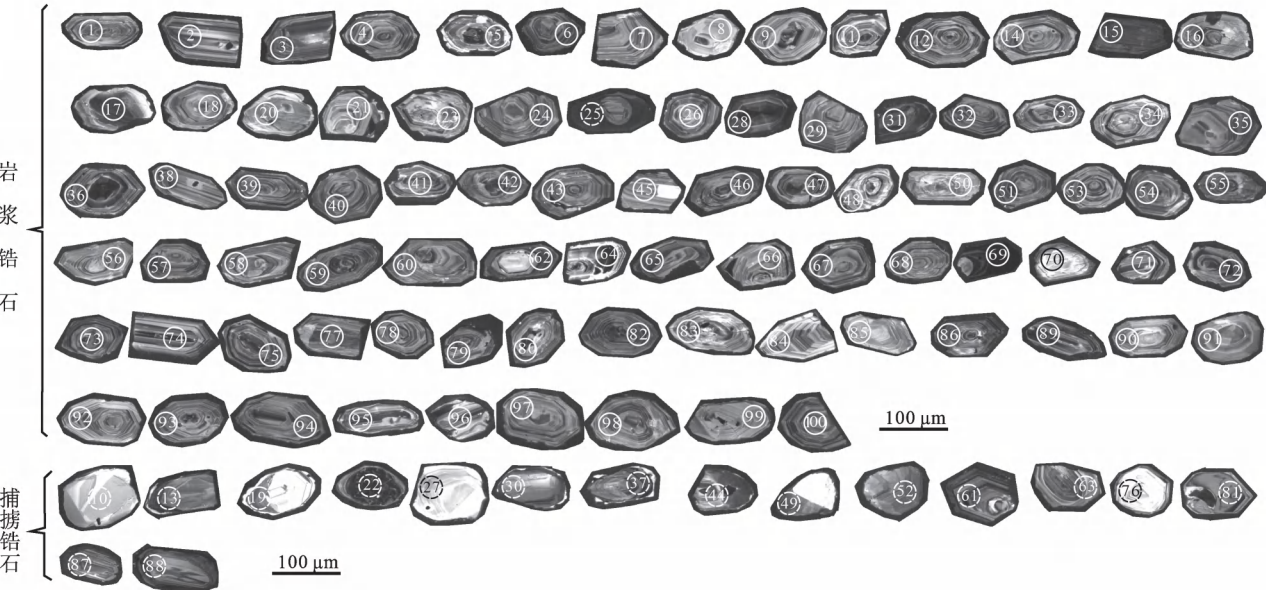


图 6 夏馆镇陈家沟 Y1494/1 样品的锆石阴极发光图像

Fig. 6 Cathodoluminescence images for zircon of sample Y1494/1 from Chenjiagou area, Xiaguan Town

表 2 内乡县夏馆镇陈家沟 Y1494/1 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for sample Y1494/1 in Chenjiagou area, Xiaguan Town, Neixiang County

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				同位素年龄(Ma)				谐和度 (%)				
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		测值	1 σ	测值	1 σ
样品 Y1494/1, 黑云阳起钠长片岩, 取自内乡县夏馆镇陈家沟公路边, 地理坐标为 E 111°46'26", N 33°25'2"																	
岩浆锆石																	
1	13.89	137.4	175.4	0.78	0.05714	0.00252	0.5596	0.0243	0.07102	0.00113	497.0	97.2	451.2	19.6	442.3	7.1	98
2	27.06	297.4	335.0	0.89	0.05584	0.00191	0.5493	0.0196	0.07135	0.00113	446.0	75.9	444.6	15.9	444.3	7.1	98
3	20.95	210.1	267.7	0.78	0.05610	0.00199	0.5485	0.0203	0.07091	0.00116	456.3	78.7	444.0	16.4	441.6	7.2	98
4	25.20	231.4	320.3	0.72	0.05643	0.00205	0.5603	0.0204	0.07201	0.00112	469.4	80.2	451.7	16.5	448.3	7.0	98
5	5.727	43.12	74.35	0.58	0.05585	0.00352	0.5436	0.0327	0.07059	0.00164	446.5	139.9	440.8	26.5	439.7	10.2	98
6	33.35	309.4	426.7	0.73	0.05601	0.00190	0.5507	0.0189	0.07131	0.00112	452.8	75.4	445.5	15.3	444.1	6.9	98
7	25.05	245.1	320.0	0.77	0.05663	0.00190	0.5518	0.0189	0.07067	0.00110	477.1	74.2	446.2	15.3	440.2	6.9	98
8	10.30	77.77	139.1	0.56	0.05702	0.00236	0.5541	0.0234	0.07047	0.00116	492.3	91.2	447.7	18.9	439.0	7.2	98
9	20.42	182.9	268.0	0.68	0.05656	0.00205	0.5511	0.0204	0.07067	0.00108	474.3	80.3	445.7	16.5	440.2	6.7	98
11	22.81	188.5	300.4	0.63	0.05694	0.00204	0.5592	0.0202	0.07122	0.00112	489.3	79.0	451.0	16.3	443.5	7.0	98
12	48.43	566.8	601.1	0.94	0.05482	0.00181	0.5366	0.0178	0.07099	0.00108	404.9	73.8	436.2	14.5	442.1	6.8	98
14	26.41	281.2	338.4	0.83	0.05701	0.00192	0.5533	0.0190	0.07038	0.00106	491.9	74.4	447.1	15.4	438.5	6.6	98
15	53.11	142.5	709.8	0.20	0.05804	0.00177	0.6224	0.0200	0.07778	0.00133	531.2	66.8	491.4	15.8	482.8	8.2	98
16	40.83	674.8	474.3	1.42	0.05604	0.00181	0.5407	0.0188	0.06998	0.00151	453.9	71.5	438.9	15.3	436.1	9.4	98
17	34.89	450.8	416.8	1.08	0.05553	0.00204	0.5465	0.0209	0.07138	0.00122	433.5	82.0	442.7	17.0	444.5	7.6	98
18	14.50	194.6	170.9	1.14	0.05631	0.00226	0.5537	0.0230	0.07132	0.00120	464.5	88.8	447.4	18.6	444.1	7.5	98
20	18.50	156.7	240.8	0.65	0.05587	0.00213	0.5513	0.0230	0.07156	0.00125	447.3	84.6	445.9	18.6	445.6	7.8	98
21	20.04	192.5	255.4	0.75	0.05683	0.00207	0.5602	0.0209	0.07149	0.00113	485.0	80.3	451.7	16.8	445.1	7.0	98
23	20.72	188.7	266.2	0.71	0.05642	0.00198	0.5566	0.0202	0.07155	0.00108	469.1	77.7	449.3	16.3	445.5	6.8	98
24	38.33	384.1	483.6	0.79	0.05645	0.00178	0.5567	0.0179	0.07152	0.00108	470.2	69.9	449.4	14.4	445.3	6.7	98
25	63.41	241.3	769.4	0.31	0.05803	0.00177	0.6640	0.0205	0.08299	0.00124	530.8	66.8	517.1	16.0	514.0	7.7	98
26	25.70	231.1	326.8	0.71	0.05655	0.00191	0.5612	0.0189	0.07198	0.00113	473.9	74.7	452.3	15.2	448.1	7.0	98
28	73.37	1147	820.4	1.40	0.05589	0.00169	0.5528	0.0174	0.07174	0.00104	447.9	67.1	446.8	14.1	446.6	6.5	98
29	24.57	236.8	315.5	0.75	0.05683	0.00204	0.5561	0.0198	0.07098	0.00111	484.9	79.4	449.0	16.0	442.0	6.9	98
31	50.34	219.1	635.1	0.34	0.05728	0.00178	0.6257	0.0200	0.07922	0.00120	502.2	68.6	493.4	15.8	491.5	7.5	98
32	34.17	369.4	421.9	0.88	0.05626	0.00182	0.5601	0.0187	0.07220	0.00113	462.7	71.5	451.6	15.1	449.4	7.0	98
33	32.49	282.6	426.1	0.66	0.05554	0.00186	0.5439	0.0184	0.07102	0.00109	434.2	74.5	441.0	15.0	442.3	6.8	98
34	24.97	178.7	308.6	0.58	0.05774	0.00200	0.6085	0.0215	0.07643	0.00116	519.9	76.2	482.6	17.1	474.8	7.2	98
35	22.11	231.0	284.6	0.81	0.05570	0.00212	0.5417	0.0204	0.07053	0.00111	440.4	84.8	439.5	16.5	439.4	6.9	98
36	63.70	1101	689.1	1.60	0.05586	0.00179	0.5542	0.0189	0.07196	0.00123	446.7	71.3	447.7	15.3	447.9	7.6	98
38	27.46	249.9	335.5	0.74	0.05727	0.00214	0.5885	0.0228	0.07452	0.00124	502.1	82.4	469.9	18.2	463.4	7.7	98

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)	
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$				$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ				
39	41.33	438.6	516.0	0.85	0.05536	0.00175	0.5487	0.0179	0.07188	0.00110	426.8	70.5	444.1	14.5	447.5	6.9	98	
40	22.01	212.9	283.3	0.75	0.05600	0.00221	0.5523	0.0217	0.07153	0.00114	452.3	87.8	446.5	17.6	445.4	7.1	98	
41	27.99	252.8	358.4	0.71	0.05553	0.00201	0.5546	0.0202	0.07244	0.00116	433.4	80.7	448.0	16.3	450.9	7.2	98	
42	29.90	296.9	383.0	0.78	0.05614	0.00191	0.5533	0.0192	0.07148	0.00124	458.0	75.5	447.2	15.6	445.1	7.7	98	
43	30.42	335.4	375.4	0.89	0.05627	0.00196	0.5631	0.0199	0.07257	0.00116	463.2	77.2	453.5	16.0	451.6	7.2	98	
45	17.53	191.0	223.6	0.85	0.05708	0.00226	0.5626	0.0225	0.07149	0.00121	494.5	87.4	453.2	18.2	445.1	7.5	98	
46	32.46	377.0	404.8	0.93	0.05580	0.00196	0.5513	0.0198	0.07165	0.00112	444.4	78.2	445.8	16.0	446.1	6.9	98	
47	64.00	937.2	771.3	1.22	0.05657	0.00169	0.5579	0.0172	0.07152	0.00106	475.0	66.1	450.1	13.9	445.3	6.6	98	
48	26.18	275.8	335.7	0.82	0.05581	0.00224	0.5506	0.0227	0.07156	0.00123	444.8	89.4	445.4	18.4	445.5	7.7	98	
50	15.81	138.9	209.5	0.66	0.05640	0.00271	0.5542	0.0256	0.07126	0.00124	468.2	106.4	447.7	20.7	443.7	7.7	98	
51	32.95	366.6	424.5	0.86	0.05563	0.00188	0.5447	0.0191	0.07102	0.00108	437.6	75.1	441.5	15.4	442.3	6.7	98	
53	41.57	518.1	513.4	1.01	0.05595	0.00180	0.5579	0.0182	0.07233	0.00113	450.3	71.6	450.2	14.7	450.2	7.0	98	
54	32.78	392.1	401.2	0.98	0.05668	0.00182	0.5650	0.0183	0.07229	0.00107	479.2	70.9	454.8	14.7	450.0	6.7	98	
55	43.37	422.2	556.2	0.76	0.05708	0.00196	0.5622	0.0207	0.07143	0.00112	494.7	75.8	452.9	16.7	444.8	7.0	98	
56	23.64	233.4	306.5	0.76	0.05604	0.00208	0.5547	0.0216	0.07178	0.00116	454.0	82.5	448.0	17.4	446.9	7.2	98	
57	22.27	188.3	287.2	0.66	0.05494	0.00189	0.5536	0.0195	0.07308	0.00113	409.9	76.7	447.4	15.8	454.7	7.0	98	
58	16.58	146.8	200.0	0.73	0.05636	0.00273	0.6015	0.0299	0.07740	0.00137	466.6	107.2	478.2	23.7	480.6	8.5	98	
59	36.63	376.3	465.4	0.81	0.05641	0.00177	0.5627	0.0182	0.07234	0.00114	468.6	69.4	453.3	14.7	450.2	7.1	98	
60	22.78	238.5	286.1	0.83	0.05555	0.00204	0.5557	0.0213	0.07255	0.00123	434.4	81.9	448.7	17.2	451.5	7.6	98	
62	37.90	262.9	512.1	0.51	0.05641	0.00187	0.5585	0.0189	0.07182	0.00113	468.4	73.6	450.6	15.3	447.1	7.0	98	
64	119.5	1394	1268	1.10	0.05714	0.00170	0.6299	0.0192	0.07995	0.00120	496.8	65.4	496.0	15.1	495.9	7.4	98	
65	26.34	210.8	343.5	0.61	0.05686	0.00201	0.5636	0.0203	0.07189	0.00117	486.2	78.2	453.9	16.3	447.5	7.3	98	
66	21.47	202.4	275.9	0.73	0.05712	0.00215	0.5630	0.0215	0.07148	0.00112	496.1	83.1	453.5	17.3	445.1	7.0	98	
67	18.45	132.9	219.5	0.61	0.05671	0.00215	0.6123	0.0233	0.07830	0.00124	480.4	83.9	485.0	18.5	486.0	7.7	98	
68	20.02	195.6	252.4	0.77	0.05721	0.00205	0.5675	0.0211	0.07195	0.00122	499.5	79.1	456.4	17.0	447.9	7.6	98	
69	341.5	20.55	4984	0.00	0.05462	0.00152	0.5645	0.0161	0.07495	0.00111	396.8	62.5	454.4	13.0	465.9	6.9	98	
70	12.95	100.9	156.2	0.65	0.05673	0.00242	0.5975	0.0260	0.07639	0.00140	481.1	94.3	475.7	20.7	474.6	8.7	98	
71	66.13	912.9	789.0	1.16	0.05584	0.00193	0.5301	0.0188	0.06885	0.00112	446.1	76.8	431.9	15.3	429.2	7.0	98	
72	67.18	911.4	788.3	1.16	0.05581	0.00172	0.5460	0.0176	0.07096	0.00113	444.8	68.4	442.4	14.3	441.9	7.1	98	
73	29.23	279.1	370.5	0.75	0.05601	0.00190	0.5514	0.0194	0.07140	0.00114	452.9	75.2	445.9	15.7	444.6	7.1	98	
74	21.30	130.7	291.6	0.45	0.05596	0.00202	0.5463	0.0200	0.07080	0.00116	450.9	80.3	442.6	16.2	441.0	7.2	98	
75	29.36	305.4	330.7	0.92	0.05665	0.00202	0.5984	0.0213	0.07661	0.00116	478.0	78.9	476.2	17.0	475.9	7.2	98	
77	27.53	292.8	337.5	0.87	0.05552	0.00194	0.5526	0.0195	0.07220	0.00117	433.1	77.9	446.7	15.8	449.4	7.3	98	
78	21.90	233.1	274.5	0.85	0.05561	0.00196	0.5505	0.0194	0.07179	0.00113	437.0	78.6	445.3	15.7	446.9	7.1	98	
79	22.06	217.5	277.6	0.78	0.05726	0.00214	0.5694	0.0218	0.07212	0.00116	501.7	82.4	457.6	17.5	448.9	7.2	98	
80	12.57	154.4	150.3	1.03	0.05725	0.00268	0.5613	0.0268	0.07111	0.00140	501.0	103.2	452.3	21.6	442.8	8.7	98	

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						谐和度 (%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
					1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值			
82	27.78	222.7	367.8	0.61	0.05656	0.00193	0.05610	0.0200	0.07193	0.00114	474.6	75.3	452.2	16.1	447.8	7.1	98
83	38.12	498.5	453.7	1.10	0.05749	0.00195	0.5722	0.0198	0.07218	0.00117	510.5	74.5	459.4	15.9	449.3	7.3	98
84	23.95	114.7	332.1	0.35	0.05573	0.00191	0.5563	0.0199	0.07240	0.00111	441.5	76.4	449.1	16.0	450.6	6.9	98
85	13.56	122.6	175.4	0.70	0.05723	0.00232	0.5698	0.0239	0.07221	0.00128	500.5	89.1	457.9	19.2	449.5	7.9	98
86	32.11	278.5	415.0	0.67	0.05569	0.00210	0.5532	0.0213	0.07205	0.00121	439.9	83.8	447.1	17.2	448.5	7.5	98
89	18.62	168.1	239.5	0.70	0.05678	0.00220	0.5648	0.0228	0.07215	0.00133	482.9	85.6	454.6	18.4	449.1	8.3	98
90	19.56	218.5	241.0	0.91	0.05553	0.00226	0.5542	0.0220	0.07238	0.00121	433.8	90.6	447.8	17.8	450.5	7.5	98
91	14.19	133.1	180.8	0.74	0.05732	0.00213	0.5701	0.0218	0.07214	0.00116	503.8	81.8	458.1	17.5	449.0	7.2	98
92	27.86	297.8	347.1	0.86	0.05699	0.00186	0.5681	0.0192	0.07229	0.00115	491.3	72.0	456.8	15.5	450.0	7.1	98
93	21.55	177.1	280.2	0.63	0.05585	0.00187	0.5516	0.0190	0.07163	0.00113	446.4	74.3	446.1	15.3	446.0	7.0	98
94	20.85	168.3	273.1	0.62	0.05620	0.00184	0.5550	0.0189	0.07163	0.00115	460.3	72.6	448.3	15.3	446.0	7.2	98
95	19.55	203.9	241.5	0.84	0.05640	0.00236	0.5617	0.0246	0.07223	0.00129	468.3	92.7	452.6	19.8	449.6	8.0	98
96	28.84	285.5	359.4	0.79	0.05668	0.00211	0.5661	0.0222	0.07244	0.00124	479.0	82.3	455.5	17.9	450.8	7.7	98
97	21.78	216.9	278.4	0.78	0.05605	0.00223	0.5489	0.0230	0.07102	0.00122	454.4	88.3	444.3	18.6	442.3	7.6	98
98	26.37	247.0	332.7	0.74	0.05674	0.00198	0.5609	0.0199	0.07169	0.00113	481.6	76.9	452.1	16.1	446.4	7.1	98
99	16.24	127.4	211.1	0.60	0.05605	0.00200	0.5594	0.0199	0.07239	0.00120	454.4	79.3	451.2	16.1	450.5	7.5	98
100	27.14	272.7	341.1	0.80	0.05596	0.00185	0.5559	0.0190	0.07205	0.00125	450.6	73.4	448.8	15.4	448.5	7.8	98
混入锆石																	
10	30.11	41.84	116.7	0.36	0.09308	0.00289	3.2257	0.1042	0.25134	0.00398	1489.6	58.9	1463.4	47.3	1445.4	22.9	98
13	38.07	71.00	254.9	0.28	0.06904	0.00220	1.4392	0.0470	0.15118	0.00235	900.0	65.6	905.4	29.5	907.6	14.1	98
19	45.37	130.5	211.0	0.62	0.08187	0.00244	2.2164	0.0672	0.19635	0.00296	1242.3	58.5	1186.2	35.9	1155.7	17.5	98
22	388.5	824.3	1572	0.52	0.09283	0.00256	3.1572	0.0913	0.24667	0.00384	1484.4	52.2	1446.8	41.9	1421.3	22.1	97
27	21.10	50.80	63.61	0.80	0.10348	0.00330	4.1489	0.1351	0.29078	0.00466	1687.5	58.8	1664.0	54.2	1645.4	26.4	98
30	30.30	64.89	192.7	0.34	0.07059	0.00222	1.5341	0.0508	0.15763	0.00262	945.5	64.5	944.2	31.3	943.6	15.7	98
37	106.8	111.9	790.3	0.14	0.06790	0.00203	1.3257	0.0407	0.14160	0.00225	865.5	61.9	857.0	26.3	853.7	13.6	98
44	32.00	53.42	216.9	0.25	0.07239	0.00223	1.5024	0.0471	0.15052	0.00233	997.0	62.7	931.4	29.2	903.9	14.0	98
49	51.76	55.20	174.6	0.32	0.10113	0.00304	4.0763	0.1263	0.29234	0.00459	1645.0	55.8	1649.6	51.1	1653.2	26.0	97
52	39.33	173.5	299.9	0.58	0.06522	0.00211	1.1251	0.0359	0.12511	0.00364	781.5	68.1	765.4	24.4	759.9	22.1	98
61	103.8	206.3	544.8	0.38	0.08364	0.00240	2.1598	0.0655	0.18728	0.00295	1284.3	56.0	1168.2	35.4	1106.6	17.5	97
63	68.37	76.11	285.8	0.27	0.08828	0.00255	2.9142	0.0858	0.23943	0.00403	1388.5	55.4	1385.6	40.8	1383.7	23.3	98
76	54.30	240.8	155.6	1.55	0.09552	0.00283	3.5017	0.1055	0.26588	0.00401	1538.3	55.8	1527.6	46.0	1519.9	22.9	97
81	55.64	158.1	294.4	0.54	0.07488	0.00230	1.8720	0.0596	0.18132	0.00284	1065.2	61.8	1071.2	34.1	1074.2	16.8	98
87	53.23	264.8	348.3	0.76	0.06895	0.00215	1.3255	0.0455	0.13943	0.00263	897.1	64.4	856.9	29.4	841.4	15.9	98
88	36.77	72.11	243.6	0.30	0.06981	0.00221	1.4631	0.0490	0.15201	0.00263	922.8	65.1	915.3	30.6	912.2	15.8	98

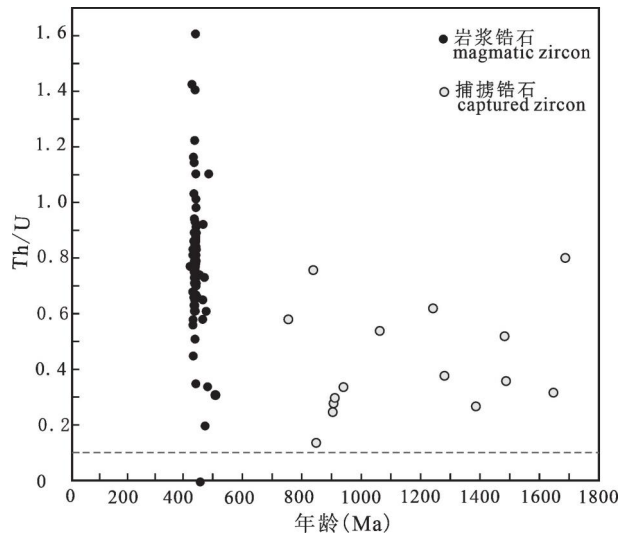


图 7 夏馆镇陈家沟 Y1494/1 样品岩浆锆石、捕掳锆石中 Th/U 和 $n(^{238}\text{U})/n(^{206}\text{Pb})$ 或 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ 关系
Fig. 7 Th/U ratios vs $n(^{238}\text{U})/n(^{206}\text{Pb})$ or $n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$ ages diagram for magmatic and captured zircons of sample Y1494/1 from Chenjiagou area, Xiaguan Town

石结构较前一类复杂。其中锆石 10、13、19、30、37、44 等可能受一定程度的热液作用叠加改造的影响致使其边缘发育较窄的白色蚀变边(赵林涛等, 2019); 锆石 44 和 61 具有核幔结构, 其核部保留了

较老的岩浆活动信息; 但绝大多数锆石均发育指示岩浆结晶成因的震荡环带或条带结构, 且表现出不同程度的机械磨圆, 形态多为次圆状—次棱角状, 具有碎屑锆石的基本外貌特征(李荣等, 2020; 徐多勋等, 2020)。在分析的 16 颗锆石中, 锆石 Th/U 值均大于 0.1, 介于 0.14 ~ 1.55 之间, 但其 Th/U 与 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的关系较随机, 不具相关性(图 7); 且获得的 16 颗锆石谐和年龄跨度相对较大(图 8a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于 $759.9 \pm 22.1 \sim 1687.5 \pm 58.8$ Ma 之间, 正好与本区变泥质碎屑岩围岩的碎屑锆石年龄(750 ~ 850 Ma、0.9 ~ 1.0 Ga、1.35 ~ 1.48 Ga、1.6 ~ 1.75 Ga)基本一致(杨敏等, 2016), 反映其具多种成因来源。与此同时, 空间上抱树坪组黑云阳起钠长片岩与灰色黑云石英片岩虽呈“互层状”产出, 但以 1 ~ 3 cm 厚的薄夹层赋存黑云石英片岩中, 因此, 该类锆石应该是黑云阳起钠长片岩的原岩在就位过程中从围岩中捕获的锆石, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄则代表了捕获锆石的结晶年龄。

3.2.2 花岗斑岩脉——样品 Y1494/3

样品 Y1494/3 的锆石自形程度较高, 颗粒以短柱状为主(图 9), 少数为长柱状, 长宽比为 2 : 1, 最大可达 4 : 1, 粒径 80 ~ 140 μm ; 锆石内部结构单一, 岩浆振荡生长环带清晰、密集, 锆石的 Th/U 值主体

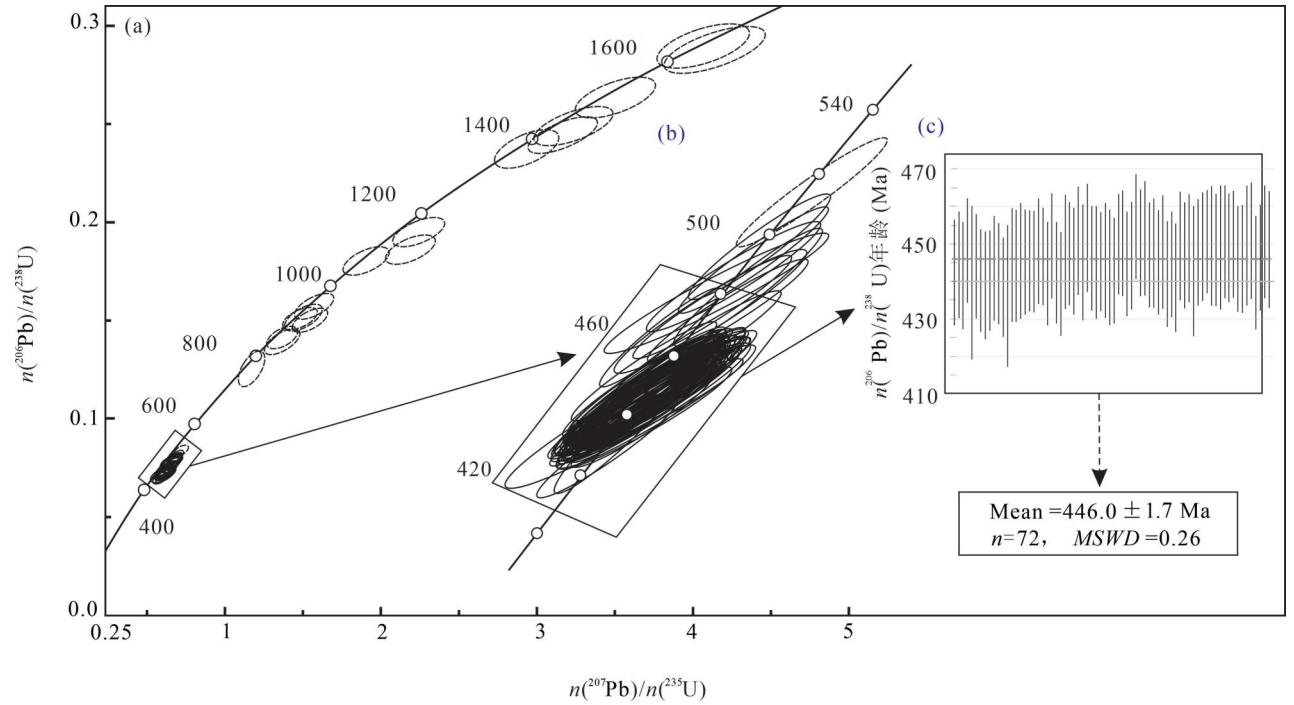


图 8 夏馆镇陈家沟 Y1494/1 样品锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图
Fig. 8 Concordia diagram for LA-ICP-MS U-Pb zircondata of sample Y1494/1 from Chenjiagou area, Xiaguan Town



图 9 夏馆镇陈家沟 Y1494/3 样品锆石阴极发光图像

Fig. 9 Cathodoluminescence images for zircon of sample Y1494/3 from Chenjiagou area, Xiaguan Town

介于 0.23~1.59 之间(表 3),显示出岩浆锆石成因特征。在锆石 U-Pb 谐和年龄图上(图 10),排除锆石 23 明显偏离谐和曲线外,有 22 粒锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄集中于 413.0±6.2 Ma~449.5±6.6 Ma 之间,获得²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 430.0±3.0 Ma (MSWD=0.71)(图 10),代表了脉体的侵位年龄。另外,剩余 4 颗锆石中锆石 3、锆石 12 和锆石 19 为继承性锆石,内部残留有早期锆石核,锆石 16 具有板状环带基性锆石特征,均有别于其他 22 颗锆石特征;且 4 颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄或²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄明显大于 430.0±3.0 Ma,因此,可能反映围岩捕掳锆石年龄信息。

4 讨论

4.1 抱树坪组形成时代的精确厘定及二郎坪群地层划分讨论

岩石学及地球化学特征显示,抱树坪组火山岩

夹层——(黑云)阳起钠长片岩的原岩为安山质凝灰岩,常以火山岩夹层的形式赋存于黑云石英片岩中,与黑云石英片岩呈“互层状”产出。本文首次获得黑云阳起钠长片岩的原岩的成岩年龄为 446.0±1.7 Ma,精确标定了该次火山事件的年龄,也由此标定了抱树坪组的形成时代。由于样品 Y1494/1 采集于抱树坪组的内部,未见地层顶界,故其顶界应小于此年龄值。结合最近欧伟程等(2022)获得抱树坪组最年轻一组碎屑锆石的年龄为 420~440 Ma,揭示其地层时代最晚可能延续到志留纪—早泥盆世。本次野外调查还发现了大量晚期花岗斑岩脉体侵入穿插于抱树坪组内部(图 2a),获得其结晶锆石 U-Pb 年龄为 430.0±3.0 Ma,故该脉体的侵位年龄能很好地限定抱树坪组的最小沉积年龄,也就是说,抱树坪组的最小沉积年龄应大于 430.0±3.0 Ma,即其形成时代不晚于早志留世。综上所述,抱树坪组的形成时代应为晚奥陶世—早志留世。

现阶段,广义二郎坪群的含义已被大多数学者接受(河南省地质调查院^⑤;安三元等,1993;张健等,2019),并被公认为早古生代地质体(李采一等,1990;劳子强,1991;王学仁等,1995;陆松年等,2003;赵姣等,2012;Dong Yunpeng et al., 2011a;杨敏等,2016);但现在已有足够的古生物学和年代学资料表明(表 4),二郎坪群的形成时代跨度较长,为寒武纪—志留纪,甚至跨度至晚古生代泥盆纪(高联达等,2006),且群内各地层单元之间并非如年代地层学所表现出来的新、老关系(河南省地质调查院^⑥)。

由表 4 可知,现阶段大庙组内普遍缺失最直接的年代学数据的支持,但化石资料显示其内产早寒武世螺旋管状藻类化石及其管状微化石组合(王学仁等,1995)、寒武纪放射虫(劳子强,1991)、中奥陶世珠角石和螺类化石(李采一等,1990),中晚奥陶世角石(安三元等,1993)及志留纪床板珊瑚(Wang Naiwen, 1989),故认为其形成时代为早寒武

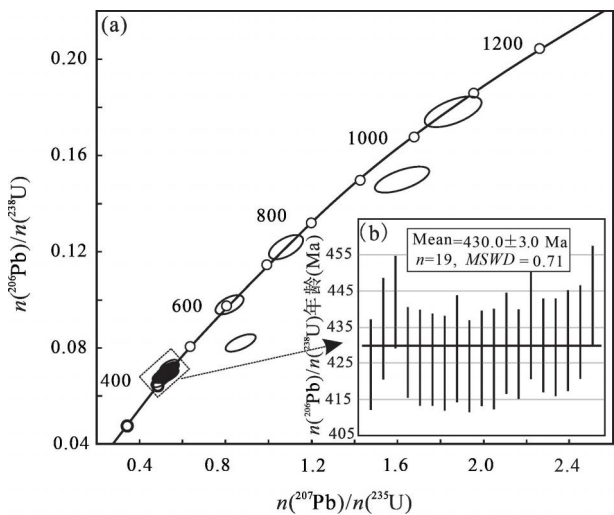


图 10 夏馆镇陈家沟 Y1494/3 样品锆石 U-Pb 谐和年龄 (a) 和加权平均年龄图 (b)

Fig. 10 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and average age (b) of sample Y1494/3 in Chenjiagou area, Xiaguan Town

表 3 内乡县夏馆镇陈家沟 Y1494/3 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果
Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for sample Y1494/3 in Chenjiagou area, Xiaguan Town, Neixiang County

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)	
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$				
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		
样品 Y1494/3, 花岗岩, 取自内乡县夏馆镇陈家沟公路边, 地理坐标为 E 111°46'26", N 33°25'2"																		
1	62.90	295.9	935.1	0.32	0.05458	0.00160	0.5124	0.0152	0.06808	0.00100	395.2	65.7	420.1	12.4	424.6	6.2	97	
2	51.63	646.8	643.2	1.01	0.05484	0.00166	0.5273	0.0164	0.06974	0.00111	405.6	67.6	430.0	13.4	434.6	6.9	98	
3	52.05	27.80	306.5	0.09	0.07556	0.00219	1.8580	0.0547	0.17834	0.00259	1083.4	58.1	1066.3	31.4	1057.9	15.4	98	
4	125.6	448.7	1826	0.25	0.05467	0.00151	0.5349	0.0151	0.07096	0.00101	398.7	61.8	435.0	12.3	442.0	6.3	97	
5	68.08	336.6	1002	0.34	0.05220	0.00153	0.4940	0.0149	0.06864	0.00100	294.2	66.8	407.7	12.3	428.0	6.2	98	
6	56.99	146.8	873.5	0.17	0.05437	0.00162	0.5128	0.0158	0.06840	0.00106	386.4	66.9	420.3	12.9	426.5	6.6	97	
7	55.61	226.1	835.2	0.27	0.05433	0.00166	0.5117	0.0159	0.06831	0.00101	384.8	68.7	419.6	13.1	426.0	6.3	98	
8	87.85	538.8	1265	0.43	0.05605	0.00170	0.5266	0.0166	0.06814	0.00105	454.5	67.3	429.6	13.6	425.0	6.6	98	
9	61.80	223.1	914.3	0.24	0.05572	0.00196	0.5285	0.0212	0.06879	0.00118	441.2	78.4	430.8	17.3	428.9	7.4	98	
10	66.55	297.5	1022	0.29	0.05433	0.00170	0.4973	0.0162	0.06640	0.00102	384.6	70.2	409.9	13.3	414.4	6.3	98	
11	78.31	359.0	1203	0.30	0.05492	0.00159	0.5010	0.0148	0.06616	0.00099	409.0	64.8	412.4	12.2	413.0	6.2	98	
12	53.79	140.0	346.1	0.40	0.07833	0.00240	1.6211	0.0517	0.15010	0.00229	1155.3	60.8	978.4	31.2	901.5	13.8	98	
13	51.71	550.6	692.0	0.80	0.05550	0.00172	0.5231	0.0166	0.06836	0.00106	432.2	69.0	427.2	13.5	426.3	6.6	98	
14	41.26	326.2	572.9	0.57	0.05370	0.00178	0.5060	0.0170	0.06834	0.00111	358.4	74.7	415.8	14.0	426.2	6.9	97	
15	99.75	556.6	1446	0.38	0.05554	0.00159	0.5290	0.0161	0.06908	0.00111	434.1	63.7	431.2	13.1	430.6	6.9	98	
16	34.36	933	378.5	0.03	0.06071	0.00186	0.8217	0.0269	0.09817	0.00156	628.8	65.9	609.0	19.9	603.7	9.6	98	
17	67.33	412.0	975.5	0.42	0.05313	0.00164	0.5022	0.0159	0.06855	0.00100	334.5	70.1	413.2	13.1	427.4	6.2	98	
18	26.49	195.0	368.7	0.53	0.05413	0.00189	0.5216	0.0186	0.06988	0.00118	376.6	78.6	426.2	15.2	435.4	7.3	98	
19	67.52	701.3	442.0	1.59	0.06423	0.00187	1.0795	0.0330	0.12190	0.00194	749.2	61.6	743.4	22.7	741.5	11.8	98	
20	91.49	380.2	1362	0.28	0.05440	0.00154	0.5172	0.0155	0.06895	0.00104	387.6	63.5	423.2	12.7	429.8	6.5	98	
21	136.8	546.4	2043	0.27	0.05465	0.00160	0.5190	0.0159	0.06889	0.00107	397.8	65.5	424.5	13.0	429.4	6.7	98	
22	85.37	276.9	1228	0.23	0.05410	0.00163	0.5387	0.0168	0.07222	0.00107	375.2	68.0	437.6	13.6	449.5	6.6	98	
23	106.3	290.5	1315	0.22	0.07676	0.00223	0.8702	0.0284	0.08222	0.00136	1114.9	57.9	635.7	20.8	509.4	8.4	97	
24	46.89	357.7	645.9	0.55	0.05539	0.00181	0.5284	0.0182	0.06919	0.00111	428.0	72.9	430.8	14.8	431.3	6.9	98	
25	100.4	563.6	1457	0.39	0.05494	0.00157	0.5272	0.0157	0.06959	0.00104	410.0	64.0	430.0	12.8	433.7	6.5	98	
26	50.56	271.9	715.9	0.38	0.05481	0.00180	0.5386	0.0180	0.07127	0.00110	404.6	73.4	437.5	14.6	443.8	6.8	98	
27	84.71	300.8	1287	0.23	0.05499	0.00161	0.5157	0.0158	0.06801	0.00101	411.8	65.3	422.3	12.9	424.2	6.3	98	

表4 北秦岭二郎坪群及其侵入岩地质年代数据
Table 4 Geological age data of the Erlangping Group and its intrusive rocks in northern Qinling Mountains

类型	地区	岩性	年龄 (Ma)	年龄意义	分析方法	资料来源
大庙组	湾潭	泥质板岩	早寒武世	形成年龄	螺旋管状藻类化石、管状微化石	王学仁等, 1995
	白土岗乡大青山	结晶灰岩	中奥陶世	形成年龄	珠角石、螺类化石	李采一等, 1990
	龙王庙南	硅质岩	寒武纪	形成年龄	放射虫	劳子强, 1991
		大理岩化灰岩	志留纪	形成年龄	床板珊瑚	Naiwen, 1989
	南召青山	大理岩	中、晚奥陶世	形成年龄	峰峰角石	安三元等, 1993
火神庙组	湾潭、二郎坪西	砂板岩	中泥盆世早期	形成年龄	陆生植物孢子、几丁虫和疑源类	高联达等, 2006
	湾潭	变硅质岩	早-中奥陶世	形成年龄	牙形石、放射虫	王学仁等, 1995
	洞街北	斜长角闪片岩	495.2±6.9	形成年龄	LA-ICP-MS	李振强等, 2021
	军马河湾潭湍河	块状玄武岩	463±1.8	形成年龄	LA-ICP-MS	赵姣, 2012; 赵姣等, 2012
		块状玄武岩	475±1.5	形成年龄	LA-ICP-MS	
		块状玄武岩	473±1.3	形成年龄	LA-ICP-MS	
	眉县	玄武岩	472±11	形成年龄	SHRIMP	闫全人等, 2007
	西峡	角闪岩	466.6±7.0	形成年龄	SHRIMP	陆松年等, 2003
	郭家慢	角闪岩	456.6±6.3	形成年龄	LA-ICP-MS	李振强等, 2021
	清水	英安岩	447±8	形成年龄	SHRIMP	Dong Yunpeng et al., 2011a
			448±8	形成年龄	SHRIMP	
		枕状熔岩	443±2	形成年龄	LA-ICP-MS	
	桐柏	玄武岩	517±80	形成年龄	Rb-Sr 全岩等时线	王铭生等, 1997
	西峡青岗坪	花岗闪长岩	475.2±2.7	形成年龄	LA-ICP-MS	王锦等, 2012
	板山坪	石英闪长岩	496.0±8.1	形成年龄	LA-ICP-MS	李名则等, 2014
			486.9±9.3			李振强等, 2021
			479.9±5.6			
	孤山坪	变辉长岩	457.4±1.4	形成年龄	LA-ICP-MS	翟文建等, 2020
	张家庄	花岗闪长岩	461.5±5.3	形成年龄	LA-ICP-MS	李振强等, 2021
	满子营	二长花岗岩	459.5±0.9	形成年龄	LA-ICP-MS	郭彩莲等, 2010
	黄冈北宽坪镇南鸭口电厂黄冈	闪长岩	492±14	形成年龄	LA-ICP-MS	苏文等, 2013
		角闪石英二长岩	433.4±19	形成年龄	LA-ICP-MS	
		片麻状闪长岩	441.0±5.0/-7.5	形成年龄	LA-ICP-MS	
		闪长岩	438.4±5.8	形成年龄	LA-ICP-MS	
	湾潭	浅色岩体	468.5±1.5 470.0±2.6	形成年龄	LA-ICP-MS	杨士杰等, 2015
	湾潭军马河	石英斑岩	435.8±4.2 435.7±3.8	形成年龄	LA-ICP-MS	Hu Pan et al., 2019
小寨组	西庄河	花岗闪长岩	461±0.9	形成年龄	LA-ICP-MS	郭彩莲,陈丹玲, 2011
	卢家坪	黑云母花岗岩	446±7	形成年龄	LA-ICP-MS	李胜利等, 2012
	五泉山	片麻状黑云母花岗岩	444±11	形成年龄	LA-ICP-MS	苏文等, 2013
	军马河	变泥质碎屑岩	≤500±7	沉积年龄	LA-ICP-MS	杨敏等, 2016
	军马河北	碎屑岩	≤420~440	沉积年龄	LA-ICP-MS	欧伟程等, 2022
抱树坪组	夏馆	变凝灰岩	446.0±1.7	形成年龄	LA-ICP-MS	本文
		花岗斑岩	430.0±3.0			

世—志留纪(表 5)。有关火神庙组时代研究较多,资料较丰富。前人已在变硅质岩和砂板岩内先后发现早奥陶世—中奥陶世牙形石和放射虫(王学仁等,1995),以及中泥盆世早期孢子化石(高联达等,2006),并获该套地层内不同类型火山岩的年龄介于 517~443 Ma 之间(王铭生等,1997;陆松年等,2003;闫全人等,2007;Dong Yunpeng et al., 2011a;赵姣等,2012;李振强等,2021),以及侵入火山岩的

表5 北秦岭地区二郎坪群地层划分表
Table 5 Stratigraphic division of the Erlangping Group
in northern Qinling Mountains

广义二郎坪群		本 文									
时代	地层单位	时 代			地 层 单 位						
早 古 生 代	抱树坪组	古 生 代	泥盆纪	晚泥盆世		火 神 庙 组					
				中泥盆世							
				早泥盆世							
	小寨组		志留纪	晚志留世	大 庙 组		抱树坪组				
				中志留世							
				早志留世							
	火神庙组		奥陶纪	晚奥陶世				大 庙 组	小寨组		
				中奥陶世							
				早奥陶世							
	大庙组		寒武纪	晚寒武世						大 庙 组	小寨组
				中寒武世							
				早寒武世							

中基性、中酸性至碱性岩体的结晶年龄介于 496~433.4 Ma 之间 (郭彩莲等, 2010, 2011; 王锦等, 2012; 苏文等, 2013; 李名则等, 2014; 杨士杰等, 2015; 翟文建等, 2020), 三者很好地将火神庙组的形成时代限定在早寒武世末—中泥盆世 (表 5)。小寨组和抱树坪组共同发育于火神庙组的南部, 区域上相当于前人所述二郎坪杂岩的南部变泥质碎屑岩片 (杨敏等, 2016)。杨敏等 (2016) 在南部变泥质碎屑岩片内原岩为长石石英砂岩中获得最大沉积年龄为 500±7 Ma, 故代表了小寨组的最大沉积年龄; 且侵入小寨组的古侵入体的结晶年龄为 461~444 Ma (郭彩莲等, 2011; 李胜利等, 2012; 苏文等, 2013), 因此将其时代限定为晚寒武世—中奥陶世 (表 5)。

从地层层序上看, 区域上抱树坪组与下伏小寨组虽然主体为断层接触关系, 但在内乡县板场乡大栗树村一带却表现为整合接触 (河南省地质调查院^②); 从地层时代上分析, 小寨组形成于晚寒武世—中奥陶世, 抱树坪组形成于晚奥陶世—早志留世, 二者之间存在明显的新老关系; 因此, 小寨组和抱树坪组二者是符合广义二郎坪群地层单元划分方案 (河南省地质调查院^②; 汤清龙等, 2010)。但是, 由表 5 可知, 虽然大庙组和火神庙组二者的最大沉积年龄均明显早于小寨组和抱树坪组, 但通过对大庙组、火神庙组及由小寨组和抱树坪组构成的整体

的年代对比研究, 三者的地层时代并非广义二郎坪群划分方案中所表现出的新老关系, 而主体却表现为近于同时性 (表 5); 同时结合最新 1:5 万区调成果 (河南省地质调查院^②), 大庙组与火神庙组之间及火神庙组与小寨组之间均呈现为断层接触关系, 并非属相互叠置的上下层序关系; 以上分析则反映出大庙组、火神庙组及由小寨组和抱树坪组构成的整体三者时空上的近平行关系, 揭示其可能主体属时代大体相当的不同沉积环境的产物 (河南省地质调查院^②; 刘文荣等, 1989), 这明显有违于广义二郎坪群的内涵 (河南省地质调查院^②; 安三元等, 1993; 汤清龙等, 2010), 因此, 后需加强对广义二郎坪群的解体和重新厘定。

4.2 抱树坪组构造环境分析及对二郎坪群大地构造属性的制约

抱树坪组火山岩夹层具有相对低的 SiO₂ 含量 (均值为 56.25%)、高的 Al₂O₃ 含量 (均值为 15.17%)、高的 MgO 含量 (均值为 4.93%) 和低的 FeO^T/MgO 值 (均值为 1.46), 在 SiO₂—MgO 图解中除 Y1494/2 样品位于 RS 边界位置外, 其余 4 件样品全部落入镁安山岩 (MA) 区 (图 11a), 在 SiO₂—FeO^T/MgO 图解中 5 件样品基本上全部落入低 Fe 钙碱系列 (LF—CA) 区 (图 11b), 共同显示出镁安山质岩石的典型特征 (邓晋福等, 2010, 2015)。镁安山岩是与洋俯冲作用相关的典型的火成岩类型 (邓晋福等, 2010), 又是识别岛弧环境的一种特征岩类 (邓晋福等, 2007)。地球化学特征结果显示, 抱树坪组火山岩夹层具有较高的 Ni 和 Cr 含量及稀土总量, 相对富集 LREE 和大离子亲石元素 Rb、Th、U、K, 相对亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti, 普遍具有弱的负 Eu 异常和负 Sr 异常, Th/Ta 值为 4.9~16.1, 基本与大陆边缘环境 Th/Ta 值 (6~20) 相近 (GortonSchandl, 2000), 且在 Th/Ta—Yb 图解和 Th/Yb—Ta/Yb 图解中 5 件样品中有 4 件落入活动大陆边缘环境 (图 12), 共同表明其形成于活动大陆边缘俯冲环境。同时, 镁安山岩一般认为产于俯冲带上面的弧、弧前和弧后 (邓晋福等, 2010), 但在洋中脊和洋岛环境中不存在 (邓晋福等, 2007)。抱树坪组总体为一套原岩以泥质碎屑岩为主夹少量中基性火山岩的复理石沉积 (翟文建等, 2020), 原岩成熟度较低, 具快速剥蚀、近距离搬运沉积特征 (李亚林等, 1998, 1999), 其碎屑物源具双源性特点 (来自南侧的秦岭微陆块和北侧的华北陆块), 揭示抱树坪组可能形成于弧后盆地环境 (杨敏等, 2016; 欧伟

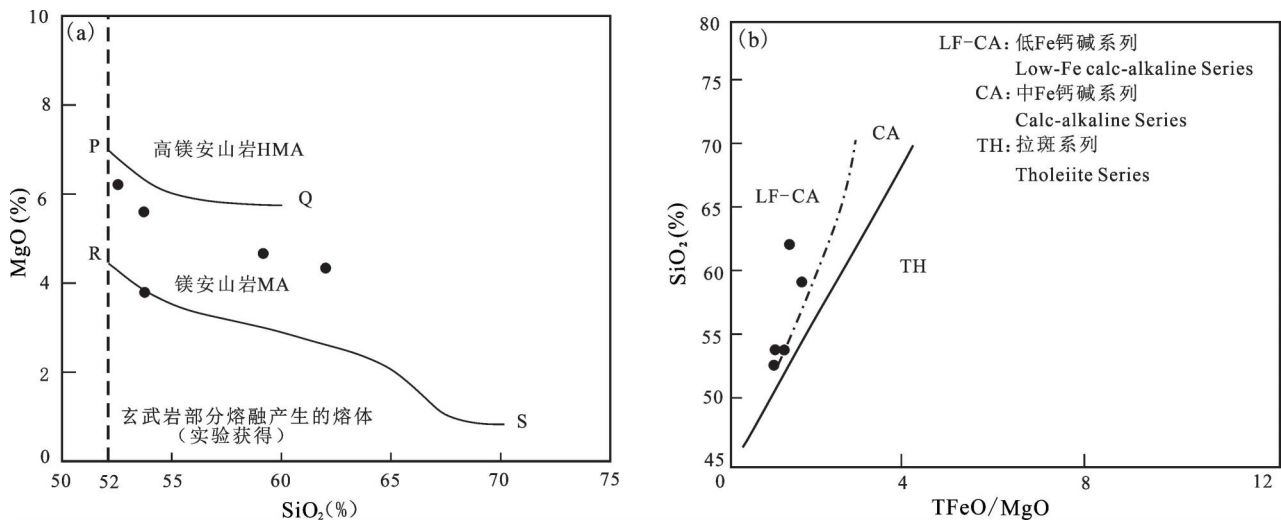


图 11 抱树坪组阳起钠长片岩 $\text{SiO}_2\text{—MgO}$ 图解 (a) 和 $\text{SiO}_2\text{—FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 图解 (b) (据邓晋福等, 2010, 2015): (a) 中实线 PQ 和 RS 分别为 HMA/MA 与 MA/非 MA 的边界; (b) 中直线为钙碱系列 (CA) 与拉斑系列 (TH) 分界线, 点划线为低 Fe 钙碱系列 (LF—CA) 与中 Fe 钙碱系列的边界

Fig. 11 $\text{SiO}_2\text{—MgO}$ diagram (a) and $\text{SiO}_2\text{—FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ diagram (b) of actinolite sodium schist of the Baoshuping Formation (after Deng Jinfu et al., 2010, 2015): (a) the lines Q and S mean the boundary of HMA/MA and MA/non-MA respectively in (a); the straight line is the CA/TH boundary, and the dot line is the boundary between low Fe CA (LF—CA) and media Fe (CA) in the (b)

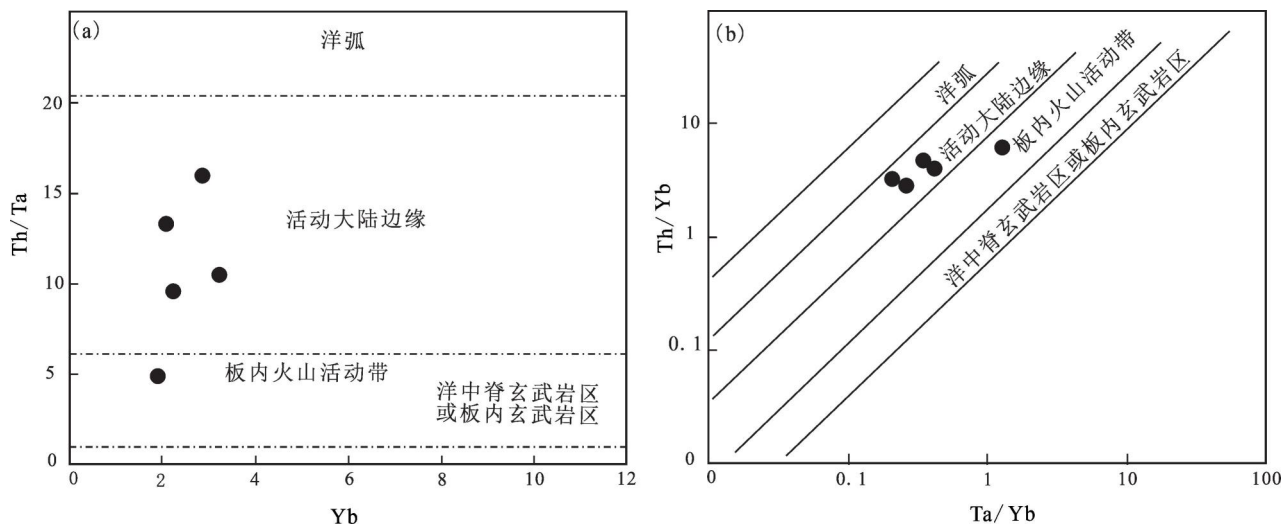


图 12 抱树坪组阳起钠长片岩 Yb—Th/Ta 图解 (a) 和 Ta/Yb—Th/Yb 图解 (b) (据 Gorton et al., 2000)

Fig. 12 Yb—Th/Ta diagram (a) and Ta/Yb—Th/Yb diagram (b) of actinolite sodium schist of the Baoshuping Formation (after Gorton et al., 2000)

程等, 2022)。结合北秦岭微陆块为活动大陆边缘的构造格局 (张国伟等, 1995; Dong Yunpeng et al., 2011a) 及商丹洋在约 400 ~ 450 Ma 时的向北俯冲 (吴元保等, 2013), 以及本次厘定的抱树坪组的形成时代, 我们认为抱树坪组可能形成于因商丹洋的北向俯冲而产生的弧后盆地构造背景 (孙勇等,

1996; Dong Yunpeng et al., 2011b; 杨敏等, 2016)。

二郎坪群内发育有具 E-MORB 型和岛弧岩浆岩 (Dong Yunpeng et al., 2011a) 的微量元素特征的变质火山岩, 以及“双层楼式”地层结构特点 (河南省地质调查院^⑥; 翟文建等, 2020), 表明其形成于岛弧—弧后盆地环境, 且大地构造属性具有从岛弧向

弧后盆地演化的趋势(胡畔等, 2017; 翟文建等, 2020)。早期岛弧火山岩普遍被 490~475 Ma 的花岗质岩石穿插侵入(王锦等, 2012; 李名则等, 2014; 胡畔等, 2017; 李振强等, 2021), 岩石成岩年龄普遍大于 472 ± 11 Ma (闫全人等, 2007; 李振强等, 2021), 但具有弧后盆地性质的火山岩的形成时代则介于 475~436 Ma 之间 (Dong Yunpeng et al., 2011b; 赵姣等, 2012; 胡畔, 2016; Hu Pan et al., 2019), 两者不同类型火山岩的成岩年龄则揭示约 470 Ma 是二郎坪群由岛弧向弧后盆地转化的初始时限。抱树坪组内火山岩夹层的原岩为安山质凝灰岩, 地球化学特征显示出活动大陆边缘俯冲环境, 其结晶锆石 U-Pb 年龄 (446.0 ± 1.7 Ma) 正好介于 475~435.7 Ma 之间; 同时, 抱树坪组可能形成于因商丹洋的北向俯冲而产生的弧后盆地构造背景(孙勇等, 1996; Dong Yunpeng et al., 2011b; 杨敏等, 2016), 表明弧后盆地俯冲作用的时间可能一直持续至晚奥陶世。另外, 早志留世未变形的花岗斑岩脉与抱树坪组侵入接触关系明显, 并切穿区域性片理, 而区域性面理则是二郎坪弧后盆地俯冲闭合过程的产物(李振强等, 2021), 因此, 花岗斑岩脉的成岩年龄可作为二郎坪盆地俯冲消减闭合的下限年龄, 时间为 430.0 ± 3.0 Ma。综合以上可知, 二郎坪群是在约 470 Ma 之前由于商丹洋向北俯冲而形成的火山岛弧, 在 470~436 Ma 转化为弧后盆地, 至约 430 Ma 之前最终完成消减闭合。

5 结论

(1) 二郎坪群抱树坪组内(黑云)阳起钠长片岩呈夹层状赋存于黑云石英片岩中, 与黑云石英片岩呈“互层状”产出, 原岩为安山质凝灰岩, 具有镁安山质岩石的地球化学特点; 结合地球化学特征及前人研究认为抱树坪组可能形成于活动陆缘弧后盆地。

(2) 本文获得黑云阳起钠长片岩的原岩的结晶锆石 U-Pb 年龄为 446.0 ± 1.7 Ma, 以及侵入其中的花岗斑岩脉的成岩年龄为 430.0 ± 3.0 Ma, 首次将抱树坪组的形成时代准确地标定为晚奥陶世至早志留世。

(3) 综合前人研究成果, 本文认为小寨组和抱树坪组在地层层序及地层时代上符合广义二郎坪群的划分方案, 但大庙组、火神庙组及由小寨组和抱树坪组构成的整体三者形成时代上表现为近于同时性, 在空间上主体呈现近平行关系, 可能主体属时代

大体相当的不同沉积环境的产物, 这明显有违于广义二郎坪群的内涵。有关二郎坪群大地构造属性, 认为是在约 470 Ma 之前由于商丹洋向北俯冲而形成的火山岛弧, 在 470~436 Ma 转化为弧后盆地, 至约 430 Ma 之前最终完成消减闭合。

致谢:感谢评审专家提出的宝贵修改意见! 野外考察得到河南省地质调查院杨俊峰教授级高级工程师、郭君功高级工程师、何凯工程师、李敏工程师等的协助, 在此一并表示感谢。

注 释 / Notes

- ① 河南省地质局区测队. 1973. 河南省西峡县北部 1:5 万区域地质调查报告.
- ② 河南省地质调查院. 2002. 河南省 1:25 万内乡县幅区调修测报告.
- ③ 河南省地质调查院. 2019. 河南省 1:5 万小水幅、夏馆幅、二郎坪幅区域地质调查联测报告.
- ④ 天津地质调查中心. 2019. 中条—熊耳山成矿区关键地区地质调查与成果集成报告.

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 安三元, 叶俭, 胡能高, 李荣西. 1993. 二郎坪群沉思录. 西安地质学院学报, 15(2): 1~6.
- 陈丹玲, 刘良. 2011. 北秦岭榴辉岩及相关岩石年代学的进一步确定及其对板片俯冲属性的约束. 地学前缘, 18(2): 158~169.
- 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, 4(3): 392~402.
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孔维琼, 曹文燕. 2010. 高镁安山岩/闪长岩类(HMA)和镁安山岩/闪长岩类(MA): 与洋俯冲作用相关的两类型火成岩类. 中国地质, 37(4): 1112~1118.
- 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. 2015. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473~484.
- 第五春荣, 孙勇, 刘良, 张成立, 王洪亮. 2010. 北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代 N-MORB. 岩石学报, 26(7): 2025~2038.
- 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 彭翼, 袁效奇, 贺静. 2007. 东秦岭二郎坪群硅质岩热水沉积地球化学特征及其地质意义. 沉积学报, 25(4): 564~573.
- 高联达, 王宗起, 王涛, 闫全人, 闫臻, 李秋根. 2006. 河南西峡地区二郎坪群火神庙组中发现泥盆纪孢子化石. 地质通报, 25(11): 1287~1294.
- 高胜, 陈丹玲, 宫相宽, 任云飞, 李海平. 2014. 天水东岔地区宽坪岩群碎屑岩和花岗岩中的锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地学前缘, 22(4): 255~264.
- 宫相宽, 陈丹玲, 任云飞, 刘良, 高胜, 杨士杰. 2016. 北秦岭含柯石英斜长角闪岩的发现及其地质意义. 科学通报, 61(12): 1365~1378.
- 郭彩莲, 陈丹玲, 樊伟, 王爱国. 2010. 豫西二郎坪满子营花岗岩体地球化学及年代学研究. 岩石矿物学杂志, 29(1): 15~22.
- 郭彩莲, 陈丹玲. 2011. 豫西二郎坪地区 O 型埃达克岩的厘定及其

地质意义. 地质学报, 85(12): 1994~2002.

何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 徐学义, 张宏飞, 任光明, 余吉远. 2007. 北秦岭西段宽坪岩群斜长角闪岩锆石 LA-ICP-MS 测年及其地质意义. 地质学报, 81(1): 79~87.

胡能高, 赵东林, 徐柏青, 王涛. 1994. 北秦岭含柯石英榴辉岩的发现及其意义. 科学通报, 39(21): 2013.

胡畔. 2016. 秦岭造山带二郎坪群石英斑岩 U-Pb 年代学研究及其地质意义//中国地球科学联合学术年会论文集(七). 北京: 中国地球物理学会, 1~201.

胡畔, 吴元保. 2017. 二郎坪单元基性岩的地球化学性质和演化历史//中国地球科学联合学术年会论文集(五). 北京: 中国地球物理学会, 1~147.

姜常义, 苏生瑞, 张振飞, 杨志华, 赵太平. 1995. 对二郎坪群火神庙组物质组成的质疑与再认识. 西安地质学院学报, 17(2): 1~5.

金守文. 1985. 关于二郎坪群. 河南地质, 3(4): 49~55.

劳子强. 1991. 二郎坪群的层序及时代归属. 河南地质, 9(4): 49~53.

李采一, 马建国, 陈瑞保, 赵建敏. 1990. 对河南省二郎坪群层序及时代的新认识. 中国区域地质, 9(2): 181~185.

李承东, 赵利刚, 许雅雯, 常青松, 王世炎, 许腾. 2018. 北秦岭宽坪岩群变质沉积岩年代学及地质意义. 中国地质, 45(5): 992~1010.

李靠社. 2002. 陕西宽坪岩群变基性熔岩锆石 U-Pb 年龄. 陕西地质, 20(1): 72~78.

李名则, 吴才来, 雷敏, 秦海鹏, 刘春花. 2014. 东秦岭南召地区花岗岩石地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄. 地质论评, 60(2): 427~442.

李荣, 裴先治, 李佐臣, 裴磊, 刘成军, 高峰. 2020. 秦岭南缘勉略构造带小碛河—长坝地区变质地层碎屑锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 西北地质, 53(2): 126~146.

李胜利, 姚娟, 吴清杰, 李泳泉, 张德会. 2012. 豫西南端源银多金属矿集区典型矿床(点)——来自地质、流体特征及锆石 U-Pb 年龄的证据. 地质通报, 31(10): 1608~1627.

李亚林, 张国伟, 宋传中. 1998. 东秦岭二郎坪弧后盆地双向式俯冲特征. 高校地质学报, 4(3): 286~293.

李亚林, 张国伟, 王根宝, 高凤泉. 1999. 北秦岭小寨变质沉积岩系的地质特征及其构造意义. 沉积学报, 17(4): 3~5.

李运冬. 2018. 华北陆块南缘泌阳李仙桥花岗岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征. 地质科技情报, 37(4): 10~22.

李振强, 任升莲, 董树文, 李加好, 宋传中, 杨青亮, 张刚. 2021. 北秦岭二郎坪弧后盆地俯冲消减的构造演化时限. 地质科学, 56(3): 1~22.

刘国惠, 张寿广, 游振东, 索书田, 张国伟. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化. 北京: 地质出版社, 1~190.

刘良, 廖小莹, 张成立, 陈丹玲, 宫相宽, 康磊. 2013. 北秦岭高压—超高压岩石的多期变质时代及其地质意义. 岩石学报, 29(5): 1634~1656.

刘文荣, 王润三, 车自成. 1989. 东秦岭二郎坪群. 西北大学学报, 19(增刊): 1~85.

陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 郝国杰, 周红英, 郭进京, 牛广华, 相振群. 2003. 秦岭中—新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造. 北京: 地质出版社, 1~187.

欧伟程, 李承东, 张永清, 赵利刚, 许腾, 许雅雯, 孙烜烨. 2022. 北秦岭二郎坪群抱树坪组碎屑锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 定年及物源特征. 现代地质, 36(1): 347~361.

裴先治, 李厚民, 李国光. 2001. 东秦岭丹凤岩群的形成时代和构造属性. 岩石矿物学杂志, 20(2): 180~188.

时毓, 于津海, 徐夕生, 邱检生, 陈立辉. 2009. 秦岭造山带东段秦岭岩群的年代学和地球化学研究. 岩石学报, 25(10): 2651~2670.

苏犁, 宋述光, 宋彪, 周鼎武, 郝建荣. 2004. 松树沟地区石榴辉石岩和富水杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对秦岭造山带构造演化的制约. 科学通报, 49(12): 1209~1211.

苏文, 刘景波, 陈能松, 郭顺, 巴金, 张璐, 刘新, 施雨新. 2013. 东秦岭—大别山及其两侧的岩浆和变质事件年代学及其形成的大地构造背景. 岩石学报, 29(5): 1573~1593.

孙卫东, 李曙光, 孙勇, 张国伟, 张宗清. 1996. 北秦岭西峡二郎坪群枕状熔岩中一个岩枕的年代学和地球化学研究. 地质论评, 42(2): 144~153.

孙勇, 卢欣祥, 韩松, 张国伟, 杨司祥. 1996. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学(D 辑), 26(S1): 49~55.

汤清龙, 赵志强, 吉恒召, 杨涛, 牛磊. 2010. 东秦岭二郎坪群地质特征及成矿规律. 华南地质与矿产, 104(4): 45~54.

唐欢, 张宏福. 2017. 北秦岭西部榴闪岩的发现与变质作用过程: 锆石年代学和 Hf—O 同位素制约. 岩石学报, 33(6): 2575~2590.

万渝生, 刘敦一, 董春艳, 殷小艳. 2011. 西峡北部秦岭群变质沉积岩锆石 SHRIMP 定年: 物源区复杂演化历史和沉积、变质时代确定. 岩石学报, 27(4): 1172~1178.

王锦, 第五春荣, 孙勇, 刘晔, 王维. 2012. 豫西西峡地区青岗坪花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、Hf 同位素组成及其地质意义. 地质通报, 31(6): 884~895.

王铭生, 宋峰, 武新强. 1997. 河南北秦岭古火山断陷带二郎坪群及其相关地层划分对比. 河南地质, 15(4): 260~269.

王学仁, 华洪, 孙勇. 1995. 河南西峡湾潭地区二郎坪群微体化石研究. 西北大学学报(自然科学版), 25(4): 353~358.

王振东, 霍向光, 王逢新. 1995. 秦岭岩群和碧口岩群层序时代的重新厘定. 中国区域地质, 15(3): 220~227.

吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.

吴元保, 郑永飞. 2013. 华北陆块古生代南向增生与秦岭—桐柏—红安造山带构造演化. 科学通报, 58(23): 2246~2250.

徐多勋, 魏立勇, 张振, 寇少磊, 常亮, 曹龙. 2020. 西秦岭临潭地区隆务河组碎屑锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及沉积环境分析. 西北地质, 53(2): 102~125.

徐勇航, 赵太平, 陈伟. 2009. 东秦岭二郎坪群长英质火山岩成因及其对 VMS 型矿床成矿环境的制约. 岩石学报, 25(2): 399~412.

闫全人, 王宗起, 陈隽璐, 闫臻, 王涛, 李秋根, 姜春发, 张宗清. 2007. 北秦岭斜峪关群和草滩沟群火山岩成因的地球化学和同位素约束, SHRIMP 年代及其意义. 地质学报, 81(4): 488~500, 583~584.

闫全人, 王宗起, 闫臻, 王涛, 张宏远, 向忠金, 姜春发, 高联达. 2009. 从华北陆块南缘大洋扩张到北秦岭造山带板块俯冲的转换时限. 地质学报, 83(11): 1565~1583.

燕长海, 徐勇航, 彭翼, 赵太平. 2008. 东秦岭二郎坪群中火山成因块状硫化物矿床地质地球化学特征及其成因讨论. 矿床地质, 27(1): 14~27.

杨经绥, 许志琴, 裴先治, 史仁灯, 吴才来, 张建新, 李海兵, 孟繁聪, 戎合. 2002. 秦岭发现金刚石: 横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别. 地质学报, 76(4): 484~495.

杨敏, 刘良, 王亚伟, 廖小莹, 康磊, 盖永升. 2016. 北秦岭二郎坪杂岩变沉积岩碎屑锆石年代学及其构造地质意义. 岩石学报,

- 32(5): 1452~1466.
- 杨荣勇, 胡受奚, 任启江, 郭继春. 1995. 东秦岭二郎坪群蛇绿岩的地球化学特征及其成矿意义. 南京大学学报(自然科学版), 31(1): 140~147.
- 杨士杰, 陈丹玲, 宫相宽, 赵姣. 2015. 北秦岭东段二郎坪群基性火山岩中浅色岩体的地球化学、年代学及其地质意义. 岩石学报, 31(7): 2009~2022.
- 翟文建, 郭君功, 杨俊峰, 何凯, 赵韵文, 翟文芳, 李兰兰, 王小娟. 2019. 北秦岭双龙—夏馆地区大面积榴闪岩的发现及锆石 U-Pb 年代学研究. 大地构造与成矿学, 43(5): 1052~1068.
- 翟文建, 赵焕, 崔霄峰, 何凯, 翟文芳, 杨俊峰, 李承东. 2020. 北秦岭孤山坪地区辉长岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Lu—Hf 同位素组成. 地质科技通报, 39(5): 127~138.
- 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 1995. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学(B 辑), 25(9): 994~1003.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 101~132.
- 张宏远. 2006. 北秦岭二郎坪群的结构、演化与区域构造意义. 导师: 王宗起. 北京: 中国地质科学院博士学位论文: 1~130.
- 张宏远, 王宗起, 刘俊来, 闫全人, 王涛, 闫臻. 2009. 北秦岭二郎坪群晚中生代伸展—走滑—收缩体制研究. 地质力学学报, 15(1): 56~68.
- 张健, 薛春纪, 曹纪虎, 彭姣. 2019. 豫西南高庄金矿床 Re-Os 定年及 S—Pb 同位素和 REE 示踪. 地学前缘, 26(5): 163~173.
- 张旗, 张宗清, 孙勇, 韩松. 1995. 陕西商县—丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学. 岩石学报, 11(1): 43~54.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1~191.
- 张宗清, 张旗. 1995. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩中变质基性火山岩的地球化学特征. 岩石学报, 11(S1): 165~177.
- 赵姣. 2012. 北秦岭东段二郎坪群火山岩的地球化学及年代学研究. 导师: 陈丹玲. 陕西西安: 西北大学硕士学位论文: 1~54.
- 赵姣, 陈丹玲, 谭清海, 陈森, 朱小辉, 郭彩莲, 刘良. 2012. 北秦岭东段二郎坪群火山岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. 地学前缘, 19(4): 118~125.
- 赵林涛, 李三忠, 吕勇, 林宇, 刘永江, 牟墩玲, 廖家飞, 潘明. 2019. 滇西允沟岩组碎屑锆石年龄谱对相关地块亲缘性的约束. 岩石学报, 35(9): 2911~2925.
- An Sanyuan, Ye Jian, Hu Nenggao, Li Rongxi. 1993. Consideration with regard to the studies of the Erlangping Group. Journal of Xi'an College of Geology, 15(2): 1~6.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteoric studies. Rare Earth Element Geochemistry, 2: 63~114.
- Chen Danling, Liu Liang. 2011. New data on the chronology of eclogite and associated rock from Guanpo Area. North Qinling orogeny and its constraint on nature of North Qinling HP—UHP eclogite terrane. Earth Science Frontiers, 18(2): 158~169.
- Deng Jinfu, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Liu Cui, Zhao Guochun, Wu Zongxu Liu Yong. 2007. Igneous petroectonic assemblages and tectonic settings; A discussion. Geological Journal of China Universities, 4(3): 392~402.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Kong Weijiong, Cao Wenyan. 2010. High magnesian andesitic/dioritic rocks (HMA) and magnesian andesitic/dioritic rocks (MA): Two igneous rock types related to oceanic subduction. Geology In China, 37(4): 1112~1118.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015. Magmatic arc and ocean—continent transition: Discussion. Geological Review, 61(3): 473~484.
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Liu Liang, Zhang Chengli, Wang Hongliang. 2010. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neo-proterozoic N-MORB. Acta Petrologica Sinica, 26(7): 2025~2038.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Neubauer Franz, Liu Xiaoming, Genser Johann, Hauzenberger Christoph. 2011a. Tectonic evolution of the Qinling Orogen, China: Review and synthesis. Journal of Asian Earth Sciences, 41(3): 213~237.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Hauzenberger Christoph, Neubauer Franz, Yang Zhao, Liu Xiaoming. 2011b. Palaeozoic tectonics and evolutionary history of the Qinling Orogen: Evidence from geochemistry and geochronology of ophiolite and related volcanic rocks. Lithos, 122: 39~56.
- Feng Shengbin, Zhou Hongrui, Yan Changhai, Peng Yi, Yuan Xiaoqi, He Jing. 2007. Geochemical characteristics of hydrothermal cherts of Erlangping Group in east Qinling and their geologic significance. Acta Sedimentologica Sinica, 25(4): 564~573.
- Gao Lianda, Wang Zongqi, Wang Tao, Yan Quanren, Yan Zhen, Li Qiugen. 2006. Discovery of Devonian spores in the Huoshenmiao Formation of the Erlangping Group in the Xixia area, Henan, China. Geological Bulletin of China, 25(11): 1287~1294.
- Gao Sheng, Chen Danling, Gong Xiangkuan, Ren Yunfei, Li Haiping. 2015. Zircon U-Pb dating of clastic rocks and granites of Kuanping Group in Dongcha areas of Tianshui, and its geological implications. Earth Science Frontiers, 22(4): 255~264.
- Gong Xiangkuan, Chen Danling, Ren Yunfei, Liu Liang, Gao Sheng, Yang Shijie. 2016. Identification of coesite-bearing amphibolite in the North Qinling and its geological significance. Chinese Science Bulletin, 61: 1365~1378.
- Gorton M P, Schandl E S. 2000. From continents to island arcs; A geochemical index of tectonic setting for Arc-related and Within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. The Canadian Mineralogist, 38(5): 1065~1073.
- Guo Cailian, Chen Danling. 2011. Identification of O-type adakitic rocks in Erlangping area, western of Henan Province, and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 85(12): 1994~2002.
- Guo Cailian, Chen Danling, Fan Wei, Wang Aiguo. 2010. Geochemical and zircon U-Pb chronological studies of the Manziying granite in Erlangping area, western Henan Province. Acta Petrologica Et Mineralogica, 29(1): 15~22.
- Hastie A R, Kerr A C, Pearce J A, Mitchell S F. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th/Co discrimination diagram. Journal of Petrology, 48(12): 2341~2357.
- He Shiping, Wang Hongliang, Chen Junlu, Xu Xueyi, Zhang Hongfei, Ren Guangming, Yu Jiyan. 2007. Zircon U-Pb chronology of Kuanping Rock Group by LA-ICP-MS and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 81(1): 79~87.
- Hu Nenggao, Zhao Donglin, Xu Baiqing, Wangtao. 1994. Discovery and significance of coesite eclogite in northern Qinling mountain. Chinese Science Bulletin, 24: 2013.
- Hu Pan. 2016. U-Pb Chronology of Quartz Porphyry of Erlangping Group in the Qinling Orogenic Belt and Its Geological Significance// Proceedings of Annual Meeting of Chinese Geoscience Union (7).

- Beijing: Chinese Geophysical Society, 1~201.
- Hu Pan, Wu Yuanbao. 2017#. Geochemical Properties and Evolution History of Basic Rocks in Erlangping Unit //Proceedings of Annual Meeting of Chinese Geoscience Union (5). Beijing: Chinese Geophysical Society, 1~147.
- Hu Pan, Wu Yuanbao, Zhang Wenxiang, He Yu. 2019. Timing of the Erlangping back-arc basin in the Qinling orogen, central China and its tectonic significance. *Terra Nova*, 31(5): 458~464.
- Jiang Changyi, Su Shengrui, Zhang Zhenfei, Yang Zhihua, Zhao Taiping. 1995#. Questioning and reunderstanding the composition of Huoshenmiao Formation, Erlangping Group. *Journal of Xi'an College of Geology*, 17(2): 1~5.
- Jin Shouwen. 1985#. On the Erlangping Group. *Henan Geology*, 3(4): 49~55.
- Lao Ziqiang. 1991#. The sequence and age attribution of the Erlangping Group. *Henan Geology*, 9(4): 49~53.
- Li Caiyi, Ma Jianguo, Chen Ruibao, Zhao Jianmin. 1990#. New recognition of the stratigraphic sequence and age of the Erlangping Group in HeNan Province. *Regional Geology of China*, 9(2): 181~185.
- Li Chendong, Zhao Ligang, Xu Yawen, Chang Qingsong, Wang Shiyen, Xu Teng. 2018#. Chronology of metasedimentary rocks from Kuanping Group Complex in North Qinling Belt and its geological significance. *Geology in China*, 45(5): 992~1010.
- Li Kaoshe. 2002#. Zircon U-Pb age of meta-basic lava from the Kuanping Rock Group, Shaanxi Province. *Geology of Shaanxi*, 20(1): 72~78.
- Li Mingze, Wu Cailai, Lei Min, Qin Haipeng, Liu Chunhua. 2014#. Petrological Characteristics and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages of Granitoid in Nanzhao Area, Eastern Qinling Mountains. *Geological Review*, 60(2): 427~442.
- Li Rong, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Pei Lei, Liu Chengjun, Gao Feng. 2020#. Detrital Zircon U-Pb Age and Geological Significance of Metamorphic Strata from Xiaobianhe—Changba Area in the Mianlue Tectonic Belt of Southern Qinling. *Northwestern Geology*, 53(2): 126~146.
- Li Shengli, Yao Juan, Wu Qingjie, Li Yongquan, Zhang Dehui. 2012#. Typical ore deposit spots in Tuanyuan silver poly-metallic ore assembly areain southwest of He'nan Province: evidence from ore geology, fluid characteristics and zircon U-Pb dating. *Geological Bulletin of China*, 31(10): 1608~1627.
- Li Yalin, Zhang Guowei, Song Chuanzhong. 1998#. Characteristics of bidirectional subduction of Erlangping backarc basin in the east Qinling. *Geological Journal of China Universities*, 4(3): 286~293.
- Li Yalin, Zhang Guowei, Wang Genbao, Gao Fengquan. 1999#. Geological characteristics and tectonic implication of the Xiaozhai sedimentary assemblages in the North Qinling. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(4): 3~5.
- Li Yundong. 2018#. Zircon U-Pb ages and geochemistry of the Lixianqiao Batholith in Biyang, the southern margin of the North China Block. *Geological Science and Technology Information*, 37(4): 10~22.
- Li Zhenqiang, Ren Shenglian, Dong Shuwen, Li Jiaohao, Song Chuanzhong, Yang Qingliang, Zhang Gang. 2021#. Tectonic evolution time limit of subduction in Erlangping back-arc basin, North Qinling. *Chinese Journal of Geology*, 56(3): 1~22.
- Liu Guohui, Zhang Shouguang, You Zhengdong, Suo Shutian, Zhang Guowei. 1993#. Main metamorphic Groups and their Metamorphic Evolution of Qinling Orogen. Beijing: Geological Publishing House, 1~190.
- Liu Liang, Zhou Dingwu. 1995. Discovery and study of high-pressure basic granulites in Songshugou area of Shangnan, East Qinling. *Chinese Science Bulletin*, 40(5): 400~404.
- Liu Liang, Liao Xiaoying, Zhang Chengli, Chen Danling, Gong Xiangkuan, Kang Lei. 2013#. Multi-matemorphic timings of HP—UHP rocks in the North Qinling and their geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1634~1656.
- Liu Wenrong, Wang Runsan, Che Zicheng. 1989#. Erlangping Group in the east Qinling Mountains. *Journal of Northwest University*, 19(S1): 1~85.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, Hao Guojie, Zhou Hongying, Guo Jinjing, Niu Guanghua, Xiang Zhenqun. 2003#. Qinling Meso Neoproterozoic Orogenic Belt and Rodinia Continental Reconstruction. Beijing: Geological Publishing House, 1~187.
- Meng Qingren, Zhang Guowei. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, Central China. *Tectonophysics*, 323(3): 183~196.
- Ou Weicheng, Li Chengdong, Zhang Yongqing, Zhao Ligang, Xu Teng, Xu Yawen, Sun XuanYe. 2022#. LA-MC-ICPMS zircon U-Pb dating and provenance characteristic from Erlangping Group of the North Qinling. *Geoscience*, 36(1): 347~361.
- Pei Xianzhi, Li Houmin, Li Guoguang. 2001#. A study of formation epoch and tectonic attribute of the Danfeng Group Complex in east Qinling Mountains. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 20(2): 180~188.
- Shi Yu, Yu Jinhai, Xu Xisheng, Qiu Jiansheng, Chen Lihui. 2009#. Geochronology and geochemistry of the Qinling Group in the eastern Qinling Orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10): 2651~2670.
- Su Li, Song Shuguang, Song Biao, Zhou Dingwu, Hao Jianrong. 2004#. SHRIMP zircon U-Pb ages of garnet pyroxenite and Fushui gabbroic complex in Songshugou region and constraints on tectonic evolution of Qinling Orogenic Belt. *Chinese Science Bulletin*, 49: 1307~1310.
- Su Wen, Liu Jingbo, Chen Nengsong, Guo Shun, Ba Jin, Zhang Lu, Liu Xin, Shi Yuxin. 2013#. Geochronology and tectonic background of magmatic and metamorphic events in the East Qinling—Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1573~1593.
- Sun Xianshu, 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.
- Sun Weidong, Li Shuguang, Sun Yong, Zhang Guowei, Zhang Zongqing. 1996#. Chronology and geochemistry of a lava pillow in the Erlangping Group at Xixia in the north Qinling Mountains. *Geological Review*, 42(2): 144~153.
- Sun Yong, Lu Xinxiang, Han Song, Zhang Guowei, Yang Sixiang. 1996#. Composition and formation of Palaeozoic Erlangping ophiolitic slab, North Qinling: Evidence from geology and geochemistry. *Science in China (Series D)*, 26(S1): 49~55.
- Tang Qinglong, Zhao Zhiqiang, Ji Hengzhao, Yang Tao, Niu Lei. 2010#. Geological characteristics and metallogenic regulations of Erlangping Group of east Qinling Orogenic Belt. *Geology and Mineral Resources of South China*, 104(4): 45~54.
- Tang Huan, Zhang Hongfu. 2017#. Discovery of garnet amphibolite in

- western part of the North Qinling orogenic belt and its inferred metamorphic process; Constraints from zircon geochronology and Hf—O isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 33(8): 2575~2590.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Dong Chunyan, Yin Xiaoyan. 2011#. SHRIMP zircon dating of meta-sedimentary rock from the Qinling Group in the north of Xixia, north Qinling Orogenic Belt: Constraints on complex histories of source region and timing of deposition and metamorphism. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1172~1178.
- Wang Hao, Wu Yuanbao, Gao Shan, Liu Xiaochi, Gong H J, Li Qiuli, Li Xianhua, Yuan Honglin. 2011. Eclogite origin and timings in the North Qinling Terrane, and their bearing on the amalgamation of the South and North China Blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 29: 1019~1031.
- Wang Hao, Wu Yuanbao, Gao Shan, Liu Xiaochi, Liu Qian, Qin Zhengwei, Xie Shiwen, Zhou Lian. Yang Sai hong. 2013. Continental origin of eclogites in the North Qinling Terrane and its tectonic implications. *Precambrian Research*, 230: 13~30.
- Wang Jin, Diwu Chunrong, Sun Yong, Liu Ye, Wang Wei. 2012#. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and Hf isotope analysis of the Qinggangping granodiorite in Xixia area of western Henan Province and their geological significance. *Geological Bulletin of China*, 31(6): 884~895.
- Wang Mingsheng, Song Feng, Wu Xinqiang. 1997#. The Erlangping Group in paleovolcanic fault depression belt and its correlated stratigraphic division and correlation in the North Qinling region of Henan. *Henan Geology*, 15(4): 260~269.
- Wang Naiwen. 1989. Micropaleontological study of lower Palaeozoic siliceous sequences of the Yangtze Platform and Eastern Qinling Range. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 3(1): 141~161.
- Wang Xueren, Hua Hong, Sun Yong. 1995#. A study on microfossils of the Erlangping Group in Wantan Area Xixia County, Henan Province. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 25(4): 353~358.
- Wang Zhendong, Huo Xiangguang, Wang Fengxin. 1995#. Redefinition of the sequences and ages of the Qinling and Bikou Group Complexes. *Regional Geology of China*, 15(3): 220~227.
- Winchester J A, Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements, *Chemical Geology*, 20: 325~343.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004#. Geogenic mineralogy of zircon and its restriction on U-Pb age interpretation. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589~1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2013#. Southward accretion of the North China Block and the tectonic evolution of the Qinling—Tongbai—Hong'an orogenic belt. *Chinese Science Bulletin*, 58: 2246~2250.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2013. Tectonic evolution of a composite collision orogen—An overview on the Qinling—Tongbai—Hong'an—Dabie—Sulu Orogenic Belt in central China. *Gondwana Research*, 23(4): 1402~1428.
- Xu Duoxun, Wei Liyong, Zhang Zhen, Kou Shaolei, Chang Liang, Cao Long. U-Pb Age. 2020#. Geochemical characteristics and sedimentary environment analysis of detrital zircons from the Longwuhe Formation in Lintan area, West Qinling. *Northwestern Geology*, 53(2): 102~125.
- Xu Yonghang, Zhao Taiping, Chen Wei. 2009#. Origin of felsic volcanic rocks associated with VMS-type deposits in the Er'langping Group, East Qinling: Implications for ore-forming setting. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 399~412.
- Xue F, Kröner A, Reischmann F, Lerch F. 1996. Palaeozoic pre- and post-collision calc-alkaline magmatism in the Qinling. *Journal of Geological Society*, 153(3): 409~417.
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Chen Junlu, Yan Zhen, Wang Tao, Li Qiugen, Jiang Chunfa, Zhang Zongqing. 2007#. Tectonic setting and SHRIMP age of volcanic rocks in the Xieyuguan and Caotangou Groups: Implications for the north Qinling Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 81(4): 488~500, 583~584.
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, Wang Tao, Zhang Hongyuan, Xiang Zhongjin, Jiang Chunfa, Gao Lianda. 2009#. Timing of the transformation from seafloor spreading on the south margin of the North China Block to subduction within the north Qinling Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1565~1583.
- Yan Changhai, Xu Yonghang, Peng Yi, Zhao Taiping. 2008#. Geological—geochemical characteristics and genesis of massive sulfide deposits in Er'langping Group of East Qinling. *Mineral Deposits*, 27(1): 14~27.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi, Shi Rendeng, Wu Cailai, Zhang Jianxin, Li Haijing, Meng Fancong, Rong He. 2002#. Discovery of diamond in North Qinling: Evidence for a giant UHPM belt across central China and recognition of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze Plates. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 484~495.
- Yang Min, Liu Liang, Wang Yawei, Liao Xiaoying, Kang Lei, Gai Yongsheng. 2016#. Geochronology of detrital zircons from metaclastic of Erlangping complex in the North Qinling belt and its tectonic implication. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 1452~1466.
- Yang Rongyong, Hu Shouxi, Ren Qijiang, Guo Jichun. 1995#. The geochemical characteristics and metallogensis associated with massive sulfide deposits of Erlangping Group ophiolite in East Qinling. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 31(1): 140~147.
- Yang Shijie, Chen Danling, Gong Xiangkuan, Zhao Jiao. 2015#. The geochemistry, chronology and its geological implications of leucosomes in the basic volcanics of Erlangping Group in eastern segment of the North Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 31(7): 2009~2022.
- Zhai Wenjian, Guo Jungong, Yang Junfeng, He Kai, Zhao Yunwen, Zhai Wenfang, Li Lanlan, Wang Xiaojuan. 2019#. Discovery and zircon U-Pb dating of garnet amphibolite in Shuanglong—Xiaguan Area, North Qinling. *Geotectonica Et Metallogenia*, 43(5): 1052~106.
- Zhai Wenjian, Zhao Huan, Cui Xiaofeng, He Kai, Zhai Wenfang, Yang Junfeng, Li Chengdong. 2020#. Geochemical characteristics, zircon U-Pb ages and Lu—Hf isotope composition of gabbro in Gushanping area, North Qinling. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 39(5): 127~138.
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. 1995#. Tectonics and structure of Qinling orogenic belt. *Science in China (Series D)*, 38(11): 1379~1394.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001#. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 101~132.
- Zhang Hongyuan. 2006#. Structures, evolution and tectonic implications of the Erlangping Group in North Qinling. Tutor: Wang Zongqi. Beijing: Ph. D. dissertation of Chinese Academy of Geological

Sciences; 1~130.

Zhang Hongyuan, Wang Zongqi, Liu Junlai, Yan Quanren, Wang Tao, Yan Zhen. 2009&. The Late Mesozoic extension—slipping—contraction of the Erlangping Group in the North Qinling Tectonic Belt, Central China. *Journal of Geomechanics*, 15(1): 56~68.

Zhang Jian, Xue Chunji, Cao Jihu, Peng Jiao. 2019&. Re-Os dating and S—Pb isotopic and rare earth elements analyses of the Gaozhuang gold deposit in southwestern Henan, China. *Earth Science Frontiers*. 26(5): 163~173.

Zhang Qi, Zhang Zongqing, Sun Yong, Han Song. 1995&. Trace element and isotopic geochemistry of metabasalts from Dafeng Group (DFG) in Shangxian—Danfeng area, Shaanxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 11(1): 43~54.

Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. 1994#. Study on Isotopic Chronology of Metamorphic Strata in North Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 1~191.

Zhang Zongqing, Zhang Qi. 1995&. Geochemistry of Metamorphosed Late Proterozoic Kuanping Ophiolite in the Northern Qinling, China. *Acta Petrologica Sinica*, 11(S1): 165~177.

Zhao Jiao. 2012&. Studies on geochemical and zircon U-Pb dating of volcanics from Erlangping group of the North Qinling, eastern Qinling Mountains. Tutor: Chen Danling. Xi'an, Shanxi: thesis of Northwest University; 1~54.

Zhao Jiao, Chen Danling, Tan Qinghai, Chen Miao, Zhu Xiaohui, Guo Cailian, Liu Liang. 2012&. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of basic volcanics from Erlangping Group of the North Qinling, eastern Qinling Mountains and its geological implications. *Earth Science Frontiers*, 19(4): 118~125.

Zhao Lintao, Li Sanzong, Lü Yong, Lin Yu, Liu Yongjiang, Mu Dunling, Liao Jiafei, Pan Ming. 2019&. Detrital zircon age spectra of the Yungou Formation and its constrain to the related block affinity, western Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*, 35(9): 2911~2925.

Depositional age and tectonic background of the Baoshuping Formation, Erlangping Group, in northern Qinling Mountains

ZHAI Wenjian^{1, 2, 3)}, ZHANG Yong⁴⁾, TANG Guosheng^{1, 2, 3)}, ZHAO Huan^{1, 2)}, ZHAI Wenfang^{1, 2)}

1)Henan Institute of Geology, Zhengzhou, 450016;

2)Henan Technology Joint R & D and Demonstration Center of State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, Zhengzhou, 450016;

3)Henan Key Laboratory For Metallogenetic Process of Metal Mineral Resource and Resource Utilization, Zhengzhou, 450001;

4)Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin, 300170

Abstract: The Baoshuping Formation of the Erlangping Group is an important Early Paleozoic sedimentary record in the North Qinling Mountains, but it has not been studied enough. This study aims to further determine its depositional age and tectonic environment through petrological, geochemical, and zircon U-Pb dating investigations of volcanic interbeds and granite veins within the Baoshuping Formation. The research results indicate that the lithology of the volcanic interbeds of the Baoshuping Formation in the Xiaguan Town, Neixiang County, western Henan Province, is biotite actinolite sodium schists, often interbedded with biotite quartz schists. The protolith of the rocks is andesitic tuff, characterized by relatively low SiO₂ (52.56% ~ 62.04%), relatively high Al₂O₃ (10.70% ~ 18.55%), low MgO (4.06% ~ 6.21%) and FeO^T/MgO (1.23 ~ 1.81). It is enriched in light rare earth elements (LREEs) and large ion lithophile elements (LILEs, Rb, Th, U, K), and relatively depleted in high field strength elements (HFSEs, Nb, Ta, P, Ti), exhibiting characteristics of magnesian andesite rocks. Based on geochemical characteristics and previous studies, it is inferred that the Baoshuping Formation may have formed in an active continental margin back-arc basin. The crystallization age of the protolith of biotite actinolite sodium schists obtained by U-Pb dating of zircon is 446.0 ± 1.7 Ma, and the crystallization age of the intrusive granite porphyry is 430.0 ± 3.0 Ma, accurately dating the formation age of the Baoshuping Formation as Late Ordovician to Early Silurian for the first time. Integrated regional research results suggest that the Xiaozhai Formation and Baoshuping Formation conform to the division scheme of the generalized Erlangping Group in terms of stratigraphic sequence and stratigraphic age. However, the Damiao Formation, Huoshenmiao Formation, and the composite of the Xiaozhai Formation and the Baoshuping Formation exhibit near-simultaneity in formation age and a nearly parallel spatial relationship, indicating that they are likely products of different depositional environments with roughly equivalent ages. In terms of tectonic attributes, it is believed that the Erlangping Group formed as a

volcanic island arc due to the northward subduction of the Shangzhou—Danfeng Ocean before approximately 470 Ma, transformed into a back-arc basin between 470 Ma and 436 Ma, and completed the subduction closure process before approximately 430 Ma.

Keywords: Erlangping Group; Baoshuping Formation; volcanic rock; Late Ordovician—Early Silurian; island—back arc basin

Acknowledgements: This paper is supported by China Geological Survey Project “the Regional Geological Survey of 1 : 50000 Erlangping, Xiaoshui, Xiaguan sheet in Henan Province (No. DD20160043-03)” and Research project of Henan Institute of Geology “Dynamic Update of Geological Maps in Zhengzhou, Luoyang, and Sanmenxia cities(No. 2023-901-XM002-KT01)”

First author: ZHAI Wenjian, male, born in 1983, master student, is mainly engaged in regional geological investigation and research; Email: zhaiwenjian@ 163. com

Corresponding author: ZHANG Yong, male, born in 1983, master student, is mainly engaged in regional geological investigation and research; Email: 278377324@ qq. com

Manuscript received on: 2023-08-08; Accepted on: 2023-09-27; Published online on: 2023-12-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2023. 12. 032 **Edited by:** LI Ming, ZHANG Yuxu

中国地质学会发布 6 项团体标准

近期,根据国家标准化委员会、民政部印发的《团体标准管理规定》和《中国地质学会团体标准管理办法(试行)》的有关要求,经中国地质学会团体标准委员会审定通过,批准发布《构造混杂岩带铁路工程地质安全评价规范》(T/GSC003-2023)、《复杂艰险山区线状工程地质区划技术规程》(T/GSC 004-2023)、《超长距离工程地质勘察水平定向钻探规程》(T/GSC 005-2023)、《二氧化碳陆地封存工程选址指南》(T/GSC 006-2024)、《长大深埋铁路隧道智能化地质编录技术规程》(T/GSC 007-2024)和《火山岩磁化率各向异性测量技术规范》(T/GSC 008-2024)6项团体标准。其中前3项标准自2023年12月29日起正式实施,后3项标准自2024年1月2日起正式实施。

《构造混杂岩带铁路工程地质安全评价规范》(T/GSC003-2023):依据T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

文件编写单位:中国地质科学院地质力学研究所、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质大学(北京)、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国地质调查局成都地质调查中心、中国国家铁路集团有限公司、中国科学院地质与地球物理研究所、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院集团有限责任公司等。

文件编写人:张永双、李雪、王保弟、郭长宝、李向全、吴瑞安、周洪福、陈兴强、苗晓岐、冯涛、杨志华、刘俊飞、唐渊、王冬兵、王炀、马剑飞、刘峰、郑博文、钟宁、张春潮、张婉、李金秋、冉涛、梁宁、罗锋、任三绍。

《复杂艰险山区线状工程地质区划技术规程》(T/GSC 004-2023):是依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1

部分:标准化文件的结构和起草规则》、T/CAS1.1-2017《团体标准的结构和编写指南》给出的规则编写。

文件编写单位:中国地质科学院地质力学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质大学(北京)、中国国家铁路集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质调查局成都地质调查中心等。

文件编写人:张永双、祁生文、郑博文、梁宁、宋帅华、李永超、吴瑞安、李雪、郭长宝、郭松峰、杨国香、王保弟、安志国、雷达、臧明东、杨志华、陈兴强、周洪福、王冬兵、冯涛、崔颖辉、唐渊、罗锋、李金秋、任三绍、郭忻怡、邹宇。

《超长距离工程地质勘察水平定向钻探规程》(T/GSC 005-2023):是依据T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

文件编写单位:中国地质大学(武汉)、浙江华东岩土勘察设计院有限公司,长江岩土工程有限公司,陕西太合智能钻探有限公司,成都华建地质工程科技有限公司,河北永明地质工程机械有限公司,广东中煤江南工程勘测设计有限公司,北京六合伟业科技股份有限公司,中煤科工生态环境科技有限公司,青海省第二地质勘察院,中国地质科学院勘探技术研究所。

文件编写人:窦斌、闫雪峰、郑君、牛美峰、田红、赖孝天、胡郁乐、王义红、颜慧明、叶晓平、陈云召、王坚、张明林、周光辉、李正前、庄生明、李勇、冯建宇、吴进磊、秦允海、廖先斌、刘海声、刘小平、余彦忠、曹晓毅、王玉涛、陈占荣、周治刚、陈晓林、刘志强。