

doi: 10.12029/gc20180508

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[J]. 中国地质, 45(5): 992-1010.

Li Chengdong, Zhao Ligang, Xu Yawen, Chang Qingsong, Wang Shiyan, Xu Teng. 2018. Chronology of metasedimentary rocks from Kuanping Group Complex in North Qinling Belt and its geological significance[J]. Geology in China, 45(5): 992-1010(in Chinese with English abstract).

北秦岭宽坪岩群变质沉积岩年代学及地质意义

李承东¹ 赵利刚¹ 许雅雯¹ 常青松¹ 王世炎² 许腾¹

(1.天津地质矿产研究所,天津300170,2.河南省地质调查院,河南 郑州 450001)

摘要: 宽坪岩群位于北秦岭造山带,主要由广东坪岩组斜长角闪岩、四岔口岩组云母石英片岩及谢湾岩组的大理岩组成。通过LA-MC-ICPMS 锆石U-Pb 测年研究,宽坪岩群谢湾岩组碎屑锆石年龄为400~3502 Ma,其中最年轻一组的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄在380~418 Ma,结合黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar (370.9±2.0)Ma的变质年龄,表明谢湾岩组形成在晚泥盆世。四岔口岩组碎屑锆石年龄介于512~3598 Ma,最年轻的一组锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄在512~549 Ma,其黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 变质年龄为(370.4±1.8)Ma,表明该组形成于512 Ma(早寒武世)之后,晚泥盆世之前,主体很可能形成于早古生代。宽坪岩群是由不同时代的地层和岩片构成,应该进一步解体。宽坪岩群物源来自华北陆块、秦岭造山带和扬子陆块。其变形变质时代为晚泥盆世,代表了北秦岭造山带碰撞造山的结束时代。

关键词: 宽坪岩群;LA-MC-ICPMS;⁴⁰Ar/³⁹Ar;北秦岭,河南省;

中图分类号:P588.3;P597 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2018)05-0992-19

Chronology of metasedimentary rocks from Kuanping Group Complex in North Qinling Belt and its geological significance

LI Chengdong¹, ZHAO Ligang¹, XU Yawen¹, CHANG Qingsong¹, WANG Shiyan², XU Teng¹

(1.Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China;2. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: Kuanping Group Complex is located in North Qinling orogenic belt and consists chiefly of amphibolite of Guangdongping Formation, mica-quartzose schist of Sichakou Formation and marble of Xiewan Formation. According to recent dating of the LA-MC-ICPMS U-Pb zircons from Kuanping Group Complex in Tanghe area of Henan, their ages of detrital zircons of mica-quartzose schist from Xiewan Formation Complex range from 400Ma to 3502 Ma with a group of youngest ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages between 380 and 418 Ma. Combined with (370.9±2.0)Ma metamorphic age of ⁴⁰Ar/³⁹Ar of the biotite, it is concluded that Xiewan Formation Complex was formed in the Late Devonian. And the ages of detrital zircons from Sichakou Formation Complex range similarly from 512 Ma to 3598 Ma with a group of youngest ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages between 512 and 549Ma, and its metamorphic age is (370.4±1.8)Ma from biotite ⁴⁰Ar/³⁹Ar. It is thus held that Sichakou Formation Complex was formed between Middle Cambrian and

收稿日期:2016-09-20; 改回日期:2017-07-17

基金资助:中国地质调查局“中条—熊耳山成矿区地质矿产调查”项目(DD20160043)、“豫西关键地区地质调查”项目(12120113060900)及国家自然科学基金(41272065)联合资助。

作者简介:李承东,男,1963年生,教授级高级工程师,主要从事造山带地质及岩石大地构造研究;E-mail: tjlcd99@163.com。

Late Devonian of early Paleozoic. So Kuanping Group Complex needs further disintegration due to great difference of stratigraphic ages. The sediments were probably derived from the North China Block, the Qinling orogenic belt and the Yangtze block. The ages of biotite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ show that Kuanping Group Complex was deformed in Late Devonian, indicating the end of collision orogeny of the North Qinling Belt during Paleozoic.

Key words: Kuanping Group Complex; LA-MC-ICPMS; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$; North Qinling Belt; Henan

About the first author: LI Chengdong, male, born in 1963, senior engineer, mainly engages in the study of orogenic belt and petrotectonics; E-mail: tjlcd99@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. DD20160043, No.12120113060900) and National Natural Science Foundation of China (No. 41272065).

1 引言

最早由阎廉泉于1959年在陕西商县北宽坪镇创建宽坪岩组,指宽坪镇以北的一套低—中级变质岩系,时代归属古元古代(陕西省地质矿产局,1989)。之后,秦岭区测队在《1:20万商南幅地质图及说明书》中改称为宽坪组。金守文(1976)在研究河南西峡以北地区的变质地层时将其定名为“宽坪群”。后来,肖思云等(1988)将宽坪群自下而上划分为广东坪组、四岔口组和谢湾组,或称岩群、岩组(河南省地质矿产厅,1997)。宽坪群自创名以来,不同学者从不同角度对其进行了研究,但关于地层划分、形成环境及时代仍没有定论。归纳起来主要有以下几种认识:(1)认为宽坪岩群是一个构造地层单元,不具有地层学“群”的意义,是由于构造作用将不同时代不同形成环境的岩石和地层堆叠在一起的混杂岩(贾承造等,1988;张寿广等,1991;王宗起等,2009;第五春荣等,2010a; Dong et al., 2014a)。(2)宽坪岩群形成的构造环境有多种不同的认识。一是认为形成于俯冲环境,为俯冲增生杂岩,其中广东坪组基性玄武岩为蛇绿残片(贾承造等,1988;姜常义等,1998;第五春荣等,2010a; Dong et al., 2014a)。二是形成于弧后盆地,如陆松年等(2003)认为宽坪岩群是二郎坪岛弧带的弧后边缘盆地;张宗清和张旗(1995)认为形成于晋宁期华北陆块南缘弧后扩张海盆;张寿广等(1991)提出宽坪岩群属于丹凤火山岩带的弧后盆地。三是形成于华北南缘被动边缘大陆裂谷(大洋?),与俯冲环境无关(张国伟等,2001;闫全人等,2008)。(3)宽坪岩群形成时代存在更大分歧。早期研究者多倾向宽坪群形成于中—新元古代(陕西地质矿产局,1989;张寿广等,1991;张宗清和张旗,1995;河南地质矿

产厅,1997;张国伟等,2001;闫全人等,2008; Dong et al., 2014b)。最近研究成果表明,它们可能形成于新元古代—早古生代 500~700 Ma(陆松年等,2003)或者 943 Ma 及 600 Ma 之后(第五春荣等,2010a)。而王宗起等(2009)在陕西户县马召、商县板桥以北,北宽坪—焦安沟等地变质变形相对较弱的碎屑岩中采集了大量奥陶纪微体化石,认为宽坪岩群形成于早—中奥陶世。

基于上述存在问题,本文对河南汤河一带的宽坪岩群四岔口岩组、谢湾岩组变质碎屑岩进行 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 及黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素分析,以期获得宽坪岩群碎屑岩的形成时代及变质时代,为秦岭造山带演化提供新的年代学证据。

2 地质背景

北秦岭构造带位于秦岭商丹断裂带与栾川断裂带之间,主要岩石地层单元自北而南依次为宽坪岩群、二郎坪群、秦岭岩群和丹凤混杂岩,它们之间均以断裂带为界,沿北西西方向平行展布,构成北秦岭构造带的主体构造线;此外,有少量超镁铁质岩和花岗岩分布(图 1A)。宽坪岩群是北秦岭构造活动带的主要组成部分,分布在北秦岭构造带北缘,总体呈北西向延伸,西起甘肃天水利桥,向东横贯陕西中部地带的东秦岭北坡,在河南经卢氏、南召、方城,过南阳盆地,直达桐柏北部地区,长达千余千米。宽坪岩群南北界均以区域性深大断裂与相邻地层单元隔开,南以瓦穴子—汤河断裂(豫西)与二郎坪群为界,北以铁炉子(陕西)断裂—栾川断裂与华北克拉通相邻(图 1A、B)。本次研究区的宽坪岩群主要在河南省汤河一带,其北部为陶湾岩群、栾川群和官道口群,南侧为二郎坪群、秦岭岩群。宽坪岩群从南到北、从老到新(河南省地质矿产厅,

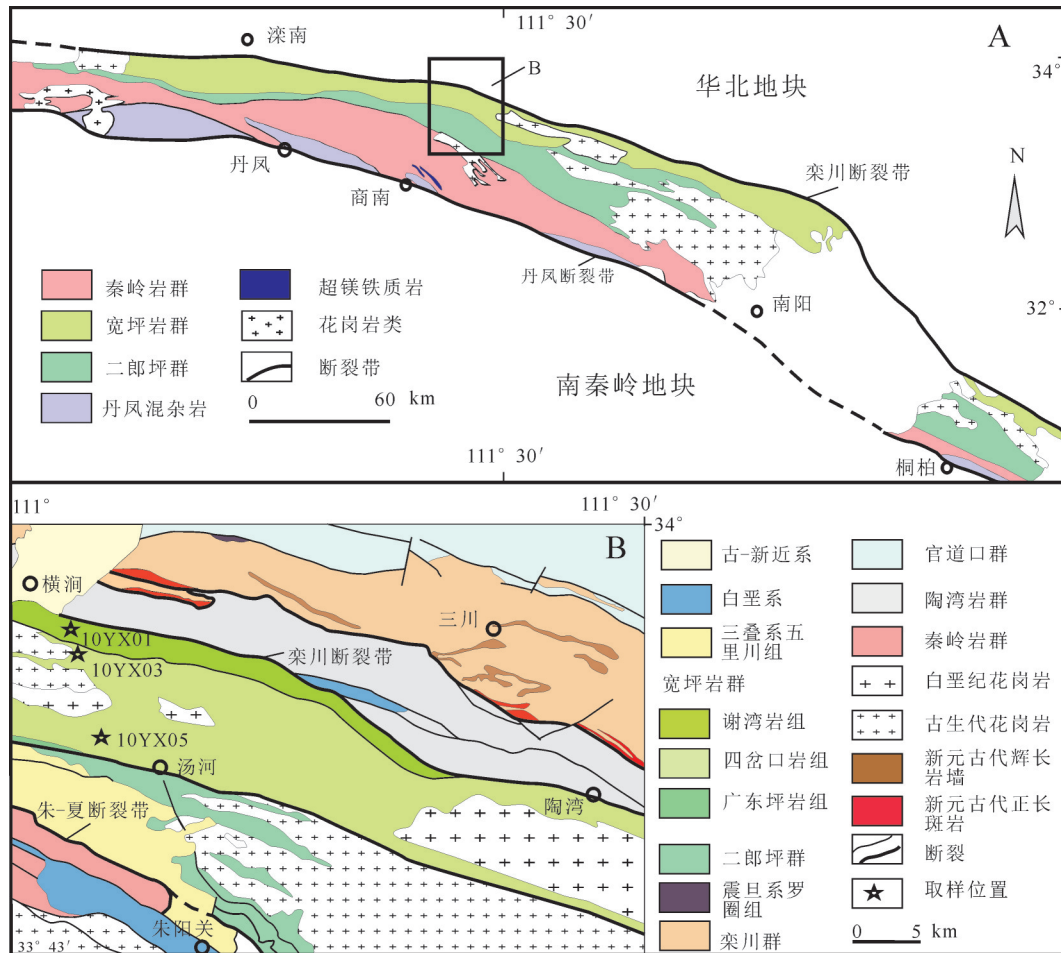


图1 北秦岭地质简图(A)(据张国伟等,2001简化)和河南汤河地区地质简图(B)(据1:25万内乡县幅地质图简化)
Fig.1 Geological sketch map of North Qinling Belt (A) and Tanghe area, Henan Province (B)

1997)分别为广东坪岩组、四岔口岩组和谢湾岩组(图1B)。广东坪岩组以绿泥绿帘斜长角闪片岩、石英角闪片岩为主夹云母石英片岩及大理岩,原岩主要为中基性火山岩;四岔口岩组以含石榴云母石英片岩为主夹斜长角闪片岩及大理岩等,原岩主要为复理石杂砂岩夹基性火山岩和少量碳酸盐岩;谢湾岩组以黑云母石英大理岩、石英大理岩为主夹斜长角闪片岩及云母石英片岩、薄层状石英岩等,原岩以碳酸盐岩为主夹杂砂岩、基性火山岩。3个岩组的关系被认为整合接触(河南省地质矿产厅,1997),但野外观察表明,宽坪岩群原生沉积构造已被破坏殆尽,内部以发育大量透镜状、钩状、扁豆状等无根褶皱为特征,并伴随有强烈的韧性剪切变形,经历了复杂的变质变形作用,至少可识别出3期构造变形和2期以上的变质作用(陆松年等,2003),所以3个岩组间的关系更应该以构造面相互接触,

而不是整合接触。宽坪岩群变质作用也不均匀,广东坪岩组与谢湾岩组为绿片岩相,四岔口岩组南部为绿片岩相,北部出现石榴石和矽线石为角闪岩相。

3 样品特征与分析方法

3.1 样品特征

10YX01样品取自宽坪岩群谢湾岩组大理岩夹层方解石化二云石英片岩(图2a,b),由黑云母(15%~20%)、白云母和绢云母(20%~25%)、石英(50%±)和方解石(10%±)组成。黑云母呈浅褐色片状,白云母、绢云母呈无色片状、鳞片状,两者具定向排列,片径小于0.8 mm。石英呈他形粒状、齿形粒状,粒内具波状消光、亚颗粒,粒径多0.05~0.8 mm,有的聚集成条带状定向分布。岩石片状构造发育,由片状矿物构成,变质矿物组合特征为黑云母+白云母+石英+方解石,为绿片岩相。

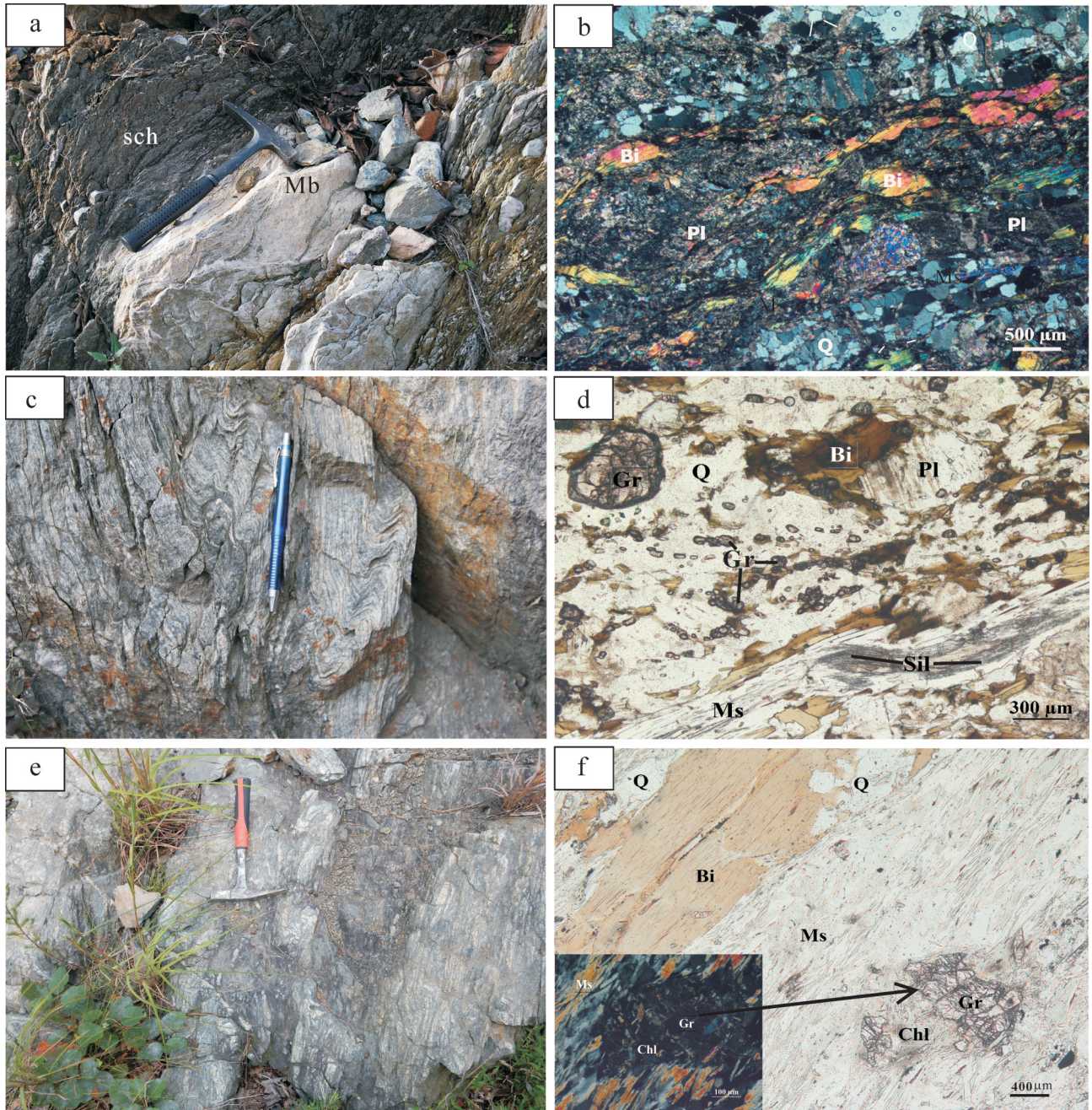


图2 宽坪岩群定年样品野外宏观及镜下显微特征

a,b—13YX01 大理岩(Mb)中二云石英片岩(sch)夹层(a)及其镜下(b, 正交偏光)特征;c,d—10YX03 含砂线石榴二云斜长片岩小褶皱(c)及镜下特征(d, 正交偏光);e,f—10YX05 含石榴斜长二云片岩宏观片理(e)及镜下(f, 正交偏光)特征;Q—石英;Pl—斜长石;Bi—黑云母;Ms—白云母;Gr—石榴子石;Sil—矽线石;Chl—绿泥石

Fig.2 Macro and microscopic features of dating sample from Kuangping Group Complex

a,b—Two-mica quartz schist (a) and its characteristics under mirror (b, crossed nicols) in 1 - 13YX01 marble; c,d- 10YX03 containing silica line pomegranate two-mica plagioclase schist (c) and microscopic characteristics (d, crossed nicols); e,f- 10YX05 containing pomegranate two-mica schist (e) and microscopic characteristics (f, crossed nicols); Q—quartz; Pl—Plagioclase; Bi—Biotite; Ms—Muscovite; Gr—Garnet; Sil—Sillimanite; Chl—Chlorite

10YX03 样品取自四岔口岩组,岩性为含矽线石榴二云斜长片岩(图 2c、d),岩石由石英(35%~40%)、斜长石(20%~25%)、黑云母(25%±)、白云母(5%~10%)和少量钾长石(<5%)、石榴石(<5%)、矽线石组成(<5%)。石榴石呈浅肉红色等轴粒状,粒径多 0.02~0.75 mm。斜长石、钾长石均呈他形粒状,斜长石有的具环带,与钾长石接触边部见交代蠕英石,粒径 0.15~1.85 mm。石英呈他形、齿形粒状,粒内见波状消光和亚颗粒,粒径 0.1~2.6 mm。黑云母呈褐色片状,白云母呈无色片状,两者具定向排列,片长 0.05~1.45 mm。少量矽线石呈无色毛发状、针柱状,常定向生长于白云母内。岩石片理发育,为主体期片理,主期变质矿物组合为黑云母+白云母+石榴石+矽线石+石英,为角闪岩相。

10YX05 样品取自四岔口组,岩性为含石榴斜长二云片岩(图 2e、f),岩石由白云母(45%~50%)、石英(20%±)、黑云母(10%~15%)、斜长石(5%~10%)和少量绿泥石(5%~10%)、方解石(<5%)、黝帘石(<5%)、少量石榴石组成。黑云母呈褐色片状,白云母呈无色片状,绿泥石呈浅绿色片状,均具定向排列,片径 0.05~3.1 mm。石英呈他形粒状、镶嵌粒状,粒内具波状消光和亚颗粒,粒径多 0.1~1.55 mm,有的聚集成条带状定向分布。斜长石呈他形粒状,具绢云母、碳酸盐化,粒径为 0.05~0.85 mm。黝帘石呈无色柱状,粒径为 0.05~0.8 mm。石榴石呈无色等轴粒状,粒径 0.03~0.32 mm。方解石呈他形粒状,粒径 0.1~1.1 mm。岩石片理发育,变质矿物组合为石榴石+黑云母+白云母+石英,为角闪岩相。岩石中绿泥石为后期退变产物。

3.2 锆石 U-Pb 同位素测年方法

将样品粉碎到 80 目,用磁选、重液选等方法选出单矿物,在实体显微镜下手工挑选裂纹少、透明度较好、干净的锆石制靶,之后拍摄锆石透反射光照片、阴极发光(CL)图像,做锆石成因分析。锆石 U-Pb 同位素分析在天津地质矿产研究所进行,采用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)进行微区原位 U-Pb 同位素测定,仪器配置和实验流程见有关文献(李怀坤等,2009)。用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U-Pb 同位素分馏校正(Jackson SE et al., 2004),采用中国地质大学刘勇胜研发的 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2009)和

Ludwig 的 Isoplot 程序(Ludwig,2003)进行数据处理,应用 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正(Anderson, 2002),利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

在 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 测年中,由于年轻的锆石(<1000 Ma),其 ^{207}Pb 和 ^{235}U 的含量较低,而较低的 ^{207}Pb 可能会导致 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 以及 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 精度较差,所以本文采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄来代表年轻锆石的真实年龄;对于古老锆石(>1000 Ma)多存在着一定程度的铅丢失,而 ^{207}Pb 和 ^{206}Pb 在相同的初始条件和共同的地质构造环境中具有同步变化的特征,二者保持相对稳定的比值,因此采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄来代表较老锆石的真实年龄(第五春荣等, 2010a)。

3.3 Ar-Ar 同位素测年方法

将岩石样品粉碎至 60~80 目,经过磁选和重液浮选后在镜下人工挑选出单矿物,用去离子水超声振荡清洗 2~3 次,每次 10 min,再加入丙酮用超声波清洗 20 min。干燥后每个样品用铝箔包装成圆盘状,放入石英瓶中。然后送中国原子能研究院 49-2 原子反应堆的 H8 孔道进行快中子照射,中子密度流为 $6.5 \times 10^{12} \text{ n} (\text{cm}^2 \text{ s})^{-1}$,照射时间 24 h,同时采用国际标样 Bern4M(白云母, $(18.69 \pm 0.07) \text{ Ma}$)监测中子通量。采用高分辨率的分步加热技术用来测定 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分析。

样品经快中子照射后,送中国科学院地质与地球物理研究所 Ar 同位素年代学实验室采用 MM5400 质谱仪测量。该仪器采用 Nier 离子源,配置一个法拉第杯和一个电子倍增器。仪器分辨率为 400,灵敏度为 $1.251 \times 10^{-3} \text{ A/Torr}$,操作模式为跳峰扫描。气体纯化采用两个 SAES 锆铝泵,工作温度分别为 350°C 和 80°C 。样品采用阶段升温法,各阶段释出的 Ar 送入质谱进行同位素测量。每天测二次标准空气,以监测质谱的质量歧视效应,实验中仪器的质量歧视稳定,质量歧视校正因子为 1.00831/amu(法拉第杯)。采用 CaF_2 和 K_2SO_4 确定 Ca、K 同位素反应的校正参数: $[^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}]_{\text{Ca}} = 0.000261 \pm 0.0000142$, $[^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}]_{\text{Ca}} = 0.000724 \pm 0.0000281$, $[^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}]_{\text{K}} = 0.00088 \pm 0.000023$ 。年龄计算中的衰变常数取 $5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ (Steiger and Jäger, 1977)。采用 Ar-Ar CALC 软件处理 Ar-Ar 定年数据(Koppers, 2002)。

4 分析结果

4.1 锆石U-Pb同位素测年分析结果

3个样品锆石LA-MC-ICPMS U-Pb同位素分析结果及年龄见表1,代表性锆石阴极发光特征见图3,图4展示了3个样品锆石U-Pb谐和图、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄直方图。

3个样品共有240个锆石,碎屑锆石多呈短柱状,一些保持较好的棱角,一部分明显受到后期改造或者磨蚀成圆形、不规则状,但一般均发育明显的震荡环带,Th/U比均大于0.1,表明它们主要来源于岩浆成因的物源区。有些次圆状锆石往往发育核边结构(图3中10YX01-41、67,10YX03-46、56,10YX05-72等),核部仍具岩浆锆石特征,边部为变质成因,表明受到后期变质作用改造。3个样品测点均位于发育震荡环带的部位,绝大部分锆石测点位于谐和线上,所测年龄应为锆石的形成时代。

10YX01为谢湾岩组大理岩夹层二云石英片岩,共测试80个点,碎屑锆石年龄主要集中在400~2200 Ma,有少量大于2.5 Ga的锆石,最年轻的一组共12个锆石测点(25、28、32、35、40、44、55、58、63、66、79、80), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄集中在380~418 Ma(且它们的Th/U比多在1.20~2.97,表1,图4),限定谢湾岩组沉积的下限,表明其形成于早中泥盆世之后。

四岔口岩组10YX03为含砂线石榴二云斜长片岩,碎屑锆石年龄均大于536 Ma,主要集中在800~1400 Ma和2500~2600 Ma,有3个大于3.0 Ga的锆石年龄(3195~3598 Ma),最年轻5个锆石(11、14、21、47、76) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为536~606 Ma(表1,图4)。10YX05含石榴斜长二云片岩,碎屑锆石年龄主要集中于500~1600 Ma,2500 Ma左右,其中7、14、34、50、57、60、68等7个锆石投点在谐和线之下,为铅丢失所致,它们上交点年龄为(2491±45)Ma,最年轻一组5个锆石(8、32、41、48、76) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在512~549 Ma(表1,图4)。综合这2个样品,表明四岔口岩组形成时代小于500 Ma,即形成于寒武纪之后。

4.2 Ar-Ar定年分析结果

为了限定主要变形变质事件,挑选10YX01、10YX03样品中的黑云母进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年。分析结果列于表2。表中表面年龄的误差包括了测量误

差、Ca和K校正误差和J值误差,但没有包括所谓的外部误差,即标准样年龄的测定误差和衰变常数测定误差。

10YX01样品为宽坪岩群谢湾岩组中夹层片岩,测定矿物为黑云母。对该样品从750~1230℃,进行12阶段 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 升温测量。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定结果表明在750~1230℃这个阶段构成一个较好的坪(图5),年龄为(370.9±2.0)Ma,与反等时线年龄(371.16±0.63)Ma在误差范围内一致。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比为(288.6±73)Ma,误差范围内与大气氩(295.5)基本一致,表明没有过剩氩存在,该年龄代表黑云母冷却年龄。

10YX03样品为宽坪岩群四岔口岩组的片岩,测定矿物为黑云母,黑云母没有蚀变。对该样品从750~1240℃,进行10个阶段 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 升温测量。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定结果表明在750~1040℃阶段构成一个较好的坪(图5),年龄为(370.4±1.8)Ma,组成坪的 ^{39}Ar 放气量占总量的90%。反等时线年龄为(370.6±2.1)Ma,但每个年龄点没有拉开。考虑该样品的坪年龄与10YX01样品坪年龄一致,可以认为该年龄代表黑云母的冷却年龄。

5 讨论

5.1 宽坪岩群形成时代

以往宽坪岩群时代主要通过通过对广东坪岩组变基性火山岩和四岔口岩组变质碎屑岩年代学研究或者在浅变质地层采集微古生物来限定,很少有人对谢湾岩组进行定年,主要是因为谢湾岩组由大理岩组成,缺乏测年的物质。本文为了全面了解宽坪岩群时代,对谢湾岩组大理岩夹层中片岩进行了碎屑锆石年代学研究,获得最年轻一组锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在380~418 Ma,表明谢湾岩组形成于中泥盆世之后。该样品中黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(370.9±2.0)Ma,晚泥盆世晚期,为黑云母冷却年龄。样品中黑云母、白云母等构成主期片理,为绿片岩相变质矿物,黑云母的冷却年龄代表该套岩石的主期变质时代。所以谢湾岩组形成时代被限定为晚泥盆世。

四岔口岩组碎屑锆石测年,获得最年轻一组锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在512~549 Ma,表明其形成时代应在512 Ma后,即形成于早寒武世之后。这与最近第

表1 宽坪岩群 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测定数据

Table 1 The U-Pb isotope composition of zircons from Kuangping Group Complex measured by LA-MC-ICPMS

测点	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
10YX01 二云石英片岩 (谢湾岩组)															
1	127	96	0.54	0.11272	0.00034	5.095	0.047	0.3277	0.0028	1844	6	1835	8	1827	14
2	398	166	1.05	0.12410	0.00040	5.604	0.066	0.3275	0.0038	2017	6	1917	10	1826	18
3	22	311	0.04	0.05611	0.00023	0.5365	0.0050	0.06942	0.00064	457	5	436	3	433	4
4	203	82	0.76	0.13501	0.00042	7.214	0.068	0.3876	0.0034	2165	6	2138	8	2111	16
5	195	114	0.63	0.11432	0.00030	5.260	0.044	0.3337	0.0027	1869	4	1862	7	1856	13
6	254	112	0.82	0.11943	0.00031	5.728	0.045	0.3479	0.0026	1948	5	1936	7	1925	13
7	1032	206	0.84	0.30584	0.00057	28.43	0.22	0.6741	0.0051	3502	3	3434	8	3322	20
8	540	363	0.67	0.08895	0.00020	3.146	0.026	0.2566	0.0020	1403	5	1444	6	1472	10
9	188	56	1.31	0.10980	0.00041	4.697	0.044	0.3104	0.0028	1796	6	1767	8	1743	14
10	94	66	1.82	0.06610	0.00055	0.7964	0.0082	0.08759	0.00073	809	19	595	5	541	4
11	17	27	0.02	0.11386	0.00054	5.125	0.050	0.3269	0.0031	1862	9	1840	8	1823	15
12	143	70	0.43	0.11693	0.00037	5.260	0.042	0.3263	0.0024	1910	6	1862	7	1820	12
13	372	185	0.97	0.07268	0.00022	1.653	0.013	0.1649	0.0011	1006	7	991	5	984	6
14	167	40	0.86	0.13247	0.00042	7.066	0.059	0.3870	0.0031	2131	6	2120	7	2109	14
15	305	133	0.64	0.08784	0.00029	2.923	0.025	0.2416	0.0021	1389	7	1388	6	1395	11
16	905	199	0.88	0.12629	0.00027	6.564	0.056	0.3770	0.0031	2047	4	2055	7	2062	15
17	430	172	1.49	0.06135	0.00025	0.9067	0.0089	0.10721	0.00098	652	9	655	5	656	6
18	262	80	0.55	0.12901	0.00037	6.610	0.054	0.3718	0.0030	2084	10	2061	7	2038	14
19	178	288	0.11	0.07942	0.00021	2.327	0.019	0.2124	0.0016	1183	5	1220	6	1242	8
20	795	317	0.79	0.07113	0.00020	1.649	0.015	0.1681	0.0014	961	7	989	6	1002	8
21	842	663	0.82	0.05612	0.00017	0.5785	0.0041	0.0747579	0.00048	457	7	463	3	465	3
22	1604	166	2.94	0.07254	0.00029	1.740	0.017	0.1740	0.0016	1011	7	1024	6	1034	9
23	1028	321	0.85	0.07569	0.00020	1.947	0.015	0.1865	0.0013	1087	4	1097	5	1102	7
24	185	19	1.44	0.11215	0.00057	4.911	0.054	0.3175	0.0030	1835	9	1804	9	1777	15
25	1686	1035	1.20	0.05466	0.00014	0.4926	0.0035	0.06538	0.00046	398	6	407	2	408	3
26	386	67	1.27	0.08707	0.00031	2.763	0.025	0.2302	0.0020	1362	7	1346	7	1335	11
27	1069	143	1.20	0.10699	0.00043	4.477	0.047	0.3035	0.0030	1750	12	1727	9	1709	15
28	1769	1052	1.29	0.05440	0.00014	0.4846	0.0036	0.06464	0.00048	387	3	401	2	404	3
29	411	132	0.70	0.08000	0.00034	2.143	0.027	0.1940	0.0021	1198	8	1163	9	1143	11
30	778	81	1.65	0.09922	0.00031	3.773	0.037	0.2759	0.0026	1610	7	1587	8	1570	13
31	478	109	1.54	0.06925	0.00030	1.387	0.014	0.1453	0.0013	906	9	884	6	875	8
32	31	13	1.75	0.0575	0.0011	0.487	0.011	0.06163	0.00083	509	44	403	8	386	5
33	212	115	0.61	0.07055	0.00025	1.499	0.012	0.1541	0.0012	946	6	930	5	924	7
34	534	607	0.24	0.06924	0.00018	1.538	0.012	0.1611	0.0011	906	10	946	5	963	6
35	356	113	2.67	0.05583	0.00036	0.4741	0.0041	0.06165	0.00041	456	15	394	3	386	2
36	118	17	1.20	0.11177	0.00061	4.785	0.057	0.3109	0.0035	1828	10	1782	10	1745	17
37	642	261	0.61	0.08218	0.00020	2.440	0.021	0.2154	0.0017	1250	0	1255	6	1257	9
38	464	183	0.46	0.10762	0.00026	4.659	0.041	0.3140	0.0026	1761	5	1760	7	1760	13
39	379	69	0.93	0.12984	0.00038	6.337	0.064	0.3540	0.0033	2096	6	2024	9	1954	16
40	315	157	1.83	0.05546	0.00029	0.4759	0.0044	0.06227	0.00049	432	11	395	3	389	3
41	426	442	0.07	0.1828	0.0011	12.40	0.13	0.4924	0.0047	2680	10	2635	10	2581	20
42	835	193	0.88	0.10721	0.00025	4.587	0.043	0.3103	0.0027	1754	8	1747	8	1742	13
43	179	87	0.65	0.07065	0.00028	1.531	0.014	0.1572	0.0014	946	8	943	6	941	8
44	339	100	2.97	0.05478	0.00039	0.4733	0.0046	0.06275	0.00048	467	17	393	3	392	3
45	1686	350	0.75	0.12159	0.00024	5.983	0.057	0.3568	0.0032	1980	3	1973	8	1967	15
46	1965	442	1.67	0.06508	0.00016	1.235	0.011	0.1377	0.0011	776	6	817	5	832	6
47	454	153	0.82	0.07850	0.00024	2.088	0.015	0.1929	0.0012	1161	6	1145	5	1137	7
48	604	342	0.81	0.06949	0.00020	1.3686	0.0091	0.14290	0.00088	922	7	876	4	861	5
49	384	48	1.29	0.11240	0.00042	4.945	0.039	0.3190	0.0021	1839	12	1810	7	1785	10
50	421	79	0.58	0.15922	0.00040	9.810	0.077	0.4468	0.0032	2447	4	2417	7	2381	14

续表 1

测点	同位素比值										表面年龄/Ma				
	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
51	110	33	1.29	0.06270	0.00058	0.838	0.011	0.09708	0.00100	698	19	618	6	597	6
52	545	136	1.00	0.08446	0.00025	2.574	0.021	0.2210	0.0017	1303	6	1293	6	1287	9
53	876	86	2.26	0.10239	0.00035	3.683	0.023	0.2610	0.0014	1678	7	1568	5	1495	7
54	335	67	2.24	0.06635	0.00037	1.164	0.010	0.12725	0.00092	817	11	784	5	772	5
55	330	203	1.78	0.05972	0.00053	0.5021	0.0071	0.06079	0.00051	594	20	413	5	380	3
56	158	92	0.72	0.07234	0.00031	1.616	0.013	0.1622	0.0012	995	9	976	5	969	6
57	824	473	0.69	0.07314	0.00021	1.511	0.013	0.1497	0.0011	1018	10	935	5	899	6
58	520	261	1.87	0.05759	0.00033	0.5132	0.0058	0.06466	0.00066	522	13	421	4	404	4
59	145	66	0.92	0.07513	0.00037	1.773	0.017	0.1713	0.0015	1072	11	1036	6	1019	8
60	141	136	0.23	0.09729	0.00030	3.723	0.033	0.2776	0.0023	1573	10	1576	7	1579	12
61	1250	167	1.10	0.18756	0.00043	14.13	0.14	0.5466	0.0053	2721	4	2758	9	2811	22
62	482	580	0.37	0.07017	0.00017	1.588	0.016	0.1642	0.0016	933	6	966	6	980	9
63	1204	856	1.62	0.05675	0.00022	0.5166	0.0042	0.06609	0.00052	483	14	423	3	413	3
64	486	281	0.67	0.08578	0.00042	2.275	0.021	0.1924	0.0015	1333	9	1205	6	1134	8
65	1109	442	0.96	0.07679	0.00017	2.084	0.020	0.1970	0.0019	1117	-1	1144	7	1159	10
66	438	258	1.90	0.06134	0.00042	0.5461	0.0054	0.06500	0.00077	650	15	442	4	406	5
67	604	69	1.41	0.18611	0.00046	13.31	0.14	0.5189	0.0051	2709	3	2702	10	2694	22
68	236	119	0.89	0.07177	0.00028	1.617	0.016	0.1635	0.0015	989	7	977	6	976	8
69	263	123	0.64	0.09118	0.00029	3.116	0.034	0.2479	0.0026	1450	7	1437	8	1428	13
70	323	371	0.05	0.18424	0.00079	14.21	0.21	0.5594	0.0075	2692	7	2764	14	2864	31
71	461	210	0.91	0.07547	0.00023	1.957	0.021	0.1882	0.0020	1081	6	1101	7	1111	11
72	132	26	1.30	0.11082	0.00047	4.854	0.057	0.3178	0.0034	1813	8	1794	10	1779	17
73	941	84	2.10	0.16324	0.00041	10.56	0.13	0.4694	0.0054	2500	3	2485	11	2481	24
74	71	21	0.95	0.11183	0.00058	5.033	0.065	0.3265	0.0038	1829	9	1825	11	1821	19
75	104	11	1.38	0.1623	0.0011	10.53	0.21	0.4716	0.0097	2481	11	2483	19	2491	42
77	117	19	1.61	0.12017	0.00090	5.743	0.097	0.3448	0.0042	1959	13	1938	15	1910	20
78	54	65	0.52	0.06584	0.00057	0.970	0.011	0.1074	0.0013	1200	19	689	6	658	7
79	273	626	0.50	0.05813	0.00027	0.5363	0.0058	0.06701	0.00072	600	11	436	4	418	4
80	299	153	2.59	0.05522	0.00034	0.4914	0.0067	0.06457	0.00078	420	15	406	5	403	5
10YX03 含砂线石榴二云斜长片麻岩(四岔口岩组)															
1	173	215	0.37	0.07574	0.00026	1.860	0.018	0.1782	0.0016	1088	7	1067	6	1057	9
2	171	74	1.08	0.07362	0.00069	1.726	0.041	0.1699	0.0033	1031	19	1018	15	1011	18
3	659	217	0.59	0.16119	0.00035	10.348	0.096	0.4658	0.0043	2468	4	2466	9	2465	19
4	1134	484	1.47	0.06745	0.00058	1.313	0.031	0.1411	0.0024	852	21	852	14	851	14
5	202	97	1.03	0.07351	0.00033	1.744	0.018	0.1722	0.0017	1028	9	1025	7	1024	9
6	528	438	0.76	0.06637	0.00041	1.227	0.030	0.1340	0.0031	818	13	813	14	811	18
7	446	203	0.51	0.12974	0.00029	6.830	0.078	0.3820	0.0044	2094	4	2090	10	2085	20
8	1196	337	0.91	0.14501	0.00066	7.54	0.19	0.3770	0.0097	2288	8	2177	23	2062	45
9	90	12	1.42	0.17527	0.00099	11.95	0.18	0.4944	0.0066	2608	10	2601	14	2590	29
10	82	74	0.54	0.07390	0.00044	1.773	0.017	0.1742	0.0016	1039	11	1036	6	1035	9
11	64	145	0.46	0.05905	0.00087	0.755	0.015	0.0927	0.0014	569	6	571	8	572	8
12	1816	318	0.98	0.18281	0.00052	12.05	0.21	0.4780	0.0084	2680	5	2608	17	2519	37
13	1507	486	1.41	0.07087	0.00028	1.555	0.015	0.1592	0.0016	954	7	953	6	953	9
14	306	161	1.29	0.05909	0.00043	0.7386	0.0093	0.0907	0.0011	569	17	562	5	560	7
15	596	168	1.36	0.07283	0.00027	1.696	0.015	0.1689	0.0014	1009	3	1007	6	1006	8
16	246	46	0.94	0.12878	0.00059	6.625	0.066	0.3731	0.0034	2081	13	2063	9	2044	16
17	402	201	0.67	0.07322	0.00045	1.701	0.028	0.1684	0.0025	1020	11	1009	10	1004	14
18	49	429	0.03	0.06799	0.00053	1.349	0.022	0.1439	0.0021	878	15	867	9	867	12
19	922	274	1.18	0.07143	0.00031	1.588	0.020	0.1614	0.0022	969	14	965	8	964	12
20	1287	196	0.88	0.16003	0.00047	9.72	0.12	0.4403	0.0056	2457	5	2408	12	2352	25
21	154	371	0.19	0.06001	0.00026	0.8146	0.0070	0.09848	0.00082	606	9	605	4	606	5
22	1278	568	0.20	0.1778	0.0016	10.53	0.20	0.4297	0.0076	2632	15	2483	17	2305	34
23	505	22	2.35	0.2576	0.0011	22.97	0.30	0.6469	0.0088	3232	7	3225	13	3216	34

续表 1

测点	同位素比值										表面年龄/Ma				
	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
24	221	65	1.03	0.07260	0.00043	1.748	0.015	0.1747	0.0013	1003	12	1026	6	1038	7
25	2506	412	0.83	0.16737	0.00047	10.778	0.091	0.4674	0.0041	2532	4	2504	8	2472	18
26	1038	96	1.65	0.16173	0.00038	10.270	0.076	0.4606	0.0033	2474	4	2459	7	2442	15
27	2668	139	2.28	0.24566	0.00048	21.35	0.15	0.6304	0.0043	3157	3	3155	7	3151	17
28	1004	230	0.65	0.17683	0.00034	11.930	0.093	0.4894	0.0037	2623	4	2599	7	2568	16
29	1080	186	1.01	0.15983	0.00035	10.108	0.074	0.4588	0.0033	2454	4	2445	7	2434	15
30	944	237	0.69	0.16510	0.00037	10.656	0.095	0.4682	0.0041	2508	4	2494	8	2476	18
31	785	379	1.07	0.07286	0.00023	1.694	0.023	0.1687	0.0022	1009	7	1006	9	1005	12
32	618	416	0.70	0.07119	0.00060	1.581	0.038	0.1610	0.0033	963	21	963	15	963	18
33	131	179	0.32	0.07933	0.00024	2.186	0.020	0.1999	0.0017	1181	6	1177	6	1175	9
34	148	107	0.65	0.07409	0.00028	1.791	0.015	0.1754	0.0014	1044	8	1042	5	1042	8
35	403	298	0.46	0.08780	0.00044	2.814	0.055	0.2305	0.0036	1389	10	1359	15	1337	19
36	127	84	0.74	0.07039	0.00042	1.519	0.016	0.1566	0.0013	939	13	938	6	938	8
37	252	85	1.32	0.08342	0.00050	2.512	0.039	0.2184	0.0029	1280	11	1276	11	1273	16
38	123	472	0.12	0.06836	0.00025	1.355	0.015	0.1438	0.0014	880	7	870	6	866	8
39	656	309	1.61	0.06574	0.00047	1.176	0.020	0.1297	0.0017	798	15	790	10	786	10
40	2268	249	2.91	0.10749	0.00038	4.628	0.051	0.3124	0.0035	1757	7	1754	9	1753	17
41	220	432	0.26	0.07081	0.00032	1.627	0.017	0.1666	0.0017	954	9	981	7	994	9
42	185	86	1.31	0.07278	0.00040	1.688	0.015	0.1684	0.0013	1009	11	1004	6	1003	7
43	57	56	0.21	0.07088	0.00057	1.548	0.024	0.1584	0.0021	954	16	950	10	948	12
44	486	125	0.95	0.15789	0.00055	9.96	0.16	0.4573	0.0068	2433	6	2431	15	2428	30
45	299	104	0.67	0.16967	0.00055	11.064	0.086	0.4730	0.0035	2555	6	2529	7	2497	15
46	734	216	0.55	0.32595	0.00074	32.95	0.24	0.7339	0.0058	3598	3	3579	7	3548	21
47	428	346	1.59	0.05845	0.00030	0.6989	0.0059	0.08676	0.00069	546	-17	538	4	536	4
48	686	167	1.36	0.12436	0.00063	6.270	0.093	0.3657	0.0052	2020	9	2014	13	2009	25
49	230	836	0.14	0.07084	0.00021	1.548	0.028	0.1586	0.0029	954	6	950	11	949	16
50	385	385	0.63	0.07600	0.00021	1.936	0.019	0.1847	0.0018	1094	1	1094	7	1093	10
51	457	211	0.46	0.14687	0.00042	7.950	0.098	0.3927	0.0048	2310	5	2225	11	2135	22
52	441	188	1.28	0.06600	0.00060	1.211	0.026	0.1332	0.0029	806	19	806	12	806	16
53	244	42	1.63	0.08613	0.00045	2.609	0.026	0.2200	0.0021	1343	10	1303	7	1282	11
54	261	111	0.62	0.07946	0.00034	2.130	0.025	0.1945	0.0022	1183	8	1159	8	1146	12
55	1819	140	1.51	0.16410	0.00041	10.50	0.12	0.4645	0.0054	2498	4	2480	10	2459	24
56	661	34	1.92	0.18522	0.00057	12.49	0.12	0.4889	0.0044	2702	5	2642	9	2566	19
57	770	191	0.79	0.08482	0.00021	2.522	0.027	0.2157	0.0022	1322	5	1278	8	1259	12
58	388	26	3.01	0.07304	0.00067	1.736	0.026	0.1726	0.0024	1017	20	1022	10	1026	13
59	1225	76	4.01	0.0674	0.0012	1.209	0.074	0.1299	0.0064	850	37	805	34	787	36
60	1076	67	1.21	0.17402	0.00046	11.66	0.11	0.4862	0.0043	2598	4	2578	8	2554	18
61	759	284	0.57	0.07039	0.00025	1.603	0.021	0.1652	0.0022	939	7	971	8	986	12
62	244	18	0.98	0.19080	0.00074	13.46	0.14	0.5118	0.0052	2749	6	2712	10	2664	22
63	310	90	1.05	0.06723	0.00045	1.279	0.017	0.1382	0.0018	856	14	837	8	834	10
64	189	44	0.72	0.07486	0.00069	1.832	0.027	0.1776	0.0022	1065	14	1057	10	1054	12
65	1095	130	0.75	0.18334	0.00041	12.79	0.11	0.5062	0.0045	2684	3	2664	8	2641	19
66	693	89	0.83	0.16189	0.00042	10.42	0.13	0.4671	0.0057	2476	4	2473	11	2471	25
67	1535	92	2.10	0.15637	0.00037	9.65	0.10	0.4475	0.0044	2417	4	2402	10	2384	20
68	69	14	0.62	0.12860	0.0012	6.67	0.16	0.3766	0.0086	2080	16	2069	22	2060	40
69	585	261	0.78	0.07536	0.00030	1.883	0.018	0.1814	0.0019	1080	8	1075	6	1075	10
70	314	93	0.30	0.25166	0.00054	23.16	0.19	0.6679	0.0053	3195	3	3234	8	3298	21
71	1271	244	0.95	0.15392	0.00033	9.511	0.091	0.4482	0.0041	2391	4	2389	9	2387	18
72	239	71	1.81	0.0736	0.0011	1.331	0.029	0.1300	0.0012	1031	31	859	13	788	7
73	2697	61	8.16	0.16624	0.00085	10.69	0.15	0.4663	0.0058	2520	3	2496	13	2467	25
74	440	288	0.70	0.07161	0.00030	1.608	0.024	0.1628	0.0023	976	8	973	9	972	13
75	209	412	0.19	0.07118	0.00025	1.577	0.018	0.1607	0.0017	963	7	961	7	960	10
76	211	117	1.44	0.06110	0.00035	0.8222	0.0084	0.09770	0.00091	643	11	609	5	601	5

续表 1

测点	同位素比值									表面年龄/Ma					
	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
77	196	50	1.95	0.07107	0.00055	1.564	0.017	0.1598	0.0016	961	17	956	7	955	9
78	279	203	0.67	0.07287	0.00039	1.694	0.043	0.1686	0.0041	1010	10	1006	16	1004	23
79	474	157	1.72	0.06647	0.00053	1.195	0.029	0.1308	0.0036	820	17	798	14	793	20
80	29	18	0.47	0.0682	0.0013	1.371	0.046	0.1456	0.0038	874	41	877	20	876	22
10YX05 含石榴斜长二云片岩 (四岔口岩组)															
1	61	354	0.39	0.07075	0.00062	1.653	0.015	0.16948	0.00090	950	18	991	9	1009	5
2	59	171	0.87	0.09914	0.00084	4.051	0.036	0.2963	0.0017	1608	16	1644	15	1673	10
3	64	246	0.02	0.10226	0.00085	3.787	0.033	0.2686	0.0016	1665	15	1590	14	1534	9
4	112	576	0.20	0.07753	0.00063	2.076	0.018	0.1943	0.0012	1135	16	1141	10	1144	7
5	157	301	0.30	0.1611	0.0012	10.559	0.086	0.4755	0.0026	2467	13	2485	20	2508	14
6	99	289	0.75	0.09894	0.00080	3.871	0.032	0.2838	0.0015	1604	15	1608	13	1610	9
7	72	155	0.68	0.1578	0.0013	8.181	0.069	0.3759	0.0021	2433	14	2251	19	2057	11
8	41	469	0.41	0.05796	0.00068	0.6606	0.0080	0.08266	0.00044	528	26	515	6	512	3
9	18	117	0.30	0.0737	0.0012	1.549	0.026	0.13251	0.00083	1032	33	950	16	915	5
10	122	641	0.69	0.07097	0.00057	1.602	0.013	0.16369	0.00091	957	17	971	8	977	5
11	35	229	0.70	0.06514	0.00082	1.185	0.015	0.13191	0.00071	779	27	794	10	799	4
12	685	1210	0.30	0.1780	0.0014	12.577	0.099	0.5126	0.0027	2634	13	2649	21	2668	14
13	231	438	0.21	0.1712	0.0013	11.586	0.091	0.4908	0.0026	2569	13	2572	20	2574	13
14	79	191	0.53	0.1510	0.0012	7.532	0.063	0.3617	0.0020	2358	14	2177	18	1990	11
15	84	921	0.07	0.05815	0.00051	0.7792	0.0069	0.09718	0.00051	536	19	585	5	598	3
16	34	177	0.28	0.07888	0.00088	2.068	0.023	0.1901	0.0010	1169	22	1138	13	1122	6
17	74	448	0.50	0.06839	0.00060	1.493	0.014	0.15837	0.00086	880	18	928	8	948	5
18	27	139	1.07	0.0693	0.0010	1.535	0.022	0.16062	0.00086	908	30	944	14	960	5
19	245	862	0.06	0.09802	0.00076	3.979	0.031	0.2944	0.0015	1587	14	1630	13	1664	9
20	222	405	0.36	0.1724	0.0014	11.76	0.10	0.4947	0.0027	2581	14	2586	23	2591	14
21	166	615	0.56	0.0914	0.00072	3.121	0.025	0.2476	0.0013	1455	15	1438	11	1426	7
22	154	547	0.56	0.0940	0.00076	3.362	0.027	0.2593	0.0014	1509	15	1496	12	1486	8
23	33	164	0.29	0.07821	0.00083	2.142	0.023	0.1986	0.0011	1152	21	1162	13	1168	6
24	19	88	1.50	0.0710	0.0015	1.558	0.033	0.15914	0.00088	958	42	954	20	952	5
25	78	436	0.55	0.07493	0.00069	1.730	0.016	0.16746	0.00091	1067	18	1020	9	998	5
26	111	187	0.51	0.1835	0.0014	13.20	0.10	0.5219	0.0027	2685	13	2694	21	2707	14
27	21	103	1.40	0.0720	0.0011	1.630	0.026	0.16422	0.00088	985	32	982	16	980	5
29	100	312	0.50	0.10174	0.00082	4.232	0.035	0.3017	0.0016	1656	15	1680	14	1700	9
30	68	316	0.24	0.08295	0.00073	2.465	0.027	0.2155	0.0014	1268	17	1262	14	1258	8
31	182	935	0.13	0.07930	0.00062	2.216	0.019	0.2027	0.0011	1180	15	1186	10	1190	7
32	15	182	0.50	0.0570	0.0015	0.650	0.017	0.08274	0.00046	491	56	509	13	512	3
33	27	180	0.41	0.06893	0.00087	1.427	0.018	0.15011	0.00081	897	26	900	11	902	5
34	92	179	0.30	0.1631	0.0013	10.800	0.087	0.4803	0.0026	2488	13	2506	20	2528	14
35	48	288	0.10	0.07481	0.00072	1.789	0.018	0.17340	0.00092	1063	19	1041	11	1031	5
36	296	387	0.34	0.2585	0.0020	23.50	0.18	0.6594	0.0034	3237	12	3248	25	3265	17
37	128	666	0.15	0.07844	0.00062	2.145	0.017	0.1983	0.0010	1158	16	1163	9	1166	6
38	117	468	0.35	0.08706	0.00069	2.931	0.025	0.2442	0.0014	1362	15	1390	12	1408	8
39	273	1298	0.39	0.07828	0.00061	2.197	0.018	0.2035	0.0011	1154	15	1180	10	1194	7
40	58	253	0.71	0.07978	0.00070	2.242	0.020	0.2038	0.0011	1191	17	1194	11	1196	7
41	62	554	1.26	0.05905	0.00057	0.7240	0.0072	0.08893	0.00049	569	21	553	5	549	3
42	419	1843	0.62	0.08170	0.00063	2.349	0.019	0.2085	0.0011	1238	15	1227	10	1221	7
43	231	406	0.51	0.1764	0.0014	12.199	0.098	0.5016	0.0027	2619	13	2620	21	2621	14
44	102	276	0.01	0.1309	0.0010	6.798	0.055	0.3768	0.0021	2110	14	2086	17	2061	11
45	338	657	0.17	0.1708	0.0013	11.534	0.095	0.4899	0.0027	2565	13	2567	21	2570	14
46	23	106	0.89	0.0788	0.0010	2.106	0.028	0.1939	0.0011	1166	26	1151	15	1142	6
47	54	320	0.62	0.06755	0.00067	1.478	0.015	0.15865	0.00085	855	21	921	9	949	5
48	172	1968	0.42	0.05671	0.00045	0.6843	0.0056	0.08752	0.00047	480	18	529	4	541	3
49	117	766	0.16	0.07003	0.00057	1.548	0.013	0.16032	0.00084	929	17	950	8	959	5

续表 1

测点	同位素比值										表面年龄/Ma				
	Pb/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
50	213	496	0.41	0.1566	0.0012	8.646	0.068	0.4005	0.0021	2419	13	2301	18	2171	11
51	50	295	0.67	0.07040	0.00067	1.586	0.015	0.16340	0.00086	940	19	965	9	976	5
52	86	437	0.58	0.08046	0.00067	2.099	0.018	0.1892	0.0010	1208	16	1149	10	1117	6
53	122	1194	0.47	0.06035	0.00049	0.8516	0.0071	0.10235	0.00054	616	17	626	5	628	3
54	45	261	0.74	0.06898	0.00069	1.550	0.016	0.16302	0.00086	898	21	951	10	974	5
55	88	317	0.81	0.09359	0.00075	3.331	0.027	0.2582	0.0013	1500	15	1488	12	1480	8
56	69	437	0.53	0.06973	0.00060	1.499	0.013	0.15588	0.00083	920	18	930	8	934	5
57	416	846	0.56	0.1614	0.0013	9.965	0.081	0.4478	0.0023	2470	14	2432	20	2385	12
58	25	239	0.37	0.06188	0.00087	0.906	0.013	0.10618	0.00059	670	30	655	9	651	4
59	31	298	0.28	0.06116	0.00076	0.919	0.012	0.10903	0.00059	645	27	662	8	667	4
60	158	333	0.81	0.1573	0.0012	9.129	0.075	0.4209	0.0024	2427	13	2351	19	2265	13
61	96	360	0.36	0.0958	0.0008	3.483	0.029	0.2638	0.0014	1543	15	1523	13	1509	8
62	969	1567	1.04	0.1809	0.0014	13.06	0.10	0.5237	0.0028	2661	13	2684	21	2715	15
63	33	171	0.39	0.07640	0.00085	2.043	0.023	0.1940	0.0010	1106	22	1130	13	1143	6
64	348	1174	0.64	0.09542	0.00074	3.728	0.029	0.2833	0.0015	1536	15	1577	12	1608	8
65	62	356	1.14	0.06926	0.00066	1.436	0.014	0.15033	0.00080	907	20	904	9	903	5
66	187	1205	0.07	0.07124	0.00056	1.620	0.013	0.16493	0.00087	964	16	978	8	984	5
67	42	220	1.11	0.07067	0.00079	1.538	0.017	0.15788	0.00084	948	23	946	11	945	5
68	247	629	0.89	0.1425	0.0011	6.433	0.052	0.3274	0.0018	2258	13	2037	16	1826	10
69	91	353	1.05	0.08352	0.00069	2.474	0.021	0.2149	0.0012	1281	16	1265	11	1255	7
70	204	835	0.58	0.09016	0.00071	2.743	0.022	0.2206	0.0011	1429	15	1340	11	1285	7
71	150	883	0.24	0.07481	0.00059	1.770	0.014	0.17160	0.00090	1063	16	1035	8	1021	5
72	522	546	0.61	0.3378	0.0026	34.86	0.27	0.7485	0.0039	3653	12	3635	29	3602	19
73	33	211	1.38	0.06474	0.00090	1.119	0.016	0.12538	0.00067	766	29	763	11	761	4
74	128	871	0.18	0.07009	0.00056	1.467	0.012	0.15182	0.00080	931	16	917	7	911	5
75	191	635	0.47	0.09931	0.00077	3.906	0.031	0.2852	0.0015	1611	14	1615	13	1618	8
76	43	445	0.87	0.05868	0.00066	0.6963	0.0080	0.08606	0.00045	555	24	537	6	532	3
77	220	1119	0.24	0.07894	0.00062	2.159	0.017	0.1984	0.0011	1171	16	1168	9	1167	6
78	164	217	0.63	0.2601	0.0026	22.14	0.31	0.6172	0.0046	3248	16	3190	45	3099	23
79	375	741	0.49	0.1573	0.0012	9.899	0.078	0.4563	0.0024	2427	13	2425	19	2423	13
80	177	385	0.18	0.1654	0.0013	9.941	0.079	0.4360	0.0023	2511	13	2429	19	2333	12

五春荣等(2010a)通过对200多个碎屑锆石研究,得出四岔口岩组形成于600 Ma之后,陆松年等(2009)在商州北宽坪变石英砂岩中获得最小锆石年龄峰值集中在500~400 Ma基本一致。同时考虑王宗起等(2009)主要在四岔口岩组,少量在广东坪岩组和谢湾岩组中采获了疑源类、几丁虫、虫颚等早—中奥陶世古生物化石,本文认为四岔口岩组形成时代很可能在早古生代或者更晚。该组黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄为370 Ma,黑云母与白云母、矽线石等构成主期片理,该年龄也代表了三岔口组的主期变质年龄,所以该组形成时代不会晚于370 Ma。

广东坪岩组获得的年龄较多,如在河南南召绿片岩全岩Sm-Nd年龄为(1085±44)Ma、洛南马河斜长角闪岩全岩Sm-Nd年龄为(1153±28)Ma(张寿广等,1991),商州广东坪绿片岩Sm-Nd等时线年

龄(986±169)Ma(张宗清等,1994),河南广东坪岩组中变基性火山岩(611±13)Ma(SHRIMP)(闫全人等,2008),具有N-MORB特征的绿片岩(1445±60)Ma(LA-ICPMS)(Dong et al.,2014a)及(943±6)Ma(第五春荣等,2010a)。总体来说,该岩组形成于中新元古代。

从以上资料可以看出,从广东坪岩组中新元古代,到四岔口岩组(主体)早古生代,再到谢湾岩组晚泥盆世,宽坪岩群形成时代跨度很大,它已经超出了地层意义上“群”的概念,应该给予解体。

关于黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 370 Ma冷却年龄的地质意义,本文认为可能代表了北秦岭造山带碰撞造山的时代。主要证据有:(1)北秦岭造山带从东到西普遍发育志留—泥盆纪二长花岗岩,最年轻一组为415~400 Ma(王晓霞等,2015);而被认为商丹俯冲

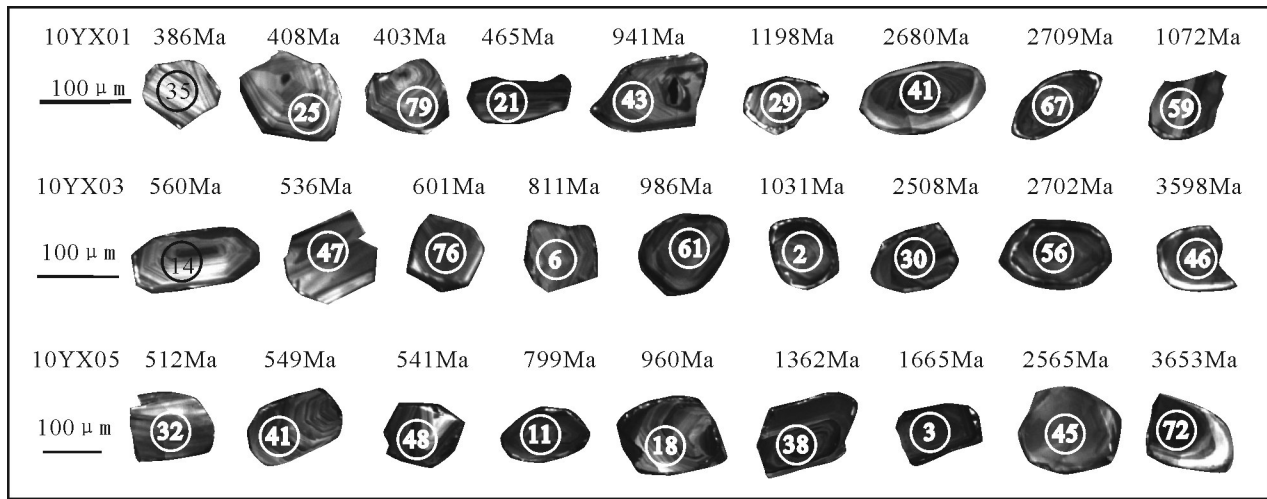


图3 谢湾岩组 10YX01 和四岔口岩组 10YX03、10YX05 代表性锆石 CL 图像及测点年龄
Fig.3 Representative CL images and dating spots of zircons from 10YX05, 10YX03 and 10YX01

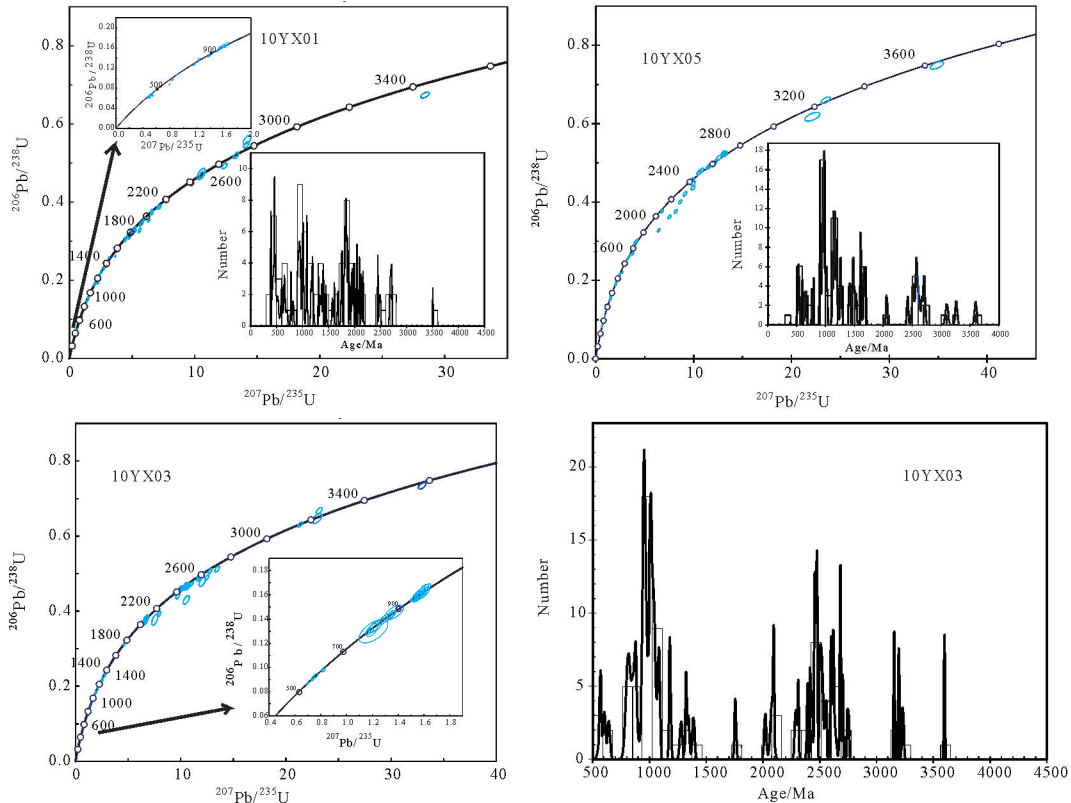


图4 谢湾岩组 10YX01 和四岔口岩组 10YX03、10YX05 锆石 U-Pb 谐和图, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄直方图
Fig.4 U-Pb concordia diagrams and age histograms of zircons 10YX01, 10YX03 and 10YX05

带弧前变火山-沉积岩之武关岩群的变质安山岩时代为(368±3)Ma(Chen et al.,2014),即晚泥盆世。(2)被认为属于商丹俯冲带弧前沉积的刘岭群,其沉积时代可持续到晚泥盆世(陈龙耀等,2014);东部西峡

—信阳一线发育有泥盆纪南湾组;北侧近华北陆块发育本文所述晚泥盆世谢湾岩组;它们变形变质均发生在晚泥盆世或之后。(3)北秦岭造山带石炭—二叠纪地层发育很少,具有强变形,弱变质或者未

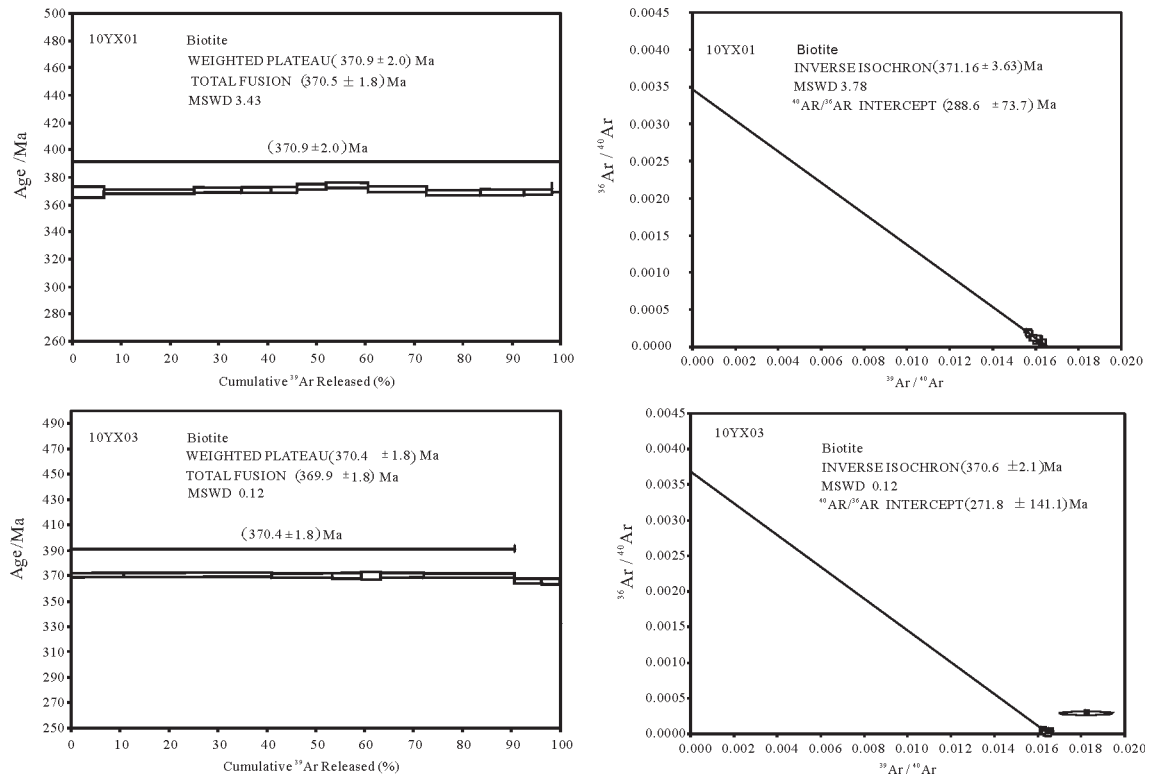


图5 宽坪岩群黑云母年龄谱图和等时线年龄

Fig.5 Step- heating age spectra and isochron plots for biotite from Kuangping Group

变质特征。西部陕西一周至县柳河盆地的石炭—二叠纪主要为河流—冲积扇沉积,其沉积物来源为北秦岭造山带,表明该时期北秦岭造山带已经隆升(高春云等,2015);东部信阳—商城一带发育石炭纪的含煤盆地(河南地质矿产厅,1997),其物源区为南侧的大别山构造带信阳群(包括龟山岩组,南湾组)、佛子岭群(李宝芳等,2000),更被认为属于碰撞造山过程中形成的前陆盆地,此时古洋盆已经消失(李日俊等,1997)。(4)北秦岭造山带少有石炭—二叠纪岩浆活动。综合上述地质事实,认为以商丹为俯冲带的北秦岭造山带碰撞造山时代可能在晚泥盆—早石炭世,本文黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄370 Ma应代表了碰撞造山的时代。

5.2 宽坪岩群物质来源

3个样品的碎屑锆石年龄频率图出现多个年龄集中区(图4),范围也基本相近,主要为400~500 Ma、1000 Ma、1800~2000 Ma、2500 Ma。

5.2.1 晚古生代年龄信息

只有谢湾岩组10YX01样品中具有晚古生代年龄信息。共11个锆石,年龄在380~413 Ma,约占3

个样品锆石(240颗)的4.6%,反映了泥盆纪岩浆活动事件。谢湾岩组沿着栾川断裂东西向展布,北侧为华北陆块南缘,南侧依次为宽坪岩群四岔口岩组、广东坪岩组、二郎坪群及秦岭岩群(秦岭微陆块)。华北陆块南缘没有泥盆纪的岩浆活动,其南侧发育侵入二郎坪群、秦岭岩群的泥盆纪花岗岩类,主体在400~415 Ma(王晓霞等,2015),所以,南侧侵入秦岭微陆块及二郎坪群中的泥盆纪花岗岩应是其物源区。

5.2.2 早古生代年龄信息

3个样品中均有少量早古生代锆石年龄信息,一共9个锆石,占总体(240颗)的3.7%,占比很少。年龄在418~536 Ma,其中6个寒武纪,1个为奥陶纪,2个为志留纪。它们同样不可能来自北部的华北陆块南缘,因为其根本没有早古生代岩浆岩活动记录。南侧二郎坪群时代为463~475 Ma(赵姣等,2012),还发育侵入秦岭岩群中的早古生代花岗岩类(507~400 Ma,李名则等,2014;王晓霞等,2015;曹强等,2015),应为其来源区。

值得注意的是,本文数据结合前人资料(陆松

表2 宽坪岩群黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素测定结果
Table 1 Results of ⁴⁰Ar/³⁹Ar age dating for the biotite from Kuangping Group

T/°C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar _k /‰	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar _k	Age/Ma	±2σ
10YX01 黑云母(谢湾岩组)							
750	63.87025	0.01279	0.00703	6.43	60.090342	369.25	±3.79
790	62.18286	0.00676	0.00397	18.56	60.184092	369.78	±1.64
820	62.12550	0.00612	0.00392	9.60	60.316118	370.51	±1.85
860	63.56342	0.01082	0.01229	6.11	60.366085	370.79	±2.01
900	63.76805	0.01142	0.01897	5.22	60.394248	370.94	±2.27
950	63.01344	0.00763	0.02077	5.98	60.761076	372.98	±1.80
990	62.44552	0.00497	0.01116	8.57	60.978678	374.19	±1.64
1030	61.30367	0.00283	0.00619	12.02	60.467037	371.35	±2.03
1070	61.18076	0.00392	0.00236	11.13	60.021248	368.87	±1.79
1110	61.84921	0.00618	0.00362	8.89	60.023050	368.88	±2.20
1150	62.05532	0.00673	0.00340	5.67	60.066446	369.12	±1.90
1230	62.97603	0.00769	0.00662	1.81	60.703118	372.66	±3.23
10YX03 黑云母(四岔口岩组)							
750	60.88414	0.00115	0.00026	10.83	60.543927	370.88	±1.79
790	60.67388	0.00054	0.00076	30.09	60.515531	370.72	±1.60
820	60.64884	0.00071	0.00035	12.50	60.438866	370.30	±1.70
860	60.89551	0.00155	0.00064	5.98	60.438755	370.30	±2.24
900	61.51954	0.00381	0.00404	3.83	60.392760	370.04	±2.71
980	61.16103	0.00241	0.00061	8.83	60.449825	370.36	±1.95
1040	60.71105	0.00105	0.00065	18.58	60.400107	370.09	±1.56
1080	60.24987	0.00200	0.00113	5.58	59.659281	365.98	±1.83
1140	60.27916	0.00229	0.00059	3.63	59.603820	365.67	±2.37
1240	54.83431	0.01578	0.03261	0.15	50.175474	312.53	±19.34

年等,2009;第五春荣等,2010a),采自宽坪岩群四岔口岩组7个样品的碎屑锆石共计564颗锆石,早古生代年龄信息只有19个,占3.4%。作为早古生代二郎坪岛弧之弧后盆地的宽坪岩群,理应赋含较多早古生代锆石,占比如此之少,与宽坪岩群所处的构造环境极不相称,因为宽坪岩群的南侧就是早古生代二郎坪群及早古生代侵入岩。这些样品由不同的研究者分别取自洛南红门河、陕西周至黑河甘峪湾(第五春荣等,2010a)、商州北宽坪(陆松年等,2009)、栾川汤河(本文)等不同地区,没有选择性取样。是什么原因造成这种现象,其背后可能还有没认识到的本质,值得今后进一步的研究。

5.2.3 新元古代年龄信息

3个样品中均含有较多的新元古代锆石,共66个,占总体27.5%,年龄在549~998 Ma,它们具有双向来源。新元古代时期受全球Rodinia超大陆汇聚和

裂解的影响,在北秦岭、南秦岭及华北陆块南缘产生了一系列的构造岩浆活动。一组锆石年龄在806~998 Ma,它们具有南北的双向来源。来源之一为北秦岭之侵入秦岭岩群中的新元古代侵入体,如德河黑云母二长花岗岩的TIMS和SHRIMP锆石U-Pb年龄分别为(964±5.2)Ma和(943±18)Ma(陈志宏等,2004),蔡凹花岗岩体锆石的U-Pb年龄为(889±10)Ma(张成立等,2004),牛角山花岗岩的SHRIMP U-Pb定年结果为(955±13)Ma(王涛等,1998,2005),寨根岩体SHRIMP U-Pb定年结果为(914±10)Ma、黄土坳岩体TIMS锆石U-Pb年龄为(844±4)Ma(陆松年等,2003),此外,还发育973~1000 Ma的基性侵入岩(张宗清等,2006);另外的来源为华北陆块南缘火山岩,如栾川群大红口组变质石英粗面岩为(838±11)Ma年龄(LA-MC-ICPMS)(作者未发表资料)、860 Ma(SHRIMP,闫国翰等,

2010)。另一组锆石年龄在549~799 Ma,主体既有可能来自北秦岭,也有可能来自南秦岭。因为本文在北秦岭的南召县、桐柏一带发现3个750~788 Ma侵入秦岭岩群中的花岗岩体,在华北陆块南缘大路庄也发现存在742~760 Ma的花岗岩体(未发表资料);西峡南侧小陡岭—甘沟发育727 Ma新元古代侵入体(作者未发表),南秦岭武当群、耀岭河群除具有U-Pb年龄分别为808~746 Ma,发育北秦岭中未见的685 Ma岩浆岩记录(李怀坤等,2003; Ling et al.,2008;凌文黎等,2010),它们都可能是这组锆石的来源。

5.2.4 中元古代年龄信息

中元古代年龄的锆石较多,共79个,占总体32.9%,年龄在1011~1796 Ma,它们具有双向来源。南侧秦岭岩群碎屑锆石SHRIMP年龄在2400~400 Ma(陆松年等,2006;万渝生等,2011;赵利刚等,2018),其中1110~1270 Ma年龄的锆石信息为其独有。另一个物源区为华南北缘熊耳群及同时代的碱性岩浆岩。熊耳群岩石组合为安山岩、少量英安岩和流纹岩,其形成时代主体为1.80~1.75 Ga(赵太平等,2004; He et al., 2009; Cui et al., Wang et al., 2010; 2011, 2013;);但熊耳群鸡蛋坪组上部火山岩中的锆石年龄约为1.45 Ga和约1.65 Ga(任富根等,2000; He et al., 2009)。碱性岩浆岩如龙王幢岩体,它们形成时代为~1625 Ma(陆松年等,2003)。

5.2.5 古元古代—太古宙年龄信息

古元古代—太古宙年龄信息锆石共计75个,占总体的31.2%,年龄在1813~3653 Ma,但主要在2000~2500 Ma。大量的研究已表明,华北陆块南缘太华岩群、登封岩群及TTG片麻岩系、山西中条山前寒武纪地层等地均有古元古代(1.8~2.4 Ga)、太古宙(2.5~2.7 Ga)的岩石出露(赵凤清等,2006;万渝生等,2009;第五春荣等,2010b; Huang et al., 2012, 2013; Diwu et al., 2013; 时毓等,2014;刘玄等,2015),并有3.6 Ga古老锆石信息(Zheng et al., 2004)。而扬子北缘也发育古元古代—太古宙岩石(郑永飞和张少兵,2007)。如扬子北缘古元古代华山观环斑花岗岩锆石U-Pb年龄为(1851±18)Ma(张丽娟等,2011);侵入崆岭杂岩中的花岗岩锆石U-Pb年龄为(1822±18)Ma(邱啸飞等,2015);黄陵穹隆北部变辉绿岩(蛇绿岩)锆石U-Pb年龄为2.14~2.15 Ga(彭松柏等,2016);太古宙如鱼洞子

群、崆岭杂岩等具有~2.5 Ga、~2.7 Ga以及~3.2 Ga的年龄信息(郑永飞和张少兵,2007)。因此,本次研究获得的1813~3653 Ma年龄集中区的物源可能来自华北陆块南缘或扬子陆块北缘古元古代—太古宙岩石。

综上所述,宽坪岩群四岔口岩组、谢湾岩组碎屑锆石组成复杂,其中前寒武纪锆石约92%占绝对优势,古生代锆石约8%。其物源具有双向性,物源剥蚀区北为华北陆块、南为秦岭造山带及扬子陆块,表明宽坪盆地(四岔口岩组和谢湾岩组)是在华北陆块与北秦岭微陆块之间发展起来的海盆地。

6 结 论

(1)通过LA-MC-ICPMS锆石U-Pb及黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar定年研究,确定宽坪岩群谢湾岩组形成于晚泥盆世,四岔口岩组的原岩时代小于512 Ma,主体形成于早古生代。而广东坪岩组可能形成于中新元古代。表明所谓的宽坪岩群是由不同时代地层拼贴而成,它已经超出地层学“群”范畴,应该进一步解体。

(2)宽坪岩群物源来自于华北陆块与北秦岭微陆块、扬子陆块,具有双向物源特征,揭示宽坪盆地是在华北陆块与北秦岭微陆块之间发展起来的海盆地。

(3)宽坪岩群的变形变质时代在370 Ma左右,即晚泥盆世,是北秦岭造山带碰撞造山的响应,即以商丹为俯冲带的北秦岭最终碰撞造山时代在海西期。

References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. *Chemical Geology*, 192(1/2): 59-79.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. 1989. *Regional Geology of Shaanxi Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-698 (in Chinese).
- Cao Qiang, Liu Jiajun, Li Longyin, Sun Yiwei, Yang Mingyin, Li Shutao, Yang Shangsong. 2015. Zircon U-Pb age of ore-bearing rock in the Qiaomaichong gold deposits on the southern margin of the Qinling orogenic belt and its geological significance[J]. *Geology in China*, (5): 1303-1323(in Chinese with English abstract).
- Chen Longyao, Luo Yuling, Liu Xiaochun, Qu Wei, Hu Juan. 2014. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Liuling Group in the South Qinling tectonic belt and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(9): 1363-1378

- (in Chinese with English abstract).
- Chen Longyao, Liu Xiaochun, Qu Wei and Hu Juan. 2014. U–Pb zircon ages and geochemistry of the Wuguan complex in the Qinling orogeny, central China: implications for the late Paleozoic tectonic evolution between the Sino–Korean and Yangtze cratons[J]. *Lithos*, 192/195: 192–207.
- Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huaikun, Song Biao, Li Huimin and Xiang Zhenqun. 2004. The age of the Dehe biotite monzogranite gneiss in the North Qinling: TIMS and SHRIMP U–Pb zircon dating[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(2):136–141 (in Chinese with English abstract).
- Cui Minlin, Zhang Baolin, Zhang Lianchang. 2011. U–Pb dating of baddeleyite and zircon from the Shizhaigou diorite in the southern margin of North China Craton: Constrains on the timing and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiong'er Group [J]. *Gondwana Research*, 20:184–193.
- Cui Minli, Zhang Lianchang, Zhang Baolin, Zhu Mingtian. 2013. Geochemistry of 1.78Ga A–type granites along the southern margin of the North China Craton: Implications for Xiong'er magmatism during the break up of the supercontinent Columbia[J]. *International Geology Review*, 55(4):496–509.
- Department of Geology and Mineral Resources of Henan Province. 1997. *Stratigraphy (Lithostratic) of Henan Province*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–299 (in Chinese).
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Gao Jianfeng, Fan Longgang. 2013. Early Precambrian tectonothermal events of the North China Craton: Constrains from in situ detrital zircon U–Pb, Hf and O isotopic compositions in Tietonggou Formation[J]. *Chinese Science Bulletin* 58, 3760–3770 (in Chinese).
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Liu Liang, Zhang Chengli, Wang Hongliang. 2010a. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neoproterozoic N–MORB[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2025–2038 (in Chinese with English abstract).
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Lin Ciluan and Wang Hongliang. 2010b. LA–(MC)–ICPMS U–Pb zircon geochronology and Lu–Hf isotope compositions of the Taihua complex on the southern margin of the North China Craton[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55 (23): 2557–2571 (in Chinese).
- Dong Yunpeng, Zhang Xiaoning, Liu Xiaoming, Li Wei, Chen Qing, Zhang Guowei, Zhang Hongfu, Yang Zhao, Sun Shengsi, Zhang Feifei. 2014b. Propagation tectonics and multiple accretionary processes of the Qinling Orogen[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2014.10.007>.
- Dong Yunpeng, Zhao Yang, Liu Xiaoming, Zhang Xiaoming, He Dengfeng, Li Wei, Zhang Feifei, Sun Shengsi, Zhang Hongfu, Zhang Guowei. 2014a. Neoproterozoic amalgamation of the Northern Qinling terrain to the North China Craton: Constraints from geochronology and geochemistry of the Kuanping ophiolite[J]. *Precambrian Research*, 255: 77–95.
- Gao Chunyun, Guo Anlin, Li Xinghui, Li Kan, Liu Weigang. 2015. LA–ICP–MS U–Pb dating of detrital zircon from Liuyehe basin in North Qinling Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 34 (9): 1689–1698 (in Chinese with English abstract).
- He Yanhong, Zhao Guochun, Sun Min, Xia Xiaoping. 2009. SHRIMP and LA–ICP–MS zircon geochronology of the Xiong'er volcanic rocks: Implications for the Paleo–Mesoproterozoic evolution of the southern margin of the North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 168:213–222.
- Huang Xiaolong, Simon A. Wilde, Zhong Junwei. 2013. Episodic crustal growth in the southern segment of the Trans–North China Orogen across the Archean–Proterozoic boundary[J]. *Precambrian Research* 233: 337–357.
- Huang Xiaolong, Simon A. Wilde, Yang Qijun, Zhong Junwei. 2012. Geochronology and petrogenesis of gray gneisses from the Taihua Complex at Xiong'er in the southern segment of the Trans–North China Orogen: Implications for tectonic transformation in the Early Paleoproterozoic[J]. *Lithos* 134–135: 236–252.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, Belousova E A. 2004. The application of laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology[J]. *Chemical Geology*, 211: 47–69.
- Jia Chengzao, Shi Yangshen, Guo Lingzhi. 1988. *Plate Tectonics of Eastern Qinling Mountains of China*[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1–130 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Changyi, Su Shengrui, Su Chunqian, Shi Huanwen. 1998. The Shangzhou ophiolite belt and Jinning movement in the Qinling Mountains[J]. *Geology and Prospecting*, 34(4): 7–12 (in Chinese with English abstract).
- Jin Shouwen. 1976. Stratigraphic division and its age of Kuanping Group and Taowan Group[J]. *Chinese Geological Science and Technology Information*, (1): 1–10 (in Chinese).
- Koppers A A P. 2002. Ar–Ar CALC-- software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age calculations[J]. *Computers & Geosciences*, 28: 605–619.
- Li Baofang, Ma Wenpu, Zhang Huiliang, Li Guidong. 2000. Study on sedimentology and tectonics of the Carboniferous basin in the northern foothills of Dabie mountains, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(3):153–167 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. Study on zircon U–Pb dating by LA–ICP MS[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 28(supp.): 600–601 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Chen Zhenhong, Xiang Zhenqun, Zhou Hongying, Hao Guojie. 2003. Zircon U–Pb geochronology of rift–type volcanic rocks of the Yaolinghe Group in the South Qinling orogen[J]. *Geological Bulletin of China*, 22 (10):775–781 (in Chinese with English abstract).
- 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[J]. *Geological Review*, 60 (2) : 427–442 (in Chinese with English abstract).

- Li Rijun, Hu Shiling, Jin Quanfu, Wang Daoxuan, Hao Jie, Yin Heping. 1997. The genetic type of Yangshan Upper Paleozoic basin and its relation to the Tongbai–Dabie orogenic belt[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 32(1):19–26 (in Chinese with English abstract).
- Ling Wenling, Duan Ruichun, Liu Xiaoming, Cheng Jianping, Mao Xinwu, Peng Lianhong, Liu Zaoyue, Yang Hongmei and Ren Bangfang. 2010. U–Pb dating of detrital zircons from the Wudangshan Group in the South Qinling and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55, doi: 10.1007/s11434–010–0095–5 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xuan, Fan Hongrui, Qiu Zengjie, Yang Kuifeng, Hu Fangfang, Guo Shuanglong and Zhao Fengchun. 2015. Formation ages of the Jiangxian and Zhongtiao groups in the Zhongtiao Mountain region, North China Craton: Insights from SIMS U–Pb dating on zircons of intercalated plagioclase amphibolites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(6): 1564–1572 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2009. Continental and oceanic crust recycling–induced melt–peridotite interactions in the Trans–North China Orogen: U–Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51: 537–571.
- Lu Songnian, Chen Zhihong, Xiang Zhenqun, Li Huaikun, Li Huimin, Song Biao. 2006. U–Pb ages of detrital zircons from the para–metamorphic rocks of the Qingling Group and their geological significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 303–310 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, Hao Guojie, Zhou Hongying, Guo Jinjing, Niu Guanghua, Xiang Zhenqun. 2003. Meso–Neoproterozoic geological evolution in the Qingling Orogeny and its Response to the Supercontinental Event of Rodinia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–194(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, Chen Zhihong, Wang Huichu, Zhang Chuanlin. 2009. Precambrian Research on Central China Orogenic Belt(Central and Western Part) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–203 (in Chinese).
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot/Ex, version 3.00//A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center Special Publication. 4: 1–70.
- Peng Min, Wu Yuanbao, Wang Jing, Jiao Wenfang, Liu Xiaochi, Yang Saihong. 2009. Paleoproterozoic mafic dyke from Kongling terrain in the Yangtze Craton and its implication[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434–008–0558–0(in Chinese).
- Peng Songbai, Han Qingsen, Ali Polat, Timothy M. Kusky. 2016. The discovery of Paleoproterozoic ophiolitic melange in the north of Huangling dome, Yangtze Craton, China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 41:2217–2218(in Chinese with English abstract).
- Qiu Xiaofei, Yang Hongmei, Lu Shansong, Tan Juanjuan, Cai Yingxiong. 2015. Geochronological and geochemical study for the Paleoproterozoic A–type granite in the nucleus of the Yangtze Craton and its tectonic implication[J]. *Geoscience*, 29(4): 884–895 (in Chinese with English abstract).
- Ren Fugen, Li Huimin, Yin Yanjie, Li Shuangbao, Ding Shiyong, Chen Zhihong. 2000. The upper chronological limit of Xionger Group's volcanic rock series, and its geological significance[J]. *Progress in Precambrian Research*, 23(3): 140–146 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yu, Yu Jinhai, Yang Qijun, Liu Xijun, Feng Zuohai, Zhu Yuhua. 2014. Zircon U–Pb ages from Taihua Group in Xiaoqingling area and crustal evolution of the Southern North China Craton[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 36(1):218–229 (in Chinese with English abstract).
- Steiger R H, Jäger E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo– and cosmochemistry[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 359–362.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Dong Chunyan, Yin Xiaoyan. 2011. SHRIMP zircon dating of meta–sedimentary rock from the Qingling Group in the north of Xixia, North Qingling Orogenic Belt: Constraints on complex histories of source region and timing of deposition and metamorphism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1172–1178 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wang Shiyang, Zhao Xun, Dong Chunyan, Zhou Hongying, Yin Xiaoyan, Yang Changxiu, Gao Linzhi. 2009. Early Precambrian crustal evolution in the Dengfeng area, Henan Province(eastern China): Constraints from geochemistry and SHRIMP U–Pb zircon dating[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(7): 982–999 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Li Wuping, Wang Xiaoxia. 1998. Zircon U–Pb age of the Niujiaoshan granitoid gneisses in the Qinling Complex of the Qinling orogenic belt with a discussion of its geological significance[J]. *Regional Geology of China*, 17(3): 262–265 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zhang Zongqing, Wang Xiaoxia, Wang Yanbin and Zhang Chengli. 2005. Neoproterozoic collisional deformation in the core of the Qinling orogen and its age: Constrained by zircon SHRIMP dating of strongly deformed syn–collisional granites and weakly deformed granitic veins[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 220–231 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Jiang Shaoyong, Dai Baozhang. 2010. Melting of enriched Archean subcontinental lithospheric mantle: Evidence from the ca.1760 Ma volcanic rocks of the Xiong'er Group, southern margin of the North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 182(3): 204–216.
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Zhang Chengli. 2015. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution[J]. *Science China: Earth Sciences*, 58: 1497–1512, doi: 10.1007/s11430–015–5150–2 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zongqi, Yan Zen, Wang Tao, Gao Lianda, Yan Quanren, Chen Juanlu, Li Qiugen, Ji Chunfa, Liu Ping, Zhang Yingli, Xie Chunlin, Xiang Zhangjin. 2009. New advances in the study on ages of

- metamorphic strata in the Qinling Orogenic Belt[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30 (5): 561–570 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Siyun, Zhang Weijie, Song Ziji. et al. 1988. Metamorphic Stratigraphy of Northern Qinling[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1–32(in Chinese).
- Yan Guohan, Cai Jianhui, Ren Kangxu, Liu Chuxiong, Mou Baolei, Yang Bin, Li Fengtang, Hang Baoling, Ma Fang. 2010. Alkali trachyte zircon SHRIMP U–Pb age of Dahongkou Formation from Luanchuan Group in the southern margin of the North China Craton and its significance[C]//2010's National Symposium on Petrology and Geodynamics, 289–290 (in Chinese).
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, Wang Tao, Chen Juanxiu, Xiang Zhongjin, Zhang Zongqing, Jiang Chunfa. 2008. Origin age and tectonic implications of metamafic rocks in the Kuanping Group of the Qinling orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1475–1492(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Gguowei, Wang Tao, Chen Danling, Yuan Honglin, Liu xiaomeng, Yan Yunxiang. 2004. Determination of Neoproterozoic post– collisional granites in the North Qinling Mountains and its tectonic significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 33–42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Yuan Xuecheng, Zhang Benren, Xiao Qinghui. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continent Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 1–855 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lijuan, Ma Changqian, Wang Lianxun, She Zhenbing, Wang Shiming. 2011. Discovery of Paleoproterozoic rapakivi granite on the northern margin of the Yangtze block and its geological significance[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 56, doi: 10.1007/s11434–010–4236–7(in Chinese).
- Zhang Shouguang, WanYusheng, Liu Guohui, Cong Yuexiang, Zhao Ziran. 1991. Metamorphic Geology of the Kuanping Group in the Northern Qinling Mountains[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1–119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Zhang Qi. 1995. Geochemistry of metamorphosed Late Proterozoic Kuanping ophiolite in the North Qinling, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(Supp.):165–177 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. 1994. Study on the Isotopic Chronology of Metamorphic Strata in North Qinling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–194 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Liu Dunyi, Wang Zongqi, Tang Suohan, Wang Jinhui. 2006. Isotopic Geochronology and Geochemistry of Ophiolites, Granites and Sedimentary Rocks in the Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–348(in Chinese with English abstract).
- Zhao Fengqing, Li Huimin, Zuo Yucheng, Xue Keqin. 2006. Zircon U–Pb ages of Paleoproterozoic granitoids in the Zhongtiao Mountains, southern Shanxi, China[J]. *Geological Bulletin of China*. 25(4): 442–447 (in Chinese with English abstract).
- 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 Eriangping Group of the North Qinling, eastern Qinling Mountains and its geological implications[J]. *Earth Science Frontiers*, 19(4):118–125 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Ligang, Li Chengdong, Wu Zhiyu, Gao Xuesheng, Xu Yawen, Zhang Kuo, Chang Qingsong. 2018. Detrital zircon U–Pb geochronology of the Qinling Group in Wulichuan–Zhaigen area, West Henan[J]. *Geology in China*, 45(4): 753–766(in Chinese with English abstract).
- Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Xia Bin, Li Huimin, Zhang Xingyi, Wang Yusheng. 2004. SHRIMP ages of volcanics of the Xionger Group [J]. *Chin. Sci. Bull.* 49:2342–2349 (in Chinese).
- Zheng Jianping, Griffin W L, O Reilly S Y, Lu Fengxiang, Wang Chunyang, Zhang Ming, Wang Fangzheng Li Huimin. 2004. 3.6 Ga lower crust in central China: New evidence on the assembly of the NCC[J]. *Geology*, 32: 229–232.
- Zheng Yongfei and Zhang Shaobing. 2007. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(1) :1–12(in Chinese).

附中文参考文献

- 曹强, 刘家军, 李龙吟, 孙义伟, 杨明银, 李书涛, 杨尚松. 2015. 秦岭造山带南缘茅店冲金矿床正长斑岩锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 42(5): 1303–1323.
- 陈龙耀, 罗玉凌, 刘晓春, 曲玮, 胡娟. 2014. 南秦岭刘岭群砂岩碎屑锆石 LA–ICP–MS U–Pb 年龄及其构造意义[J]. *地质通报*, 33(9): 1363–1378.
- 陈志宏, 陆松年, 李怀坤, 宋彪, 李惠民, 相振群. 2004. 北秦岭德河黑云二长花岗片麻岩体的成岩时代——TIMS 和 SHRIMP 锆石 U–Pb 同位素年代学[J]. *地质通报*, 23(2): 136–141.
- 第五春荣, 孙勇, 刘良, 张成立, 王洪亮. 2010a. 北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代 N–MORB[J]. *岩石学报*, 26(7): 2015–2038.
- 第五春荣, 孙勇, 林慈鑫, 王洪亮. 2010b. 河南鲁山地区太华杂岩 LA–(MC)—ICPMS 锆石 U–Pb 年代学及 Hf 同位素组成[J]. *科学通报*, 55(21): 2112–2123.
- 高春云, 郭安林, 李兴辉, 李侃, 刘伟刚. 2015. 北秦岭柳叶河盆地石炭系一二叠系含砾砂岩碎屑锆石 LA–ICP–MS U–Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 34(9): 1689–1698.
- 河南省地质矿产厅. 1997. 河南省岩石地层[M]. 武汉, 中国地质大学出版社, 1–299.
- 贾承造, 施央申, 郭令智. 1988. 东秦岭板块构造[M]. 南京: 南京大学出版社. 1–130.
- 姜常义, 苏生瑞, 苏春乾, 石焕文. 1998. 商州蛇绿岩与晋宁运动[J]. *地质与勘探*. 34(4): 7–12.
- 金守文. 1976. 宽坪群和陶湾群的地层划分及时代问题[J]. *地质科技情报*, (1): 1–10.
- 李宝芳, 马文璞, 张惠良, 赵志根, 李贵东. 2000. 大别山北麓石炭纪盆地沉积和构造研究[J]. *地学前缘*, 7(3): 153–167
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接受器

- 等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J]. 矿物学报, 28(增刊):600-601.
- 李怀坤, 陆松年, 陈志宏, 相振群, 周红英, 郝国杰. 2003. 南秦岭耀岭河群裂谷型火山岩锆石U-Pb年代学[J]. 地质通报, 22(10):775-781.
- 李名则, 吴才来, 雷敏, 秦海鹏, 刘春华. 2014. 东秦岭南召地区花岗岩岩石地球化学特征及LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄[J]. 地质论评, 60(2):427-442.
- 李曰俊, 胡世玲, 金福全, 王道轩, 郝杰, 殷和平. 1997. 杨山晚古生代沉积盆地成因类型及其与桐柏一大别造山带关系的探讨[J]. 地质科学, 32(1):19-26.
- 凌文黎, 段瑞春, 柳小明, 程建萍, 毛新武, 彭练红, 刘早学, 杨红梅, 任邦方. 2010. 南秦岭武当山群碎屑锆石U-Pb年代学及其地质意义[J]. 科学通报, 55(12):1153-1161.
- 刘玄, 范宏瑞, 邱正杰, 杨奎峰, 胡芳芳, 郭双龙, 赵凤春. 2015. 中条山地区绛县群和中条群沉积时限: 夹层斜长角闪岩SIMS锆石U-Pb年代学证据[J]. 岩石学报, 031(06)-1564-1572.
- 陆松年, 陈志宏, 相振群, 李怀坤, 李惠民, 宋彪. 2006. 秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨[J]. 地学前缘, 13(6):303-310.
- 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. 秦岭中新元古代地质演化及对Rodinia超级大陆事件的响应[M]. 北京: 地质出版社, 1-194.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 陈志宏, 王惠初, 张传林. 2009. 中央造山带(中—西部)前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 1-203.
- 彭敏, 吴元保, 汪晶, 焦文放, 刘小驰, 杨赛红. 2009. 扬子崆岭高级变质地体古元古代基性岩脉的发现及其意义[J]. 科学通报, 54(5):641-647.
- 彭松柏, 韩庆森, Ali Polat, Timothy M. Kusky. 2016. 扬子克拉通黄陵穹隆北部发现古元古代蛇绿混杂岩[J]. 地球科学, 41:2217-2218.
- 邱啸飞, 杨红梅, 卢山松, 谭娟娟, 蔡应雄. 2015. 扬子陆核古元古代A型花岗岩的年代学与地球化学研究及其构造意义[J]. 现代地质, 29(4):884-895.
- 任富根, 李惠民, 殷艳杰, 李双保, 丁士应, 陈志宏. 2000. 熊耳群火山岩系的上限年龄及其地质意义[J]. 前寒武纪研究进展, 23(3):140-146.
- 陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1-698.
- 时毓, 于津海, 杨启军, 刘希军, 冯佐海, 朱昱桦. 2014. 小秦岭地区太华群锆石U-Pb年龄及华北克拉通南缘地壳演化[J]. 地球科学与环境学报, 36(1):218-229.
- 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[J]. 岩石学报, 27(4):1172-1178.
- 万渝生, 刘敦一, 王世炎, 赵逊, 董春艳, 周红英, 殷小艳, 杨长秀, 高林志. 2009. 登封地区早前寒武纪地壳演化——地球化学和锆石SHRIMP U-Pb年代学制约[J]. 地质学报, 83(7):982-999.
- 王涛, 李伍平, 王晓霞. 1998. 秦岭杂岩牛角山花岗质片麻岩体锆石U-Pb同位素年龄及其地质意义[J]. 中国区域地质, 17(3):262.
- 王涛, 张宗清, 王晓霞, 王彦斌, 张成立. 2005. 秦岭造山带核部新元古代碰撞变形及其时代——强变形同碰撞花岗岩与弱变形脉体锆石SHRIMP年龄限定[J]. 地质学报, 79(2):220-231.
- 王晓霞, 王涛, 张成立. 2015. 秦岭造山带花岗岩质浆作用与造山带演化[J]. 中国科学: 地球科学, 45(8):1109-1125.
- 王宗起, 闫臻, 王涛, 高联达, 闫全人, 陈隽路, 李秋根, 姜春发, 刘平, 张英利, 谢春林, 向忠金. 2009. 秦岭造山带主要疑难地层时代研究的新进展[J]. 地球学报, 30(5):561-570.
- 肖思云, 张维吉, 宋子季等. 1988. 北秦岭变质地层[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1-32.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 王涛, 陈隽路, 向忠金, 张宗清, 姜春发. 2008. 秦岭造山带宽坪群的变镁铁质岩的成因、时代及其构造意义[J]. 地质通报, 27(9):1475-1492.
- 阎国翰, 蔡剑辉, 任康旭, 刘楚雄, 柳晓艳, 牟保磊, 杨斌, 李凤棠, 黄宝玲, 马芳. 2010. 华北克拉通南缘栾川群大红口组碱性粗面岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及其意义[C]/2010年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集. 289-290.
- 张成立, 刘良, 张国伟, 王涛, 陈丹玲, 袁洪林, 柳小明, 晏云翔. 2004. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地学前缘, 11(3):33-42.
- 张国伟, 袁学诚, 张本仁, 袁学成, 肖庆辉等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1-885.
- 张丽娟, 马昌前, 王连训, 余振兵, 王世明. 2011. 扬子地块北缘古元古代环斑花岗岩的发现及其意义[J]. 科学通报, 56(1):46-57.
- 张寿广, 万渝生, 刘国惠, 从曰祥, 赵子然. 1991. 北秦岭宽坪群变质地质[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1-119.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社, 1-194.
- 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[J]. 岩石学报, 11(增刊):165-177.
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 王宗起, 唐索寒, 王进辉. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵凤清, 李惠民, 左义成, 薛克勤. 2006. 晋南中条山古元古代花岗岩的锆石U-Pb年龄[J]. 地质通报, 25(4):442-447.
- 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-MSU-Pb定年及其地质意义[J]. 地学前缘, 19(4):118-125.
- 赵利刚, 李承东, 武志宇, 高学生, 许雅雯, 张阔, 常青松. 2018. 豫西五里川—寨根一带秦岭岩群碎屑锆石U-Pb年龄研究[J]. 中国地质, 45(4):753-768.
- 赵太平, 瞿明国, 夏斌, 李惠民, 张毅星, 万渝生. 2004. 熊耳群火山岩锆石SHRIMP年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约[J]. 科学通报, 49(22):2342-2349.
- 郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化[J]. 科学通报, 52(1):1-10.