

doi: 10.12029/gc20180408

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): 753-766.

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).

豫西五里川—寨根一带秦岭岩群碎屑 锆石 U-Pb 年龄研究

赵利刚¹ 李承东¹ 武志宇² 高学生¹ 许雅雯¹ 张阔¹ 常青松¹

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津市 300170; 2. 长庆实业集团, 陕西 西安 710016)

摘要: 秦岭岩群为北秦岭微陆块的主要组成部分, 其时代的准确厘定对秦岭造山带构造演化研究具有重要的地质意义。本次工作对五里川—寨根一带秦岭岩群雁岭沟岩组钠长二云片岩和郭庄岩组砂线二云二长片麻岩进行碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年代学研究。钠长二云片岩具有岩浆成因特征的碎屑锆石核部年龄主要存在 545 ~ 551 Ma、754 ~ 778 Ma、900 ~ 1000 Ma、1340 ~ 1830 Ma 和 2300 ~ 2500 Ma 5 个年龄段, 并以 900 ~ 1000 Ma 段碎屑锆石的峰最明显; 部分数据点在锆石 U-Pb 谐和图上拟合成一条上交点年龄为 (2478 ± 25) Ma 的不一致线。砂线二云二长片麻岩年龄主要集中于 1400 ~ 1800 Ma, 另有 4 颗锆石年龄为 1134 ~ 1243 Ma, 其中最年轻的 1 颗碎屑岩浆锆石年龄为 (1134 ± 17) Ma。根据分析结果, 推断本地区雁岭沟岩组的形成时代应晚于 900 Ma, 早于 438 Ma 的五垛山岩体。郭庄岩组的主体形成于中元古代晚期, 时代应该晚于 1122 Ma, 老于 962 Ma 的新元古代花岗岩类。雁岭沟岩组最主要的物质来源为新元古代花岗岩, 其次为新太古代—古元古代陆壳, 少部分来源于郭庄岩组; 郭庄岩组物质来源主要为的古元古代晚期至中元古代早期的花岗岩陆壳。雁岭沟岩组与郭庄岩组形成时代不同, 二者之间存在沉积间断, 主要物源区也不相同, 雁岭沟岩组中甚至有少量郭庄岩组剥蚀后再沉积的物质。因此, 二者是不同的构造岩片, 本地区雁岭沟岩组应从秦岭岩群中解体出来。

关键词: 豫西; 秦岭造山带; 秦岭岩群; 雁岭沟组; 郭庄岩组; 碎屑锆石 U-Pb; LA-ICP-MS

中图分类号: P597.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)04-0753-15

Detrital zircon U-Pb geochronology of the Qinling Group in Wulichuan-Zhaigen area, West Henan

ZHAO Ligang¹, LI Chengdong¹, WU Zhiyu², GAO Xuesheng¹, XU Yawen¹, ZHANG Kuo¹,
CHANG Qingsong¹

(1. Tianjin Center of Geological Survey, CGS, Tianjin 300170, China; 2. Changqing Industry and Commerce Group, Xi'an 710016, Sichuan, China)

收稿日期: 2016-09-27; 改回日期: 2017-02-17

基金项目: 国家自然科学基金(41272065)和中国地质调查局地质大调查项目(DD20160043)联合资助。

作者简介: 赵利刚, 男, 1981 年生, 硕士, 助理研究员, 主要从事区域成矿规律研究; E-mail: zhaoligang981@126.com。

通讯作者: 李承东, 男, 1963 年生, 博士, 教授级高级工程师, 构造地质学专业; E-mail: tjlcd99@163.com。

Abstract: The Qinling Group is the main component of the Qinling microcontinent, and the accurate determination of its age is of great significance for the study of the tectonic evolution of the Qinling orogenic belt. This paper presents zircon LA-MC-ICPMS U-Pb geochronologic data of the albite two-mica schist from Yanlinggou Formation and the sillimanite two-mica monzo-gneiss from Guozhuang Formation of Qinling Group in Wulichuan-Zhaigen area. The dating results of the magmatic core of detrital zircons from albite two-mica schist show 5 age groups mainly, i.e., 545–551 Ma, 754–778 Ma, 900–1000 Ma, 1340–1830 Ma and 2300–2500 Ma, in which the 900–1000 Ma group exhibits most obvious peaks of detrital zircons, and an inconsistent line of the upper intersection point of (2478 ± 25) Ma can be fitted to a part of data points. The sillimanite two-mica monzo-gneiss ages are mainly concentrated in 1400–1800 Ma, with only four data points being in the range of 1134–1243 Ma, and the youngest magmatic core of detrital zircons is (1103 ± 6) Ma. According to the data, the authors hold that the age of Yanlinggou Formation was younger than 900 Ma, and older than 438 Ma pluton of Wuduoshan. Guozhuang Formation is mainly formed during late Mesoproterozoic, younger than 1122 Ma, and older than 962 Ma Neoproterozoic granitic rocks. The sedimentary material of Yanlinggou Formation complex was mainly from Neoproterozoic granitic rocks and Proterozoic continental crust, with a little from Guozhuang Formation. Most sources of Guozhuang Formation were from the late Paleoproterozoic to Mesoproterozoic granitic continental crust. Yanlinggou Formation and Guozhuang Formation were formed in different periods, and there was a discontinuity between them. Their sedimentary materials were also different, and even a small amount of material of Yanlinggou Formation was post-redeposition material from Guozhuang Formation. The two formations are different tectonic sheets. Therefore, the Yanlinggou Formation should be separated from the Qinling Group.

Key words: west Henan; Qinling orogenic belt; Qinling Group; Yanlinggou Formation; Gaungzhou Formation; detrital zircon U-Pb; LA-ICP-MS

About the first author: ZHAO Ligang, male, born in 1981, assistant professor, master, mainly engages in the study of regional metallogeny; E-mail: zhaoligang981@126.com.

Funt support: Support by Science Funds of National Natural Science Foundation (No. 41272065) and China Geological Survey Program (No. DD20160043).

1 引 言

秦岭造山带呈狭长带状分布于华北陆块和扬子陆块之间,经历了长期的演化历史,具复杂的物质组成和结构构造(张国伟等,1995,1997,2001;裴先治等,1999)。根据岩石学和大地构造特征,可将其分为南秦岭和北秦岭两个微陆块或造山带(张国伟等,2001;Meng et al.,2000)。秦岭岩群为北秦岭微陆块的重要组成部分,主要呈几个巨大的透镜状岩片沿近东西向断续分布,是秦岭造山带中从组成到构造最为复杂的地带。

张宗清等(1994)对蛇尾及丹凤地区的秦岭岩群进行了系统的同位素测年研究(包括碎屑锆石 TIMS U-Pb法、斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 等时线法等),认为秦岭岩群形成于古元古代晚期(2.0 Ga);陆松年等(2006)应用 SHRIMP 和 LA-ICPMS 法对秦岭岩群中的矽线黑云石英片岩中的碎屑锆石进行测年,认为秦岭岩群副变质岩蚀源区主要为古元古代晚期至中元古代早期以花岗岩为主的大陆地

壳(1.5~1.9 Ga),其沉积时代至少新于 1.5 Ga(并于 960 Ma 的花岗岩侵入体),极可能为中元古代末期,并得到了许多学者的证实(时毓等,2009;杨力等,2010;万渝生等,2011;Diwu Chunrong et al.,2014)。但上述同位素年代学的研究仅限于秦岭岩群郭庄岩组,而对雁岭沟岩组的研究则相对缺乏。为限定雁岭沟岩组的时代,本文对五里川—寨根一带雁岭沟岩组下部石墨大理岩夹层中的变质碎屑岩进行了锆石 LA-ICP-MS 年代学研究,同时在寨根地区采集了郭庄岩组中比较典型的矽线二云二长片麻岩进行对比研究。

2 地质背景和样品来源

原建立的秦岭群(又称秦岭杂岩),实际是一套包含不同时代地质体的构造岩石组合(张国伟等,2001;王涛等,1997),已逐步解体(包括最后被分离出来的峡河群(陈瑞保等,1993))。现在普遍认为秦岭岩群为一套中深变质杂岩系,变质程度普遍达角闪岩相,局部达麻粒岩相,有强烈的深熔混合岩

化,多期变质变形和岩浆贯入,以深层塑性流变和韧性剪切带为主要变形特征(张国伟等,2001;游振东等,1991)。河南岩石地层(河南省地质矿产局,1997)将秦岭岩群由下到上依次划分为郭庄岩组、雁岭沟岩组和石槽沟岩组。但最新的区域地质调查成果^①认为石槽沟岩组和郭庄岩组实为同一套构造地层单元在不同构造部位的重复出露,而将秦岭岩群划为郭庄岩组和雁岭沟岩组,并认为二者为整合接触。但多数学者认为秦岭岩群由不同的构造岩片组成,并且经历了多期次的构造作用,现在各组成单元之间的接触关系已不能完全代表原来的接触关系,雁岭沟组厚层大理岩可能是推覆其上的外来岩片(万渝生等,2011;张国伟等,1990,1988;闫全人等,2009)。但由于没有合适的测试样品,秦岭岩群上部厚层大理岩,即雁岭沟岩组的形成时

代、物质来源一直无法确定,所以与郭庄岩组的关系也没有确切的证据进行证实。

豫西地区郭庄岩组以石榴黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩为主,夹透辉斜长角闪片麻岩及白云质大理岩,原岩以中基性及中酸性火山岩为主,夹钙泥质岩、砂质岩和碳酸盐岩等沉积夹层。区域上该岩组以岩石普遍发育深熔作用为典型特征,局部地区,如桐柏、松树沟、官坡等地含有高压-超高压变质岩透镜体,并有区域退变质叠加,总体为一套具中深变质的碎屑岩-碳酸盐夹火山岩组合。雁岭沟岩组以大套含石墨、橄榄石、透辉石、透闪石、海泡石等变质矿物的镁质大理岩为主,夹少量变质碎屑岩及基性火山岩。

此次工作的样品采于河南省洛阳市南部五里川乡—寨根乡一带,该地区是秦岭岩群出露最广、岩性

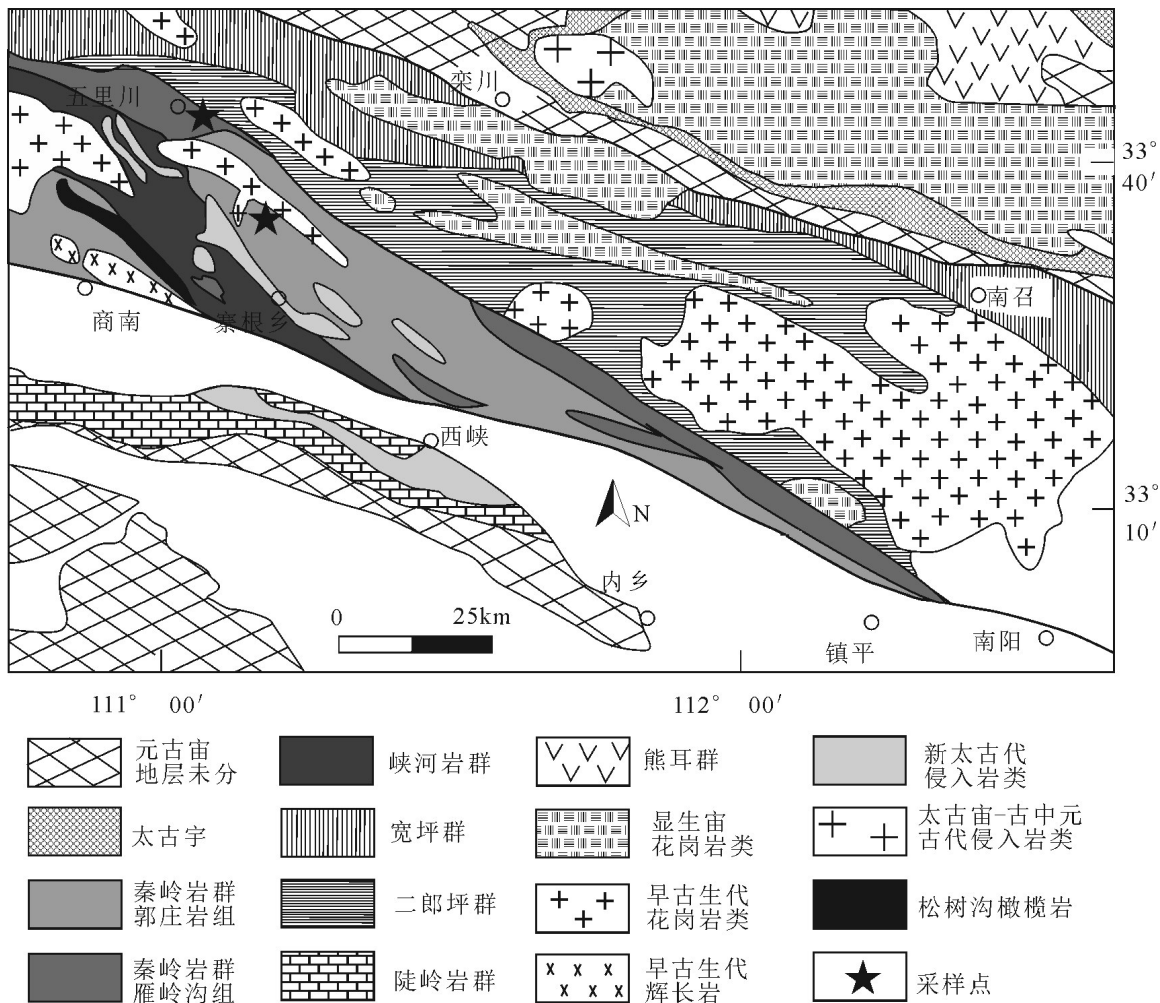


图1 豫西地区地质略图(据万渝生等,2011)

Fig.1 Geological sketch map of west Henan(after Wan et al., 2011)



图2 郭庄岩组二云二长片麻岩野外特征(a)及郭庄岩组中的深熔作用(b)

Fig.2 Field features of two-mica feldspar gneiss (a) and anatexis(b) from Guozhuang formation complex

组合特征最典型的地段(图1,图2)。2个样品分别采于雁岭沟岩组和郭庄岩组,岩相学特征描述如下:

10YX06:雁岭沟岩组钠长二云片岩,采于五里川南部一带,地理坐标:33°45′03.53″N,111°06′52.15″E。岩石粒状鳞片变晶结构,片状构造,由白云母(40%~45%)、钠长石(25%)、石英(15%~20%)、蚀变黑云母(10%~15%)和少量绿泥石(<5%)组成。白云母呈无色片状,黑云母已全部被褐铁矿、白云母取代,绿泥石呈浅绿色片状,均具定向排列,片径0.05~1.15 mm。石英呈他形、齿形粒状,粒内具波状消光和亚颗粒,粒径多在0.05~0.75 mm,有的聚集成条带状定向分布。钠长石呈他形粒状,有的沿裂隙被褐铁矿交代,粒径为0.25~1.45 mm。岩内少量裂隙被褐铁矿充填。

10YX13:郭庄岩组砂线二云二长片麻岩,采于寨根北部寨岭村一带,地理坐标:33°38′34.67″N,111°10′51.00″E。岩石为毛发状、鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,成分包括石英(25%±)、斜长石(10%~15%)、钾长石(15%~20%)、黑云母(25%±)、白云母(10%±)和矽线石(10%±)。斜长石呈他形粒状,具绢云母、碳酸盐化,粒径多为0.05~0.75 mm。钾长石呈它形粒状,具土化,粒径0.2~1.4 mm;石英呈他形、齿形粒状,粒内波状消光和亚颗粒发育,粒径0.1~1.2 mm;黑云母呈红褐色片状,白云母呈无色片状,两者具定向排列,片长0.1~2.1 mm;少量矽线石呈无色毛发状、针柱状,常呈集合体生长。

3 样品处理及分析方法

锆石U-Th-Pb样品前处理包括了原岩粉碎、锆石分选、样靶制作等环节。将原岩粉碎到能够通过80目,人工淘洗岩石粉末,得到重砂部分,再

经过电磁选、重液分选,之后在显微镜下挑选出锆石。10YX06样品5 kg原样挑选出锆石200粒;10YX13样品2 kg原样挑选出锆石1000粒。然后挑选裂纹少、透明度好、干净的锆石制靶,在样品靶固结干燥后,打磨并抛光,在大部分锆石颗粒的中心部位暴露出来后,拍摄锆石透反射光照片、阴极发光(CL)图像(图3),以便做锆石成因分析。

在天津地质矿产研究所同位素实验室,利用激光剥蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)对样品锆石进行微区原位U-Th-Pb同位素测定。仪器配置和测试流程参见文献(李怀坤等,2009,2010)。采用标准锆石GJ-1作为外部年龄标准进行U、Pb同位素分馏校正(Simon et al., 2004),用中国地质大学刘勇胜博士编写的ICPMS Data Cal程序(Liu Yongsheng et al., 2008)对原始数据进行处理,用Ludwig博士编写的3.0版Isoplot程序(Ludwig, 2003)绘制U-Pb谐和图和计算加权平均值,以 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正(Tom 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。

对于锆石年龄大于10亿年的数据,采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,而对于锆石年龄小于10亿年的数据,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Gehrels et al., 1999; Sircombe, 1999; 李猛等, 2015)。以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄比值为标准选择U-Pb年龄数据(Gehrels, et al., 1999; Nelson, et al., 2007; Kalsbeek, et al., 2008; Naipauer, et al., 2010; 李猛等, 2015),谐和度介于90%~110%的数据为有效数据。

4 锆石特征和测年结果

雁岭沟岩组钠长二云片岩(10YX06)和郭庄岩

组矽线二云二长片麻(10YX13)锆石U-Th-Pb同位素测定结果见表1,图3为2个样品代表性锆石CL(阴极发光)图像特征。测试过程中对不同形态、不同CL成相特征的锆石随机打点,以期能客观反映锆石群的年龄分布特征。图4、图5分别展示了2个样品分析的锆石U-Pb谐和曲线图和年龄直方图。

4.1 样品10YX06

雁岭沟岩组钠长二云片岩。代表性锆石多为椭圆状、次圆状,少数为次棱角状,基本不具完整晶形,并且许多颗粒发育振荡环带,为继承的碎屑岩浆锆石。少数发育增生边,但厚度都比较薄,难以进行测试。该样品共测试80个数据点,在锆石U-Pb谐和图上(图4a),多数点落于谐和线上,部分位于谐和线下方,其中13个位于谐和线下方的点拟合的一条不一致线上交点年龄为 (2478 ± 25) Ma,下交点年龄为 (602 ± 320) Ma。上交点年龄代表了雁岭沟岩组碎屑岩源岩的年龄信息,而下交点误差较大,变质作用发生的时间不能准确确定。剔除谐和度较低的7个数据点,剩余的73个数据点。在年龄直方图上主要集中表现为多个峰值:545~551 Ma、754~778 Ma、900~1000 Ma、1340~1830 Ma和2300~2500 Ma(表1,图4b),并以900~1000 Ma为主峰值。另外还有2颗锆石比较古老: (2863 ± 12) Ma和 (3563 ± 11) Ma。

4.2 样品10YX13

郭庄岩组矽线二云二长片麻岩。代表性锆石多为椭圆状、次圆状,少数为次棱角状,CL图像特征与10YX06样品相似,也含有发育振荡环带的碎屑岩浆锆石,部分也发育增生变质边。对该样品共进行80个测点分析,在锆石U-Pb谐和图上(图5a),多数点落于谐和线上,部分位于谐和线下方。剔除谐和度较低的17个数据点,对剩下63个数据点进行统计分析,并显示在年龄直方图上(图5b)。数据点年龄值主要集中于1400~1800 Ma,其余年龄值有4个点在1134~1243 Ma,有2个点年龄分别为 (2358 ± 15) Ma和 (2829 ± 13) Ma。另外还有一个比较年轻的年龄为 (461 ± 2) Ma,考虑到郭庄岩组被新元古代岩体侵入,该锆石可能为变质锆石,其形成可能与早古生代变质热事件有关(万渝生等,2011)。

5 讨论

5.1 钠长二云片岩和矽线二云二长片麻岩原岩形成时代

本次工作所采取的雁岭沟岩组钠长二云片岩样品位于五里川东部至朱阳关的公路一侧,1:5万朱阳关幅和1:25万内乡县幅地质图都将该处岩石归于秦岭岩群雁岭沟岩组,但部分学者认为寨根地区峡河岩群中的大理岩块体应作为独立的单位划分出来(王涛等,1997),也有学者认为应该将其归为峡河岩群上部岩段(王世炎等,内部交流),有些学者对是否应将峡河岩群从秦岭岩群中划分出去也持否定意见(陆松年等,2003)。鉴于以上争论,本次研究所获得的雁岭沟岩组的时代仅代表朱阳关地区雁岭沟岩组的时代,其他地区的雁岭沟岩组,应进行更深入更系统的研究划分。测试结果表明,钠长二云片岩碎屑锆石年龄主要集中于900~1000 Ma,表明本地区雁岭沟岩组变质沉积岩主体形成于新元古代900 Ma之后,晚于张宗清等(1994)给出的978 Ma的可参考Nb模式年龄。最年轻的两组岩浆碎屑锆石因数量较少,不具有代表性,是否表明雁岭沟岩组沉积时代更晚还需要进一步的工作。另外,研究区东部马山口镇北部一带雁岭沟岩组被早古生代五垛山岩体(LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为438 Ma^①)侵入,因此雁岭沟岩组的形成时代应晚于900 Ma、早于438 Ma的早古生代侵入岩。

寨根地区郭庄岩组矽线二云二长片麻岩年龄值主要集中于1400~1800 Ma,谐和度在90%~110%的最年轻岩浆碎屑沉积锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 (1134 ± 17) Ma,该年龄与寨根地区秦岭岩群中的矽线黑云石英片岩中 (1213 ± 46) Ma的岩浆碎屑锆石年龄(陆松年等,2006)和狮子坪乡石架沟一带榴辉岩围岩1122 Ma的最小年龄(杨经绥等,2002)相近。蛇尾地区黑云斜长片麻岩中获得了更年轻的上交点年龄 (1062 ± 170) Ma(Diwu Chunrong et al., 2014),但误差较大。西峡地区侵入郭庄岩组的最老的新元古代片麻状花岗岩的年龄为 (962 ± 16) Ma(Diwu Chunrong, et al., 2014),因此郭庄岩组的时代应该晚于1122 Ma、老于962 Ma的新元古代花岗岩,主体形成于中元古代晚期。

表1 秦岭岩群碎屑锆石 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素测定数据
Table 1 U-Th-Pb isotope composition of detrital zircons from Qingling Group by LA-MC-ICP-MS

点号	同位素含量/ 10^{-6}				同位素比值				年龄/Ma				谱和度				
	Pb		U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ					
1	95	511	543	1.06	0.07140	0.00059	1.596	0.014	0.1621	0.0010	969	17	969	9	969	6	100
2	72	424	139	0.33	0.07114	0.00059	1.687	0.017	0.1720	0.0012	961	17	1004	10	1023	7	98
3	162	312	181	0.58	0.16150	0.00120	10.326	0.085	0.4636	0.0027	2472	13	2464	20	2456	15	101
4	87	269	365	1.36	0.09407	0.00075	3.441	0.030	0.2653	0.0016	1510	15	1514	13	1517	9	100
5	97	300	181	0.60	0.10341	0.00080	4.276	0.036	0.2999	0.0018	1686	14	1689	14	1691	10	100
6	72	435	215	0.49	0.07000	0.00058	1.551	0.014	0.1607	0.0010	928	17	951	9	961	6	99
7	263	841	93	0.11	0.11185	0.00084	4.881	0.040	0.3165	0.0019	1830	14	1799	15	1773	11	103
8	39	221	99	0.45	0.07325	0.00072	1.742	0.018	0.1725	0.0010	1021	20	1024	11	1026	6	100
9	52	123	87	0.71	0.12790	0.00100	6.650	0.057	0.3771	0.0022	2070	14	2066	18	2063	12	100
10	42	244	182	0.74	0.07032	0.00073	1.549	0.017	0.1598	0.0010	938	21	950	11	956	6	99
11	50	153	213	1.40	0.09532	0.00083	3.479	0.032	0.2647	0.0016	1534	16	1522	14	1514	9	101
12	84	240	121	0.50	0.11165	0.00086	5.037	0.041	0.3272	0.0019	1826	14	1825	15	1825	11	100
13	64	205	186	0.90	0.10170	0.00082	3.786	0.033	0.2700	0.0016	1655	15	1590	14	1541	9	107
14	128	783	399	0.51	0.06995	0.00054	1.511	0.012	0.1567	0.0009	927	16	935	8	938	5	100
15	62	379	199	0.53	0.07089	0.00059	1.531	0.013	0.1566	0.0009	954	17	943	8	938	5	101
16	85	541	139	0.26	0.07079	0.00056	1.563	0.014	0.1602	0.0010	951	16	956	8	958	6	100
17	101	405	101	0.25	0.08829	0.00068	3.051	0.027	0.2506	0.0016	1389	15	1420	12	1442	9	96
18	109	409	140	0.34	0.09714	0.00074	3.465	0.030	0.2587	0.0017	1570	14	1519	13	1483	10	106
19	57	390	24	0.06	0.07075	0.00059	1.520	0.014	0.1558	0.0010	950	17	938	9	933	6	101
20	91	488	73	0.15	0.07728	0.00060	2.048	0.017	0.1922	0.0012	1128	15	1132	10	1133	7	100
21	117	250	105	0.42	0.16180	0.00120	9.495	0.088	0.4256	0.0031	2474	13	2387	22	2286	16	108
22	158	307	228	0.74	0.15760	0.00120	9.516	0.081	0.4378	0.0028	2430	13	2389	20	2341	15	104
23	32	240	128	0.53	0.06485	0.00074	1.133	0.014	0.1267	0.0008	770	24	769	9	769	5	100
24	30	137	96	0.70	0.07987	0.00081	2.206	0.024	0.2004	0.0012	1194	20	1183	13	1177	7	101
25	122	378	78	0.21	0.13850	0.00100	5.966	0.049	0.3125	0.0018	2208	13	1971	16	1753	10	126
26	93	343	272	0.79	0.09386	0.00073	3.081	0.027	0.2381	0.0015	1505	15	1428	12	1377	8	109
27	114	215	178	0.83	0.16110	0.00120	9.898	0.083	0.4455	0.0027	2468	13	2425	20	2375	14	104
28	101	516	73	0.14	0.08140	0.00064	2.256	0.019	0.2010	0.0012	1231	15	1199	10	1181	7	104
29	57	355	127	0.36	0.07077	0.00061	1.545	0.014	0.1583	0.0010	951	18	948	9	947	6	100
30	110	303	117	0.39	0.12111	0.00092	5.697	0.046	0.3412	0.0020	1973	13	1931	16	1892	11	104
31	89	513	253	0.49	0.07250	0.00059	1.646	0.014	0.1647	0.0009	1000	16	988	8	983	5	101
32	51	245	190	0.78	0.07724	0.00071	1.960	0.019	0.1840	0.0011	1127	18	1102	11	1089	6	104
33	51	306	185	0.60	0.07023	0.00064	1.501	0.014	0.1551	0.0009	935	19	931	9	929	5	100

续表1

点号	同位素含量/ 10^{-6}				同位素比值				年龄/Ma				谱和度				
	Pb		Th		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						
	U	Th	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ					
34	571	846	106	0.12	0.30350	0.00230	24.391	0.192	0.5829	0.0032	3488	12	3284	26	2961	16	118
35	109	710	170	0.24	0.07063	0.00056	1.521	0.013	0.1562	0.0009	947	16	939	8	936	5	100
36	71	424	131	0.31	0.07342	0.00059	1.678	0.014	0.1658	0.0010	1026	16	1000	9	989	6	104
37	51	281	295	1.05	0.07080	0.00066	1.524	0.015	0.1561	0.0009	952	19	940	9	935	5	101
38	225	471	223	0.47	0.16370	0.00120	9.752	0.080	0.4321	0.0025	2494	13	2412	20	2315	13	108
39	79	386	244	0.63	0.07776	0.00062	2.047	0.017	0.1910	0.0011	1141	16	1131	9	1127	6	101
40	167	430	307	0.71	0.15260	0.00110	6.896	0.061	0.3276	0.0022	2376	13	2098	19	1827	12	130
41	150	428	103	0.24	0.12203	0.00092	5.743	0.046	0.3413	0.0019	1986	13	1938	15	1893	11	105
42	82	340	172	0.51	0.08607	0.00068	2.668	0.022	0.2248	0.0013	1340	15	1320	11	1307	7	102
43	55	320	187	0.58	0.07158	0.00068	1.579	0.015	0.1600	0.0009	974	19	962	9	957	5	101
44	73	247	182	0.73	0.09725	0.00078	3.487	0.030	0.2601	0.0015	1572	15	1524	13	1490	8	105
45	91	655	90	0.14	0.08026	0.00063	1.558	0.013	0.1408	0.0008	1203	15	954	8	849	5	112
46	72	414	270	0.65	0.07225	0.00059	1.585	0.014	0.1592	0.0009	993	17	964	8	952	5	101
47	38	209	211	1.01	0.07158	0.00072	1.491	0.016	0.1511	0.0009	974	21	927	10	907	5	102
48	93	598	283	0.47	0.06901	0.00054	1.401	0.012	0.1472	0.0008	899	16	889	7	885	5	100
49	46	281	109	0.39	0.07353	0.00070	1.607	0.016	0.1585	0.0009	1029	19	973	10	948	5	103
50	27	275	161	0.59	0.05889	0.00081	0.725	0.010	0.0893	0.0005	563	30	553	8	551	3	102
51	87	441	89	0.20	0.08082	0.00064	2.217	0.020	0.1989	0.0012	1217	16	1186	10	1170	7	104
52	79	487	177	0.36	0.07080	0.00056	1.531	0.013	0.1568	0.0009	952	16	943	8	939	5	100
53	38	223	109	0.49	0.07063	0.00067	1.547	0.015	0.1589	0.0009	947	20	949	9	950	5	100
54	49	189	84	0.44	0.09130	0.00077	3.060	0.027	0.2431	0.0014	1453	16	1423	13	1403	8	104
55	90	215	47	0.22	0.15290	0.00120	8.363	0.069	0.3966	0.0023	2379	13	2271	19	2153	12	110
56	107	209	144	0.69	0.16000	0.00120	9.657	0.077	0.4376	0.0024	2456	13	2403	19	2340	13	105
57	181	309	335	1.09	0.16230	0.00120	10.290	0.081	0.4598	0.0025	2480	13	2461	19	2439	14	102
58	22	220	162	0.74	0.05869	0.00093	0.714	0.011	0.0883	0.0005	555	34	547	9	545	3	100
59	76	132	137	1.04	0.15850	0.00120	9.974	0.080	0.4563	0.0025	2440	13	2432	20	2423	14	101
60	342	756	176	0.23	0.15790	0.00120	9.215	0.073	0.4234	0.0024	2433	13	2360	19	2276	13	107
66	241	409	116	0.28	0.24390	0.00180	17.160	0.140	0.5101	0.0029	3146	12	2944	23	2657	15	118
67	66	292	59	0.20	0.08750	0.00070	2.725	0.023	0.2259	0.0013	1372	15	1335	11	1313	7	104
68	19	109	75	0.69	0.07430	0.00120	1.588	0.026	0.1550	0.0009	1051	33	966	16	929	5	113
69	24	150	68	0.45	0.07460	0.00100	1.590	0.022	0.1546	0.0009	1058	26	966	13	926	5	114
70	89	196	73	0.37	0.15860	0.00120	9.061	0.074	0.4145	0.0023	2440	13	2344	19	2235	13	109

续表1

点号	同位素含量/ 10^{-6}				同位素比值				年龄/Ma				谱和度				
	Pb		U		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		测值	1 σ	测值	1 σ
71	31	240	112	0.47	0.06446	0.00074	1.103	0.013	0.1241	0.0007	757	24	755	9	754	4	100
72	51	280	146	0.52	0.07632	0.00069	1.826	0.018	0.1735	0.0010	1103	18	1055	10	1032	6	107
73	32	172	161	0.94	0.07194	0.00086	1.614	0.021	0.1627	0.0010	984	24	976	13	972	6	100
74	27	115	144	1.26	0.07400	0.00100	2.018	0.029	0.1978	0.0012	1041	28	1121	16	1163	7	90
75	69	208	104	0.50	0.10769	0.00085	4.646	0.040	0.3129	0.0018	1761	14	1758	15	1755	10	100
76	226	246	145	0.59	0.31850	0.00240	32.350	0.270	0.7366	0.0044	3563	11	3561	29	3558	21	100
77	32	79	188	2.38	0.09880	0.00110	3.829	0.044	0.2811	0.0016	1601	20	1599	18	1597	9	100
78	27	187	174	0.93	0.06538	0.00088	1.156	0.016	0.1283	0.0008	787	28	780	11	778	5	101
79	23	132	57	0.43	0.07320	0.00100	1.703	0.023	0.1687	0.0010	1020	26	1010	14	1005	6	101
80	42	288	64	0.22	0.06878	0.00064	1.400	0.014	0.1476	0.0009	892	19	889	9	888	6	100
郭庄岩组砂线二云二长片麻岩(10YX13)																	
1	55	185	72	0.39	0.09702	0.00085	3.680	0.034	0.2751	0.0016	1568	16	1567	15	1566	9	100
2	53	212	82	0.39	0.09148	0.00084	2.909	0.030	0.2307	0.0016	1457	17	1384	14	1338	9	109
3	57	184	98	0.53	0.09723	0.00090	3.671	0.035	0.2738	0.0015	1572	17	1565	15	1560	8	101
4	129	366	262	0.72	0.09906	0.00083	3.969	0.035	0.2906	0.0016	1606	16	1628	14	1645	9	98
5	100	340	127	0.37	0.10070	0.00085	3.739	0.033	0.2693	0.0014	1637	16	1580	14	1537	8	106
6	77	289	93	0.32	0.11640	0.00130	3.728	0.054	0.2323	0.0018	1902	20	1577	23	1346	11	141
7	65	198	91	0.46	0.10005	0.00088	4.064	0.038	0.2946	0.0017	1625	16	1647	15	1664	9	98
8	42	163	62	0.38	0.09132	0.00088	2.936	0.029	0.2332	0.0013	1453	18	1391	14	1351	7	108
9	66	227	50	0.22	0.10011	0.00087	3.928	0.036	0.2846	0.0016	1626	16	1619	15	1614	9	101
10	82	1176	100	0.08	0.05723	0.00052	0.585	0.006	0.0742	0.0004	501	20	468	4	461	2	101
11	150	555	376	0.68	0.09242	0.00079	2.862	0.025	0.2246	0.0012	1476	16	1372	12	1306	7	113
12	265	823	871	1.06	0.09635	0.00080	3.422	0.031	0.2576	0.0015	1555	16	1509	14	1478	9	105
13	99	296	122	0.41	0.10759	0.00091	4.616	0.041	0.3112	0.0017	1759	15	1752	16	1747	10	101
14	119	349	118	0.34	0.10888	0.00091	4.868	0.043	0.3243	0.0018	1781	15	1797	16	1811	10	98
15	48	226	89	0.40	0.08185	0.00084	2.282	0.024	0.2022	0.0011	1242	20	1207	13	1187	6	105
16	64	288	103	0.36	0.09312	0.00083	2.661	0.030	0.2072	0.0016	1490	17	1318	15	1214	9	123
17	71	248	96	0.39	0.09742	0.00086	3.684	0.034	0.2743	0.0015	1575	17	1568	15	1562	8	101
18	163	548	226	0.41	0.10202	0.00085	3.917	0.034	0.2785	0.0015	1661	15	1617	14	1584	8	105
19	86	323	20	0.06	0.09867	0.00084	3.725	0.033	0.2738	0.0015	1599	16	1577	14	1560	8	103
20	117	409	199	0.49	0.09432	0.00079	3.382	0.030	0.2600	0.0014	1515	16	1500	13	1490	8	102
21	76	402	75	0.19	0.08963	0.00081	2.285	0.033	0.1849	0.0019	1418	17	1208	17	1094	11	130
22	58	221	149	0.67	0.10200	0.00100	3.302	0.034	0.2347	0.0013	1661	18	1481	15	1359	7	122

续表1

点号	同位素含量/ 10^{-6}				同位素比值				年龄/Ma				谐和度			
	Pb		U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ				
23	107	372	191	0.51	0.09616	0.00081	3.483	0.2627	0.0014	1551	16	1523	13	1504	8	103
24	220	733	418	0.57	0.09641	0.00080	3.506	0.2638	0.0015	1556	16	1529	13	1509	8	103
25	61	237	56	0.24	0.09203	0.00081	3.209	0.2529	0.0014	1468	17	1459	13	1454	8	101
26	63	191	135	0.71	0.09874	0.00087	3.815	0.2802	0.0015	1600	16	1596	15	1592	8	101
27	93	290	132	0.46	0.10667	0.00091	4.323	0.2939	0.0017	1743	16	1698	16	1661	10	105
28	88	263	153	0.58	0.10521	0.00090	4.298	0.2963	0.0016	1718	16	1693	15	1673	9	103
29	91	282	384	1.36	0.09528	0.00082	3.414	0.2599	0.0014	1534	16	1508	14	1489	8	103
30	95	359	251	0.70	0.09049	0.00079	2.910	0.2333	0.0013	1436	17	1385	13	1352	7	106
31	46	155	107	0.69	0.09515	0.00091	3.440	0.2623	0.0014	1531	18	1514	15	1501	8	102
32	69	133	109	0.82	0.15110	0.00130	9.026	0.4333	0.0023	2358	15	2341	21	2320	12	102
33	88	282	194	0.69	0.09759	0.00084	3.702	0.2751	0.0015	1579	16	1572	14	1567	8	101
34	39	137	72	0.52	0.09398	0.00090	3.398	0.2622	0.0014	1508	18	1504	15	1501	8	100
35	58	228	103	0.45	0.09373	0.00086	3.090	0.2391	0.0015	1503	17	1430	14	1382	8	109
36	76	353	290	0.82	0.08303	0.00079	2.111	0.1844	0.0010	1270	18	1153	11	1091	6	116
37	62	259	147	0.57	0.08938	0.00086	2.633	0.2137	0.0011	1412	18	1310	13	1248	7	113
38	136	545	274	0.50	0.09017	0.00076	2.926	0.2353	0.0013	1429	16	1389	13	1362	8	105
39	119	482	43	0.09	0.10298	0.00086	3.576	0.2518	0.0014	1679	15	1544	14	1448	8	116
40	92	342	312	0.91	0.08967	0.00078	2.929	0.2369	0.0013	1418	17	1389	13	1371	7	103
41	202	660	421	0.64	0.09826	0.00081	3.762	0.2777	0.0015	1591	15	1585	14	1580	8	101
42	58	210	129	0.61	0.09358	0.00087	3.328	0.2579	0.0015	1500	18	1488	14	1479	8	101
43	222	829	516	0.62	0.09842	0.00081	3.333	0.2456	0.0013	1594	15	1489	13	1416	8	113
44	315	579	122	0.21	0.20040	0.00160	13.860	0.5016	0.0027	2829	13	2740	23	2621	14	108
45	88	285	146	0.51	0.10131	0.00086	4.066	0.2910	0.0015	1648	16	1647	14	1647	9	100
46	144	718	485	0.68	0.07752	0.00066	1.994	0.1866	0.0010	1134	17	1114	10	1103	6	103
47	77	309	277	0.90	0.08946	0.00078	2.770	0.2245	0.0012	1414	17	1347	12	1306	7	108
48	56	250	197	0.79	0.08191	0.00078	2.294	0.2031	0.0012	1243	19	1210	12	1192	7	104
49	144	490	527	1.08	0.09248	0.00077	3.239	0.2540	0.0014	1477	16	1467	13	1459	8	101
50	184	635	497	0.78	0.09594	0.00080	3.438	0.2599	0.0014	1547	16	1513	13	1489	8	104
51	68	254	167	0.66	0.09004	0.00078	3.052	0.2458	0.0013	1426	17	1421	13	1417	8	101
52	101	300	185	0.62	0.10669	0.00089	4.573	0.3108	0.0017	1744	15	1744	15	1745	9	100

续表1

点号	同位素含量/ 10^{-6}				同位素比值				年龄/Ma				谐和度				
	Pb		Th		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
	U	Th	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ		测值	1σ		
53	88	300	226	0.75	0.09816	0.00085	3.586	0.032	0.2649	0.0014	1589	16	1546	14	1515	8	105
54	379	1488	791	0.53	0.09188	0.00076	3.018	0.027	0.2383	0.0013	1465	16	1412	13	1378	8	106
55	95	357	187	0.52	0.09516	0.00082	3.322	0.030	0.2532	0.0014	1531	16	1486	13	1455	8	105
56	205	680	645	0.95	0.09485	0.00079	3.414	0.030	0.2610	0.0014	1525	16	1508	13	1495	8	102
57	87	266	268	1.01	0.09612	0.00083	3.604	0.036	0.2719	0.0018	1550	16	1550	16	1550	10	100
58	65	217	205	0.94	0.09285	0.00084	3.288	0.031	0.2568	0.0014	1485	17	1478	14	1474	8	101
59	244	1176	644	0.55	0.07788	0.00065	2.096	0.018	0.1952	0.0011	1144	17	1148	10	1150	6	100
60	111	386	202	0.52	0.09906	0.00089	3.603	0.034	0.2638	0.0014	1606	17	1550	15	1509	8	106
61	152	483	350	0.72	0.09886	0.00082	3.832	0.033	0.2811	0.0015	1603	16	1599	14	1597	9	100
62	90	317	168	0.53	0.09509	0.00081	3.480	0.031	0.2654	0.0015	1530	16	1523	14	1518	8	101
63	292	1214	809	0.67	0.09550	0.00079	2.858	0.025	0.2170	0.0012	1538	16	1371	12	1266	7	121
64	163	734	210	0.29	0.09968	0.00085	2.981	0.029	0.2169	0.0013	1618	16	1403	14	1266	8	128
65	85	310	172	0.56	0.09340	0.00081	3.285	0.030	0.2551	0.0014	1496	16	1478	13	1465	8	102
66	114	390	195	0.50	0.09746	0.00082	3.708	0.033	0.2759	0.0015	1576	16	1573	14	1571	8	100
67	100	375	190	0.51	0.09512	0.00081	3.323	0.029	0.2534	0.0014	1531	16	1486	13	1456	8	105
68	200	794	509	0.64	0.09831	0.00081	3.208	0.028	0.2367	0.0013	1592	15	1459	13	1369	7	116
69	260	889	572	0.64	0.09787	0.00081	3.670	0.032	0.2720	0.0014	1584	15	1565	13	1551	8	102
70	106	443	310	0.70	0.09940	0.00083	2.899	0.025	0.2115	0.0011	1613	16	1382	12	1237	7	130
71	71	245	217	0.89	0.09584	0.00084	3.363	0.031	0.2545	0.0015	1545	16	1496	14	1462	8	106
72	95	335	210	0.63	0.09744	0.00082	3.551	0.032	0.2643	0.0015	1576	16	1539	14	1512	8	104
73	65	199	171	0.86	0.10365	0.00092	4.142	0.039	0.2899	0.0016	1690	16	1663	16	1641	9	103
74	92	384	145	0.38	0.10059	0.00090	3.206	0.030	0.2311	0.0013	1635	17	1459	14	1340	7	122
75	151	507	472	0.93	0.10283	0.00086	3.638	0.032	0.2566	0.0014	1676	15	1558	14	1472	8	114
76	105	352	341	0.97	0.09670	0.00082	3.460	0.030	0.2595	0.0014	1561	16	1518	13	1488	8	105
77	127	521	68	0.13	0.10583	0.00088	3.605	0.033	0.2471	0.0015	1729	15	1551	14	1423	9	121
78	156	561	134	0.24	0.10635	0.00088	4.017	0.037	0.2740	0.0016	1738	15	1638	15	1561	9	111
79	225	756	272	0.36	0.10781	0.00089	4.280	0.037	0.2880	0.0015	1763	15	1690	14	1631	9	108
80	133	468	290	0.62	0.09920	0.00083	3.594	0.031	0.2628	0.0014	1609	16	1548	14	1504	8	107

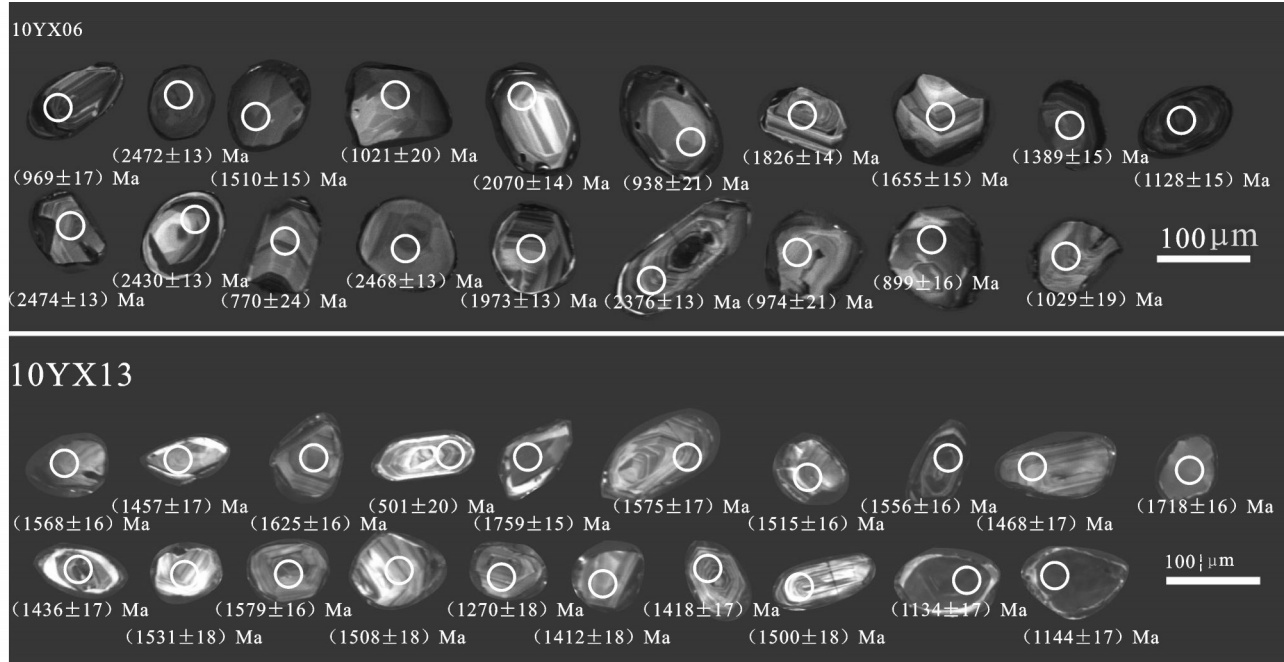


图3 碎屑锆石代表性CL图像及测点位置
Fig.3 Representative CL images and dating spots of the detrital zircon grains

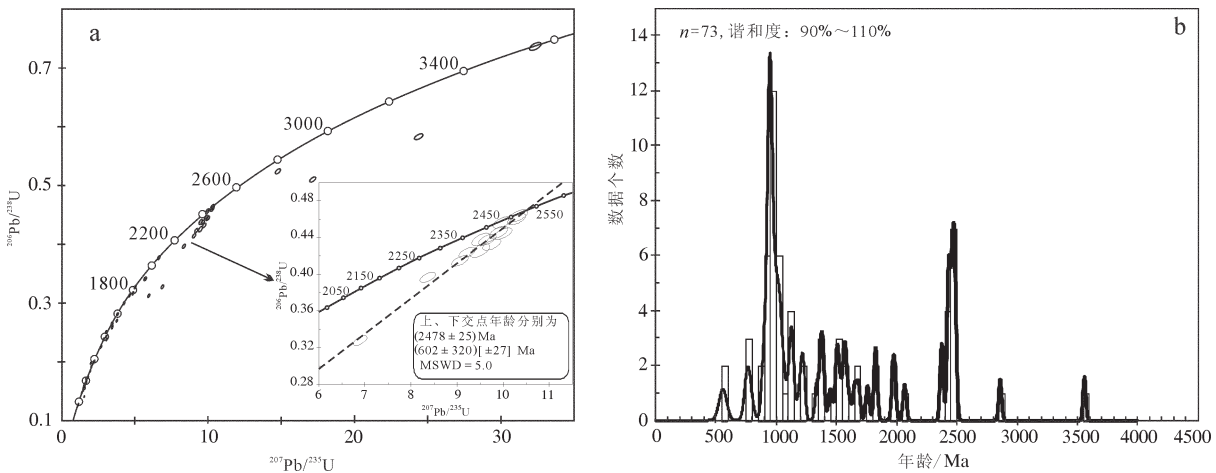


图4 雁岭沟岩组钠长二云片岩(10YX06)锆石U-Pb谐和图与年龄直方图
Fig.4 Concordia diagram and histogram plot of the zircons U-Pb data of the albite two-mica schist from Yanlinggou Formation complex(10YX06)

从形成时代上,雁岭沟岩组形成于900 Ma片麻状花岗岩之后甚至更晚,而郭庄岩组被962 Ma的片麻状花岗岩侵入,二者之间存在沉积间断,雁岭沟岩组应从秦岭岩群中解体出去。

5.2 雁岭沟岩组钠长二云片岩和郭庄岩组矽线二云二长片麻岩物质来源

雁岭沟岩组钠长二云片岩最老的一组锆石年龄为2300~2500 Ma,并有两颗²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄为

(2863±12)Ma和(3563±11)Ma,可能来源于新太古代—古元古代的陆壳。1340~1830 Ma的一组年龄与郭庄岩组主体碎屑锆石的时代相近,可能是郭庄岩组剥蚀后再沉积的产物。900~1000 Ma为主峰值,与侵入秦岭岩群郭庄岩组的寨根、牛角山、德河片麻状花岗岩等新元古代岩体年龄相近(陆松年等,2003)。表明雁岭沟岩组最主要的物质来源为新元古代花岗岩,其次为新太古代—古元古代陆

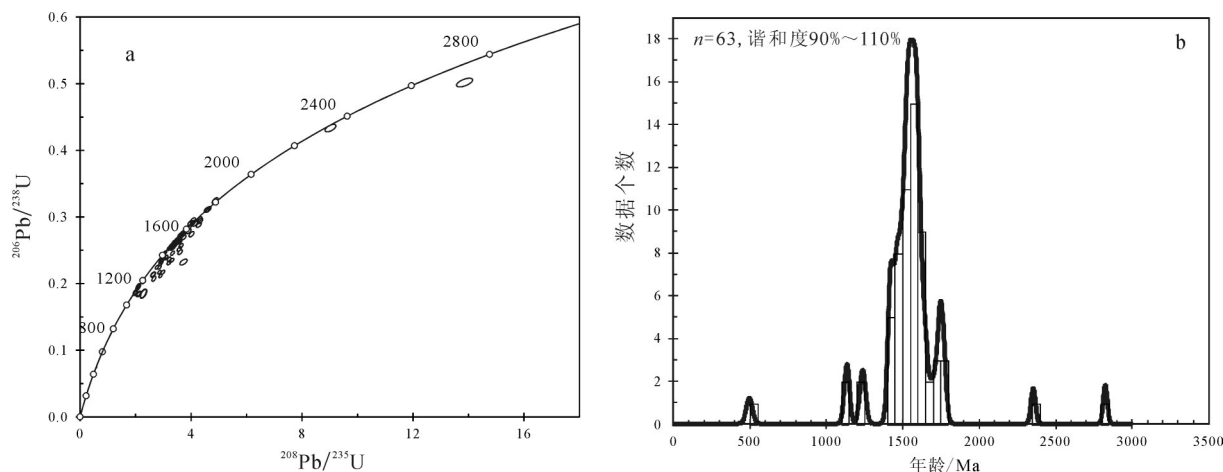


图5 郭庄岩组砂线二云二长片麻岩(10YX13)锆石U-Pb谐和图与年龄直方图

Fig.5 Concordia diagram and histogram plot of the zircons U-Pb data of the sillimanite two-mica monzo-gneiss from the Guozhuang Formation complex(10YX13)

壳,少部分来源于郭庄岩组。

郭庄岩组砂线二云二长片麻岩有2颗锆石年龄较老,分别为(2358±15)Ma和(2829±13)Ma,可能来源于太古宙陆壳。其余锆石年龄在1134~1800 Ma,特别是绝大多数集中于1400~1800 Ma,物质来源主要为古元古代晚期至中元古代早期的花岗岩陆壳(陆松年等,2006)。

从物质来源上看,雁岭沟岩组蚀源区主要为新元古代花岗质侵入岩和2300~2500 Ma的太古宙岩石,甚至有少量郭庄岩组剥蚀后再沉积的物质,与郭庄岩组主蚀源区为1400~1800 Ma的古元古代—中元古代岩石明显不同,表明二者是不同的构造岩片,本地区雁岭沟岩组应从秦岭岩群中解体出来。

6 结 论

(1)五里川地区雁岭沟岩组的形成时代应晚于900 Ma、早于438 Ma的早古生代侵入岩;郭庄岩组的时代应该晚于1122 Ma、老于962 Ma的新元古代侵入岩,主体形成于中元古代晚期。

(2)雁岭沟岩组最主要的物质来源为新元古代侵入岩,其次为新太古代—古元古代陆壳,少部分来源于郭庄岩组;郭庄岩组物质来源主要为古元古代晚期至中元古代早期的花岗岩陆壳。

(3)形成时代上,雁岭沟岩组形成于900 Ma片麻状花岗岩之后甚至更晚,而郭庄岩组被962 Ma的片麻状花岗岩侵入,二者之间存在沉积间断;物质

来源上,雁岭沟岩组蚀源区主要为新元古代花岗质侵入岩和2300~2500 Ma的太古宙岩石,甚至有少量郭庄岩组剥蚀后再沉积的物质,与郭庄岩组主蚀源区为1400~1800 Ma的古元古代—中元古代岩石明显不同。因此,二者是不同的构造岩片,本地区雁岭沟岩组应从秦岭岩群中解体出来。

注释

①王世炎,刘振宏,武太安,张毅星,崔霄峰,付晓强. 2002. 1:25万内乡县幅区域地质调查报告[R]. 郑州:河南省地质调查院。

②李承东,赵利刚,常青松,许雅雯,张阔,王世炎. 2013. 豫西成矿带基础地质综合研究成果报告[R]. 天津:中国地质调查局天津地质调查中心。

References

- Chen Ruibao, Zhang Yan'an. 1993. The sequence and deformation features of Xiaohu Rock Group in western Henan[J]. *Henan Geology*, 11(2):104-111(in Chinese with English abstract).
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Zhao Yan, Liu Bingxiang, Lai Shaocong. 2014. Geochronological, geochemical, and Nd-Hf isotopic studies of the Qinling Complex, central China: Implications for the evolutionary history of the North Qinling Orogenic Belt[J]. *Geoscience Frontiers*, 5:499-513.
- Gehrels G, Johnsson M J, Howell D G. 1999. Detrital zircon geochronology of the Adams Argillite and Nation River Formation, East-Central Alaska, U. S. A[J]. *Sed. Res.*, 69: 135-144.
- Hennan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997. Stratigraphic Division and Correlation of China: Henan Lithostratigraphy[M]. Wuhan: China University of Geosciences

- Press(in Chinese with English abstract).
- Kalsbeek F, Frei D, Affaton P. 2008. Constraints on provenance, stratigraphic correlation and structural context of the Volta basin, Ghana, from detrital zircon geochronology: An Amazonian connection[J]. *Sedi. Geol.*, 212: 86–95.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. Research on the dating zircon U–Pb age by LA–MC–ICPMS[J]. *Bulletion of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 28(supp.):77(in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Zhu Shixing, Xiang Zhenqun, Su Wenbo, Lu Songnian, Zhou Hongying, Geng Jianzhen, Li Sheng, Yang Fengjie. 2010. Zircon U–Pb dating on tuff bed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing, Beijing: Further constraints on the new subdivision of the Mesoproterozoic stratigraphy in the northern North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2131–2140(in Chinese with English abstract).
- Li Meng, Wang Chao, Li Rongshe, Peng Yan. 2015. Age and provenance of the Yingou Group in Sunan area of North Qilian Mountain: Evidence from detrital zircon U–Pb dating[J]. *Geology in China*, 42(3): 601–615(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Detlef Günther, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA–ICP–MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257: 34–43.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 4: 1–71.
- 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, 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).
- Meng Qingren, Zhang Guowei. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qingling orogeny, Central China[J]. *Tectonophysics*, 323(3/4):183–196.
- Naipauer M, Vujovich G I, Cingolani C A, et al. 2010. Detrital zircon analysis from the Neoproterozoic–Cambrian sedimentary cover (Cuyania terrane), Sierra de Pie De Palo, Argentina: Evidence of a rift and passive margin system[J]. *J. South Amer. Ear. Sci.*, 29: 306–326.
- Nelson J, Gehrels G. 2007. Detrital zircon geochronology and provenance of the southeastern Yukon–Tanana Terran[J]. *Can. J. Ear. Sci.*, 44: 297–316.
- Pei Xianzhi, Wang Tao, Wang Yang, Li Houmin, Li Guoguang. 1999. Major geological events of Jinning period and their tectonic settings in the north Qingling[J]. *Geological Journal of China Universities*, 5(2):137–147(in Chinese with English abstract).
- Shi Yu, Yu Jinhai, Xu Xisheng, Qiu Jiansheng, Chen Lihui. 2009. Geochronology and geochemistry of the Qingling Group in the eastern Qingling Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10):2651–2670(in Chinese with English abstract).
- Simon E Jackson, Norman J Pearson, William L Griffin, Elena A. Belousova. 2004. The application of laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology[J]. *Chemical Geology*, 211: 47–69.
- Sircombe K N. 1999. Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia[J]. *Sedi. Geol.*, 124: 47–67.
- Tom Anderson. 2002. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1/2): 59–79.
- 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).
- Wang Tao, Hu Nenggao, Pei Xianzhi, Yang Jiayi, Li Wuping. 1997. The composition, tectonic framework and evolution of Qinling Complex, Central China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(4):345–351(in Chinese with English abstract).
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Yan Zhen, Chen Junlu, Xiang Zhongjin, Wang Tao, Zhang Hongyuan. 2009. Tectonic affinity and timing of two types of amphibolites within the Qingling Group, North Qinling orogenic belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25: 2177–2194(in Chinese with English abstract).
- Yang Li, Chen Fukun, Yang Yizeng, Li Shuangqing, Zhu Xiyan. 2010. Zircon U–Pb ages of the Qinling Group in Danfeng area: Recording Mesoproterozoic and Neoproterozoic magmatism and Early Paleozoic metamorphism in the North Qingling terrain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5):1589–1603(in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi, Shi Rendeng, Wu Cailai, Zhang Jianxin, Li Haibing, 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[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4):484–495(in Chinese with English abstract).
- You Zhengdong, Suo Shutian, Han Yujing, Zhong Zengqiu, Chen Nengsong. 1991. The Metamorphic Processes and Tectonic Analyses in the Core Complex of an Orogenic Belt: An Example from the Eastern Qingling Mountains[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1–326(in Chinese with English abstract).

- Zhang Guowei. 1988. Formation and Evolution of the Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an: Northwest University Publishing House, 1-192(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei and Zhou Dingwu. 1990. The Qinling complex and the Qinling orogenic belt[C]/Liu G H, Zhang S C(eds.). Geological Memoirs of the Qinling-Daba Mountains(1) Metamorphic Geology. Beijing: Beijing Scientific and Technical Publishing House, 11-24 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Zongqing, Dong Yunpeng. 1995. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling Orogen: Implications for the Tectonic Evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 11(2):101-114(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Yao Anping. 1997. The Crustal compositions, structures and tectonic evolution of the Qinling Orogenic belt[J]. Geology of Shaanxi, 15(2):1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 1-885(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Fu Guomin. 1994. Study of Isotope Geochronology of Metamorphic Stratigraphy of North Qinling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-191(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈瑞保, 张延安. 1993. 豫西峡河岩群层序及变形特征[J]. 河南地质, 11(2):104-111.
- 河南省地质矿产局. 1997. 河南岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 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]. 矿物岩石地球化学通报, 28(增刊): 77.
- 李怀坤, 朱士兴, 相振群, 苏文博, 陆松年, 周红英, 耿建珍, 李生, 杨锋杰. 2010. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石U-Pb定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束[J]. 岩石学报, 26(7): 2131-2140.
- 李猛, 王超, 李荣社, 彭岩. 2015. 北祁连山南地区阴沟群形成时代及沉积源区讨论——碎屑锆石U-Pb年龄证据[J]. 中国地质, 42(3): 601-615.
- 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, 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.
- 裴先治, 王涛, 王洋, 李厚民, 李国光. 1999. 北秦岭晋宁期主要地质事件及其构造背景讨论[J]. 高校地质学报, 5(2):137-147.
- 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[J]. 岩石学报, 25(10):2651-2670.
- 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.
- 王涛, 胡能高, 裴先治, 杨家喜, 李伍平. 1997. 秦岭杂岩的组成、构造格局及演化[J]. 地球学报, 18(4):345-351.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 陈隽璐, 向忠金, 王涛, 张宏远. 2009. 秦岭岩群中两类斜长角闪岩的性质和时代及地质意义[J]. 岩石学报, 25: 2177-2194.
- 杨力, 陈福坤, 杨一增, 李双庆, 祝禧艳. 2010. 丹凤地区秦岭岩群片麻岩锆石U-Pb年龄: 北秦岭地体中一新元古代岩浆作用和早古生代变质作用的记录[J]. 岩石学报, 26(5):1589-1603.
- 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[J]. 地质学报, 76(4):484-495.
- 游振东, 索书田, 韩郁菁, 钟增球, 陈能松. 1991. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析——以东秦岭为例[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-326.
- 张国伟. 1988. 秦岭造山带形成与演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1-192.
- 张国伟, 周鼎武. 1990. 秦岭杂岩和秦岭造山带[C]/刘国惠等. 秦岭一大巴山地质论文集(一)变质地质[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 11-24.
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 11(2):101-114.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 1997. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 15(2):1-14.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1-885.
- 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, 1-191.