

# 西秦岭恰盖地区大草滩组碎屑锆石 U-Pb 年代学及物源分析

龚文强<sup>1</sup>, 苏奎<sup>2</sup>, 张振<sup>1</sup>, 高伟<sup>3</sup>, 赵超<sup>1</sup>, 魏立勇<sup>1</sup>, 王阿特<sup>1</sup>, 何佳乐<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 西安, 710100; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 3. 长庆油田分公司油气工艺研究院, 西安, 710018)

**提要:**【研究目的】大草滩组形成时代及物质来源尚有诸多争议, 弄清这两个问题有利于后续地层划分和矿产资源调查工作。【研究方法】运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学方法, 对西秦岭造山带恰盖地区大草滩组碎屑岩进行研究, 探讨其形成时代进而推测物质来源。

【研究结果】大草滩组碎屑锆石年龄数据可分为以下 4 组: ①太古代-古元古代 (2232~3258Ma); ②中元古代 (1018~1791Ma); ③新元古代 (544~999Ma); ④早古生代 (417~519Ma)。其中早古生代 (417~519Ma) 的年龄数据所占比例最大, 约占总体的 39.6%, 且呈现出最强烈的峰值年龄 504.4Ma; 其次是新元古代 (544~999Ma) 年龄组分, 约占 37.3%; 其他两组年龄段所占比例则较少。【结论】大草滩组沉积物质来源较复杂, 具有明显的多元和多期次的特征。物质来源包括西秦岭造山带北缘、祁连造山带东段和华北板块基底三处, 其中西秦岭造山带北缘和祁连造山带在加里东期洋壳持续俯冲大陆边缘形成的岩浆岩为主要物质来源。

**关键词:** 碎屑锆石; 锆石 U-Pb 年龄; 大草滩组; 晚古生代; 物源分析; 地质调查工程; 西秦岭

**创新点:** 研究了恰盖地区大草滩组碎屑岩, 利用锆石 U-Pb 同位素年代学方法, 获得了其地层年龄数据, 并对其物质来源进行了推测。

## Detrital zircon U-Pb age and provenance analysis of Dacotaan Formation in the Qiagai area of the West Qinling orogenic belt

GONG Wenqiang<sup>1</sup>, SU Kui<sup>2</sup>, ZHANG Zhen<sup>1</sup>, GAO Wei<sup>3</sup>, Zhao Chao<sup>1</sup>, WEI Liyong<sup>1</sup>, Wang Ate<sup>1</sup>, HE Jiale<sup>1</sup>

(1. Xi'an Mineral Resources Survey Center, CGS, Xi'an, 710100, China; 2. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037, China; 3. Oil and Gas Technology Research Institute of Changqing Oilfield Company, CNPC, Xi'an, 710018, China)

**Abstract:**【Objective】There are many disputes about the the age and provenance of Dacotaan Formation. It is beneficial to the stratigraphic division and mineral resources investigation to clarify these problems.【Methods】With clastic rocks of the Upper Devonian Dacotaan Formation at Qiagai area in the West Qinling Orogenic belt as the study object, the authors used LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope geochronological method to explore the age and provenance of Dacotaan Formation.【Results】The results show that the detrital zircon ages can be divided into 4 groups: (1)The Archen-Paleoproterozoic (2232-3258Ma); (2)The Mesoproterozoic (1018-1791Ma); (3) The Neoproterozoic (544-999Ma); (4)The Early Paleozoic(417-519Ma). Among which, the Early Paleozoic(417-519Ma) ages data possess the largest proportion, accounting for about 39.6% of the total data. The lesser is the Neoproterozoic(544-999Ma) ages, about 37.3%. The other two groups ages possess a smaller proportion.【Conclusions】Analysis show that, the provenance source of Dacotaan Formation were much more complicated and characterized by obvious diversity and periods, derived from northern margin of western Qinling orogenic belt, the eastern part of the Qilian orogenic belt and the basement of North China plate. The predominant part

基金项目: 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号: DD2016007901 和 DD20208068)资助的成果。

作者简介: 龚文强, 男, 1984 年生, 博士, 工程师, 从事区域地质矿产调查工作。Email: [gongwenqiang2011@qq.com](mailto:gongwenqiang2011@qq.com)。

通讯作者: 苏奎, 男, 1979 年生, 高工, 主要从事沉积矿产方向研究; E-mail: [ssskkk@126.com](mailto:ssskkk@126.com)。

among them was the active magmatic arc produced by collision orogen, which come from the northern margin of western Qinling orogenic belt and Qilian orogenic belt during the Caledonian period.

**Key words:** Detrital zircon; U-Pb age; Dacotan Formation; Late Paleozoic; Provenance analysis; Geological survey engineering; West Qinling orogenic belt;

**Highlights:** The clastic rocks of Dacotan Formation in Qiagai area are studied. The stratigraphic age data are obtained by using detrital zircon U-Pb isotopic chronology method, and its material source is speculated.

**About the first author:** GONG Wenqiang, male, born in 1984, engineer, engages in the study of Regional geological and mineral survey; E-mail: gongwenqiang2011@qq.com.

**About the corresponding author:** SU Kui male, born in 1979, senior engineer, engages in the study of sedimentary mineral; E-mail: ssskkk@126.com.

**Fund support:** Supported by the projects of China Geological Survey (No. DD2016007901 & DD20208068).

## 1 引言

秦岭造山带位于我国的地理中心,在华北、扬子两大板块中间,是秦、祁、昆中央山系的重要组成部分(张国伟, 2004; Dong Yunpeng et al., 2017)。西秦岭造山带地处中央造山系中段,既是东西转换的关键,也是连接秦、祁、昆造山带的纽带,其北侧以武山-天水断裂为界,南侧以玛沁-迭部断裂为界,向东以徽成盆地与东秦岭造山带相接,向西则以共和盆地与东昆仑造山带、柴达木地块和柴北缘构造带相邻(Mattauer et al., 1985; Hsu et al., 1987; 裴先治等, 2001; 张国伟等, 2001; 董云鹏等, 2007; Dong Yunpeng et al., 2016)。秦岭造山带是典型的大陆复合造山带,即由洋-陆板块俯冲造山(Z-S-C-P<sub>1</sub>); 陆-陆板块俯冲碰撞造山(D-C-P<sub>1</sub>-T<sub>2,3</sub>)和陆内造山(J<sub>3</sub>-K)的多期多样不同属性性质的复合造山(张国伟等, 2019)。

该区晚古生代早期发育的大草滩组,近北西向呈不规则带状广泛分布于合作-漳县-天水-凤县一带(裴先治等, 2004; 吴树宽等, 2012),其碎屑岩地层中包含了西秦岭北缘构造带与祁连造山带自晚古生代向前的构造演化及岩浆构造事件的信息。前人对大草滩组的研究较多,在形成时代上有晚泥盆世、晚泥盆世-早石炭世以及早二叠世早期等不同的认识(苏春乾等, 2006; 甘肃省地质调查院, 2007<sup>①</sup>; 张传林等, 2000),在物质来源上的认识有:北部的较老地层和南部较新的沉积地层(裴先治等, 2004)以及主要为北秦岭和祁连造山带晚古生代洋壳持续俯冲大陆边缘形成的岩浆弧,其次是北秦岭-祁连陆块的元古宙基底,以及少量的华北地块西部太古宙古老基底(张国伟等, 1997; 陈义兵等, 2010)。加之前人研究的样品采集层位与本次不同,因此对大草滩组的形成年龄和物质来源作进一步研究和探讨很有必要。

前人的研究大多集中在大草滩组的厘定、岩石组合划分、沉积相和沉积环境分析(苏春乾等, 2006; 甘肃省地质调查院, 2007; 张传林等, 2000),对形成时代及沉积物源的分析相对薄弱(吴树宽等, 2012)。沉积岩中的碎屑锆石具有稳定的 U-Pb 同位素体系,而且在风化、搬运和再沉积过程中不易被破坏,通常能够保存源区曾经存在的岩石年龄纪录。因此在沉积岩的年代学研究中常常通过建立碎屑锆石的年龄谱分布特征从而判断其物质来源(高翔宇等, 2019; Yu Rengan et al., 2021)。因此本文试图运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学方法,对西秦岭造山带恰盖地区大草滩组碎屑岩进行研究,探讨其年龄信息,为进一步研究西秦岭晚古生代的构造演化、物质来源和岩相古地理提供新的证据。

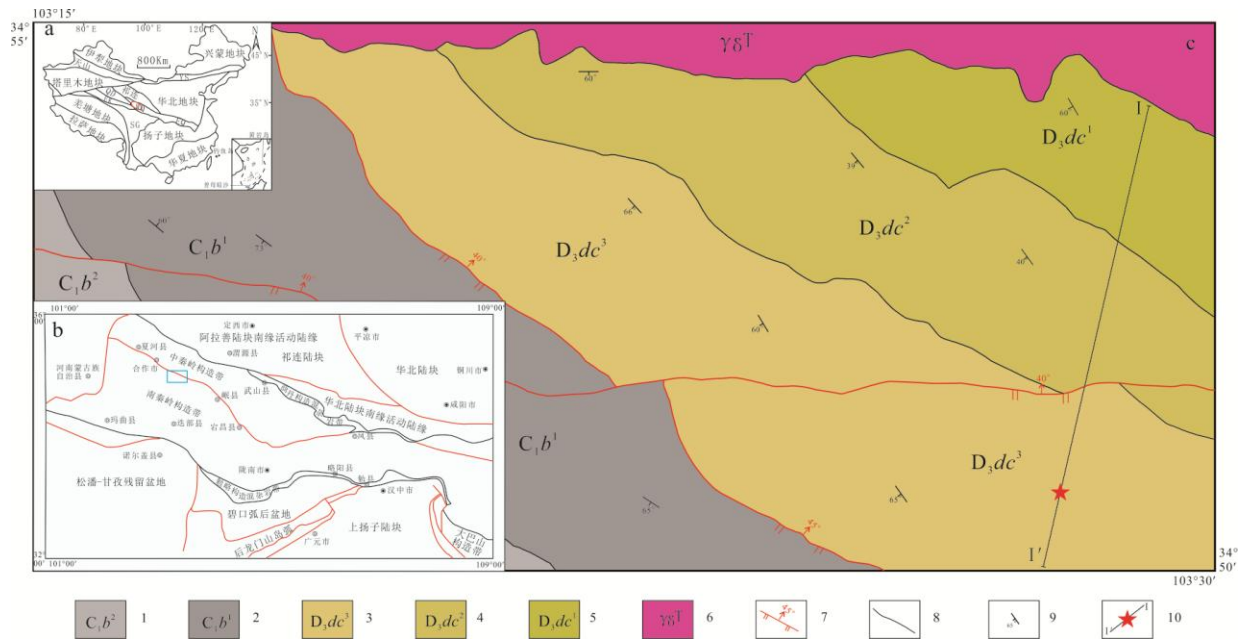


图 1 中国大地构造纲要图(a)、西秦岭造山带构造区划图 (据徐学义等修改, 2014) (b) 和西秦岭造山带恰盖地区区域地质简图(c)

1-巴都组上段; 2-巴都组下段; 3-大草滩组上段; 4-大草滩组中段; 5-大草滩组下段; 6-三叠系花岗闪长岩; 7-实测断层; 8-地质界线; 9-产状; 10-剖面及采样点

Fig.1 Subdivisions of main tectonics units of China (a), structural units of the West Qinling orogenic belt(b)(modified after Xu Xueyi et al.,2014) and geological sketch map at Qiagai area in the West Qinling orogenic belt(c)

1-Upper section of the Badu formation; 2-Lower section of the Badu formation; 3-Upper section of the Dacaoan formation; 4-Middle section of the Dacaoan formation; 5-Lower section of the Dacaoan formation; 6-Triassic granodiorite; 7-Measured fault; 8-geological boundary; 9-attitude; 10-The location of the section and samples

## 2 区域地质背景

研究区位于西秦岭造山带的北缘与祁连造山带的结合部 (图 1a)。据最新 1:25 万合作幅构造单元划分方案 (甘肃省地质调查院, 2007<sup>①</sup>), 研究区位于“西秦岭造山带”一级构造单元部位。以合作—岷县—宕昌断裂南北两侧物质组成、岩浆活动、变形变质特征不同, 因此可进一步分为“中秦岭构造带”和“南秦岭构造带”两个二级构造单元 (图 1b)。

区内出露地层主要为晚古生代-中生代地层和新生代地层, 由老到新出露有上泥盆统大草滩组 ( $D_3dc$ )、下石炭统巴都组 ( $C_1b$ )、上石炭统下加岭组 ( $C_2x$ )、中上二叠统十里墩组 ( $P_{1-2sl}$ )、下三叠统隆务河组 ( $T_1l$ ) (甘肃省地质调查院, 2007<sup>①</sup>)、中三叠统光盖山组 ( $T_2gg$ )、上三叠统大河坝组 ( $T_3d$ )、下白垩统磨沟组 ( $K_1m$ )、上新统临夏组 ( $N_2l$ )、第四系 ( $Qh^{apl}$ )。其中大草滩组、巴都组、下加岭组和十里墩组属于中秦岭构造单元, 地层总体延伸为北西-南东向, 与区域构造线方向基本一致, 构造变形主体为由北东向南西的逆冲推覆构造, 发育走向基本一致的逆冲断裂和平行状或斜列式展布的褶皱群; 而大河坝组、光盖山组和隆务河组则属于南秦岭构造单元, 地层展布方向为北西-南东向, 与区域构造线相一致。构造变形以北西-南东向褶皱及逆冲推覆构造占主导。磨沟组和临夏组主要出露于西南侧, 此外北部还发育有印支早期的美武复式岩体。

大草滩组为一套陆相碎屑沉积组合, 大致呈 NWW-SEE 方向分布于恰盖乡幅中东部,

北侧被美武岩体侵入，底部不可见，南侧与巴都组呈断层接触，向东延入冶力关幅（徐学义等，2014）。

根据剖面岩石组合、沉积构造及基本层序特征可将大草滩组划分为上中下三个岩性段：大草滩组下段（ $D_3dc^1$ ）以浅灰绿色-灰黑色中细粒中厚层长石石英砂岩、岩屑石英砂岩为主，夹少量灰黑色中厚层中细粒长石石英杂砂岩、浅灰绿色中厚层细粒岩屑长石砂岩。砂岩以中厚层为宏观特征，以长石石英砂岩为主，分选和磨圆均中等，发育平行层理，为典型的辫状河河床亚相；大草滩组中段（ $D_3dc^2$ ）主要为一套灰绿色中厚层岩屑砂岩与浅紫灰色-紫灰色中厚层岩屑砂岩互层，偶夹少量紫红色-灰紫色粉砂质泥岩，分选和磨圆均较差，沉积亚相为还原浅湖亚相-氧化浅湖亚相，与下段整合接触；大草滩组上段（ $D_3dc^3$ ）主体岩性为一套浅灰色-灰绿色中厚层长石岩屑砂岩、长石石英砂岩、长石砂岩、岩屑长石砂岩与灰紫色-紫红色钙质胶结岩屑长石砂岩、长石砂岩及紫红色钙质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩的韵律沉积，中-细粒砂状结构，分选和磨圆中等-差，反映沉积环境为近距离搬运的滨岸-浅湖亚相（图 2，3），与中段整合接触。

大草滩组沉积环境反映了由辫状河河床亚相还原环境到滨浅湖氧化环境的演化，总体为湖盆抬升收缩期沉积体系，与晋慧娟等（1996）认为西秦岭北缘地区的大草滩群沉积环境为河流-湖泊环境的观点一致。

在上巴都村-新堡乡剖面上，大草滩组上段为紫褐-褐灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩与灰褐色-灰绿色长石石英砂岩、石英细砂岩互层。横向上岩性组合一致，从东向西泥岩夹层增多。

### 3 样品位置及岩石学特征

本次实测剖面位于甘肃省卓尼县恰盖乡恰盖寺附近（图 1c），由北向南进行测制，露头出露状况良好。剖面剖面起点坐标：X=362160.21，Y=3866225.85；剖面终点坐标：X=359528.82，Y=3855949.57。剖面主要控制晚泥盆世大草滩组，南部与巴都组下段（ $C_1b^1$ ）呈断层接触，北端被美武岩体侵入，地层整体向南倾斜。在大草滩组上段选择新鲜的岩石露头处采集同位素样品一件，编号 PM202TW102-1，重量为 4kg 左右，以保证能够分选出实验所需的锆石颗粒。

样品岩性为浅灰绿色中厚层中细粒长石岩屑砂岩，新鲜面为灰绿色，中厚层构造，层厚 20-60cm，中-细粒砂状结构，矿物成分及含量：碎屑（94~96%）：石英（55~60%），岩屑（25~30%），长石（10~15%），绢（白）云母（1%），重矿物(<1%)，填隙物（4~6%）：杂基（2%），钙质胶结物（2%）（图 2，3）。

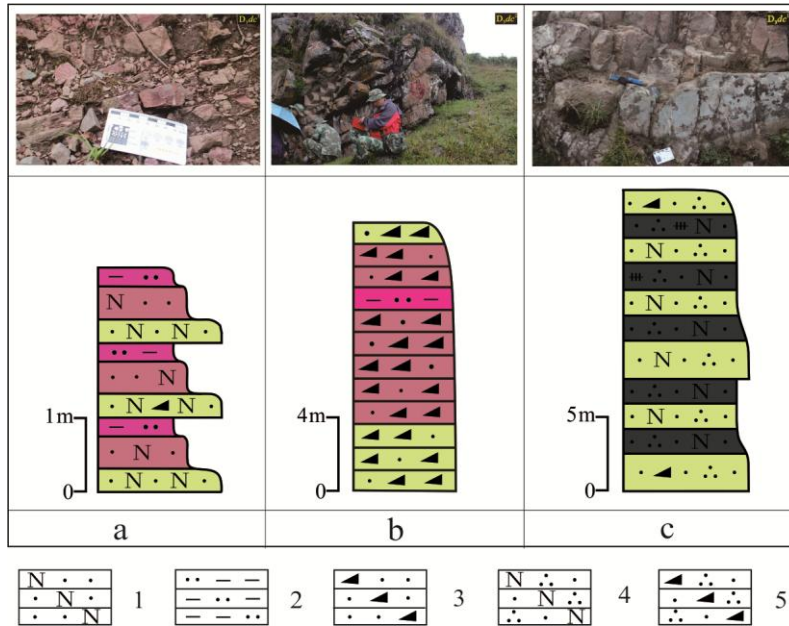


图2 西秦岭造山带恰盖地区大草滩组各段野外照片及基本层序示意图 (a-上段; b-中段; c-下段)

1-长石砂岩; 2-粉砂质泥岩; 3-岩屑砂岩; 4-长石石英砂岩; 5-岩屑石英砂岩

Fig.2 The photograph and basic sequence about each section of the Dacotan Formation at Qiagai area in the West Qinling orogenic belt (a-Upper section; b-Middle section; c-Lower section)

1-arkose; 2-Silty mudstone; 3-Lithic sandstone; 4-feldspathic quartz sandstone; 5-Lithic quartz sandstone

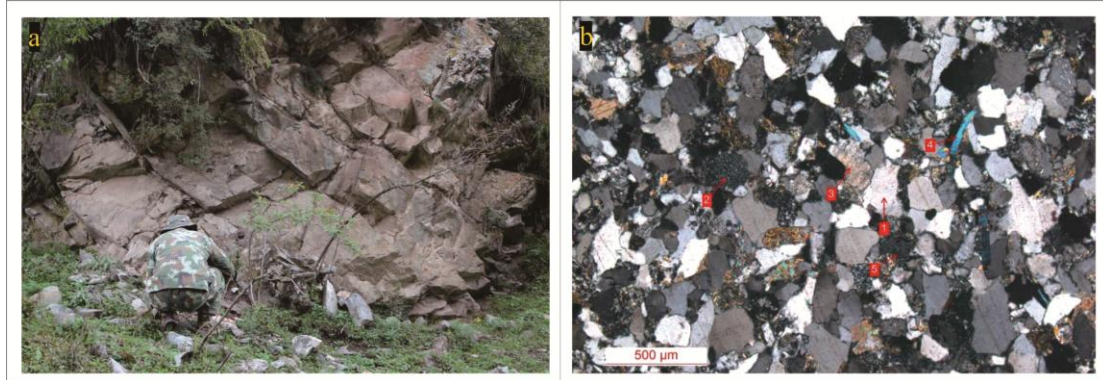


图3 样品 PM202TW102-1 野外照片(a)和显微照片 (b 正交偏光)

1-石英; 2-岩屑; 3-长石; 4-白云母; 5-黝帘石

Fig.3 The photograph (a) and micrographs (b cross-polarizer) of the rock sample PM202TW102-1

1-quartz; 2-lithic fragment; 3-feldspar; 4-muscovite; 5-zoisite

## 4 实验分析方法

首先用碎样机将采集的样品粉碎至 80~100 目(即 0.180~0.154mm), 经过磁选和重液淘选的方法挑出锆石颗粒。其次在双目镜下选出晶形和透明度都较好的锆石作为下一步测定对象, 并用双面胶将其固定在环氧树脂靶上, 待剖光至中心部位后对其进行反射光、透射光和阴极发光图像的研究。此外要避免裂隙及包裹体, 对不同形态和结构的锆石均进行测试, 以得到更为准确的年龄信息 (陈义兵等, 2010)。在西北大学大陆动力学国家重点实验室的

LA-ICP-MS 仪器上使用标准测定程序对锆石进行 U-Pb 同位素年龄分析, 分析仪器的激光剥蚀斑束直径为  $30\mu\text{m}$ , 激光剥蚀深度为  $20\sim 40\mu\text{m}$ 。锆石年龄的计算采用标准锆石 91500 作为外标, 元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NISTSRM610 作为外标,  $^{29}\text{Si}$  作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER (4.0 版 Macquarie University) 软件并采用 Anderson 软件 (Andersen, 2002) 对测试数据进行普通铅校正, 所得数据通过 Isoplot 宏程序 (Ludwig, 2003) 计算。针对小于 1.0Ga 的锆石采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄; 而大于 1.0Ga 的锆石采用  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄 (Grimes et al., 2007)。

## 5 碎屑锆石特征及年龄谱

样品中碎屑锆石颗粒结构成熟度较低。首先颗粒大小不等, 长度多数在  $50\sim 120\mu\text{m}$  之间, 宽度在  $50\sim 80\mu\text{m}$  之间。其次磨圆程度相差很大, 较好的如 28、21、13, 中等磨圆的有 4、25、58, 磨圆较差的有 34、1、78, 总体上磨圆度很差, 为次棱角-棱角状, 长宽比在  $1\sim 4$  之间。晶形主要为板柱状、半截锥状; 部分锆石颗粒柱面较短而呈粒状; 少数颗粒在透射光下可见到裂纹、或含细小包裹体、晶体棱角圆化。

锆石内部结构复杂, 成因多样。阴极发光图 (图 4) 显示, 大部分锆石颗粒可见到明显环带结构, 具典型岩浆锆石的特征。少数核部为捕获或继承的锆石, 其边部结构与核部明显不同, 表现出遭受后期热液或岩浆活动改造的特征, 也有少量锆石内部无明显结构, 推测为重结晶或变质成因。从锆石形态上可以判断, 这组锆石包含了多种成因类型, 而不同成因的锆石反映出不同的沉积物质来源, 因此该样品可能具有多处物源。

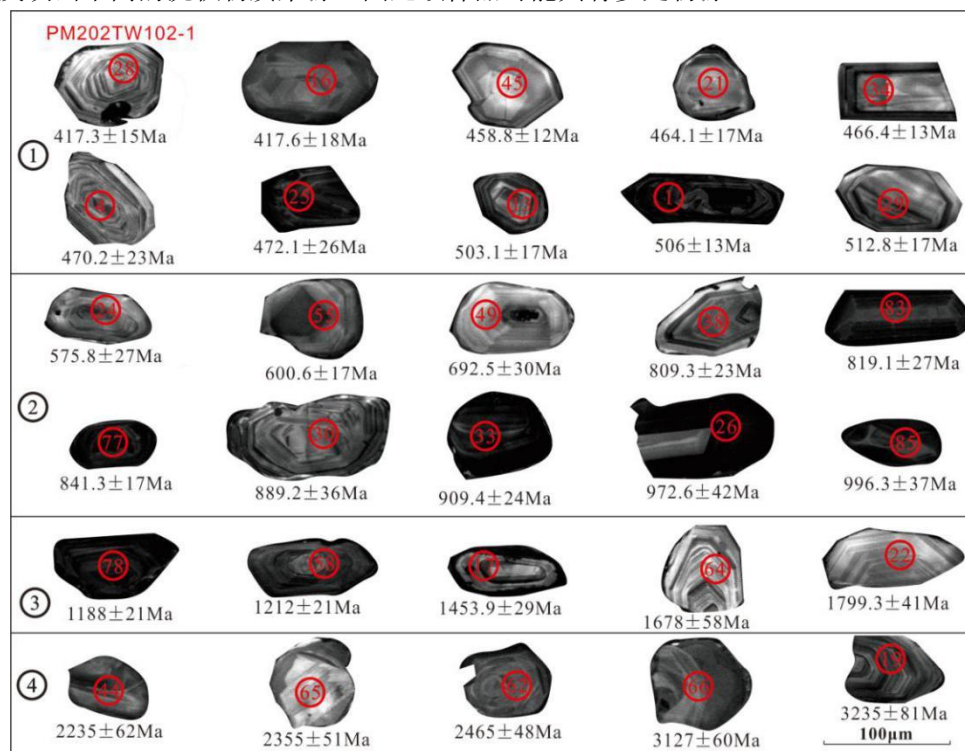


图 4 样品 PM202TW102-1 部分锆石阴极发光图像、测定点编号和年龄

Fig.4 Part of cathodoluminescence (CL) images, measuring points serial number and ages of the detrital zircons of the rock sample PM202TW102-1

大草滩组样品 PM202TW102-1 共测试了 95 个点, 挑选谐和度大于 90% 的 91 个测点进行年龄统计, 绘制了碎屑锆石年龄频谱直方图和谐和图 (图 5)。该 91 个测点所获实验数据中 Th 含量为  $38.4 \times 10^{-6} \sim 638.7 \times 10^{-6}$ , U 含量为  $31.5 \times 10^{-6} \sim 1541.1 \times 10^{-6}$ , Th/U 为 0.07~2.51,

有 71 个点 Th/U 值大于 0.4, 3 个点 Th/U 值小于 0.1, 剩余 17 个点 Th/U 值介于二者之间(表 1)。在前人的研究结果中一般认为 Th/U 比值高于 0.4 为岩浆结晶锆石, Th/U 比值低于 0.1 为变质成因锆石 (Hoskin P W O et al., 2000; Rubatto D, 2002)。但快速生长的变质锆石以及变质重结晶不彻底的锆石仍可残留高的 Th/U 值 (Vavara G et al., 1999)。因此要准确判断锆石成因类型时需要将元素特征与形态特征相结合。从表 1 和图 4 可见, 本次研究的锆石大部分都是岩浆成因的。

从大草滩组砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱图(图 5)和(表 1)可以看出: 样品 PM202TW102-1 中最年轻的锆石年龄为  $417 \pm 18 \text{Ma}$ , 最老的锆石年龄为  $3258 \pm 19 \text{Ma}$ 。碎屑锆石年龄数据可分为以下 4 组: ①早古生代年龄为  $417 \sim 519 \text{Ma}$ , 有 36 颗锆石, 约占总数的 39.6%; ②新元古代年龄为  $544 \sim 999 \text{Ma}$ , 有 34 颗锆石, 约占 37.3%; ③中元古代年龄为  $1018 \sim 1799 \text{Ma}$ , 有 13 颗锆石, 约占 14.3%; ④古元古代及太古宙年龄为  $2232 \sim 3258 \text{Ma}$ , 有 8 颗锆石, 约占 8.79%。其中  $417 \sim 519 \text{Ma}$  年龄组分所占比重最大, 且呈现出最强烈的峰值年龄  $504.4 \text{Ma}$ ; 其次是  $544 \sim 999 \text{Ma}$  年龄组分, 存在以  $813.2 \text{Ma}$  及  $998.5 \text{Ma}$  为峰值年龄的两个区间, 分别是  $544 \sim 693 \text{Ma}$  和  $809 \sim 999 \text{Ma}$  两个亚组。

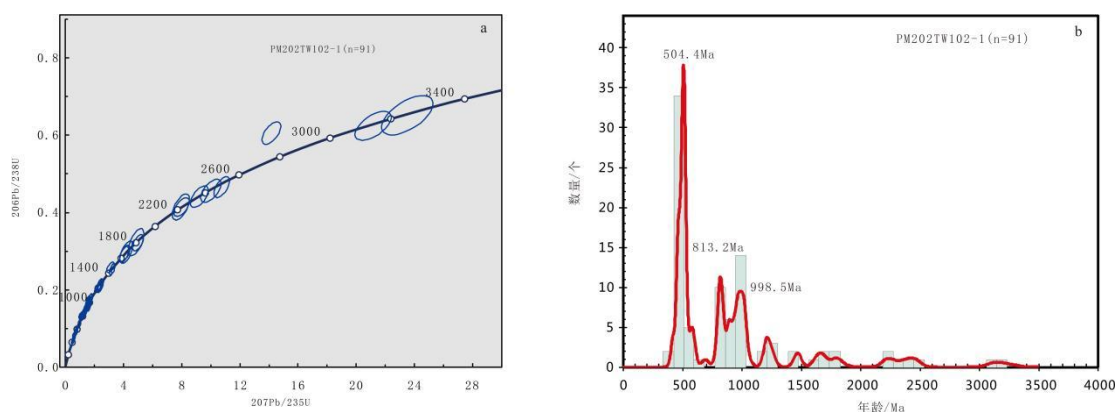


图 5 大草滩组碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)、年龄频谱直方图及概率密度曲线(b)  
Fig.5 The Daccaotan Formation detrital zircon U-Pb concordia diagram (a), histograms and probability density curve (b)

## 6 讨论

本次通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学研究得到大草滩组上段层位中最小的年龄组为  $417.3 \pm 15.5 \sim 417.6 \pm 8.3 \text{Ma}$ , 加权平均年龄为  $417.5 \pm 16.9 \text{Ma}$ , 反映大草滩组上部地层年龄不早于  $417.5 \pm 16.9 \text{Ma}$ 。此外, 图幅北部侵入大草滩组的美武岩体三叠纪花岗闪长岩的最大年龄为  $243.5 \pm 5.2$ , 与之相吻合。

前人曾在漳县大草滩等地的紫红色泥质粉砂岩中采到大量植物化石(中国人民武装警察部队黄金第五支队, 2019<sup>⑨</sup>), 计有: *Leptophloeum rhombicum* Dawson (斜方薄皮木), *Lepldstrobos grabau* Sze(葛氏鳞孢穗), *Sublepidodendron mrabile* (奇异亚鳞木), *Sphenopteris* sp. (楔羊齿属), *Carpolithus* sp. (石籽), *Cordaites* sp. (科达特), *Cyperites* sp. (似莎草属)等, 这些种属多是从晚泥盆世开始出现。其中 *Leptophloeum rhombicum* (斜方薄皮木) 是晚泥盆世的标准化石。

综合上述资料, 结合所得最小锆石年龄, 大草滩组形成时代应该是晚泥盆世。

## 6.1 碎屑锆石年龄分析

早古生代年龄数据获得 36 个, 年龄在 417~519Ma 之间, 占锆石总数的 39.6%, 具有明显的峰值年龄 504.4Ma。前人研究认为, 在西秦岭及祁连造山带东段地区有大量早古生代岩浆岩的分布, 他们的年龄分别集中在  $434.6 \pm 1.5$ - $507 \pm 3.0$ Ma 和  $440.7 \pm 0.3$ - $470 \text{Ma} \pm 1.2$  之间(何世平等, 2008; 张照伟等, 2012), 并且大都与加里东期向北俯冲(胡健民等, 2002; 冯益民等, 2003; 何艳红等, 2005; 裴先治等, 2009)而产生的构造岩浆事件具有相关性。上述资料表明祁连造山带东段和西秦岭北缘构造带存在为晚泥盆世大草滩组沉积提供物源的可能性。

裴先治等(2003)认为在晋宁期, 沿着商丹一带曾发育一个古洋盆(即商丹洋), 并向北俯冲消减。但前人对商丹洋的闭合时限向来存在两种观点: 分别是加里东期末(晚志留世-早泥盆世)和中三叠世(张国伟等, 2003; 许志琴等, 2006), 均是依据岩浆岩数据、变质变形及构造演化等手段来探讨商丹洋的闭合问题。本次研究通过大草滩组碎屑锆石年龄谱信息, 认为 417~519Ma 年龄段的锆石主要来自盆地北部西秦岭北缘和祁连造山带东段, 二者的演化与商丹缝合带的闭合息息相关, 而此时大草滩组沉积盆地的北部已经隆升、遭受剥蚀并向南提供物源, 间接说明商丹洋已经闭合, 因此商丹洋的闭合时限是加里东期末。

新元古代年龄数据获得 34 个, 年龄在 544~999Ma 之间, 占锆石总数的 37.3%, 具有明显的峰值年龄为 813.2Ma 和 998.5Ma。西秦岭北缘构造带和祁连造山带东段在此时段的一系列岩浆活动都受到 Rodinia 超大陆聚合和裂解活动的影响, 其中 1000-800Ma 是 Rodinia 超大陆的聚合阶段, 而 800~700Ma 是 Rodinia 超大陆的裂解阶段(裴先治等, 2012; 徐通等, 2016; Wu Chu et al., 2021)。祁连造山带东段的岩浆活动有: 郭进京等(1999)测定了中祁连构造带中侵入湟源岩群的响河岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为  $917 \pm 12$ Ma。董国安等(2007)对榆中县马衔山群中出露的花岗片麻岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 得到  $918 \pm 14$ Ma 的年龄证据, 代表中祁连造山带岩浆活动的年代。西秦岭北缘也存在这一时期的岩浆活动事件: 凤县酸性火山碎屑岩的锆石 U-Pb 年龄是  $572 \pm 3$ Ma, 反映新元古代晚期泛非造山运动主会聚碰撞期间的岩浆活动(Wang yong et al ., 2019)。武山北花岗质片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为  $951 \pm 18$ Ma(李王晔, 2008)。社棠镇郭家坪花岗质片麻岩的 TIMS 锆石 U-Pb 年龄为  $953.5 \pm 14$ Ma(陆松年等, 2003)。天水市新阳花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄为  $938 \pm 4$ Ma(丁仁平等, 2006)。另外, 吴鹏等在三岔子偏桥沟采集斜长花岗岩、变安山岩和辉长闪长岩样品, 分别获得锆石 U-Pb 年龄为  $905 \pm 8$ Ma、 $936 \pm 6$ Ma、 $950 \pm 5$ Ma, 并认为其代表了新元古代早期的杨子板块向北俯冲构造事件, 是对 Rodinia 超大陆裂解的响应(Wu peng et al ., 2019; 王一烽等, 2021)。

本次研究的碎屑锆石年龄与上述几起岩浆活动事件在时间上具有一定的关联性, 预示了西秦岭北缘构造带和祁连造山带东段在新元古代对晚泥盆世大草滩组提供物源的可能性。

中元古代年龄数据获得 13 个, 年龄在 1121~1791Ma 之间, 占锆石总数的 13.4%, 无明显的峰值年龄。在祁连造山带获得该时期岩浆活动的年龄资料有: 王洪亮等(2007)对甘肃马衔山侵入杂岩体进行 LA-ICP-MS 测年得到  $1192 \pm 38$ Ma 的锆石 U-Pb 年龄, 结合地球化学分析认为马衔山侵入体为碰撞环境下地壳重熔的 S 型花岗岩, 并提出祁连造山带存在格林威尔造山运动及 Rodinia 超大陆汇聚相关的岩浆事件。徐学义等(2008)在研究中祁连东段榆中县兴隆山群浅变质碎屑岩-基性火山岩组合时测得其玄武岩有 1032~1172Ma 的年龄, 指示了该区存在中元古代的岩浆事件。在西秦岭造山带和华北板块南缘也有同期的年龄数据。王洪亮等(2008)测得太白岩基巩固沟变形侵入体和宝鸡岩基胡店变形侵入体的结晶年龄分别是  $1741 \pm 12$ Ma 和  $1770 \pm 13$ Ma, 并认为两者的形成时代和岩浆构造属性与 Columbia



超大陆汇聚有着极强的关联性,同时也是吕梁运动在西秦岭的响应。而在吕梁运动之后,华北板块约在 1.6-1.8Ga 期间发育了一系列岩浆活动(陆松年等, 2002; 翟明国等, 2007)。

从上述岩浆岩年龄值与本次工作所得碎屑锆石年龄的对应性来推断,大草滩组的碎屑岩的物源可能来自祁连造山带东段、西秦岭造山带和华北板块南缘基底岩系。

古元古代及太古宙年龄为 2232~3258Ma,有 8 颗锆石,约占 8.79%,数据较分散,无明显峰值。华北克拉通最初经历了>3.0Ga 微小陆核的形成和 2.9Ga-2.7Ga 的造壳事件,在随后的 2.5Ga 和 1.9Ga 左右存在两期显著的构造-岩浆-变质事件(翟明国, 1988; 李江海等, 1997; 翟明国, 2011)。何艳红等(2005)在北祁连东段古老结晶基底陇山岩群中测得正片麻岩年龄,显示有 1.9Ga、2.35Ga 和 2.5Ga 的峰值年龄,证明了该时期构造-岩浆-热事件的存在,并认为北祁连造山带的结晶基底与华北板块的结晶基底存在亲缘性。裴先治等(2012)通过对秦祁结合部位葫芦河群中 25 亿年碎屑锆石的研究后认为西秦岭北缘构造带极有可能存在新太古代末-古元古代初的结晶基底杂岩。

总之,祁连造山带东段、西秦岭北缘构造带结晶基底在 2232~2539Ma 时间段的抬升剥蚀可能为大草滩组提供沉积物源,而 3159 和 3258Ma 两个年龄则反映了华北板块西南缘太古宙古老基底对大草滩组的沉积进行的物质供应。

## 6.2 物质来源分析

晚元古代晋宁运动使得古秦岭洋打开、华北板块和扬子板块分离并产生秦岭微板块。震旦纪到早奥陶世秦岭微板块处于扩张期,形成有限的扩张洋盆;中奥陶世到志留纪,扬子板块向华北板块俯冲,秦岭微板块随之进入俯冲收敛期(张国伟等, 1995)。到泥盆纪早期,随着区域上古特提斯洋的逐步扩张,秦岭作为其组成部分而受其控制,形成秦岭新的板块构造格局:秦岭微板块游离出来,商丹俯冲速率减慢,秦岭造山带成为华北板块、扬子板块和秦岭微板块这 3 个板块沿商丹和勉略两个俯冲带相互作用的新的板块构造格局。

吴树宽等(2012)认为大草滩群形成于西秦岭北缘加里东期俯冲碰撞造山带岛弧-弧前增生杂岩体之上。在早泥盆世早期,祁连山已隆升至海平面之上并接受陆相沉积,而此时西秦岭天水-临潭一带还处于海平面之下,接受大量深海沉积,形成了一套以泥质板岩为主的浊流沉积;中泥盆世,祁连山继续发生抬升接受陆相沉积,而西秦岭地区分布有中晚泥盆世的海相沉积地层,此外闫臻等(2002)测得西秦岭大草滩群的古水流方向是 190-220°、270-320° 两组,苏春乾等(2006)通过古流向玫瑰花图认为大草滩组的古流向主要是从北向南,这指示大草滩组物源主要来自北侧的西秦岭北缘和祁连造山带东段。

由上述碎屑锆石年代学的研究结果并结合区域资料可以推断:大草滩组沉积物源较复杂,具有明显的多元和多期次的特征。物质来源主要为西秦岭北缘和祁连造山带东侧加里东期洋壳持续俯冲大陆边缘形成的岩浆岩,其次是北秦岭-祁连微陆块元古宙基底岩石,以及少量华北地块太古宙古老基底。

## 7 结论

(1) 恰盖地区大草滩组碎屑锆石年龄谱 417~519Ma、544~999Ma、1121-1791 Ma、2232~3258Ma 共 4 个年龄组。对应于西秦岭地区新太古代-古元古代、中元古代、新元古代、早古生代 4 个演化阶段的年龄信息。

(2) 通过大草滩组碎屑锆石年龄谱信息,认为 417~519Ma 年龄段的锆石主要来自盆地北部的商丹缝合带,因此商丹洋的闭合时限是加里东期末。

(3) 最小年龄组加权平均年龄为  $417.5 \pm 16.9\text{Ma}$ , 结合植物化石可以推断大草滩组形成时代应该是晚泥盆世。

(4) 大草滩组物质来源主要为西秦岭造山带北缘和祁连造山带加里东期洋壳持续俯冲大陆边缘形成的岩浆岩, 其次是北秦岭-祁连微陆块元古宙基底岩石, 以及少量华北地块太古宙古老基底。

**致谢:**两位审稿专家和编委对稿件提出了建设性修改意见, 对改进文章质量起了重要作用, 作者表示衷心的感谢!

## 注释

① 甘肃省地质调查院.2007.1:250000 合作镇幅区域地质调查报告.

② 中国人民武装警察部队黄金第五支队.2019.甘肃美武-临潭地区 1:5 万幅区域地质矿产调查报告.

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analysis that donot report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. *Chemical Geology*, 192(1/2):59-79.
- Chen Yibing, Zhang Guowei, Pei Xianzhi, Lu Rukui, Liang Wentian, Guo Xiufeng. 2010. Discussion on the formation age and tectonic implications of Dacotaan group in west Qinling[J]. *Acta Sedimentological Sinica*, 28(3):579-584(in Chinese with English abstract).
- Ding Sapng, Pei Xianzhi, Liu Huibing, Li Zuochen, Sun Renqi, Liu Zhanqing, Meng Yong. 2006. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating of the Xinyang NeoProterozoic graintoid gneisses in the Tianshui area, westen Qinling, and its geological significance[J]. *Geology in China*, 33(6):1217-1225(in Chinese with English abstract).
- Dong Guoan, Yang Huairen, Yang Hongyi, Liu Dunyi, Zhang Jianxin, Wan Yusheng, Zeng Jianyuan. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the precambrian basement in the Qilian block and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(13):1572-1585(in Chinese with English abstract).
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Yang Zhao, Zhao Xia, Ma Haiyong, Yao Anping. 2007. Geochemistry of E-MORB type ophiolite and related volcanic rocks in Wushan, West Qinling[J]. *Science of China, Series D: geoscience*, 37(A1):199-208(in Chinese with English abstract).
- Dong Yunpeng, Safonova I. 2016. Tectonic evolution of Qinling orogen and adjacent orogenic belts[J]. *Gondwana Research*, 29:1-40.
- Dong Yunpeng, Sun Shengsi, Yang Zhao, Liu Xiaoming, Zhang Feifei, Li Wei, Cheng Bin, He Dengfeng, Zhang Guowei. 2017. Neoproterozoic subduction-accretionary tectonics of the South Qinlingbelt, China[J]. *Precambrian Research*, 293:73-90.
- Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, Hu Yunxu, Pan Xiaoping, Yang Junlu, Jia Qunzi, Li Wenming. 2003. Tectonic evolution framework and nature of the west Qinling orogenic belt[J]. *Northwestern geology*,

- 36(1):1-10(in Chinese with English abstract).
- Gao Xiangyu, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao, Wei Liyong, WangMeng, Liu Chengjun, Gao Feng, Liang Guobing, Shao Jiakun, Mu Kebin. 2019. Age and Provenance of Upper Shilidun Formation, Lintan, West Qinling Orogen: Constraints from LA-ICP-MS U-Pb Dating of Detrital Zircons[J]. *Earth Science*, 44(4):1389-1405(in Chinese with English abstract).
- Grimes C B, John B E, Kelemen P B et al., 2007. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguish detrital zircon provenance[J]. *Geology*, 35(7):643-646.
- Guo Jingjin, Zhao Fengqin, Li Huaikun. 1999. Jinningian collisional granite belt in the eastern sector of the central Qilian massif and its implication[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(1):10-15(in Chinese with English abstract).
- He Yanhong, Chen Liang, Sun Yong, Li Haiping. 2005. Zircon chronology of Xinjie complex in Longxian County and its geological significance[J]. *Journal of Northwest University(natural science edition)*, 35(15):625-627(in Chinese with English abstract).
- He Shiping, Wang Hongliang, Chen Juanlu, Xu Xueyi, Zhang Hongfei, Ren Guangming, Yu Jiyuan. 2008. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of basic dikes within Maxianshan rock group in the central Qilian mountains and its tectonic implications[J]. *Earth Science-Journal Of China University Of Geosciences*, 33(1):35-45(in Chinese with English abstract).
- Hoskin P W O, Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolithigneous zircon[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 18(4):423-439.
- Hsu K J, Wang Qingchen, Li Jiliang, Zhou Da, Sun Shu. 1987. Tectonic evolution of Qinling Mountains, China[J]. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 80(3):735-752.
- Hu Jianmin, Meng Qingren, Bai Wuming, Zhao Guochun. 2002. Mid-Late Paleozoic extension of the Wudang block in the South Qinling tectonic belt, China[J]. *Geological bulletin of china*, 21(8):471-477(in Chinese with English abstract).
- Jin Huijuan, Li Yuci. 1996. Study on the sequence of abyssal terrigenous clastic deposit of Shujiaba formation (Devonian) in northern belt of Qinling Mountains[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(1):1-11(in Chinese with English abstract).
- Li Jianghai, Mu Jian. 1997. Tectonic constraints from chinese cratonic blocks for the reconstruction of rodinia[J]. *Chinese Journal of Geology*, 34(3):259-272(in Chinese with English abstract).
- Li Wangye. 2008. The geochronology of ophiolite and island-arc-type igneous rock in the western Qinling and the eastern Kunlun orogens and their geochemical characteristics: restriction to the evolution of Tethys ocean[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 1-65 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Yang Chunliang , Li Huaikun, Chen Zhihong. 2002. North China continent and Columbia supercontinent[J]. *Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing)*, 9(4): 225-233.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong, 2003. The geological evolution of Meso-neoproterozoic in the Qinling orogen and its response to the Rodinia super continent[M]. Beijing: Geological Press, 1-194(in Chinese).
- Ludwig K R. 2003. User's manual for isoplot 3.0: A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley

- Geochronology Center Special publication, 4:1-71.
- Mattauer M, Matte Ph, Malavieille, et al. 1985. Tectonics of the Qinling belt: build up and evolution of eastern Asia[J]. *Nature*, 317:496-500.
- Pei Xianzhi. 2001. Geological evolution and dynamics of the Mianlue-A'nyemaqen Tectonic Zone Central China[D]. Xi'an:Northwest University, 1-167(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Wang Tao, Ding Saping, Li Yong, Hu Bo. 2003. Geochemical characteristics and geological significance of neoproterozoic adakitic granitoids on the north side of the Shangdan zone in the east Qinling[J]. *Geology in China*, 30(4):372-381(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Li Yong. 2004. Report of Tianshui regional geological survey[R]. Xi'an:Geological Survey of Changan University, 1-624(in Chinese).
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Li Zuochen, Liu Zhanqing, Li Ruibao, Feng Jianyun, Sun Yu, Zhang Yafeng, Liu Zhigang, Zhang Xiaofei, Chen Guochao, Chen Youxin. 2009. Early Paleozoic Tianshui-Wushan Tectonic zone of the Northern Margin of West Qinling and its Tectonic Evolution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(11):1547-1564.
- Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao, Pei Lei, Liu Chengjun, Gao Jingmin, Wei Fanghui, Wu Shukuan, Wang Yingchuan, Chen Youxin. 2012. LA-ICP-MS U-Pb ages of detrital zircons from the meta-detrital rocks of the early palaeozoic Huluhe group in eastern part of Qilian orogenic belt: Constraints of material source and sedimentary age[J]. *Earth science frontiers*, 19(5):205-224(in Chinese with English abstract).
- Yu Rengan, Wang Shanbo, Zhu Qiang, Si Qinghong, Teng Xueming, Liu Xiaoxue, Liu Houning, Tang Yongxiang. 2021. Zircon U-Pb ages and provenance characteristics of the Zhiluo Formation sandstones and the formation background of the uranium deposit in Huangling area, Ordos Basin, China[J]. *China Geology*, 4: 600-615.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism[J]. *Chemical Geology*, 184:123-138.
- Su Chunqian, Cui Jianjun, Zhao Xin, Li Yong, Pei Xianzhi, Yang Xingke. 2006. Redefinition and its attribute of the Dacotan formation in western Qinling[J]. *Coal Geology & Exploration*, 34(3):1-6(in Chinese with English abstract).
- Vavara G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: Geochronology of the ivren zone(Southern Alps)[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 134(4):380-404.
- Wang Hongliang, He Shiping, Chen Juanlu, Xu Xueyi, Song Yong, Diwu Chunrong. 2007. LA-ICP MS dating of Zircon U-Pb and its tectonic significance of Maxianshan granitoid intrusive complex, Gansu Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(1):73-77(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongliang, Xiao Shaowen, Xu Xueyi, Li Wangzhong, He Shiping, Chen Juanlu, Chen Liang. 2008. Geochronology and significance of the early Mesoproterozoic tectono-magmatic event in the western segment of the North Qinling Mountains, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10):1728-1738(in Chinese with English abstract).

- Wang Yifeng, Pei Xianzhi, Li Zuochen, Li Ruibao, Pei Lei, Liu Chengjun, Wang Meng, Zhao Shaowei, Chen Youxin, Zhou Hai. 2021. Geochemical Characteristics, Zircon U-Pb Dating and Geological Significance of Tianba Diabase in Sanchazi Area, Mianlue Tectonic Belt of South Qinling[J]. *Northwestern Geology*, 54(2):1-18(in Chinese with English abstract).
- Wang Yong, Shi Yonghong, Chen Bailin, Tan Renwen, Gao Yun, Shen Jinghui. 2019. Zircon U-Pb age of Fengxian acid pyroclastic rocks and its enlightenment to the existence of Pan-African orogeny in the West Qinling Orogenic Belt, China[J]. *China Geology*, 2: 557-559.
- Wu Chu, Hong Tao, Xu Xingwang, Wang Chengxi, Dong Lianhui. 2021. Report of 2.7 Ga zircon U-Pb age of orthogneiss in the Wenquan metamorphic complex, West Tianshan, China[J]. *China Geology*, 4(4): 1-4.
- Wu peng, Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Bin Fu, Ting Liang. 2019. Amalgamation of South China into Rodinia during the Grenvillian Ac-cretionary Orogeny: Geochemical Evidence from Early Neoproterozoic Igneous Rocks in the Northern Margin of the South China Block[J]. *Precambrian Research*, 321:221-243.
- Wu Shukuan, Pei Xianzhi, Li Zuocheng, Li Ruibao Pei Lei, Chen Youxin, Gao Jingmin, Liu Chengjun, Wei Fanghui, Wang Yinchuan. 2012. A study of the material source of Dacotian group in the northern margin of west Qinling orogenic belt: LA-ICP-MS U-Th-Pb age evidence of detrital zircons[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(9):1469-1481(in Chinese with English abstract).
- Xu Tong, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, Chen Youxin, Li Ruibao, Li Zuochen, Pei Lei. 2016. Geochemical features and zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of the Neoproterozoic Zhangergou metamorphic andesitic rocks in the Mianxian-Lüeyang area of South Qinling orogen: evidence for amalgamation of Rodinia supercontinent[J]. *Geological Review*, 62(2):434-450(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Wang Hongliang, Chen Junlu, He Shiping, Wu Peng, Gao Ting. 2008. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of Xinglongshan Group basic volcanic rocks at eastern segment of Middle Qilian Mts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4):827-840(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Chen Junlu, Gao Ting, Li Ping, Li Ting. 2014. Granitoid magmatism and tectonic evolution in northern edge of the Western Qinling terrane, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(2):371-389(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Yao Jianxin. 2006. The early palaeozoic terrane framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic belts at the central orogenic belt (COB)[J]. *Acta Geological Sinica*, 80(12):1793-1806(in Chinese with English abstract).
- Yan Zhen, Wang Zongqi, Wang Tao, Yan Quanren. 2002. Sedimentary environment and tectonic significance of the Dacotian Group of the West Qinling Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(8-9):505-515.
- Zhai Mingguo. 1988. The geochemical characteristics of several typical archaean geological terrain in northeast and north China[J]. *Journal of Northwest University*, 20(1):89-97.
- Zhai Mingguo, GuoJinghui, Zhao Taiping. 2001. Study advances of neoproterozoic tectonic evolution in the north china craton[J]. *Progress in precambrian research*, 24(1):17-27(in Chinese with English abstract).

- Zhai Mingguo, Peng Peng. 2007. Paleoproterozoic events in the North China Craton[J]. *Acta Petrological Sinica*, 23(11):2665-2682.
- Zhai Mingguo. 2011. Cratonization and the Ancient North China Continent: A summary and review[J]. *Science China Earth Science*, 41(8):1037-1046.
- Zhang Chuanlin, Zhu Lizhi, Yang Zhihua. 2000. The disintegration of the Dacotan group in north of western Qinling and its geological significance[J]. *Journal of Stratigraphy*, 34(3):220-223(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 Shanxi*, 15(2):1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science press, 1-243 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, Guo Anling, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Chen Shunyou, Yao Anping, Zhang Zongqin, Pei Xianzhi, Li Sanzhong. 2003. The Mianlue tectonic and suture zone in the southern margin of the Qinling and Dabie orogenic belt[J]. *Science in China (Series D)*, 33(12):1121-1135 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Guo Anling, Dong Yunpeng, Yao Anping. 2019. On Qinling orogenic belt[J]. *Acta geomechanics*, 25(5): 746-768(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaowei, Li Wenyuan, GaoYongbao, Zhang Jiangwei, Guo Zhouping, Li Kan, Wang Yalei, Qian Bing. 2012. The formation age of the Yaqu Ni-Cu bearing basic complex in southern Qilian mountain and a discussion on its mechanism[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 33(6):925-935(in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 陈义兵, 张国伟, 裴先治, 鲁如魁, 梁文天, 郭秀峰. 2010. 西秦岭大草滩群的形成时代和构造意义探讨[J]. *沉积学报*, 28(3):579-584.
- 丁仁平, 裴先治, 刘会彬, 李佐臣, 孙仁奇, 刘战庆, 孟勇. 2006. 西秦岭天水地区新阳新元古代花岗质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 33(6):1217-1225.
- 董国安, 杨怀仁, 杨宏仪, 刘敦一, 张建新, 万渝生, 曾建元. 2007. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *科学通报*, 52(13):1572-1585.
- 董云鹏, 张国伟, 杨钊, 赵霞, 马海勇, 姚安平. 2007. 西秦岭武山 E-MORB 型蛇绿岩及相关火山岩地球化学[J]. *中国科学 D 辑:地球科学*, 37(A1):199-208.
- 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 胡云绪, 潘晓萍, 杨军录, 贾群子, 李文明. 2003. 西秦岭造山带的演化、构造格局

- 和性质[J]. 西北地质, 36(1):1-10.
- 高翔宇, 裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 魏立勇, 王盟, 刘成军, 高峰, 梁国冰, 邵嘉坤, 穆可斌. 2019. 西秦岭临潭地区十里墩组上段形成时代及物源: 来自 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地球科学, 44(4):1389-1405.
- 郭进京, 赵凤清, 李怀坤. 1999. 中祁连东段晋宁期碰撞型花岗岩及其地质意义[J]. 地球学报, 20(1):10-15.
- 何艳红, 陈亮, 孙勇, 李海平. 2005. 陇县地区新街片麻岩套锆石年龄及其地质意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 35(15):625-627.
- 何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 徐学义, 张宏飞, 任光明, 余吉远. 2008. 中祁连马衔山岩群内基性岩墙群锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 33(1):35-45.
- 胡健民, 孟庆任, 白武明, 赵国春. 2002. 南秦岭构造带中-晚古生代伸展构造作用[J]. 地质通报, 21(8):471-477.
- 晋慧娟, 李育慈. 1996. 西秦岭北带泥盆系舒家坝组深海陆源碎屑沉积序列的研究[J]. 沉积学报, 14(1):1-11.
- 李江海, 穆剑. 1997. 我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J]. 地质科学, 34(3):259-272.
- 李王晔. 2008. 西秦岭-东昆仑造山带蛇绿岩及岛弧型岩浆岩的年代学和地球化学特征-对特提斯洋演化的制约[D]. 合肥:中国科学技术大学,1-65.
- 陆松年, 杨春亮, 李怀坤, 陈志宏. 2002. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J]. 地学前缘, 9(4):225-233.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003. 秦岭中-新元古代地质演化及对 Rodinia 超大陆事件的响应[M]. 北京:地质出版社,1-194.
- 裴先治. 2001. 勉略-阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征[D]. 西安:西北大学,1-167.
- 裴先治, 王涛, 丁仁平, 李勇, 胡波. 2003. 东秦岭商丹带北侧新元古代埃达克质花岗岩及其地质意义[J]. 中国地质, 30(4):372-381.
- 裴先治, 丁仁平, 李勇. 2004. 天水市幅 1:25 万区域地质调查报告[R]. 西安:长安大学地质调查研究院,1-624.
- 裴先治, 丁仁平, 李佐臣, 刘战庆, 李瑞保, 冯建赞, 孙雨, 张亚峰, 刘智刚, 张晓飞, 陈国超, 陈有炘. 2009. 西秦岭北缘早古生代天水-武山构造带及其构造演化[J]. 地质学报, 83(11):1547-1564.
- 裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 裴磊, 刘成军, 高景民, 魏方辉, 吴树宽, 王银川, 陈有炘. 2012. 祁连造山带东段早古生代葫芦河群变质碎屑岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄:源区特征及沉积时限的确定[J]. 地学前缘, 19(5):205-224.
- 苏春乾, 崔建军, 赵欣, 李勇, 裴先治, 杨兴科. 2006. 西秦岭大草滩组的再厘定及地质属性讨论[J]. 煤田地质与勘探, 34(3):1-6.
- 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 徐学义, 孙勇, 第五春荣. 2007. 甘肃马衔山花岗岩杂岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其构造意义[J]. 地质学报, 81(1):73-77.
- 王洪亮, 肖绍文, 徐学义, 李万忠, 何世平, 陈隽璐, 陈亮. 2008. 北秦岭西段吕梁期构造岩浆事件的年代学及其构造意义[J]. 地质通报, 27(10):1728-1738.
- 王一烽, 裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 裴磊, 刘成军, 王盟, 赵少伟, 陈有炘, 周海. 2021. 南秦岭勉略构造带三岔子地区田坝辉绿岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 西北地质, 54(2):1-18.

- 吴树宽, 裴先治, 李佐臣, 李瑞保, 裴磊, 陈有炘, 高景民, 刘成军, 魏方辉, 王银川. 2012. 西秦岭造山带北缘大草滩群物源研究——LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地质通报, 31(9):1469-1481.
- 徐通, 裴先治, 刘成军, 陈有炘, 李瑞保, 李佐臣, 裴磊. 2016. 南秦岭勉略构造带张儿沟新元古代变安山岩地球化学特征及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄——Rodini 超大陆聚合事件的记录[J]. 地质论评, 62(2):434-450.
- 徐学义, 王洪亮, 陈隽璐, 何世平, 武鹏, 高婷. 2008. 中祁连东段兴隆山群基性火山岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因研究[J]. 岩石学报, 24(4):827-840.
- 徐学义, 陈隽璐, 高婷, 李平, 李婷. 2014. 西秦岭北缘花岗质岩浆作用及构造演化[J]. 岩石学报, 30(2):371-389.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 姚建新. 2006. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成[J]. 地质学报, 80(12):1793-1806.
- 闫臻, 王宗起, 王涛, 闫全人. 2002. 西秦岭大草滩群的沉积环境及构造意义[J]. 地质通报, 21(8-9):505-515.
- 翟明国. 1988. 东北华北几个典型太古宙地体的地球化学特征[J]. 西北大学学报, 20(1):89-97.
- 翟明国, 郭靖辉, 赵太平. 2001. 新太古代-古元古代华北陆块构造演化的研究进展[J]. 前寒武纪研究进展, 24(1):17-27.
- 翟明国, 彭澎. 2007. 华北克拉通古元古代构造事件[J]. 岩石学报, 23(11):2665-2682.
- 翟明国, 2011. 克拉通化与华北陆块的形成[J]. 中国科学:地球科学, 41(8):1037-1046.
- 张传林, 朱立华, 杨志华. 2000. 西秦岭北缘大草滩群的解体及其地质意义-兼论北秦岭加里东运动的性质[J]. 地层学杂志, 24(3):220-223.
- 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. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社,1-243.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D 辑), 33(12):1121-1135.
- 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 姚安平. 2019. 关于秦岭造山带[J]. 地质力学学报, 25(5):746-768.
- 张照伟, 李文渊, 高永宝, 张江伟, 郭周平, 李侃, 王亚磊, 钱兵. 2012. 南祁连亚曲含镍铜矿基性杂岩体形成年龄及机制探讨[J]. 地球学报, 33(6):925-935.



表 1 西秦岭恰盖地区上泥盆统大草滩组 (样品 PM202TW102-1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb dating results for sandstone from Upper Devonian Dacotan Formation (sample PM202 TW102-1) at Qiagai area in the West Qinling orogenic belt

测点	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				同位素比值						表面年龄 (Ma)				谐和度				
	Pb	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
1	37.6	278.2	382.2	0.73	0.0573	0.0013	0.6461	0.0219	0.0824	0.003	0.0326	0.0176	505.6	50	506.1	13.5	510.3	18.1	99%
3	53.1	242.9	224.4	1.08	0.0722	0.0013	1.7094	0.0442	0.1713	0.0034	0.0707	0.0704	994.4	38.1	1012.1	16.6	1019.5	18.6	99%
4	23.8	204.4	279.4	0.73	0.0574	0.0012	0.589	0.0372	0.0754	0.0052	0.0309	0.037	505.6	46.3	470.2	23.8	468.4	31.1	99%
5	46.7	543.4	457.4	1.19	0.0548	0.0009	0.5716	0.0222	0.0754	0.0027	0.0334	0.0464	405.6	35.2	459	14.4	468.8	16.3	97%
7	44.4	330.9	453.2	0.73	0.0559	0.0009	0.6268	0.0323	0.0813	0.0041	0.0377	0.0652	455.6	37	494.1	20.2	503.7	24.6	98%
8	110.5	107.6	636.5	0.17	0.0705	0.0009	1.5721	0.0555	0.1615	0.0057	0.0792	0.1491	942.6	27.3	959.3	21.9	965.1	31.6	99%
9	90.5	247.7	339.5	0.73	0.0822	0.0013	2.391	0.0845	0.2106	0.0074	0.0977	0.198	1250	30.7	1239.9	25.3	1232	39.3	99%
10	34.7	185.6	386.9	0.48	0.0586	0.0011	0.6386	0.0288	0.0794	0.004	0.0414	0.0895	553.7	42.6	501.4	17.9	492.5	23.8	98%
11	20.2	108.1	206	0.52	0.0572	0.0026	0.6527	0.0339	0.0829	0.0032	0.0457	0.0992	498.2	98.1	510.1	20.8	513.5	18.8	99%
12	121.1	92.5	688	0.13	0.0697	0.001	1.5629	0.0473	0.1625	0.0052	0.0733	0.1497	918.2	23.1	955.6	18.8	970.4	29	98%
13	23	188	226.1	0.83	0.0602	0.0018	0.6676	0.0227	0.0812	0.0029	0.0357	0.068	613	64.8	519.2	13.8	503.1	17.3	96%
14	27.6	153.3	293.6	0.52	0.0576	0.0013	0.6446	0.0234	0.0816	0.0032	0.0385	0.0675	516.7	50	505.1	14.4	505.8	19.1	99%
15	46.3	196.2	547.1	0.36	0.0568	0.0017	0.574	0.0193	0.0737	0.0024	0.0344	0.0548	483.4	64.8	460.6	12.4	458.4	14.6	99%
16	8.9	103.3	101.9	1.01	0.0554	0.0018	0.5057	0.0222	0.0669	0.003	0.0265	0.0376	431.5	65.7	415.5	15	417.6	18.3	99%
17	57	140.9	165	0.85	0.0925	0.0016	3.2286	0.0808	0.253	0.0057	0.1111	0.137	1479.6	27.3	1464.1	19.4	1453.9	29.2	99%
18	47.3	108.3	174.3	0.62	0.0842	0.0014	2.4501	0.0731	0.2114	0.0063	0.0947	0.0976	1298.2	32.3	1257.4	21.5	1236	33.5	98%
19	128	57.9	146.2	0.4	0.2618	0.0033	23.5173	0.7266	0.6518	0.0208	0.2269	0.1833	3257.7	19.8	3248.6	30.2	3235.3	81	99%
20	26.1	78	140.1	0.56	0.0705	0.0017	1.453	0.0461	0.1507	0.0048	0.0599	0.0338	942.6	48.1	911.1	19.1	904.8	26.8	99%
21	32	237.7	328.3	0.72	0.0573	0.0014	0.5831	0.0208	0.0747	0.003	0.0261	0.0015	501.9	49.1	466.4	13.4	464.1	17.7	99%
22	28.3	62.5	60.2	1.04	0.1128	0.0025	5.0036	0.1555	0.322	0.0084	0.1132	0.0053	1855.6	39.4	1819.9	26.3	1799.4	41.2	98%
23	48.2	448.3	442.6	1.01	0.0559	0.001	0.6337	0.0312	0.0821	0.0036	0.0295	0.0018	455.6	40.7	498.4	19.4	508.4	21.6	98%

测点	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				同位素比值								表面年龄 (Ma)				谐和度		
	Pb	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
24	44.1	247.8	424	0.58	0.0594	0.0016	0.7583	0.0392	0.0934	0.0047	0.0324	0.0014	588.9	55.5	573	22.6	575.8	27.5	99%
25	33.4	156.3	390.9	0.4	0.0565	0.0011	0.5979	0.0394	0.076	0.0044	0.0279	0.0014	472.3	45.4	475.9	25.1	472.1	26.4	99%
26	159.4	183.8	874.9	0.21	0.073	0.0011	1.636	0.0672	0.1629	0.0077	0.0574	0.0027	1014.5	36.1	984.2	25.9	972.6	42.6	98%
27	81.2	336.7	936.5	0.36	0.0561	0.0009	0.5803	0.0187	0.075	0.0025	0.0292	0.0013	457.5	39.8	464.6	12	466.3	15	99%
28	21.2	152.4	248.9	0.61	0.0545	0.0019	0.5029	0.0246	0.0669	0.0026	0.0275	0.0014	390.8	84.3	413.7	16.6	417.3	15.5	99%
29	33.5	161.1	337.9	0.48	0.0566	0.0013	0.6476	0.0252	0.0828	0.0029	0.032	0.0017	476	47.2	507	15.5	512.9	17.5	98%
30	99.4	426.2	544.2	0.78	0.0676	0.0011	1.3852	0.0599	0.1479	0.0064	0.0541	0.0029	857.4	33.3	882.6	25.5	889.3	36.2	99%
31	50.3	265.2	274	0.97	0.0656	0.0017	1.2086	0.0423	0.1338	0.0045	0.0507	0.0026	792.3	58.3	804.5	19.5	809.3	25.7	99%
32	157.4	638.7	1541.1	0.41	0.059	0.0013	0.7079	0.0252	0.0881	0.0039	0.0355	0.0017	564.9	48.1	543.5	15	544.1	23.3	99%
33	135.3	340	735.1	0.46	0.0691	0.0018	1.4459	0.0461	0.1515	0.0042	0.0572	0.0024	901.9	55.6	908.2	19.1	909.5	23.6	99%
34	35.9	290.9	356.8	0.82	0.0555	0.0011	0.5741	0.0173	0.075	0.0022	0.0315	0.0014	431.5	44.4	460.6	11.2	466.4	13.2	98%
35	72.1	486.7	717.6	0.68	0.0578	0.0011	0.6525	0.027	0.0812	0.0027	0.0311	0.0014	524.1	42.6	510	16.6	503.4	16.1	98%
36	43.8	200.3	202.3	0.99	0.0729	0.0022	1.5729	0.0584	0.1565	0.0044	0.0574	0.0023	1013	61.1	959.6	23.1	937.6	24.6	97%
37	136.7	255.2	361.7	0.71	0.1009	0.0013	4.06	0.1224	0.2913	0.0085	0.1012	0.0043	1640.4	24.1	1646.3	24.6	1647.9	42.5	99%
38	30.3	151.8	171.3	0.89	0.0657	0.0017	1.2198	0.0539	0.1338	0.0042	0.0502	0.0023	798.2	53.7	809.7	24.7	809.3	23.7	99%
39	35.4	239.7	396.8	0.6	0.0564	0.0011	0.5816	0.0353	0.0746	0.004	0.0253	0.0012	464.9	44.4	465.5	22.7	463.6	24.3	99%
40	22.3	127.8	248	0.52	0.0558	0.0016	0.5662	0.0188	0.0739	0.0021	0.0279	0.0014	455.6	60.2	455.6	12.2	459.7	12.9	99%
41	105.1	109.2	168.4	0.65	0.159	0.0024	10.0134	0.2887	0.4564	0.0122	0.1532	0.008	2455.6	24.8	2436	26.7	2423.6	53.8	99%
42	20.5	126	208.5	0.6	0.0546	0.0014	0.6187	0.0269	0.0816	0.0026	0.0287	0.0015	398.2	57.4	489	16.9	505.8	15.6	96%
43	147.7	52.4	441.1	0.12	0.1011	0.0017	4.1067	0.143	0.2943	0.0086	0.099	0.0045	1643.5	31.5	1655.6	28.4	1663.2	42.7	99%
44	57.6	119.2	89.6	1.33	0.1397	0.0026	7.9574	0.2408	0.4144	0.0138	0.1407	0.0062	2233.3	32.4	2226.2	27.3	2235.1	62.7	99%
45	11.4	80.5	120.1	0.67	0.0565	0.0015	0.574	0.022	0.0738	0.0021	0.0266	0.0013	472.3	61.1	460.6	14.2	458.9	12.7	99%
46	143.9	65.8	806.2	0.08	0.0699	0.0013	1.6168	0.0508	0.1676	0.0044	0.0538	0.0024	927.8	32.4	976.7	19.7	998.7	24.2	97%
47	15.8	127.2	130.6	0.97	0.0598	0.0034	0.7651	0.044	0.0935	0.0026	0.0326	0.0021	598.2	119.4	577	25.3	576.4	15.1	99%

测点	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				同位素比值								表面年龄 (Ma)				谐和度		
	Pb	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
48	18.9	64.6	116	0.56	0.0658	0.0014	1.2296	0.0515	0.135	0.004	0.048	0.0022	1200	50.9	814.1	23.5	816.5	22.9	99%
49	24.2	310.8	123.6	2.51	0.0647	0.0026	0.9832	0.044	0.1134	0.0052	0.0365	0.0015	764.8	88	695.2	22.5	692.5	30.1	99%
50	90.8	104.3	166.2	0.63	0.1402	0.0021	8.0115	0.2157	0.4145	0.0098	0.1343	0.0062	2231.5	27	2232.3	24.4	2235.5	44.8	99%
51	12.3	101.1	124	0.81	0.056	0.0021	0.6217	0.0345	0.0807	0.0029	0.0261	0.0014	450	81.5	490.9	21.6	500.5	17.3	98%
52	85.2	231.1	389.9	0.59	0.0728	0.0014	1.7153	0.0391	0.1711	0.0033	0.0604	0.0026	1009.3	43.5	1014.3	14.6	1018.3	18.1	99%
53	99.2	166.7	379.9	0.44	0.0804	0.0011	2.3713	0.075	0.2136	0.0057	0.0714	0.003	1205.6	22.1	1234	22.6	1248	30.1	98%
54	255.9	154.7	1330.1	0.12	0.073	0.0009	1.7172	0.0682	0.1716	0.0076	0.0576	0.0022	1013	25.9	1015	25.5	1020.7	41.7	99%
55	35.3	213.3	264.7	0.81	0.0603	0.0022	0.8068	0.0238	0.0977	0.003	0.0348	0.0015	613	84.2	600.7	13.4	600.6	17.7	99%
56	19.5	114.4	197.8	0.58	0.0555	0.0016	0.6311	0.0338	0.0819	0.003	0.0289	0.0014	431.5	64.8	496.8	21	507.5	18.1	97%
57	30.9	192.2	321.2	0.6	0.0561	0.0012	0.643	0.0417	0.0817	0.0041	0.027	0.0014	457.5	46.3	504.2	25.8	506.4	24.7	99%
58	84.7	80.6	335	0.24	0.0825	0.0024	2.3601	0.0932	0.2069	0.0041	0.0876	0.0039	1257.4	61.3	1230.6	28.2	1212.4	21.7	98%
59	145.3	51.2	785.4	0.07	0.0736	0.0013	1.6434	0.0449	0.1619	0.0039	0.0717	0.0033	1031.5	35.7	987	17.2	967.6	21.5	98%
60	88	43.2	507.4	0.09	0.0684	0.0011	1.3867	0.0316	0.1475	0.0038	0.0529	0.0031	883.3	36.1	883.3	13.5	887.2	21.1	99%
61	39.9	420	337.3	1.25	0.0569	0.0011	0.6282	0.0282	0.0808	0.004	0.028	0.0019	487.1	44.4	495	17.6	501.1	23.6	98%
62	166.1	229.5	231.5	0.99	0.168	0.0027	10.7634	0.2175	0.466	0.0111	0.1545	0.0065	2538.9	26.5	2502.9	18.9	2465.8	48.7	98%
63	103.5	198.1	531.8	0.37	0.0698	0.0011	1.5509	0.0611	0.1614	0.0064	0.0575	0.0028	921.9	26.9	950.9	24.3	964.7	35.3	98%
64	60.3	137.9	150.3	0.92	0.1025	0.002	4.2004	0.1746	0.2975	0.0117	0.0964	0.0053	1669.4	35.2	1674.1	34.1	1678.9	58.2	99%
65	44.7	82.8	63.5	1.3	0.1518	0.0026	9.2244	0.2512	0.4411	0.0114	0.1534	0.006	2365.7	29.6	2360.5	25	2355.7	51	99%
66	122.4	76.8	136.4	0.56	0.246	0.0036	21.1687	0.5111	0.6244	0.0153	0.2062	0.0081	3159	23.9	3146.3	23.5	3127.4	60.6	99%
67	64	222	293.8	0.76	0.0714	0.0012	1.5923	0.0528	0.1614	0.0044	0.0593	0.0023	968.5	2.8	967.2	20.7	964.3	24.5	99%
68	42.2	160.7	249.2	0.64	0.0654	0.0022	1.216	0.065	0.1342	0.0048	0.0506	0.002	787	69.6	807.9	29.8	811.8	27.1	99%
69	27.5	107.7	302.4	0.36	0.0563	0.0015	0.6331	0.0242	0.0823	0.0032	0.0306	0.0016	464.9	57.4	498	15	509.8	18.9	97%
70	13.3	83.4	138	0.6	0.0557	0.0024	0.6276	0.0303	0.082	0.0022	0.0307	0.0017	438.9	130.5	494.6	18.9	508.3	13.4	97%
71	92.1	619.7	990.2	0.63	0.0567	0.0012	0.6405	0.0254	0.0822	0.0035	0.03	0.0017	479.7	46.3	502.6	15.8	509.1	20.6	98%

测点	元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )				同位素比值								表面年龄 (Ma)				谐和度		
	Pb	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
72	39.6	161.9	250.2	0.65	0.0662	0.0015	1.2283	0.0497	0.1354	0.0058	0.0516	0.0026	813	50	813.6	22.7	818.5	32.8	99%
73	12.8	57.6	75.5	0.76	0.0675	0.0032	1.245	0.0517	0.1344	0.0035	0.0557	0.0028	853.7	98.9	821.1	23.4	813	20.1	99%
74	89.5	199.9	292.5	0.68	0.0873	0.0019	3.1267	0.1086	0.2583	0.0054	0.0935	0.0047	1366.4	42.6	1439.3	26.7	1481.4	27.8	97%
75	14.6	106.9	142.2	0.75	0.0556	0.0036	0.6437	0.0439	0.0838	0.0014	0.0329	0.0018	438.9	144.4	504.6	27.1	518.8	8.5	97%
77	77.2	234.2	483.1	0.48	0.0677	0.0014	1.3001	0.0275	0.1394	0.0032	0.0543	0.0032	857.4	44.4	845.7	12.2	841.4	18	99%
78	154.1	381.5	647.9	0.59	0.0769	0.0012	2.1499	0.0486	0.2024	0.0041	0.0754	0.0043	1120.4	25	1165	15.7	1188.2	21.7	98%
79	6	46	31.5	1.46	0.06	0.0035	1.1111	0.0669	0.1344	0.0036	0.0536	0.0036	611.1	125.9	758.7	32.2	812.7	20.4	93%
80	16.4	154.2	159.1	0.97	0.0593	0.0015	0.6753	0.0239	0.0825	0.0022	0.0314	0.0022	576	55.5	523.9	14.5	510.9	13.1	97%
81	17.2	164.6	159.3	1.03	0.0563	0.0018	0.6324	0.029	0.0813	0.0027	0.0306	0.0023	464.9	104.6	497.6	18	503.8	16.1	98%
82	84.9	300.1	518.8	0.58	0.0658	0.0011	1.2292	0.0282	0.1351	0.0026	0.0495	0.0032	1200	36	814	12.8	817	14.8	99%
83	55.1	97.7	377.7	0.26	0.0657	0.0011	1.2215	0.0407	0.1355	0.0049	0.0554	0.0036	794.4	36.3	810.5	18.6	819.1	27.8	98%
84	12.9	102.7	123.6	0.83	0.0537	0.0017	0.6	0.0229	0.081	0.0022	0.0289	0.0019	366.7	73.1	477.2	14.6	502.2	12.9	94%
85	65.1	125.2	349.2	0.36	0.0697	0.001	1.603	0.0623	0.1671	0.0069	0.0549	0.0038	920.4	30.7	971.4	24.3	996.4	37.9	97%
86	148.3	310.1	781.7	0.4	0.0664	0.0009	1.528	0.0553	0.1668	0.0064	0.0571	0.0042	820.4	29.6	941.7	22.2	994.6	35.6	94%
88	57	62.4	297.7	0.21	0.0703	0.0012	1.6858	0.0641	0.1736	0.0064	0.0571	0.0047	936.7	35.2	1003.2	24.2	1031.7	35.1	97%
89	26.9	170.1	262.3	0.65	0.0568	0.0022	0.6364	0.0311	0.0811	0.0025	0.0272	0.0023	483.4	85.2	500.1	19.3	502.4	15.1	99%
90	5.3	38.4	52.5	0.73	0.0528	0.0027	0.5896	0.0357	0.0813	0.0028	0.0257	0.0022	316.7	116.7	470.6	22.8	503.7	16.8	93%
91	38	261.6	371	0.71	0.0566	0.0011	0.637	0.0232	0.0814	0.0025	0.026	0.0018	472.3	44.4	500.4	14.4	504.7	15.2	99%
92	73.1	78.2	183.7	0.43	0.1094	0.0021	4.886	0.2178	0.3235	0.0142	0.1043	0.0073	1790.7	35.3	1799.8	37.6	1806.8	69.3	99%
93	50.3	141	277.1	0.51	0.0679	0.0016	1.3764	0.0363	0.147	0.0033	0.0473	0.003	864.8	54.6	878.9	15.5	884.4	18.7	99%
94	50.2	205.5	503.2	0.41	0.0596	0.0015	0.7536	0.0317	0.0932	0.0045	0.0258	0.0019	587.1	55.5	570.3	18.4	574.7	26.7	99%
95	184	98	1007.6	0.1	0.0713	0.0013	1.6434	0.0515	0.1669	0.0047	0.0546	0.0037	964.8	41.7	987	19.8	995.1	26.2	99%