

doi: 10.12029/gc20190505

张义平, 陈宣华, 张进, 邵兆刚, 丁伟翠, 郭小刚, 王德润, 顾文沛, 王叶, 徐盛林, 秦翔. 2019. 印支运动在鄂尔多斯盆地和四川盆地启动时间的讨论: 来自生长地层的证据[J]. 中国地质, 46(5): 1021–1038.

Zhang Yiping, Chen Xuanhua, Zhang Jin, Shao Zhaogang, Ding Weicui, Guo Xiaogang, Wang Derun, Gu Wenpei, Wang Ye, Xu Shenglin, Qin Xiang. 2019. Discussion on the initial timing of the Indosinian movement in the Ordos basin and the Sichuan basin: Constraints from growth strata evidence[J]. *Geology in China*, 46(5): 1021–1038(in Chinese with English abstract).

## 印支运动在鄂尔多斯盆地和四川盆地启动时间的讨论: 来自生长地层的证据

张义平<sup>1</sup>, 陈宣华<sup>1</sup>, 张进<sup>2</sup>, 邵兆刚<sup>1</sup>, 丁伟翠<sup>1</sup>, 郭小刚<sup>3</sup>,  
王德润<sup>4</sup>, 顾文沛<sup>4</sup>, 王叶<sup>1</sup>, 徐盛林<sup>1</sup>, 秦翔<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3. 甘肃省有色金属地质勘查局白银矿产勘查院, 甘肃 白银 730900; 4. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司吐哈物探处, 新疆 哈密 839000)

**摘要:** 造山带的形成、演化与周缘盆地受统一构造事件影响, “盆”与“山”在构造和沉积方面相互耦合, 沉积盆地存在造山事件的响应, 如生长地层、包卷层理等。生长地层为同构造或同变形阶段沉积, 其沉积时代可以有效约束构造事件时代。中央造山带近东西向展布, 北侧为鄂尔多斯地块, 南侧为扬子地块。中央造山带的形成主要源于原—古特提斯洋的闭合, 原特提斯洋在早古生代闭合, 古特提斯洋在中生代闭合, 后者改造前者并响应全球印支运动。印支运动的启动, 一方面促使现今中国大陆雏形的形成, 另一方面响应 Pangea 超大陆的最终汇聚, 具有重要的大地构造意义。古特提斯洋闭合, 华南地块和华北地块汇聚拼贴, 并在鄂尔多斯盆地和四川盆地沉积地层中保留了很好的记录。笔者在鄂尔多斯盆地南缘上三叠统识别出一套生长地层, 通过最年轻碎屑锆石与区内相同地层凝灰岩锆石对比, 限定印支运动启动时间为 233 Ma 左右; 在四川盆地北缘上三叠统须家河组识别出一套生长地层, 通过对比分析, 推测印支运动启动时间为 216 Ma 左右。

**关键词:** 生长地层; 锆石 U–Pb 年代学; 盆山耦合; 印支运动; 中央造山带; 深地勘查工程

中图分类号: P534.51; P542 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2019) 05–1021–18

## Discussion on the initial timing of the Indosinian movement in the Ordos basin and the Sichuan basin: Constraints from growth strata evidence

ZHANG Yiping<sup>1</sup>, CHEN Xuanhua<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>2</sup>, SHAO Zhaogang<sup>1</sup>, DING Weicui<sup>1</sup>, GUO Xiaogang<sup>3</sup>, WANG Derun<sup>4</sup>, GU Wenpei<sup>4</sup>, WANG Ye<sup>1</sup>, XU Shenglin<sup>1</sup>, QIN Xiang<sup>1</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 3. Institute of Mineral Exploration, Bureau of Gansu Non-ferrous Metals, Baiyin 730900, Gansu,

收稿日期: 2019–02–16; 改回日期: 2019–09–03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0603700)、中国地质地质调查项目“祁连—天山及周缘盆山结合带深部地质调查”(DD20160083)及“东天山—北山盆山结合带深部地质调查”(DD20190011)联合资助。

作者简介: 张义平, 男, 1988 年生, 博士, 助理研究员, 构造地质学专业, 从事盆山构造与深部地质构造研究; E-mail: BJZhYP@126.com。

通讯作者: 陈宣华, 男, 1967 年生, 博士, 研究员, 构造地质学专业, 从事盆山构造与深部探测研究; E-mail: xhchen@cags.ac.cn。

*China; 4. Tuha Division, Bureau of Geophysical Prospecting INC.,  
China National Petroleum Corporation, Hami 839000, Xinjiang, China)*

**Abstract:** The formation and evolution of the orogenic belt and the peripheral basin were controlled by some genetic tectonic events. The "basin" and "range" are coupled to some extent both in structure and sedimentation. Sedimentary structures can always respond to related orogenic events, such as growth strata and convolute bedding. Growth strata are sedimentary records of the tectonic events, and the analysis of their deposit age can effectively constrain the timing of the tectonic events. The Central China Orogen is distributed in the east–west direction. The north side of the central segment is the Ordos block, and the south side is the Yangtze block. The Central China Orogen mainly resulted from the closure of the Pro–Paleo Tethys Ocean, the extinction of Pro–Tethys Ocean happened in the Paleozoic and the Paleo–Tethys Ocean was closed in the Mesozoic. Notably, the latter modified the orogen resulting from the former and responded to the global Indosinian movement. The Indosinian movement not only facilitated the final assembly of supercontinent Pangea, but also was of great significance in the formation of the rudimentary sketch of China's mainland today. In the process of the Indosinian movement, the South China block and the North China block were collaged, and the Indosinian movement was initiated. The Ordos Basin and the Sichuan Basin recorded the orogenic events well in sedimentary strata. In this paper, the authors identified growth strata in the Upper Triassic on the south margin of the Ordos Basin. The starting time of the Indosinian movement in the Ordos Basin is about 233 Ma. A sets of growth strata were identified in the Upper Triassic on the north margin of the Sichuan Basin and the start time was about 216 Ma.

**Keywords:** growth strata; zircon U–Pb chronology; basin–range coupling; Indosinian movement; Central China Orogen; deep exploration engineering

**About the first author:** ZHANG Yiping, male, born in 1988, assistant professor, majors in structural geology, engages in geological research on surface structures and deep tectonics; E–mail: BJZhYP@126.com.

**About the corresponding author:** CHEN Xuanhua, male, born in 1967, majors in structural geology, engages in geological research on surface structures and deep tectonics; E–mail: xhchen@cags.ac.cn.

**Fun support:** Supported by National Key Research and Development Project (No. 2018YFC0603700) and China Geological Survey Project (No. 20160083, No. DD20190011).

## 1 引 言

地理上盆与山相互依存,地质上造山带与盆地相互耦合(李凤杰等,2008)。盆地与造山带在几何学和运动学上相互协调和改造,反映统一的地球动力学过程(张原庆等,2001;吴根耀等,2005),时间的同步性和动因的统一性是盆山耦合的关键(李凤杰等,2008)。盆山耦合主要表现在构造和沉积上(张进等,2004)。构造上,受同一地质事件影响,造山带影响弧前盆地、弧后盆地、周缘前陆盆地、弧后前陆盆地等的形成和演化;沉积上,盆地接受造山带剥蚀产物,记录具体造山过程,如Leiss通过对阿尔卑斯白垩纪同造山期沉积岩分析,限定了推覆体时代(Leiss, 1990)。

中央造山带为近东西向展布的造山带,黄汲清最早将其命名为昆仑—秦岭造山系或昆仑—秦岭褶皱

系(黄汲清,1960),姜春发(1994)将其命名为中央造山带,它从水系、地理和气候等方面将中国大陆分隔为南北两部分,构成中国的脊梁(任纪舜,2004)。中央造山带北侧发育鄂尔多斯盆地,南侧发育四川盆地(图1)。自印支期以来,中央造山带中部,即宝鸡—勉县—旺苍段(图1中ABC剖面),发生多期、多极性强烈俯冲及造山事件,大量逆冲、走滑、褶皱及断层等多类地壳缩短构造发育(张国伟等,2001; Dong et al., 2011, 2016),前人做过大量研究(Yin and Nie, 1993; 张国伟等, 2001; Jahn et al., 2003; Jahn and Chen, 2007; Yamamoto et al., 2013; Dong et al., 2013; Li et al., 2017; 陈宣华等,2019),提出了多种观点,不同认识中印支运动的启动时间不大相同。印支运动对中国现今大陆格架的建立, Pangea超大陆的最终拼贴,以及三叠纪全球主体构造格架的形成起到关键作用,其启动时间的限定具有重要意义。

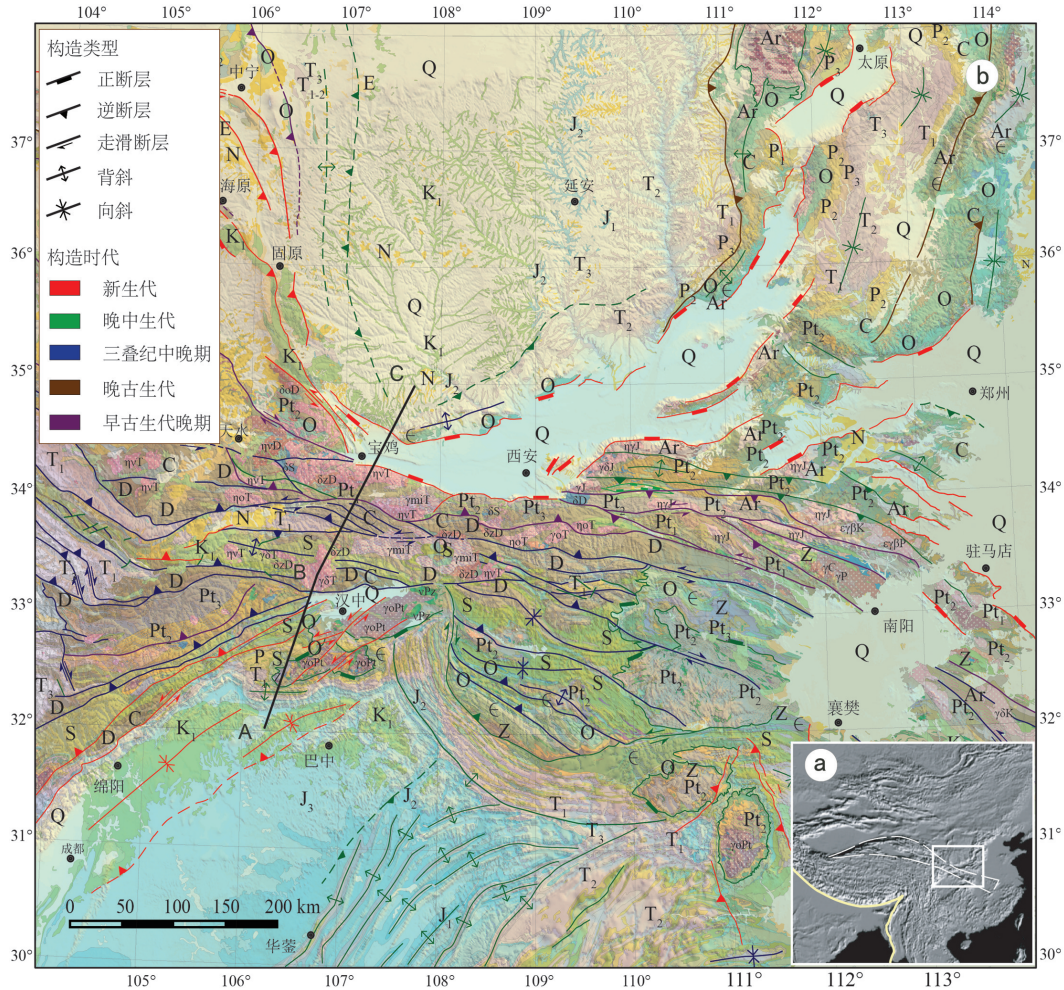


图1 研究区区域地质图

(地层代号及时代以中国地层表2014版为准)

Fig. 1 Geological map of the study area

(Geological legends after Chronostratigraphic Chart in China, 2014)

## 2 大地构造模式与印支运动时限

古特提斯洋盆闭合,印支运动启动,华北克拉通与扬子(华南)地块碰撞拼贴(张国伟等,2001),形成了大别—苏鲁高压超高压变质带和东亚南部巨型印支造山系(许志琴等,2012)。前人对这一过程提出了不同地质模型(Yin and Nie, 1993; 张国伟等, 2001; Jahn et al., 2003; Jahn and Chen, 2007; Yamamoto et al., 2013; Dong et al., 2014; Li et al., 2017)(图2,表1)。

总体而言,可将上述构造模式分为两类(图2,表1):(1)古特提斯洋壳向华北地块之下俯冲(Yin et al., 1993; 张国伟等2001; Dong et al., 2016),这一

观点目前占主流地位;(2)华北地块向南俯冲,主要依据Sr-Nd-Pb同位素填图(Jahn et al., 2003; Jahn and Chen, 2007)和苏鲁—大别地区高压、超高压变质岩(Yamamoto et al., 2013; Li et al., 2017)。不同构造模式中,印支运动时限不一。此外,我们可以从下面几个方向讨论:

(1)勉略缝合带时代。Dong et al.(2016)认为勉略蛇绿岩及相关的火山和岩浆岩同位素年龄为345~200 Ma(Li et al., 2004; Qin et al., 2008; Dong et al., 2011),含有石炭纪—三叠纪化石(Feng et al., 1996; 边千韬等, 2001)。

(2)中央造山带印支期岩浆岩时代。前人认为自252 Ma开始,中央造山带中部岩浆开始冷却



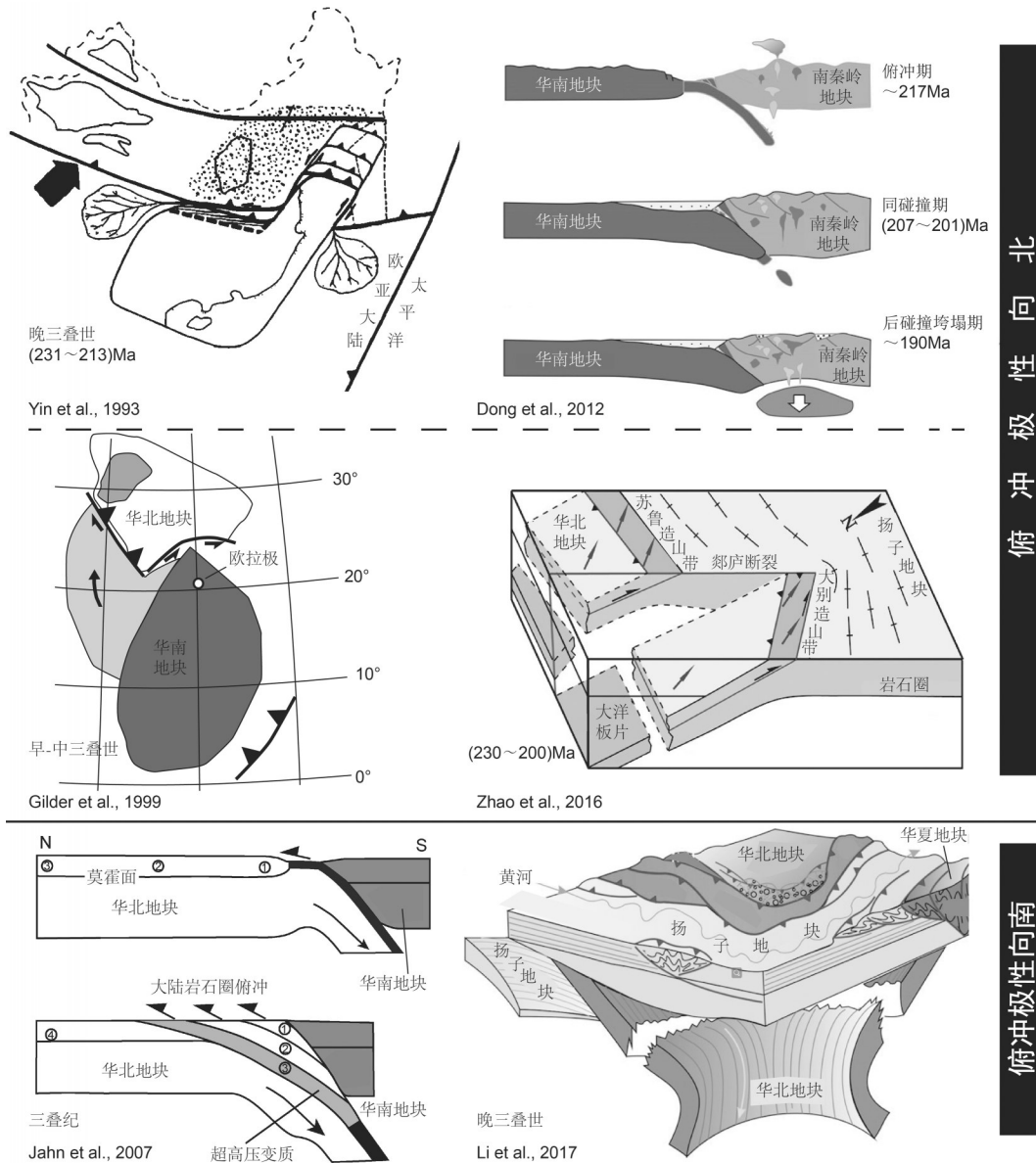


图2 华北和华南地块汇聚模型及其印支运动时限

Fig. 2 Convergence models between North and South China blocks with respective Indosinian ages

(Wang et al., 2008, 2013), 245~200 Ma 发生大量同碰撞和后碰撞花岗岩, 扬子地块在中晚三叠世与南秦岭地区发生碰撞(Dong et al., 2016)。

(3)此外, Shi et al. (2012)认为在晚三叠世一早侏罗世( $T_3-J_1$ ), 作为秦岭—大别造山带的前陆, 大巴山表现为近N-S向至NNE-SSW向的挤压缩短, 形成E-W向延伸的褶皱构造(Shi et al., 2012)和当阳盆地近N-S向的挤压缩短(Shi et al., 2013)。 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学给出南秦岭(北大巴山)与华北和扬子地块碰撞有关的逆冲推覆作用时间为

245~189 Ma(Li et al., 2013)。

可以看出, 上述端元模式及不同学者的认识中, 印支运动时限不一。因此笔者试图从盆山耦合的角度, 对造山带及周缘盆地开展综合研究, 探讨印支运动在鄂尔多斯盆地和四川盆地的启动时间。

### 3 盆山耦合构造与不整合发育特征

#### 3.1 印支期沉积不整合

沉积不整合在构造地质学上是造山幕建立或构造旋回划分的重要依据, 代表重要的沉积间断,



表1 华北地块和华南地块汇聚代表性模型  
Table 1 Classic convergence models between North and South China blocks

俯冲极性	主要构造模型	构造运动时限	主要依据	参考文献
	华南地块北部边缘不规整,东部凸起楔入华北地块,形成大型左行郯庐断裂和大型右行走滑 Honam 断裂	晚二叠世(258~248 Ma), 华南地块东部与华北开始碰撞; 早一中三叠世(248~231 Ma) 大别地区大洋首先关闭; 晚三叠世(231~213Ma), 大洋闭合	构造变形、沉积地层、综合分析	Yin and Nie, 1993
华南地块向北俯冲	华南和华北地块在晚古生代为统一地块, 大别-苏鲁微大陆下冲到这一统一地块, 形成苏鲁一大别超高压变质岩	华北和华南地块在石炭纪之前汇聚; 大别-苏鲁微大陆在早中三叠世俯冲到上述统一地块之下	综合分析	Chang et al., 1996
	华南和华北地块在三叠纪汇聚, 秦岭造山带地表和深部呈东西向和南北向“立交桥”结构	约 217 Ma 为俯冲期; 207~201 Ma 为碰撞期; 约 190 Ma 后碰撞期	沉积、构造、岩石地球化学、地球物理	张国伟等, 1998; 2001; Dong et al., 2011, 2013, 2016
	华南地块顺时针、华北地块逆时针旋转, 两者以“剪刀式”汇聚	早一中三叠世开始旋转, 中侏罗世全面碰撞, 晚侏罗世碰撞完成	古地磁	Gilder et al., 1999
	郯庐断裂使得洋壳撕裂, 传递到华南地块岩石圈, 大陆撕裂	中三叠世晚期	构造、 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 年龄等	Zhao et al., 2016
华北地块向南/南东方向俯冲	大别山白垩纪花岗岩类和基性-超基性岩 Sr-Nd-Pb 同位素显示了华北板块信息	三叠纪	Sr-Nd-Pb 同位素填图; 高压-超高压变质岩	Jahn et al., 2003; Jahn and Chen, 2007; Yamamoto et al., 2013
	完善“大华南”地块概念; 认为胶-辽-吉等地带均为苏鲁一大别造山带; 认为华北地块沿着苏鲁造山带向南俯冲	晚二叠世一早三叠世, 华南东部与华北碰撞; 中三叠世, 秦岭一大别造山带被挤压弯曲; 晚三叠世到早一中侏罗世, 华南华北全面汇聚	地质、地球物理、地球化学, 主要侧重高压-超高压变质岩	Li et al., 2017; Lan et al., 2017

期间下盘发育褶皱、断裂、剥蚀,重新接受沉积。为此,笔者在鄂尔多斯盆地、四川盆地及中央造山带进行了沉积不整合观察。

鄂尔多斯盆地南部三叠系内部、三叠系和侏罗系之间发育大量不整合接触(图3)。上三叠统延长组平行不整合于中三叠统纸坊组之上,侏罗系延安组与下伏延长组之间呈平行不整合接触。下白垩统与其下伏地层和上覆地层之间普遍为角度不整合,如永寿烂泥塘下白垩统与三叠系、平凉石灰沟下白垩统与二叠系、陇县窑厂沟下白垩统与三叠系、彬县百子沟下白垩统与侏罗系安定组等(图3)。在中央造山带内部,受构造作用影响,大量沉积不整合发育(图3),下三叠统西坡组和任家沟组主要为一套大理岩和浅变质碎屑岩,在青海隆务河一带与下伏石关组呈平行不整合接触,在中秦岭造

山带与下伏石关组,在南秦岭与下伏迭山组、十里墩组为整合接触(图3);在两当县南被下侏罗统龙家沟组不整合覆盖;在徽成盆地东龙家沟组与下伏下三叠统西坡组不整合接触(图3)。综合而言,从鄂尔多斯盆地西缘(宁夏卫宁、固原、香山等地区)、西南缘六盘山、南缘麟游,秦岭造山带中部徽成盆地,四川盆地北缘大两会和旺苍等地区都可以看到三叠系与下伏地层/上覆地层之间的不整合接触(图3),说明印支运动在研究区广泛发育。

### 3.2 印支期区域构造格架

笔者沿中央造山带中部横跨造山带和两侧盆地开展了野外地质调查,在野外观测的基础上,综合区域地质和地球物理资料,建立了横跨研究区的构造地质剖面(剖面位置见图1)(张义平,2018),揭示中央造山带与两侧盆地的构造格架。

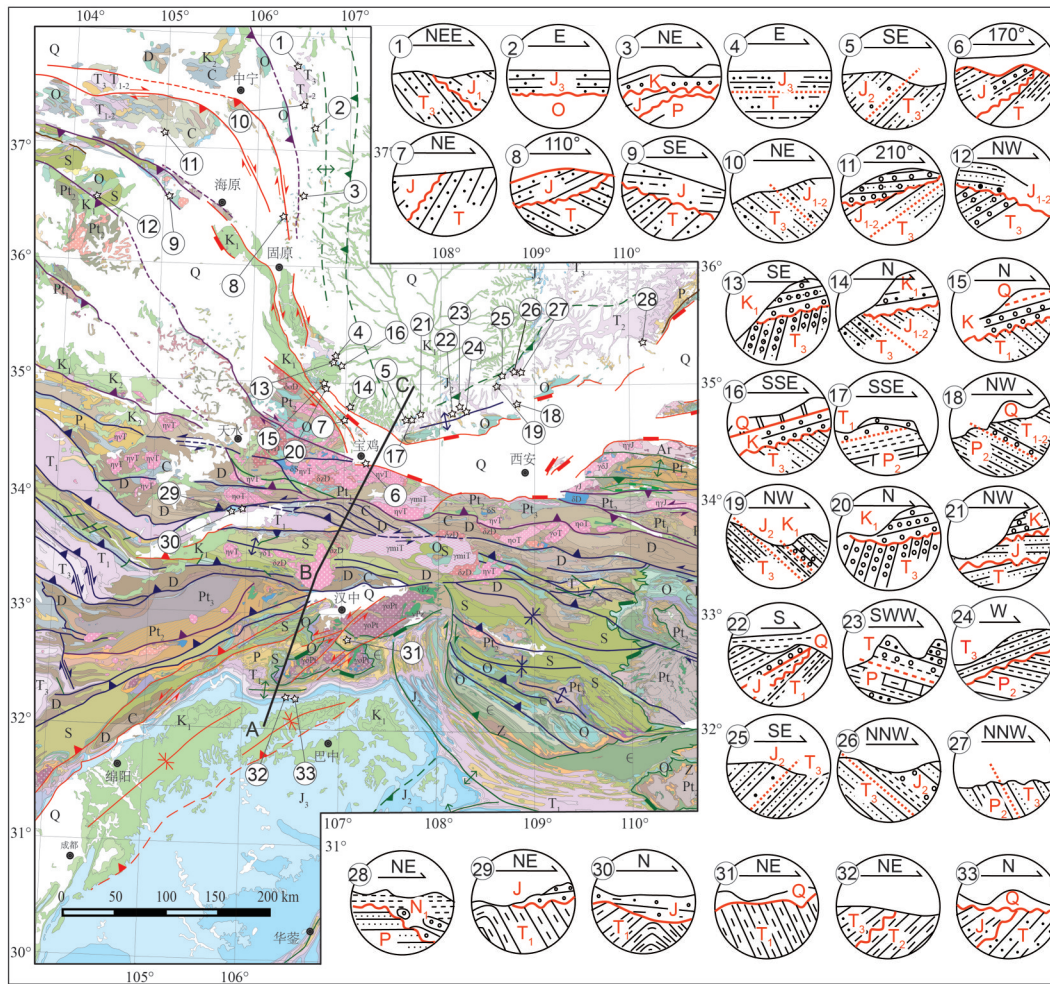


图3 研究区区域角度不整合接触

(1~9据 Guo et al., 2017; 10~15据 Chen et al., 2007; 16~19据时建超, 2010; 20~28据高飞, 2009; 29~33为本文资料)

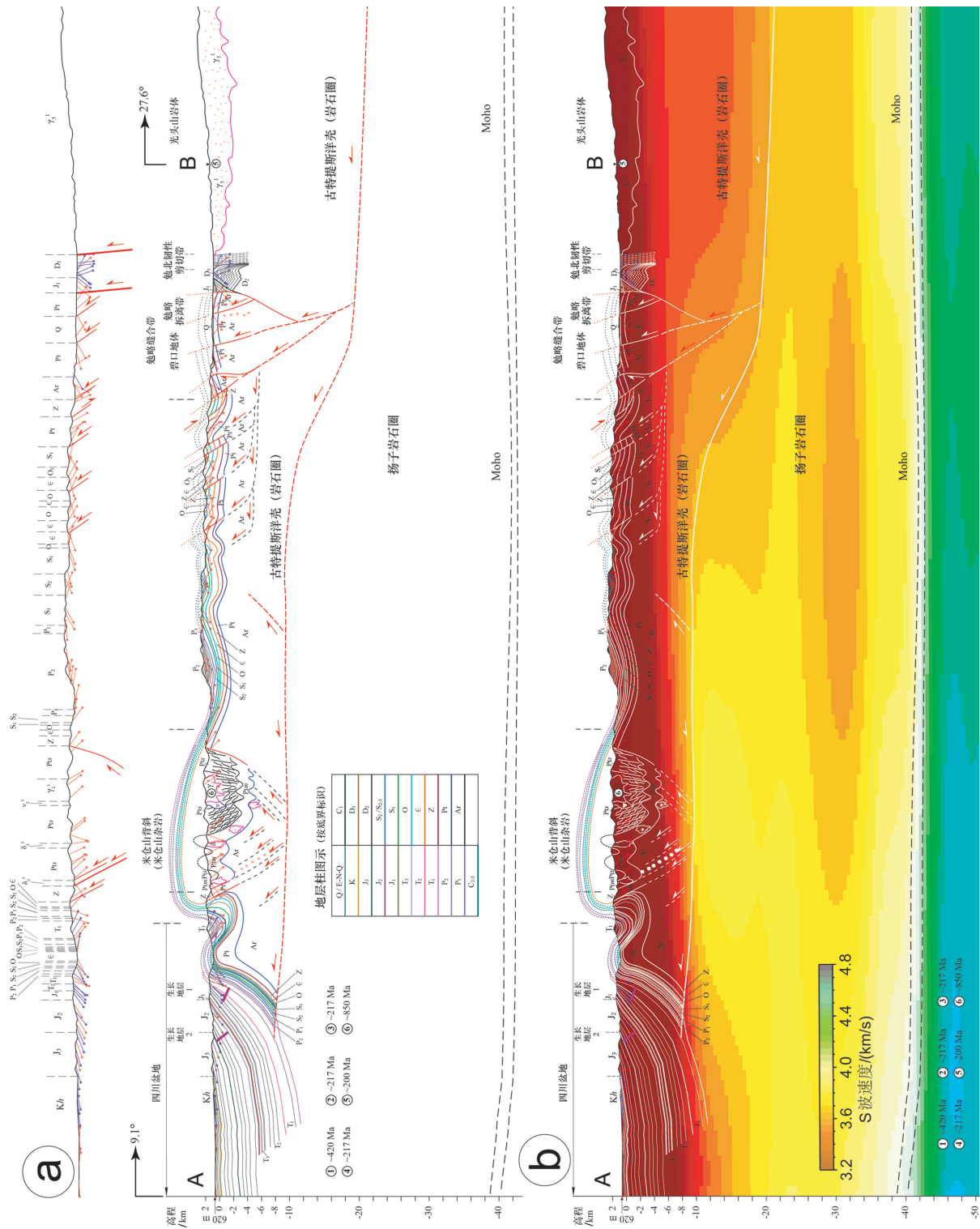
Fig. 3 Regional unconformity contacts in the study area

(1~9 after Guo et al., 2017; 10~15 after Chen et al., 2007; 16~19 after Shi, 2010; 20~28 after Gao, 2009; 29~33 in this study)

剖面北起于鄂尔多斯盆地白垩统志丹群, 跨越中央造山带, 向南到四川盆地旺苍县。鄂尔多斯盆地南缘西崑山为主体向北(断面倾向南)的挤压逆冲构造, 在岐山地区可见出露地表的寒武系和奥陶系, 中薄层灰岩形成枢纽走向近北东向的褶皱。向南为汾渭地堑(图1), 地堑形成时间晚于印支期, 在一定程度上改造了早期构造。沿着剖面向南, 商丹缝合带经历多期构造变形, 出露大量糜棱岩与超基性岩(图4)。南秦岭造山带主要为早古生代前陆区, 沉积了志留系一下三叠统, 包括现今徽成盆地。笔者在光头山岩体南侧火神庙乡详细观察了勉略韧性剪切变形, 中泥盆统在强烈构造作用下变质变形, 发生糜棱岩化, 前人将勉略带归为印支期

华北板块与华南板块拼接的缝合带(张国伟等, 2001; Dong et al., 2016)。米仓山出露大量新元古代花岗岩, 属于基底结晶岩系, 其构造属性和归属复杂。有部分学者将米仓山和汉南杂岩分别研究, 认为米仓山地区为卷入基底的大型背斜构造(杜思清等, 1998; 常远等, 2010; 田云涛等, 2010)。

S波图像可显示构造剖面深部结构信息(图4), 结合浅部构造变形形迹, 可以验证俯冲极性。图中最为显著的是中央造山带中部地区莫霍面深度约为40~43 km, 两侧盆地莫霍面深度为40 km左右。就地壳结构而言, 造山带和盆地有不同的显示, 鄂尔多斯盆地沉积盖层厚度可达6 km左右, 鄂尔多斯盆地基底深度可能达18 km, S波速约为3.7



(图4左)



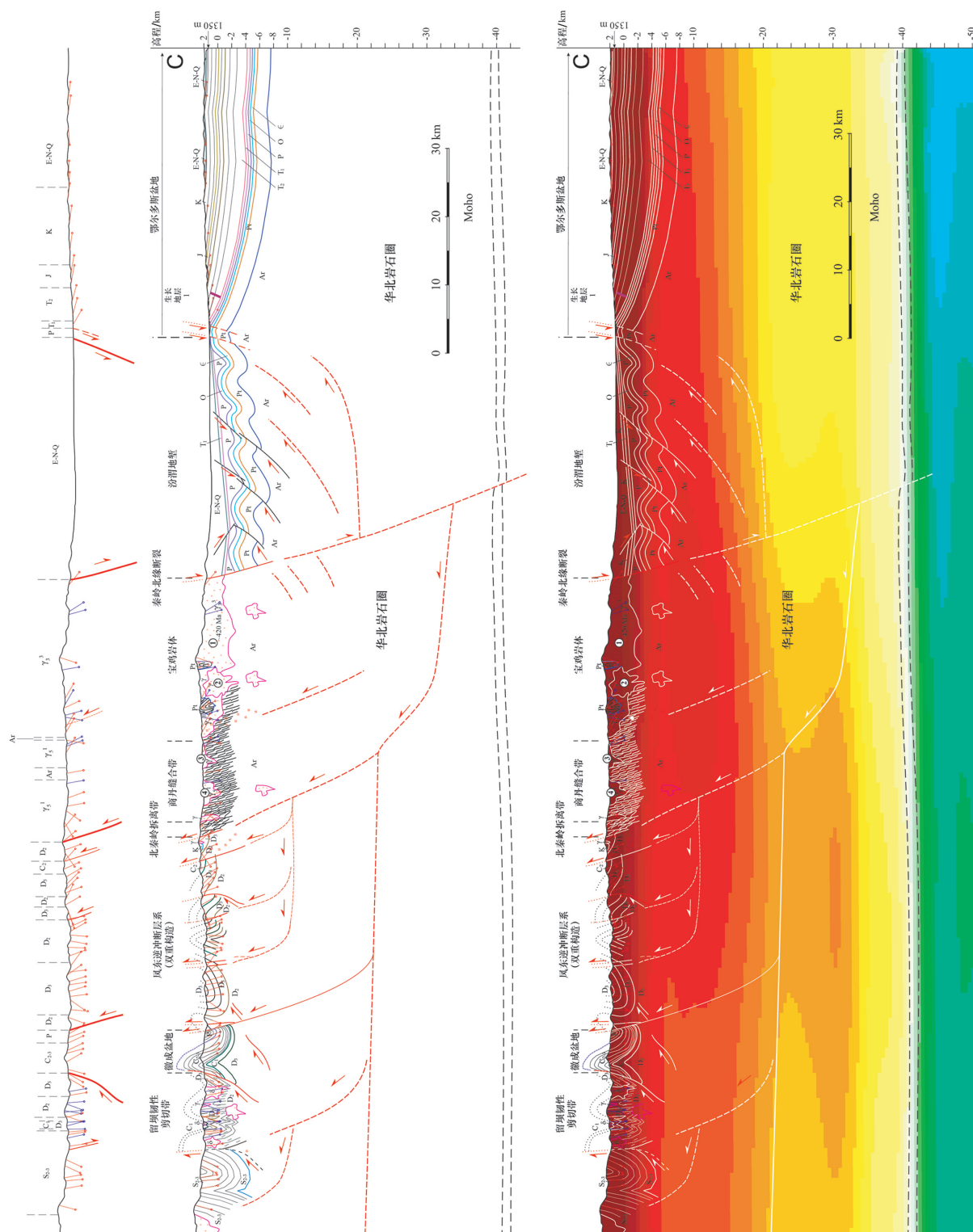


图4 中央造山带构造剖面(剖面位置见图1)(图4右)  
Fig. 4 Structural profile across the Center China Orogen (location shown in Fig. 1)

km/s。北秦岭造山带下部可看到古老块体或岩体块状堆积,S波速达3.4 km/s,可能属于早古生代造山带产物。在秦岭造山带底部,出现一个深度可达30 km的圈状速度层,可能代表造山根的拆沉,也有可能对应前人认为的“立交桥”底部。勉略缝合带以南,S波速度3.7 km/s的底界面迅速抬升,形成一个弧状突变带,可能代表一个深层滑脱面。四川盆地底部速度界面为3.7 km/s,深度可达18 km。此外,在勉略缝合带至米仓山之间,出现一个与秦岭造山带相似的速度圈闭,S波速度为3.4 km/s左右(图4)。

#### 4 生长地层及其年代学约束

生长地层也称同构造地层,通过生长地层底界时代推测相关构造起始时间(何登发等,2005;管树巍等,2007),进而对造山带与盆地耦合的启动时间进行限定。

##### 4.1 测年样品分析及处理

岩石样品碎样和锆石挑选工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,在避免污染的条件下,将样品粉碎至60目以下,接着通过水洗和电磁选方法富集锆石,最后在双目显微镜下精选锆石颗粒,选出200粒以上碎屑锆石。锆石样品的制靶工作和阴极发光(CL)图像采集由北京锆年领航科技有限公司完成。将选出的碎屑锆石和标准锆石一起黏贴在环氧树脂表面制靶,通过透射光、反射光显微照相,观察其抛光面有无裂隙及包裹体等,然后进行阴极发光照相,观察锆石内部结构特征。

样品LA-ICP-MS锆石U-Pb定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所完成。实验所用多接收器电感耦合等离子体质谱仪(Neptune)由Thermo Fisher公司制造,离子光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦合计,并采用动态变焦(ZOOM)使质量色散达到17%。该系统配备法拉第杯接收器9个,离子计数器接收器4个。激光器(UP193-FX准分子激光器)由美国ESI公司生产,激光波长193 nm,脉冲宽度5 ns,束斑直径2~150  $\mu\text{m}$ 可调,脉冲频率1~200 Hz连续可调。用He气将激光剥蚀物质送入Neptune,利用动态变焦扩大色散同时接收质量数相差很大的U-Pb同位素,进行锆石U-Pb同位素原位测定。外部锆石年龄标样为TEMORA,用NIST6玻璃标样作为外标计算锆石样品的Pb、U和Th含量。用ICPMSDataCal程序(Liu et al., 2008)和ISOPLOT软件(Version 4.1; Ludwig, 2003)进行数据处理并成图(李怀坤等,2009)。实验中借助锆石透射光、反射光、CL照片,避开包裹体,确定测点位置,用193 nm激光器对锆石进行剥蚀,激光频率为8~10 Hz,激光束斑直径为32  $\mu\text{m}$ 。

##### 4.2 印支运动在鄂尔多斯盆地北缘的启动

###### 4.2.1 鄂尔多斯盆地南缘生长地层

鄂尔多斯盆地南缘上二叠统孙家沟组以角度不整合沉积于奥陶系三道沟组之上,二叠系底部出现含砾石粗砂岩(图5),沉积环境发生变化。上二叠统孙家沟组地层产状从 $355^{\circ}\angle 14^{\circ}$ 到 $5^{\circ}\angle 16^{\circ}$ (倾向与倾角,下同)不一,地层倾角保持在 $15^{\circ}$ 左右,与生

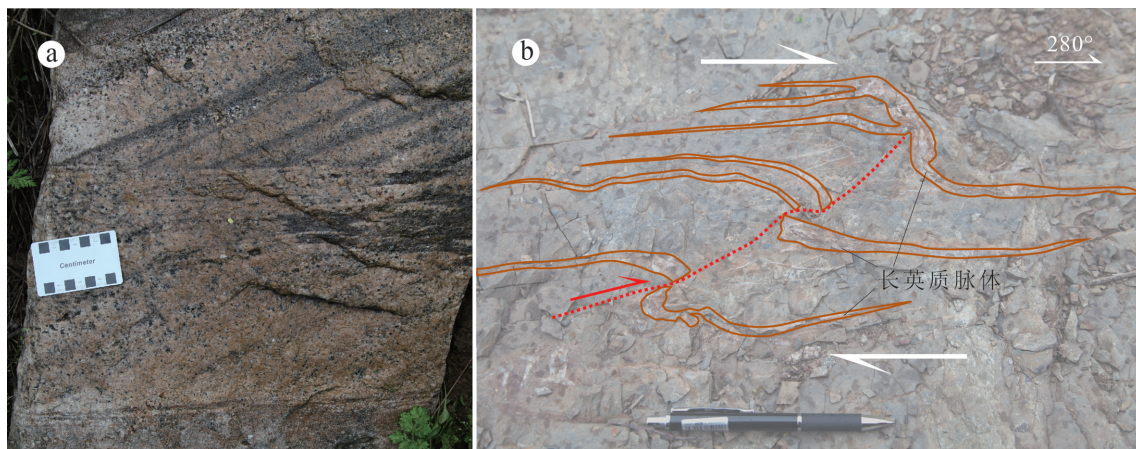


图5 鄂尔多斯盆地南缘二叠系含砾石粗砂岩

Fig. 5 Permian gravel-bearing coarse sandstone in southern Ordos basin

长地层野外产状分部特征不符(图5)。

麟游县城地区中下三叠统刘家沟组和和尚沟组地层基本倾向北,倾角 $7^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。沿澄水河道向北地层产状基本一致,赵家台南侧( $34^{\circ}42'58.6''$  N,  $107^{\circ}47'53.7''$  E)上三叠统延长组产状突变,呈3个倾角由大变小的序列。由最大倾角 $355^{\circ}\angle 48'$ ( $34^{\circ}43'$

$1.1''$  N,  $107^{\circ}47'51.3''$  E)变为 $312^{\circ}\angle 5'$ ( $34^{\circ}43'23.3''$  N,  $107^{\circ}47'41.9''$  E),由此向北,上三叠统延长组地层倾角基本保持在 $5^{\circ}$ 左右(图6b)。在不足1.5 km剖面上,地层倾角3次由陡变缓,未见明显断层、褶皱等构造,基本可以确定这种规律性变化源于同沉积作用,属于生长地层(图6)。

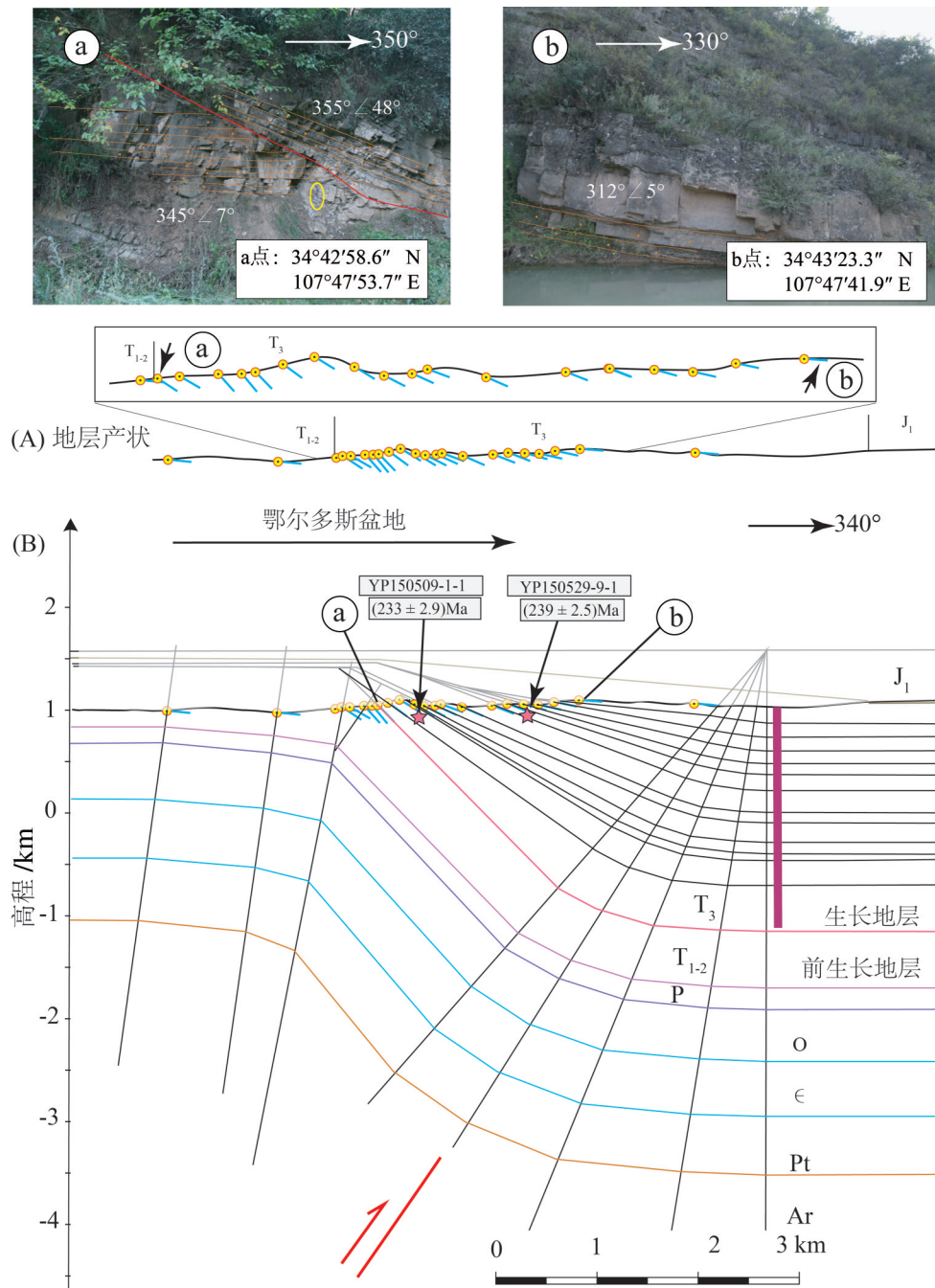


图6 鄂尔多斯盆地南缘生长地层构造模式  
Fig. 6 Growth strata on the southern margin of Ordos basin



生长地层的识别不仅根据产状的规律性变化,还要符合生长地层的几何结构(Suppe et al., 1992)。因此,笔者结合区域地质对其构造格架进行了构建(图6)。由图可以看出,上三叠统之前都可归为前生长地层。自上三叠统延长组开始,区内遭受的构造作用增强。发生明显退覆沉积,在褶皱顶部、前缘地层沉积一套同构造沉积地层(图6)。随着前生长地层不断抬升,褶皱上部具有明显的超覆(高沉积速率)或减薄(低沉积速率)现象,发育生长不整合面(图6)。生长地层结束后,上覆地层形成沉积披覆,构造变形停止之后,恢复了 $5^{\circ}$ 左右的地层倾角(图6b)。

#### 4.2.2 鄂尔多斯盆地南缘启动时间

本文共采集2个岩石样品,均为延长组长石石英砂岩。样品YP150509-1-1( $34^{\circ}43.8247'N$ ,  $107^{\circ}47.5765'E$ )采自延长组地层产状发生突变的第一个地质点,地层产状为 $355^{\circ}\angle 48^{\circ}$ ;样品YP150529-9-1( $34^{\circ}43'52.65''N$ ,  $107^{\circ}47'32.49''E$ )采自地层倾角出现第二次由大变小处。笔者对样品进行了锆石U-Pb同位素测年,样品YP150509-1-1测得锆石120个,以谐和度90%遴选,大于1000 Ma时采用 $^{207}Pb/^{235}U$ 表面年龄,小于1000 Ma时采用 $^{206}Pb/^{238}Pb$ 表面年龄(Black et al, 2003),遴选后获得有效测点108个,基本满足年龄统计要求(Andersen, 2005)。电子

版表1列出了有效测点数据,绘制成谐和和线图(图7)。108个有效点中有5个较为年轻的锆石,分别为测点P03( $(234\pm 2.5)Ma$ )、P08( $(236\pm 2.6)Ma$ )、P76( $(238\pm 2.9)Ma$ )、P84( $(233\pm 2.9)Ma$ )和点P93( $(233\pm 3.4)Ma$ ),这几个锆石Th/U比值在0.26~1.70,远大于0.1,锆石CL图像中环带清晰,可能为岩浆成因锆石。样品YP150529-9-1测得锆石110个,遴选后获得有效测点96个。96个有效点中有多个年轻锆石(图7),其中最年轻锆石为测点P33( $(239\pm 2.5)Ma$ ),该锆石U含量 $36.6\times 10^{-6}$ ,Th/U比值为0.15,锆石Th/U比值大于0.1,CL图中环带清晰,可能为岩浆成因锆石。

碎屑锆石来自沉积碎屑,时代应该早于沉积岩。如此而言,本文最年轻锆石可以限定生长地层沉积时代下限为 $(233\pm 3.4)Ma$ ,样品YP150529-9-1在层位上位于样品YP150509-1-1之上,但是最年轻锆石年龄却较样品YP150529-9-1最年轻锆石年龄大,可能受控于剥蚀和沉积镜像反序作用,也可能受实验条件控制。

王多云等(2014)在鄂尔多斯盆地西南缘环县和西峰地区通过钻井获得延长组7段凝灰岩样品L-1( $36^{\circ}56'22.03''N$ ,  $107^{\circ}26'44.19''E$ )和L-3( $35^{\circ}53'27.18''N$ ,  $107^{\circ}58'13.05''E$ ),样品L-1年龄介于 $(227\pm 2.5)Ma\sim(245\pm 3.8)Ma$ ,最年轻3颗锆石 $^{206}Pb/^{238}Pb$ 加

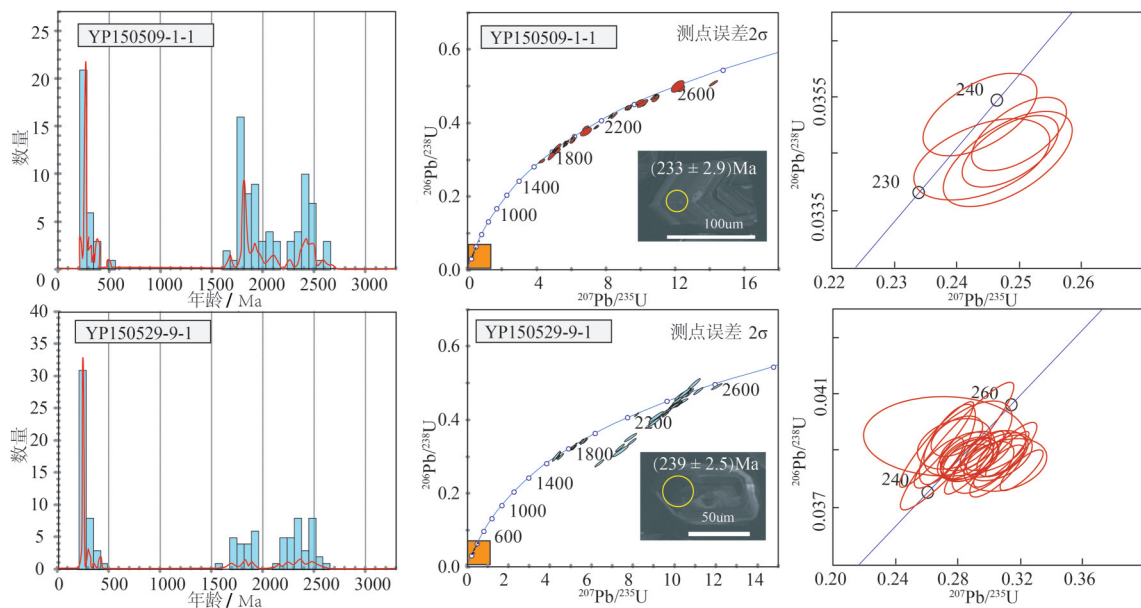


图7 鄂尔多斯盆地南缘生长地层最年轻碎屑锆石U-Pb年龄

Fig. 7 The youngest zircon U-Pb ages of the growth strata on the southern margin of Ordos basin

权平均年龄为 $(230\pm 2.7)\text{Ma}$ ; Th 含量为  $576\times 10^{-6}$ , Th/U 比值为 0.72。L-3 样品的年龄介于  $(229\pm 3.2)\text{Ma}$ ~ $(246\pm 3.7)\text{Ma}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$  加权平均年龄为  $(239\pm 1.7)\text{Ma}$ , Th 含量为  $294\times 10^{-6}$ , Th/U 比值为 0.93。将本文获得最年轻碎屑锆石与 L-1 和 L-3 最年轻锆石作对比,可以看出同为岩浆锆石,且锆石的微量元素含量也基本匹配,两者可能具成因上的可对比性。换言之,本文最年轻碎屑锆石可能与凝灰岩同源,确定延长组生长地层的沉积年龄可能为  $(233\pm 3.4)\text{Ma}$ 。生长地层沉积年龄可以代表构造事件时代,这样我们可以从沉积学角度限定印支运动在鄂尔多斯盆地南缘的启动时间为  $(233\pm 3.4)\text{Ma}$  左右。

### 4.3 印支运动在四川盆地北缘的启动

#### 4.3.1 四川盆地北缘生长地层

四川盆地北缘中生代地层受巴河的冲蚀切割明显,出露齐全。本文剖面起点位于旺苍县东,终点位于盆地内马尚庙(图8)。剖面地形最高点处为

三叠系,中薄层含泥灰岩,夹持于大两会背斜与米仓山之间。该点具向斜区地形特征:向斜核部受地质应力作用,处于挤压状态,保存较好,地形较高;大两会背斜核部容易受风化剥蚀,地形明显较低(图8)。

大两会背斜南翼二叠系产状为  $176^\circ\angle 44^\circ$ ,下三叠统飞仙关组产状为  $183^\circ\angle 42^\circ$ 、 $179^\circ\angle 40^\circ$ 等,飞仙关组出露厚度 50 m 左右,地层产状基本与下伏二叠纪地层一致,倾角  $40^\circ$  左右。上三叠统须家河组岩性发生明显变化,须家河组底部可见厚层砾岩(图9),向上逐渐过渡为灰白色厚层块状中细粒石英长石砂岩,粒度变细,产厚约 20 m 的煤层。须家河组地层产状发生了规律性变化,从底部  $168^\circ\angle 33^\circ$ 到顶部  $181^\circ\angle 31^\circ$ ,倾角较之前的  $40^\circ$  左右明显变小(图8)。下侏罗统白田坝组为黄灰色、黄绿色泥质粉砂岩,地层产状为  $179^\circ\angle 30^\circ$ ,基本与上三叠统须家河组一致。中侏罗统千佛岩组地层倾角保持在  $30^\circ$  左

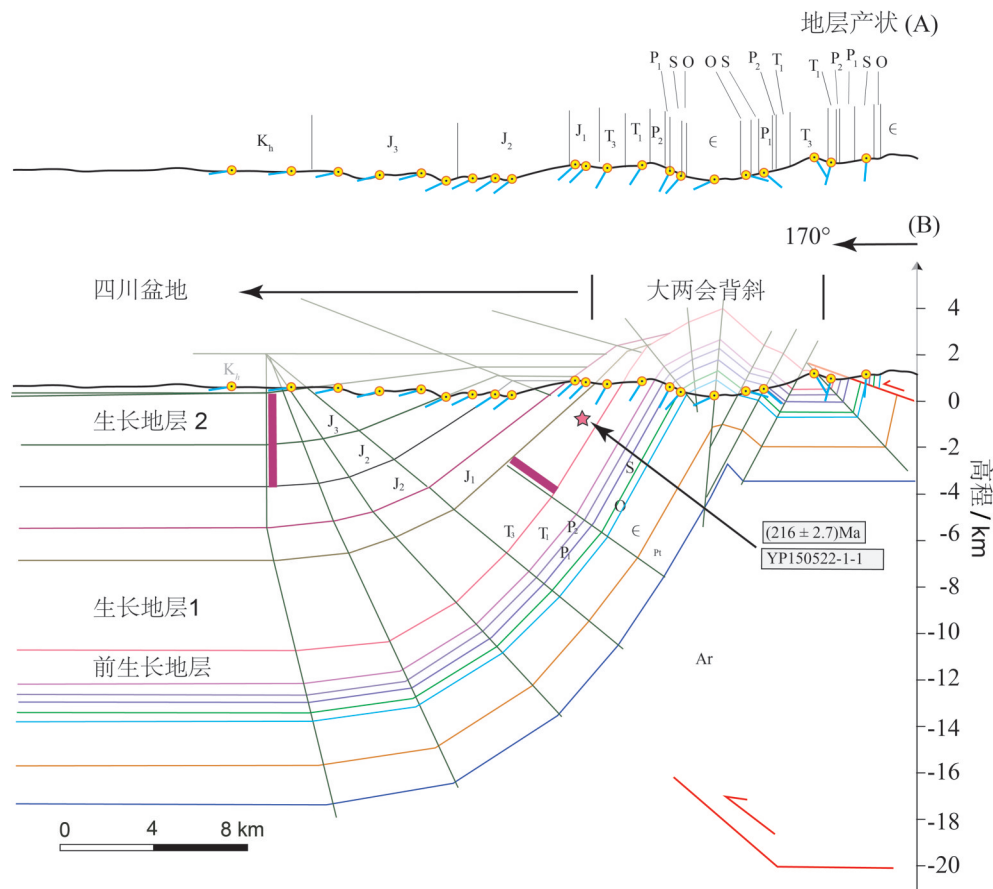


图8 四川盆地北缘生长地层构造模式  
Fig.8 Growth strata on the northern margin of Sichuan basin

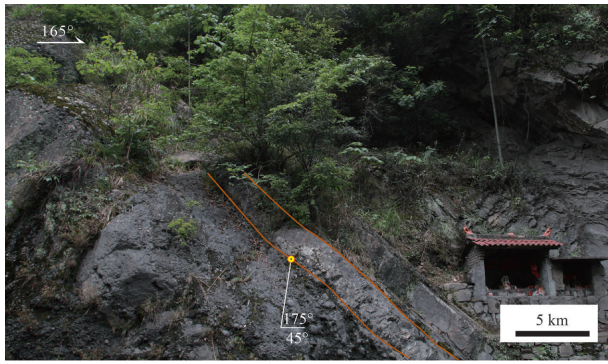


图9 四川盆地北缘须家河组底部砾岩  
Fig. 9 Conglomerate at the bottom of Xujiache Formation on the northern margin of Sichuan basin

右,中侏罗统遂宁组产状为 $185^{\circ}\angle 25^{\circ}$ ,上侏罗统蓬莱镇组地层产状变为 $169^{\circ}\angle 10^{\circ}$ ,至蓬莱镇组顶部,地层倾角保持在 $7^{\circ}$ 左右,倾向南,下白垩统城墙岩组地层倾角基本保持在 $5^{\circ}$ 左右(图8)。

结合区域地质,笔者对该区地层构造格架进行了构建(图8)。图8可以看出,上三叠统须家河组出现生长地层,前须家河组可归为前生长地层,随着断层相关褶皱的发育,须家河组发育由活动轴面与不活动轴面限定的生长三角(图8)。中侏罗统遂宁组发育生长地层,前遂宁组可以看作这期生长地层的前生长地层。根据野外获得的地层产状基本可以肯定,该区生长地层生长几何形态不是典型的翼部旋转或翼部迁移模式,受两者共同作用(图8)。生长地层第一次出现于上三叠统须家河组,这一时期形成的生长地层可能受控于印支运动;遂宁组时期,构造作用再次加强,形成燕山期生长地层,这一期的生长地层时间持续到侏罗纪结束;早白垩世基本保持构造寂静状态,地层产状未发生明显变化。

#### 4.3.2 四川盆地北缘启动时间

笔者观察并采集上三叠统须家河组样品 YP150522-1-1 ( $32^{\circ}16'28.9''$  N,  $106^{\circ}32'07.6''$  E),长石英砂岩,地层产状 $183^{\circ}\angle 30^{\circ}$ ,采样点北侧约100 m处可见须家河组底部砾岩(图9),这套砾岩标志性明显,在野外有助于须家河组的识别。本次碎屑锆石测点100个,以谐和度90%遴选锆石U-Pb年龄数据,获得有效测点数据96个。电子版表2列出了所有测点数据,并绘制成谐和线图(图10),但频谱概率和年龄直方图(图10)中只统计了有效数据。在96个有效点中有3个较为年轻的锆石,分别为测点 P02 ( $216\pm 2.7$ ) Ma、P73 ( $218\pm 3.3$ ) Ma 和 P87 ( $223\pm 2.6$ ) Ma,从测试结果(电子版表2)来看,这3个测点U含量为 $135\times 10^{-6}\sim 617\times 10^{-6}$ ,Th/U比值为 $0.47\sim 0.84$ ,远大于0.1,锆石CL图中环带清晰,为岩浆锆石。

将上三叠统须家河组获碎屑锆石与前人(Liu et al., 2017)上侏罗统遂宁组获得的碎屑锆石成分对比,缺少遂宁组年轻锆石成分(如样品T-J3SN-50.1的 $(165.3\pm 2.8)$  Ma等)(Liu et al., 2017),这样从碎屑锆石年龄成分上而言,进一步确定了本文样品为上三叠统须家河组。本文获得的最年轻锆石年龄基本可以限定须家河组沉积年龄的底部界限为 $(216\pm 2.7)$  Ma,故而笔者推测印支运动在四川盆地北缘的响应时间应该为 $(216\pm 2.7)$  Ma左右。

## 5 中央造山带印支期盆山耦合

中央造山带地区经历了多期构造演化事件,中新元古代北秦岭地体和华北板块拼贴,宽坪洋关闭,形成了宽坪缝合带,宽坪缝合带蛇绿岩年龄主要为 $ca.1.44\sim 0.94$  Ga (Diwu et al., 2010; Dong et

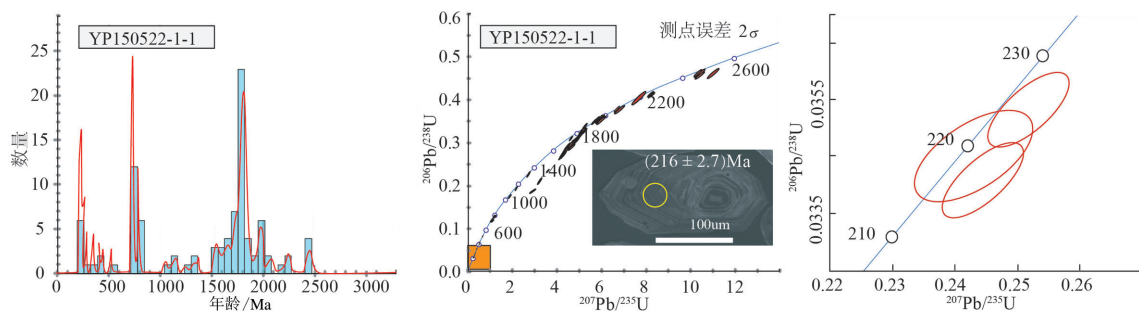


图10 四川盆地北缘生长地层最年轻碎屑锆石U-Pb年龄

Fig. 10 The youngest zircon U-Pb age of the growth strata on the northern margin of Sichuan basin



al., 2013), 俯冲碰撞花岗岩体年龄为 ca. 0.98 ~ 0.90 Ga (Wang et al., 1998; Pei et al., 2007; Wang et al., 2013)。早古生代商丹洋闭合, 形成商丹缝合带, 商丹缝合带蛇绿岩年龄为 ca. 534 ~ 457 Ma (Pei et al., 2005; 2007; Chen et al., 2008; Dong et al., 2011), 俯冲碰撞花岗岩为 ca. 514 ~ 402 Ma (Xue et al., 1996; Chen et al., 2008; Wang et al., 2009; Dong et al., 2011)。商丹洋最早可能在早泥盆世关闭, 形成早古生代北秦岭造山带 (Dong et al., 2011)。Dong et al. (2013) 通过碎屑锆石的研究认为商丹洋闭合之后, 北秦岭造山带和南秦岭碰撞拼贴, 北秦岭强烈造山, 南秦岭转化为前陆构造环境。

考虑到现今勉略带沿线一系列基性-超基性岩石紧邻中央造山带南缘分布, 且一系列三叠纪岩浆活动大部分发育在勉略带以北等基础地质现象, 结合深部构造剖面符合古特提斯洋壳向北俯冲特征这一证据 (图 4), 本文暂以古特提斯洋壳向北俯冲作为基础地质模型讨论 (表 1, 图 2)。随着古特提斯洋壳向北俯冲 (Zhang et al., 2016, 2017), 北秦岭造山带不断受到挤压, 持续隆升造山。随着不断向北挤压汇聚, 南秦岭地区受到挤压, 海水退去, 到早三叠世时仅在徽成盆地地区形成下三叠统西坡组和任家沟组沉积, 其碎屑锆石中含有的北秦岭早古生代锆石年龄说明北秦岭地区在此时已经发生了较大规模的抬升剥露 (图 11)。

自晚三叠世开始, 古特提斯洋在三叠纪开始关闭, 大洋板块不断向南秦岭造山带之下俯冲 (张义平等, 2015a, 2015b), 依次发生点式和面式碰撞。构造上, 印支期中央造山带中部为南北向挤压应力

(图 11, 图 12), 古特提斯洋的消亡伴随南秦岭造山带挤压褶皱, 北秦岭造山带早期构造活化, 如徽成盆地北缘丹阳-凤县断裂的左行走滑导致糜署岭岩体和太白山岩体呈  $\sigma$  形态产出 (图 12) 等。在南秦岭地区, 凤县东侧逆冲双重构造显示出自北东向南西的逆冲褶皱和断层 (图 12); 徽成盆地南侧至勉略缝合带之间, 形成了以志留系为核部, 泥盆系和石炭系为翼部的背斜构造 (图 12)。

印支期盆山耦合作用在鄂尔多斯盆地表现强烈, 为造山带后缘前陆地区 (图 11, 图 12), 伴随一系列沉积学证据, 如上三叠统延长组生长地层 (ca. 233 Ma) (图 6) 和延长组内火山凝灰岩 (ca. 233 Ma, 王多云等, 2014)。鄂尔多斯南缘广泛发育角度不整合 (图 3), 三叠系层内、三叠系和侏罗系之间, 沉积地层表现为平行不整合或角度不整合接触。

四川盆地北缘的汉南-米仓山地区在晚三叠世虽然受到挤压褶皱, 但还未隆起剥蚀 (张义平, 2018), 勉略缝合带以南地区处于勉略缝合带前陆地区 (董云鹏等, 1995; 刘少峰等, 2008; Liu et al., 2015)。晚三叠世发育须家河组底部砾岩沉积层 (图 9), 须家河组内出现生长地层 (ca. 216 Ma) (图 8), 且在多地不整合于中三叠统及更老地层之上 (图 3), Liu et al. (2015) 也报道了南大巴山地区镇巴断裂多处三叠统或下侏罗统地层角度不整合于下伏地层之上 (Liu et al., 2015)。

## 6 结 论

本文明确了印支运动在鄂尔多斯盆地和四川盆地的启动时间。鄂尔多斯盆地南缘上三叠统延

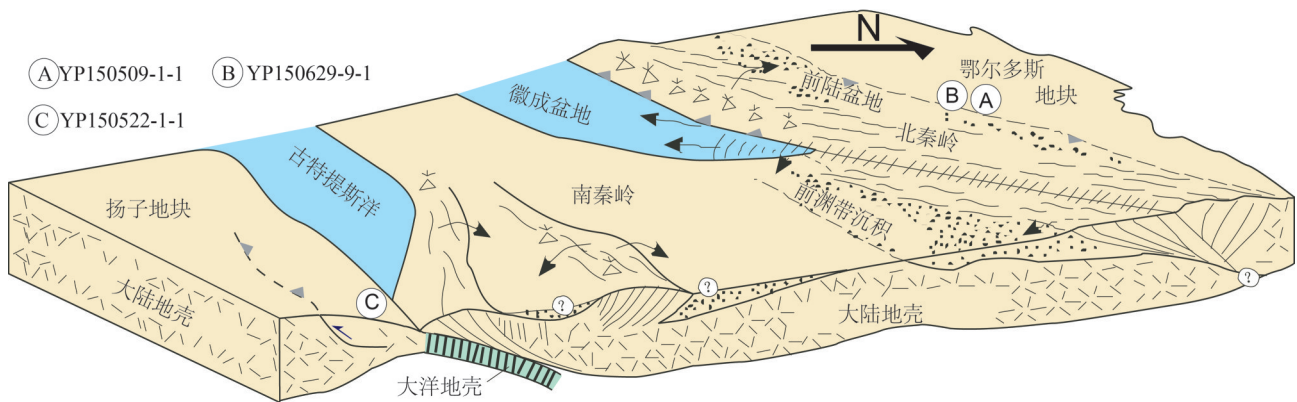


图 11 印支期大地构造环境

Fig. 11 Tectonic setting of the study area in the Indosinian period

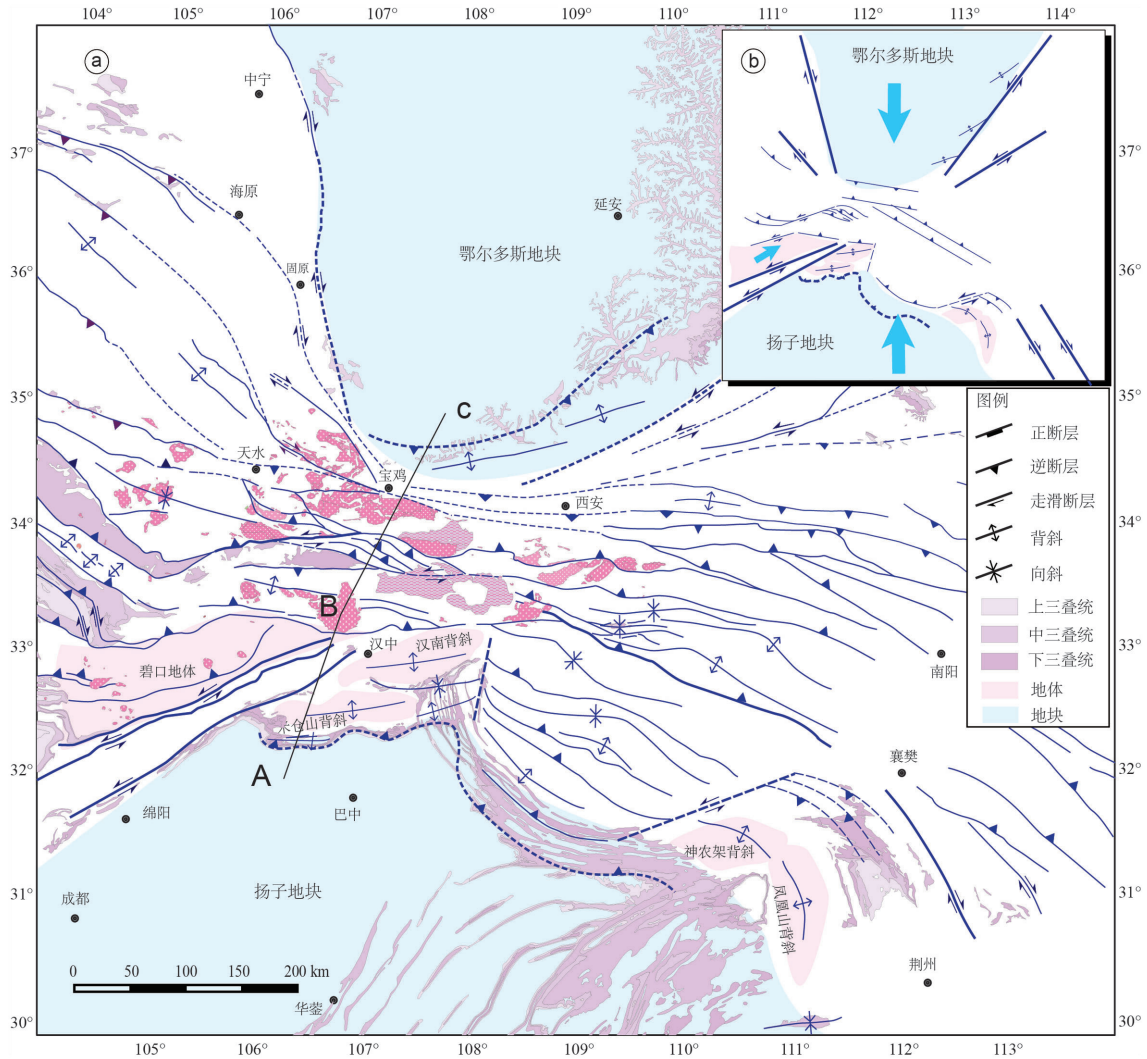


图12 印支期盆山构造体系及三叠纪盆地分布  
Fig. 12 Structure system and Triassic basins in the Indosinian period

长组生长地层最年轻碎屑锆石年龄为(233±3.4) Ma,与同层位凝灰岩时代(ca. 230Ma)一致,据此限定印支构造事件在鄂尔多斯盆地启动时间为233 Ma左右。四川盆地北缘上三叠统须家河组生长地层最年轻锆石年龄时代为(216±2.7)Ma左右,与中侏罗统遂宁组碎屑锆石年龄和构造位置作对比,据此限定印支构造事件在四川盆地的启动时间约为216 Ma。此基础上,本文讨论了印支期中央造山带盆山耦合关系。

**致谢:**本文在完成的过程中,参与过野外工作的有李江瑜、史建杰、张艳国、罗英杰等;室内工作得到王亚莹和苗慧心等人的帮助,在此一并致谢。

### References

Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: Limiting conditions from statistics and numerical simulation[J]. *Chemical Geology*, 216(3/4): 249–270.

Bian Qiantao, Luo Xiaoquan, Li Dihui, Zhao Dasheng, Chen Haihong, Xu Guizhong, Chang Chengfa, and Gao Yanlin. 2001. Geochemistry and formation environment of the Buqingshan ophiolite complexes, Qinghai Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 45–55(in Chinese with English abstract).

Black L P, Kamo S L, Allen C M, Aleinikoff J N, Davis D W, Korsch R J. 2003. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 200(1/2): 155–170.

Chang E Z. 1996. Collision orogen between north and south china and

- its eastern extension in the Korean peninsula[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 13(3/5): 267–277.
- Chang Yuan, Xu Changhai, Peter W.Reiners, and Zhou Zuyi. 2010. The exhumation evolution of the Micangshan Hanan uplift since Cretaceous: Evidence from apatite (U–Th)/He dating[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 53(4): 912–919(in Chinese with English abstract).
- Chen Gang, Wang Zhiwei, Bai Guojuan, Sun Jianbo, Zhang Huiruo, Li Xiangdong. 2007. Meso–Cenozoic peak–age events and their tectono–sedimentary response in the Ordos basin[J]. *Geology in China*, 34(3): 375–383.
- Chen J L, Xu X Y, Wang Z Q, Yan Q R, Wang H L, Zeng Z X, and Li P. 2008. Geological features and SHRIMP U–Pb zircon age of the Yanwan–Yinggezui ophiolitic melange in the Taibai area, West Qinling, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27: 500–509.
- Chen Xuanhua, Li Jiangyu, Dong Shuwen, Shi Wei, Bai Yanfei, Zhang Yiping, and Ding Weicui. 2019. Tectonic Deformation of Jurassic Ningwu–Jingle Basin and its implication for the beginning of Yanshanian Orogeny in Central North China Craton[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 43(3): 389–408(in Chinese with English abstract).
- Diwu C R, Sun Y, Liu L, Zhang C L, and Wang H L. 2010. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neoproterozoic N–MORB[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26: 2025–2038.
- Dong Yunpeng, Zhou Dingwu, and Liu Liang. 1995. Deformation and evolution of Songshugou ophiolite in Eastern Qinling[J]. *Northwest Geoscience*, 2:37–47(in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Zhang G W, Neubauer F, Liu X, Genser, J, and Hauzenberger C. 2011. Tectonic evolution of the Qinling Orogen, China: Review and synthesis[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 213–237.
- Dong Y P, Liu, X M, Neubauer F, Zhang G W, Tao N, Zhang, Y G, Zhang X N, Li W. 2013. Timing of Paleozoic amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from detrital zircon U–Pb ages[J]. *Tectonophysics*, 586: 173–191.
- Dong Y P, and Santosh M. 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China[J]. *Gondwana Research*, 29(1): 1–40.
- Du Siqing, Wei Xiangui. 1998. The NE–SW Nappe tectonic of superposed E–W structure in Hannan–Micangshan Area[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 3: 367–374(in Chinese with English abstract).
- Feng Q L, Du Y S, Yin H F, Sheng J H, Xu J F. 1996. Carboniferous radiolaria fauna firstly discovered in Mian–Lue ophiolitic melange belt of south Qinling Mountains[J]. *Science in China (Series D)*, 39: 87–91.
- Gao Fei. 2009. Meso–Cenozoic Structural Characteristics and Its Evolution and Reformation in Weibei Area[D]. Xi'an: Northwest University(in Chinese with English abstract).
- Gilder S A, Leloup P H, Courtillot V. 1999. Tectonic evolution of tancheng–lujiang (tan–lu) fault via middle triassic to early cenozoic paleomagnetic data[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104(15): 365–375.
- Guan Shuwei, Li Benliang, He Dengfa, Wang Xin, and Supp J. 2007. Geometrical Methods of complicated structural analysis and their application[J]. *Chinese Journal of Geology*, 42(4):722–739(in Chinese with English abstract).
- Guo P, Liu C, Wang J, Deng Y, Mao G, and Wang W. 2017. Detrital–zircon geochronology of the Jurassic coal–bearing strata in the western Ordos Basin, North China: Evidences for multi–cycle sedimentation[J]. *Geoscience Frontiers*, 9(6): 136–154.
- Huang Jiqing. 1960. The Main Characteristics of the Structure of China:Preliminary Conclusions[J]. *Scientia Sinica*, 9(4): 492–544 (in Chinese with English edition).
- He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, Zhang Chaojun, Meng Qinren, and Shi Xin. 2005. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 26(1):64–77(in Chinese with English abstract).
- Jahn B M, Fan Q, Yang J J, and Henin O. 2003. Petrogenesis of the maowu pyroxenite–eclogite body from the uhp metamorphic terrane of Dabieshan: Chemical and isotopic constraints[J]. *Lithos*, 70(3): 243–267.
- Jahn B M, Chen B. 2007. Dabieshan uhp metamorphic terrane: sr–nd–pb isotopic constraint to pre–metamorphic subduction polarity[J]. *International Geology Review*, 49(1): 14–29.
- Jiang Chunfa. 1994. Main geologic–tectonic characteristics of the Central China Orogen[C]// *Corpus of Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences*(in Chinese).
- Lan H Y, Li S Z, Li X Y, Wang P C, Somerville I D, Guo L L, Wang Q, Guo R H, Zhang J, Tao J L. 2017. Early mesozoic intracontinental deformation in the eastern North China block: Implication for an indentation model of North China to south China blocks[J]. *Geological Journal*, 52(S1): 8–21.
- Li S G, Hou Z H, Yang Y C, Sun W D, Zhang G W, Li Q L. 2004. Timing and geochemistry characters of the Sanchazi magmatic arc in Mianlue tectonic zone, South Qinling[J]. *Science in China (Series D)*, 47: 317–328.
- Li Fengjie, Zheng Rongcai, and Jiang Bin. 2008. Main basin and mountain coupling systems and their characteristics in China continent[J]. *Lithologic Reservoirs*, 20(4):26–32(in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, Zhang Yongqing, Li Huimin. 2009. Research on the zircon U–Pb isotopic age by laser ablation Multi–Receiver Plasma Mass Spectrometry (LA–MC–ICPMS) [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(1): 600–601(in Chinese).
- Li J H, Zhang Y, Dong S, Shi W. 2013. Structural and geochronological constraints on the Mesozoic tectonic evolution of



- the North Dabashan zone, South Qinling, central China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64(64): 99–114.
- Li S Z, Jahn B M, Zhao S, Dai L, Li X, Suo Y. 2017. Triassic southeastward subduction of north China block to south China block: insights from new geological, geophysical and geochemical data[J]. *Earth–Science Reviews*, 166: 270–285.
- Liu S F, Li W, Wang K, Qian T, Jiang C. 2015. Late Mesozoic development of the southern Qinling–Dabieshan foreland fold–thrust belt, Central China, and its role in continent–continent collision[J]. *Tectonophysics*, 644: 220–234.
- Liu Shaofeng, Zhang Guowei. 2008. Evolution and Geodynamics of basin/mountain systems in East Qinling–Dabieshan and its adjacent regions, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 1943–1960(in Chinese with English abstract).
- Liu G, Dong S W, Chen X H, Cui J J. 2017. Detrital zircon U–Pb dating of Suining Formation sandstone from the Daba Mountains, northeastern Sichuan and its stratigraphic implications[J]. *Palaeoworld*, 26(2): 380–395.
- Ludwig K R. 2003. User’s Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4a, Berkeley, CA.
- Leiss Otto. 1990. New interpretations of geodynamics and orogeny as a result of synorogenic Cretaceous deposits within the Northern Calcareous Alps [J]. *Geologische Rundschau*, 79(1): 47–84.
- Pei X Z, Ding S P, Li Z C, Liu Z Q, Li GY, Li R B, Wang F, Li F J. 2007. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of the Gabbro from the Guanzizhen Ophiolite in the North Margin of the Western Qinling and its geologic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81: 1550–1561.
- Qin J F, Lai S C, Li Y J. 2008. Slab breakoff model for the Triassic post–collisional adakitic granitoids in the Qinling Orogen, Central China: Zircon U–Pb ages, geochemistry, and Sr–Nd–Pb isotopic constraints[J]. *International Geology Review* 50: 1080–1104.
- Qiu Xinwei. 2008. Characteristics and Sedimentary Environment of Tuff in Yanchang Formation of Ordos Basin[D]. Xi’an: Northwest University(in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun. 2004. Some problems on the Kunlun–Qinling orogenic system[J]. *Northwest Geology*, 37(1):1–5(in Chinese with English abstract).
- Shi Jianchao. 2010. The Mesozoic–Cenozoic Structural Characteristics and Its Evolution in Southern Ordos Region[D]. Xi’an: Northwest University(in Chinese with English abstract).
- Shi W, Zhang Y Q, Dong S W, Hu J M, Wiesinger M, Ratschbacher L, Jonckheere R, Li J H, Tian M, Chen H, Wu G L, Qu H J, Ma L C, Li H L. 2012. Intra–continental Dabashan orocline southwestern Qinling central China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46: 20–38.
- Shi W, Dong S W, Ratschbacher L, Tian M, Li J H, Wu G L. 2013. Meso–Cenozoic tectonic evolution of the Dangyang Basin north–central Yangtze craton central China[J]. *International Geology Review*, 55 (3): 382–396.
- Suppe J, Chou G T, Hook S C. 1992. Rates of folding and faulting determined from growth strata[C]//McClay K R(ed.). *Thrust Tectonics*. Chapman & Hall, New York. 105–121.
- Tian Yuntao, Zhu Chuanqing, Xu Ming, Rao Song, Barry P. Kohn, and Hu Shengbiao. 2010. Exhumation history of the Micangshan Hannan Dome since Cretaceous and its tectonic significance: evidence from Apatite fission Track analysis[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 53(4):920–930(in Chinese with English abstract).
- Wang Duoyun, Xin Bushe, Yang Hua, Fu Jinhua, Yao Jingli, and Zhang Yu. 2004. Zircon SHRIMP U–Pb age and geological implications of tuff at the bottom of Chang–7 Member of Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. *Science China: Earth Science*, 10: 2160–2171(in Chinese).
- Wang X, Wang T, Haapala I. 2008. P–T conditions of crystallization and origin of plagioclase–mantled alkali feldspar megacrysts in the Mesozoic granitoids in the Qinling orogen (China) [J]. *Lithos*, 103: 289–308.
- Wang X, Wang T, Zhang C. 2013. Neoproterozoic, Paleozoic, and Mesozoic granitoid magmatism in the Qinling Orogen, China: Constraints on orogenic process[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 72(4): 129–151.
- Wang T, Wang X X, Tian W, Zhang C L, Li W P, Li S. 2009. North Qinling Paleozoic granite associations and their variation in space and time: Implications for orogenic processes in the orogens of central China[J]. *Science in China (Series D)* 52: 1359–1384.
- Xue F, Kröner A, Reischmann T, Lerch M F. 1996. Palaeozoic pre– and post–collision calc–alkaline magmatism in the Qinling orogenic belt, central China, as documented by zircon ages on granitoid rocks[J]. *Journal of the Geological Society*, 153: 409–417.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Huaqi, Wang Ruirui, and Cai Zhihui. 2012. Indosinian collision–orogenic system of Chinese continent and its orogenic mechanism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(6): 1697–1709(in Chinese with English abstract).
- Yamamoto H, Terabayashi M, Okura H, Matsui T, Kaneko Y, and Ishikawa M. 2013. Northward extrusion of the ultrahigh–pressure units in the southern dabe metamorphic belt, east–central china[J]. *Island Arc*, 22(1): 51–62.
- Yin A, Nie S Y. 1993. An indentation model for the north and south china collision and the development of the tan–lu and honam fault systems, eastern asia[J]. *Tectonics*, 12(4): 801–813.
- Zhao T, Zhu G, Lin S, Wang H. 2016. Indentation–induced tearing of a subducting continent: evidence from the tan–lu fault zone, east china[J]. *Earth–Science Reviews*, 152: 14–36.
- Zhang Yuanqing, Qian Xianglin. 2001. Concepts and Mechanism of Basin–Range Coupling[J]. *Geology in China*, 28(3): 47(in Chinese).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001.

- Qingling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 1-855(in Chinese).
- Zhang Jin, Ma Zongjin, Ren Wenjun. 2004. Thinking on the present research of Basin-Mountain coupling[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 26(2):169-175(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yiping, Xiao Wenxia, Zhang Jin, Chen Xuanhua, Zhang Beihang, Zhao Heng, Wang Yannan, Li Jiangyu, Shi Jianjie. 2015. A discussion on the provenance and age of Xiangshan Group in Eastern Hexi Corridor[J]. *Geology in China*, 42(6): 1774-1792(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yiping, Zhang Jin, Chen Bihe, Wang Zongxiu, Zhang Beihang, Zhao Heng. 2015b. Geochronology of Baimashan granitic composite batholith of Hunan Province and its constraints on the timing of regional deformation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(1): 1-17(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y P, Chen X H, Zhang J. 2016. Geochronology and tectonic implications of diabase intruded into Xiangshan Group in the Southeastern Alxa Block, NW China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 90(s1): 88-91.
- Zhang Y P, Zhang J, Chen X H, Wang Y N, Zhao H, Nie F J, Zhang B H. 2017. Late Palaeozoic tectonic setting of the southern Alxa Block, NW China: Constrained by age and composition of diabase[J]. *International Geology Review*, 59(8): 1028-1046.
- Zhang Yiping, 2018. Mesozoic Range-basin Coupling and Tectonic Evolution of the Mid-segment of the Central China Orogen [D]. Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- 化[J]. *西北地质科学*, 2:37-47.
- 高飞. 2009. 渭北地区中新世构造特征及其演化和改造[D]. 西安: 西北大学.
- 管树巍, 李本亮, 何登发, 汪新, Suppe J. 2007. 复杂构造解析中的几何学方法与应用[J]. *地质科学*, 42(4):722-739.
- 黄汲清. 1960. 中国地质构造基本特征的初步总结[J]. *地质学报*, 1: 3-137.
- 何登发, 贾承造, 李德生, 张朝军, 孟庆任, 石昕. 2005. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. *石油与天然气地质*, 26(1):64-77.
- 姜春发. 1994. 中央造山带主要地质构造特征[C]// 中国地质科学院地质研究所文集.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J]. *矿物学报*, 29(1): 600-601.
- 李凤杰, 郑荣才, 蒋斌. 2008. 中国大陆主要盆山耦合系统及其特征[J]. *岩性油气藏*, 20(4):26-32.
- 刘少峰, 张国伟. 2008. 东秦岭—大别山及邻区盆—山系统演化与动力学[J]. *地质通报*, 27(12):1943-1960.
- 邱欣卫. 2008. 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层特征和形成环境[D]. 西北大学. 1-112.
- 任纪舜. 2004. 昆仑—秦岭造山系的几个问题[J]. *西北地质*, 37(1):1-5.
- 时建超. 2010. 鄂尔多斯南缘中新世构造特征及演化[D]. 西安: 西北大学.
- 田云涛, 朱传庆, 徐明, 饶松, Barry, Kohn P. 2010. 白垩纪以来米仓山—汉南穹隆剥蚀过程及其构造意义: 磷灰石裂变径迹的证据[J]. *地球物理学报*, 53(4):920-930.
- 王多云, 辛补社, 杨华, 付金华, 姚涪利, 张瑜. 2014. 鄂尔多斯盆地延长组长7底部凝灰岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及地质意义[J]. *中国科学:地球科学*, 10: 2160-2171.
- 许志琴, 杨经绥, 李化启, 王瑞瑞, 蔡志慧. 2012. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. *岩石学报*, 28(6): 1697-1709.
- 张原庆, 钱祥麟. 2001. 盆山耦合概念及机制[J]. *中国地质*, 28(3): 47.
- 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, 1-855.
- 张进, 马宗晋, 任文军. 2004. 对盆山耦合研究的新看法[J]. *石油实验地质*, 26(2):169-175.
- 张义平, 肖文霞, 张进, 陈宣华, 张北航, 赵衡, 王艳楠, 李江瑜, 史建杰. 2015. 河西走廊东部香山群时代和物源讨论[J]. *中国地质*, 2015a, 42(6):1774-1792.
- 张义平, 张进, 陈必河, 王宗秀, 张北航, 赵衡, 2015b. 湖南白马山复式花岗岩基年代学及对区域构造变形时间的约束[J]. *地质学报*, 89(1): 1-17.
- 张义平, 2018. 中央造山带中部中生代盆山耦合与构造演化[D]. 北京: 中国地质科学院.

## 附中文参考文献

- 边千韬, 罗小全, 李涤微, 赵大升, 陈海泓, 徐贵忠, 常承法, 高延林. 2001. 青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J]. *地质学报*, 75(1): 45-55.
- 常远, 许长海, Peter W.Reiners, 周祖翼. 2010. 米仓山—汉南隆起白垩纪以来的剥露作用: 磷灰石(U-Th)/He年龄记录[J]. *地球物理学报*, 53(4): 912-919.
- 陈刚, 王志维, 白国娟, 孙建博, 章辉若, 李向东. 鄂尔多斯盆地中新世代峰值年龄事件及其沉积-构造响应[J]. *中国地质*, 2007, 34(3): 375-383.
- 陈宣华, 李江瑜, 董树文, 施炜, 白彦飞, 张义平, 丁伟翠. 2019. 华北克拉通中部宁武—静乐盆地侏罗纪构造变形与燕山期造山事件的启动[J]. *大地构造与成矿学*, 43(3): 389-408.
- 杜思清, 魏显贵. 1998. 汉南—米仓山区叠加东西向隆坳的北东向推覆构造[J]. *成都理工学院学报*, 3: 367-374.
- 董云鹏, 周鼎武, 刘良. 1995. 东秦岭松树沟蛇绿岩构造变形及其演

附表2 鄂尔多斯盆地南缘和四川盆地北缘生长地层最年轻碎屑锆石 U-Pb 同位素测试数据  
Table 2 Zircon U-Pb isotope data of the youngest zircon U-Pb ages of the growth strata from the southern margin of Ordos basin and the northern margin of Sichuan basin

测点号	含量/10 <sup>6</sup>		同位素含量比值				表面年龄/Ma				谐和度/%					
	Th	U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>207</sup> Pb	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U						
YPI50509-1-1																
P01	755.52	1177.5	0.16	0.11	0.46	0.16	0	10.01	0.85	2443.52	16.2	2435.72	10.49	2426.38	32.39	99
P02	403.48	1056.2	0.06	0	0.48	0.01	0.06	0.48	0.51	435.23	-0.93	400.07	5.43	393.83	3.88	98
P03	593.25	1153.7	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0.05	0.27	316.73	44.44	241.82	4.09	234.43	2.59	96
P04	305.18	868.88	0.12	0	5.65	0.07	0.35	0.12	0.46	1914.5	15.13	1923.38	10.19	1928.89	15.22	99
P05	1213.7	1241.8	0.05	0	0.4	0.01	0.05	0.05	0.4	388.94	29.63	344.55	3.87	339.17	3.16	98
P06	624.45	1297.6	0.12	0	6.06	0.05	0.36	0.12	0.63	1987.35	7.4	1983.81	7.32	1977.97	14.82	99
P08	399.2	540.63	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0.05	0.27	301.91	2.78	242.9	4.01	236.42	2.67	97
P09	339.31	263.67	0.14	0	8.29	0.08	0.42	0.14	1.68	2262.66	9.41	2263.51	8.75	2261.48	15.91	99
P10	241.04	346.32	0.17	0	10.9	0.11	0.47	0.17	0.92	2536.11	9.41	2514.6	9.25	2485.47	20.7	98
P11	76.44	187.13	0.17	0	10.87	0.11	0.47	0.17	0.53	2521.3	8.03	2512.06	9.78	2500.41	23.58	99
P12	79.28	152.48	0.1	0	4.18	0.05	0.3	0.1	0.68	1677.78	14.36	1671.05	9.21	1673	15.62	99
P13	52.99	46.86	0.17	0	10.86	0.13	0.47	0.17	1.48	2536.11	13.12	2510.9	11.43	2479.59	26.61	98
P14	73.98	129.12	0.15	0	9.38	0.11	0.44	0.15	0.75	2383.34	12.19	2375.49	10.71	2367.26	23.53	99
P15	290.11	260.71	0.13	0	6.97	0.07	0.38	0.13	1.36	2135.49	15.12	2107.82	9.44	2082	27.8	98
P16	118.09	138.4	0.05	0	0.32	0.01	0.04	0.05	1.12	364.87	51.85	279.9	6.4	270.34	4.27	96
P17	751.93	491.8	0.12	0	6.11	0.08	0.36	0.12	1.99	1987.04	12.19	1992.34	10.97	1996.77	21.51	99
P18	50.36	69.31	0.16	0	10.08	0.12	0.46	0.16	0.95	2457.09	14.5	2442.53	11.08	2424.15	26.93	99
P19	78.99	108.07	0.05	0	0.36	0.01	0.05	0.05	0.96	361.17	66.66	311.44	6.67	307.01	4.5	98
P21	66.04	102.09	0.16	0	10.11	0.13	0.45	0.16	0.84	2466.35	13.43	2444.84	11.89	2417.27	26.9	98
P22	125.99	280.65	0.12	0	5.7	0.13	0.34	0.12	0.59	1946.61	8.33	1930.81	19.64	1910.5	33.87	98
P23	66.62	119.83	0.05	0	0.3	0.01	0.04	0.05	0.73	394.5	64.81	269.99	6.1	257.21	3.32	95
P24	85.41	94.91	0.05	0	0.34	0.01	0.05	0.05	1.12	342.65	91.66	295.24	6.84	289.3	4.01	97
P25	172.66	200.48	0.11	0	5	0.05	0.32	0.11	1.13	1831.49	11.11	1819.03	8.72	1808.15	17.6	99
P26	66.92	219.84	0.11	0	5.04	0.06	0.33	0.11	0.4	1824.38	10.65	1826.57	9.89	1827.42	19.3	99
P28	205.99	318.28	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0.05	0.84	372.28	105.6	261.97	8.31	251.83	4.17	96
P29	91.54	79.02	0.17	0	10.83	0.11	0.47	0.17	1.51	2525	11.11	2508.58	9.7	2486.64	21.2	99
P30	107.32	170.58	0.11	0	5.15	0.09	0.33	0.11	0.82	1855.25	16.51	1843.67	15.4	1831.51	25.8	99
P31	295.43	493.48	0.06	0	0.36	0.01	0.05	0.06	0.79	455.6	48.14	315.42	5.52	298.21	2.87	94
P32	119.67	265.06	0.18	0	12.27	0.1	0.49	0.18	0.59	2633.4	9.57	2624.96	8.02	2586.82	17.03	98



续附表2

测点号	含量/ $10^{-6}$				同位素含量比值								表面年龄/Ma				谐和度/%	
	Th	U	$^{206}\text{Pb}/^{200}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$			
P33	57.74	91.94	0.16	0	9.97	0.11	0.46	0.16	0	9.97	0.83	2455.55	11.11	2432.36	10.48	2418.05	23.93	99
P34	117.21	238.45	0.11	0	5.03	0.06	0.32	0.11	0	5.03	0.65	1842.6	14.82	1823.81	9.68	1807.24	17.33	99
P35	304.59	541.93	0.18	0	12.4	0.16	0.5	0.18	0	12.4	0.67	2666.36	9.41	2635.12	11.89	2595.01	29.07	98
P36	98.64	208.57	0.14	0	8.3	0.12	0.42	0.14	0	8.3	0.63	2261.12	11.11	2264.34	12.9	2268.12	26.62	99
P37	142.11	261.03	0.11	0	5.13	0.06	0.33	0.11	0	5.13	0.72	1933.34	12.96	1841.25	10.12	1817.21	17.25	98
P38	140.71	202.83	0.15	0	9.24	0.1	0.44	0.15	0	9.24	0.92	2358.34	10.8	2362.46	9.78	2367.49	22.37	99
P40	23.44	19.09	0.11	0	5.06	0.09	0.32	0.11	0	5.06	1.64	1854.02	31.49	1829.69	1.5	1812.18	19.93	99
P41	2.34	57.49	0.11	0	4.98	0.08	0.32	0.11	0	4.98	0.05	1833.34	18.52	1816.39	13.4	1810.31	21.65	99
P43	175.17	233.92	0.13	0	6.9	0.11	0.37	0.13	0	6.9	0.84	2143.52	21.61	2098.71	13.97	2052.67	23.24	97
P44	77.42	45.24	0.16	0	10.17	0.13	0.46	0.16	0	10.2	1.89	2470.05	12.35	2450.53	11.88	2426.15	22.92	98
P45	23.68	223.25	0.11	0	5.07	0.06	0.33	0.11	0	5.07	0.11	1850.01	9.57	1831.36	9.32	1815.56	17.27	99
P48	17.32	26.12	0.06	0	0.31	0.01	0.04	0.06	0	0.31	0.6	475.97	105.6	276.32	11.3	253.7	2.93	91
P49	86.01	36.81	0.11	0	5.04	0.05	0.32	0.11	0	5.04	1.95	1843.52	12.96	1826.18	8.4	1812.31	15.4	99
P51	234.84	327.73	0.05	0	0.32	0	0.04	0.05	0	0.32	0.65	320.43	25.92	281.4	3.44	277.03	3.05	98
P52	15.28	17.93	0.13	0	6.8	0.1	0.38	0.13	0	6.8	0.83	2083.02	18.98	2085.35	13.24	2088.77	22.81	99
P53	31.77	33.23	0.12	0	5.71	0.1	0.35	0.12	0	5.71	0.96	1954.64	16.67	1932.32	14.44	1914.21	28.83	99
P54	36.79	69.19	0.13	0	6.12	0.09	0.36	0.13	0	6.12	0.57	2028.7	13.12	1993.65	12.94	1961.17	25.79	98
P55	85.01	194.81	0.06	0	0.69	0.02	0.08	0.06	0	0.69	0.48	650.02	37.04	530.9	11.6	501.6	8.77	94
P56	71.94	111.16	0.16	0	10.16	0.1	0.46	0.16	0	10.2	0.75	2475.92	9.57	2449.04	8.98	2418.27	19.34	98
P57	18.02	21.34	0.15	0	9.32	0.14	0.44	0.15	0	9.32	1.01	2372.23	23.46	2369.87	13.34	2370.6	21.38	99
P58	35.73	67.49	0.11	0	5.16	0.09	0.33	0.11	0	5.16	0.65	1879.63	22.06	1846.61	15.2	1816.17	21.22	98
P59	499.54	503.44	0.06	0	0.39	0.01	0.05	0.06	0	0.39	1.24	433.38	33.33	337.86	4.93	325.39	3.52	96
P60	125.43	154.84	0.16	0	10.14	0.15	0.45	0.16	0	10.1	1.04	2471.29	12.35	2447.31	13.81	2417.06	29.08	98
P62	37.05	36.69	0.12	0	5.64	0.08	0.34	0.12	0	5.64	1.35	1961.12	21.29	1922.7	11.84	1890.29	21.63	98
P63	399.62	776.53	0.15	0	8.51	0.15	0.42	0.15	0	8.51	0.69	2299.08	10.8	2286.65	15.54	2270.29	30.53	99
P64	75.24	253.32	0.11	0	5.1	0.09	0.33	0.11	0	5.1	0.39	1842.6	14.66	1836.8	14.76	1831.95	26.53	99
P65	295.09	284.68	0.11	0	5.11	0.08	0.32	0.11	0	5.11	1.39	1872.23	14.82	1838.09	13.14	1810.94	25.95	98
P66	172.14	379.8	0.12	0	6.08	0.1	0.36	0.12	0	6.08	0.61	2020.37	14.81	1986.85	14.37	1958.89	30.71	98
P67	96.92	297.92	0.11	0	5.04	0.31	0.32	0.11	0	5.04	0.44	1850.01	24.69	1826.73	51.55	1804.34	87.89	98
P68	56.97	100.47	0.05	0	0.33	0.01	0.04	0.05	0	0.33	0.77	466.71	75.92	285.85	9.49	272.24	5.3	95

续附表2

测点号	含量/ $10^{-6}$		同位素含量比值						表面年龄/Ma						谱和度/%		
	Th U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
	Th	U	l	$\sigma$	l	$\sigma$	l	$\sigma$	l	$\sigma$	l	$\sigma$	l	$\sigma$			
P69	50.46	183	0	6.84	0.14	0.39	0.13	0	6.84	0.37	2072.22	20.22	2090.62	18.43	2108.93	24.59	99
P70	206.91	693.36	0	6.02	0.09	0.35	0.12	0	6.02	0.41	2012.96	18.37	1979.26	13.03	1947.69	25.36	98
P71	35.69	36.88	0	5.13	0.09	0.32	0.11	0	5.13	1.32	1877.47	27.78	1841.64	14.78	1812.72	19.81	98
P72	129.97	170.2	0	0.3	0.01	0.04	0.05	0	0.3	1.02	253.77	53.69	269.26	5.88	271.55	3.59	99
P73	258.21	448.05	0	0.32	0.01	0.04	0.06	0	0.32	0.78	438.94	116.7	280.75	11.25	262.98	10.94	93
P74	82.94	146.31	0	6.87	0.27	0.38	0.13	0	6.87	0.76	2118.21	29.63	2095.25	34.61	2068.45	41.43	98
P75	148.11	253.97	0	0.32	0.01	0.04	0.05	0	0.32	0.75	309.32	52.77	278.96	6.88	275.6	5.61	98
P76	288.7	291.68	0	0.26	0.01	0.04	0.05	0	0.26	1.32	231.55	44.44	237.93	4.85	238.6	2.99	99
P77	121.11	201.06	0	0.32	0.01	0.04	0.05	0	0.32	0.8	390.79	49.07	285.42	6.26	273.81	3.95	95
P78	457.64	599.09	0.2	14.25	0.19	0.51	0.2	0	14.3	1.02	2845.98	10.49	2766.78	12.66	2658.85	26.38	96
P80	161.47	216.26	0	10.9	0.17	0.47	0.17	0	10.9	0.98	2542.28	13.27	2514.89	14.45	2483.48	33.53	98
P81	136.71	172.12	0	7.48	0.1	0.39	0.14	0	7.48	1.05	2210.19	17.9	2171.02	11.42	2130.05	17.56	98
P82	90.83	126.79	0.05	0.3	0.01	0.04	0.05	0	0.3	0.95	235.25	106.5	269.22	10.73	273.14	3.83	98
P84	134.26	183	0.05	0.26	0.01	0.04	0.05	0	0.26	0.98	283.4	55.55	238.12	5.77	233.6	2.92	98
P86	110.73	218.47	0.15	9.38	0.07	0.44	0.15	0	9.38	0.67	2389.82	7.25	2376.08	6.89	2359.67	14.86	99
P87	83.15	87.4	0.06	0.33	0.03	0.04	0.06	0	0.33	1.26	438.94	178.7	287.38	19.3	270.86	7.3	94
P88	52.16	43.54	0.16	10.21	0.15	0.46	0.16	0	10.2	1.54	2484.87	20.22	2453.55	13.45	2421.11	30.39	98
P89	64.76	101.4	0.11	5.08	0.06	0.33	0.11	0	5.08	0.85	1840.43	12.04	1832.94	10.77	1826.54	18.06	99
P90	169.54	393.01	0.06	0.49	0.01	0.06	0.06	0	0.49	0.57	516.71	37.04	406.95	7.12	387.69	4.66	95
P91	306.39	575.83	0.05	0.32	0	0.04	0.05	0	0.32	0.71	300.06	29.63	279.39	3.63	270.88	2.8	96
P92	47.88	105.55	0.11	5.12	0.04	0.32	0.11	0	5.12	0.61	1828.09	12.97	1839.52	7.24	1810.09	11.62	98
P93	386.98	300.91	0.05	0.27	0.01	0.04	0.05	0	0.27	1.7	264.88	52.77	241.45	5.42	233.66	3.47	96
P94	132.75	226.59	0.14	7.44	0.09	0.39	0.14	0	7.44	0.78	2168.52	8.49	2165.39	10.34	2125.69	19.81	98
P95	47.39	63.98	0.12	5.66	0.08	0.35	0.12	0	5.66	0.98	1901.85	17.28	1925.66	12.4	1921.23	23.17	99
P96	45.35	64.92	0.11	5.05	0.07	0.33	0.11	0	5.05	0.93	1810.19	16.67	1827.44	12.06	1818.46	20.36	99
P98	255.93	347.01	0.05	0.32	0.01	0.04	0.05	0	0.32	0.99	316.73	38.89	281.02	4.75	274	2.7	97
P99	100.34	241.42	0.17	10.95	0.09	0.47	0.17	0	10.9	0.55	2527.78	11.11	2518.92	7.38	2493.66	19.1	98
P100	161.97	227.63	0.18	12.18	0.3	0.5	0.18	0	12.2	0.95	2609.26	25.31	2618.67	22.86	2622.67	54.66	99
P101	70.48	208.46	0.11	5.14	0.17	0.33	0.11	0	5.14	0.45	1864.51	42.29	1843.09	27.87	1820.93	31.6	98
P102	83.44	188.35	0.12	5.65	0.06	0.35	0.12	0	5.65	0.59	1931.49	14.67	1924.39	9.72	1917.16	17.98	99

续附表2

测点号	含量/ $10^{-6}$		同位素含量比值										表面年龄/Ma				谱和度/%
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$			
P103	1.78	8.91	0	0.16	0	10.1	0.26	2473.14	30.25	2448.57	22.61	2420.1	39.05	98			
P104	111.43	116.24	0	0.32	0	5.16	1.28	1883.03	12.97	1845.33	9.95	1809.27	14.82	98			
P105	10.24	68.62	0	0.33	0	5.18	0.2	1873.77	20.52	1849.59	13.51	1826.12	17.72	98			
P106	153.52	308.76	0	0.04	0	0.31	0.67	255.62	38.88	274.02	4.42	277.35	3.09	98			
P107	101.19	153.12	0	0.3	0	4.26	0.88	1699.08	15.12	1685.51	8.61	1673.54	14.12	99			
P109	117.09	198.82	0	0.33	0	5.02	0.79	1827.78	14.66	1822.6	10.22	1817.06	17.04	99			
P110	188.04	201.73	0	0.06	0	0.46	1.25	457.45	40.74	381.15	6.72	367.89	4.14	96			
P111	59.51	106.63	0	0.05	0	0.35	0.75	211.19	81.47	302.71	9.35	316	3.4	95			
P112	89.41	127.11	0	0.33	0	5.21	0.94	1890.43	31.79	1854.62	22.96	1820.4	28.18	98			
P113	32.17	250.43	0	0.34	0	5.67	0.17	1955.25	16.51	1926.06	10.59	1898.9	18.57	98			
P114	197.05	250	0	0.33	0	5.14	1.04	1854.64	16.82	1842.93	13.96	1831.57	24.57	99			
P115	13.1	25.46	0	0.3	0	4.34	0.68	1721.91	37.04	1700.22	18.63	1684.58	21.99	99			
P116	132.25	127.19	0	0.47	0	10.8	1.38	2513.89	12.81	2503.13	10.11	2489.44	20.41	99			
P117	14.77	23.09	0	0.46	0	9.98	0.84	2429.32	24.07	2433	16.67	2435.57	25.5	99			
P118	97.86	369.57	0	0.33	0	5.09	0.35	1851.55	14.82	1834.42	10.37	1819.18	19	99			
P120	157.58	177.71	0	0.04	0	0.32	1.16	364.87	63.88	285.15	7.03	275.7	5.17	96			
YP150529-9-1																	
P01	232.66	240.87	0	0.42	0	0.11	0	2262.04	9.26	2253.46	7.72	2244.4	17.33	99			
P02	98.87	390.25	0	0.33	0	0.09	0	1877.47	16.82	1847.37	13.92	1833.22	33.5	99			
P03	282.11	356.69	0	0.04	0	0.01	0	250.07	51.84	249	5.02	249.15	2.79	99			
P05	158.67	233.71	0	0.04	0	0.01	0	198.23	77.77	245.09	7.31	250.2	3.62	97			
P06	183.05	215.38	0	0.44	0	0.07	0	2500.93	14.97	2424.87	14.3	2337.39	35.55	96			
P07	14.91	18.97	0	0.3	0	0.09	0	1695.37	41.51	1695.87	21.03	1697.85	22.96	99			
P08	159.78	248.36	0	0.04	0	0.01	0	387.09	65.74	262.25	8.18	248.17	3.77	94			
P09	432.44	448.1	0	0.28	0	0.1	0	2495.37	13.89	2029.27	19.33	1608.32	33.27	76			
P10	262.46	294.93	0	0.04	0	0.01	0	383.39	44.44	262.16	3.61	250.3	3.35	95			
P11	530.62	295.64	0	0.05	0	0.02	0	342.65	46.29	316.45	7.64	313.14	6.14	98			
P12	323.89	418.33	0	0.45	0	0.77	0	2499.08	11.73	2439.13	16.7	2373.73	39.33	97			
P13	344.48	593.89	0	0.04	0	0.01	0	301.91	5.56	252.45	4.97	247.3	4.66	97			
P14	58.12	117.62	0	0.04	0	0.01	0	235.25	90.73	248.9	8.23	251.83	5.45	98			



续附表2

测点号	含量/ $10^{-6}$		同位素含量比值						表面年龄/Ma						谐和度/%			
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$				
	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$				
P15	106.87	101.98	0.11	0	4.52	0.1	0.3	0.01	0.09	0	1.05	1779.94	26.08	1734.73	17.7	1697.12	27.24	97
P16	94.17	116.74	0.06	0	0.46	0.03	0.06	0	0.02	0	0.81	524.11	132.4	385.08	22.3	360.49	5.28	93
P17	69.6	155.86	0.16	0	10.75	0.13	0.48	0.01	0.13	0	0.45	2497.23	12.66	2501.42	10.94	2510.74	31.87	99
P19	215.84	426.57	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.51	383.39	37.04	259.99	4.69	246.7	3.88	94
P20	147.78	177.84	0.06	0	0.51	0.01	0.07	0	0.02	0	0.83	431.53	45.37	421.11	8.5	419.7	6.81	99
P21	41.33	121.78	0.16	0	7.88	0.19	0.35	0.01	0.1	0	0.34	2475	25	2217.74	21.97	1949.3	34.58	87
P22	222.12	345.39	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.64	320.43	48.14	257.78	6.36	249.83	3.38	96
P23	432.46	517.64	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.84	409.31	40.74	261.71	5.66	249.69	12.58	95
P25	60.54	59.71	0.16	0	10.6	0.17	0.47	0.01	0.11	0	1.01	2482.41	16.36	2488.68	14.62	2496.19	32.21	99
P27	164.57	397.01	0.17	0	9.69	0.11	0.42	0	0.08	0	0.41	2522.22	12.19	2405.35	10.67	2279.93	22.14	94
P28	50.7	181.68	0.11	0	5.18	0.06	0.33	0	0.08	0	0.28	1877.47	13.11	1848.76	10.28	1822.43	20.33	98
P29	156.23	333.31	0.12	0	5.69	0.08	0.34	0	0.08	0	0.47	1955.25	13.42	1930.03	11.94	1903.96	21.65	98
P32	5.38	36.6	0.16	0	10.48	0.14	0.47	0.01	0.1	0	0.15	2471.29	14.67	2478.05	12.59	2483.76	25.13	99
P33	620.11	612.43	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	1.01	375.98	36.11	252.62	4.82	239.11	2.55	94
P34	134.31	94.92	0.16	0	10.25	0.14	0.46	0.01	0.1	0	1.42	2479.63	12.66	2457.87	12.94	2431.38	25.94	98
P35	129.16	54.61	0.16	0	10.5	0.15	0.47	0.01	0.1	0	2.37	2487.96	14.51	2479.79	13.47	2467.29	24.93	99
P36	379.01	559.23	0.07	0	0.37	0.01	0.04	0	0.01	0	0.68	924.07	31.02	322.69	4.01	246.16	2.77	73
P37	195.66	184.66	0.05	0	0.35	0.01	0.05	0	0.01	0	1.06	331.54	87.03	305.93	10.54	302.35	1.83	98
P38	140.22	843.93	0.16	0	9.23	0.1	0.41	0	0.09	0	0.17	2472.22	10.19	2361.22	9.43	2236.61	19.9	94
P39	69.6	93.14	0.16	0	10.26	0.12	0.46	0.01	0.1	0	0.75	2461.11	13.27	2458.3	10.57	2457.85	22.09	99
P40	162.6	417.54	0.16	0	9.06	0.19	0.4	0.01	0.06	0	0.39	2483.02	11.12	2343.85	18.7	2186.11	35.72	93
P41	227.23	593.56	0.16	0	9.42	0.09	0.42	0	0.07	0	0.38	2503.39	11.11	2379.78	8.44	2239.08	16.49	93
P42	207.07	232.23	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	0.89	333.39	37.96	249.96	5.11	247.67	2.95	99
P43	141.18	265.41	0.11	0	5.15	0.06	0.33	0	0.07	0	0.53	1861.12	10.95	1843.82	9.19	1829.32	14.77	99
P44	48.72	107.69	0.06	0	0.31	0.02	0.04	0	0.01	0	0.45	498.19	144.4	273.42	13.41	251.05	5.93	91
P45	96.82	210.35	0.17	0	10.14	0.11	0.44	0.01	0.1	0	0.46	2520.37	10.95	2447.77	10.3	2364.33	23.26	96
P46	142.95	351.31	0.06	0	0.3	0	0.04	0	0.01	0	0.41	450.05	33.33	267.52	3.69	247.76	3.07	92
P48	241.83	285.52	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.85	372.28	42.59	261.56	5.36	250.16	4.83	95
P49	275.33	265.3	0.05	0	0.34	0.01	0.05	0	0.01	0	1.04	327.84	61.11	297.63	7.09	294.13	4.21	98
P51	74.72	83.23	0.17	0	11.17	0.15	0.48	0.01	0.12	0	0.9	2543.52	16.82	2537.4	12.53	2529.93	27.35	99

续附表2

测点号	含量/ $10^{-6}$				同位素含量比值				表面年龄/Ma				谐和度/%					
	Th		U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$							
	Th	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$						
P52	249.22	209.27	0.16	0	9.58	0.12	0.42	0.01	0.1	0	1.19	2499.69	17.44	2394.84	11.8	2273.72	23.75	94
P53	247.83	569.76	0.16	0	9.95	0.11	0.44	0	0.1	0	0.43	2498.15	9.88	2429.79	10.6	2350.05	22.32	96
P54	246.88	1178.4	0.17	0	7.95	0.13	0.34	0.01	0.12	0.01	0.21	2546.29	16.67	2224.95	15.01	1896	29.17	84
P55	43.12	38.77	0.17	0	10.26	0.27	0.45	0.01	0.11	0	1.11	2515.74	29.47	2458.61	23.92	2387.5	32.09	97
P56	389.62	404.73	0.16	0	9.15	0.23	0.41	0.01	0.1	0	0.96	2472.53	21.3	2353.19	23.34	2216.23	44	94
P58	282.3	197.7	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	1.43	257.47	51.85	249.39	5.33	248.49	3.51	99
P59	84.38	142.79	0.11	0	5.08	0.06	0.33	0	0.08	0	0.59	1850.01	15.9	1831.99	9.41	1818.08	17.16	99
P60	367.71	364.05	0.05	0	0.38	0.01	0.05	0	0.01	0	1.01	409.31	31.48	326.49	3.83	315.88	3.71	96
P61	104.13	247.42	0.12	0	5.52	0.07	0.34	0	0.09	0	0.42	1905.87	14.51	1904.16	10.67	1902.66	20.41	99
P62	451.71	534.53	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.85	366.72	35.18	260.79	4.79	249.76	3.06	95
P63	26.24	49.42	0.16	0	10.28	0.16	0.47	0.01	0.11	0	0.53	2453.7	12.65	2459.87	14.57	2470.48	32.36	99
P64	350.2	515.65	0.16	0	9.76	0.11	0.43	0	0.11	0	0.68	2506.48	9.26	2412.54	10.7	2302.08	21.7	95
P65	648.56	1032.8	0.17	0	7.38	0.14	0.32	0.01	0.08	0	0.63	2509.26	9.57	2158.33	16.84	1813.13	33.69	82
P66	185.13	345.51	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.54	309.32	6.48	256.09	4.46	250.21	2.95	97
P67	455.03	515.27	0.16	0	9.12	0.08	0.4	0	0.1	0	0.88	2505.25	10.65	2350.22	7.73	2175.21	16.2	92
P68	332.74	505.23	0.05	0	0.41	0.01	0.05	0	0.02	0	0.66	353.76	30.55	346.29	4.9	344.97	3.99	99
P69	262.15	380.17	0.17	0	9.58	0.1	0.42	0	0.11	0	0.69	2525	11.73	2395.66	9.92	2246.06	20.73	93
P70	109.8	105.53	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	1.04	279.69	62.03	250.59	5.54	248.02	3.07	98
P71	85.42	123.47	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.69	366.72	57.4	259.82	6.27	249.49	3.54	95
P72	170.27	366.44	0.17	0	10.24	0.11	0.44	0	0.11	0	0.46	2527.78	9.88	2456.86	10.3	2372.68	21.94	96
P73	155.81	237.34	0.12	0	5.65	0.05	0.34	0	0.08	0	0.66	1939.21	10.34	1923.51	7.92	1907.79	13.93	99
P74	314.56	210.88	0.06	0	0.31	0.01	0.04	0	0.01	0	1.49	500.04	69.44	276.75	8.83	250.66	3.86	90
P75	487.83	296.55	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	1.65	287.1	55.55	251.3	5.34	247.8	3.11	98
P76	109.85	78.61	0.17	0	10.17	0.13	0.44	0.01	0.11	0	1.4	2520.37	47.22	2450.53	12.12	2369.23	23.97	96
P77	103.42	49.33	0.17	0	10.15	0.13	0.45	0.01	0.11	0	2.1	2513.27	16.67	2448.87	11.4	2374.33	24.1	96
P78	75.8	73.78	0.05	0	0.33	0.01	0.05	0	0.01	0	1.03	333.39	92.58	290.21	10.39	293.48	4.8	98
P79	23.22	60.76	0.18	0	12.07	0.17	0.49	0.01	0.13	0	0.38	2631.18	15.13	2609.91	13.01	2581.86	23.17	98
P81	70.19	347.6	0.11	0	5.12	0.06	0.32	0	0.07	0	0.2	1933.34	10.96	1839.34	9.23	1813.81	15.84	98
P82	33.05	53.35	0.11	0	4.37	0.06	0.3	0	0.07	0	0.62	1727.78	22.06	1707.51	12.13	1692.05	17.73	99
P83	91.68	65.53	0.16	0	10.04	0.15	0.44	0.01	0.1	0	1.4	2509.26	15.9	2438.01	13.91	2354.73	24.98	96

续附表2

测点号	含量/10 <sup>-6</sup>		同位素含量比值						表面年龄/Ma						谐和度/%			
	Th	U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> U	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> U		
	I	σ	I	σ	I	σ	I	σ	I	σ	I	σ	I	σ		I	σ	
P84	276.61	389.96	0.05	0	0.28	0.01	0.04	0	0.01	0	0.71	275.99	42.59	250.28	5.09	247	2.73	98
P85	70.99	413.02	0.11	0	5.12	0.07	0.33	0	0.06	0	0.17	1850.31	14.05	1839.11	11.69	1829.14	21.47	99
P86	235.45	280.51	0.16	0	10.6	0.15	0.48	0.01	0.09	0	0.84	2472.53	11.88	2488.71	13.27	2510.11	30.96	99
P87	82.85	269.97	0.16	0	10.98	0.2	0.5	0.01	0.08	0	0.31	2453.7	13.42	2521.25	17.04	2610.76	41.97	96
P88	27.42	34.53	0.1	0	4.33	0.14	0.3	0.01	0.05	0	0.79	1694.45	60.95	1698.9	26.25	1708.65	38.09	99
P89	171.99	209.51	0.16	0	10.15	0.16	0.45	0.01	0.06	0	0.82	2475.92	19.45	2448.74	14.65	2416.78	29.51	98
P90	372.81	529.9	0.05	0	0.38	0.01	0.05	0	0.01	0	0.7	327.84	34.26	324.53	4.89	324.43	5.17	99
P91	21.79	108.07	0.16	0	10.51	0.2	0.48	0.01	0.06	0	0.2	2461.41	18.51	2480.82	17.41	2506.94	39.14	98
P92	259.41	643.35	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0	0.01	0	0.4	216.74	83.32	246.1	9.23	249.86	9.46	98
P95	468.09	639.71	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0	0.01	0	0.73	190.82	40.73	242.95	4.7	249.84	5.6	97
P96	138.52	152.12	0.05	0	0.29	0.01	0.04	0	0.01	0	0.91	350.06	61.11	255.53	5.71	246.79	3.76	96
P97	60.5	57.62	0.1	0	4.31	0.13	0.3	0.01	0.06	0	1.05	1700	33.34	1696.18	24.78	1702.92	45.69	99
P98	61.21	61.58	0.05	0	0.27	0.02	0.04	0	0.01	0	0.99	200.08	98.14	241.52	16.98	251.22	5.37	96
P99	342.32	449.64	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0	0.01	0	0.76	150.09	46.29	239.46	6.05	249.35	6.3	95
P100	188.1	265.46	0.17	0	7.4	0.25	0.32	0.01	0.07	0	0.71	2554.63	13.58	2161.04	29.8	1770	48.28	80
P102	407.83	401.21	0.05	0.01	0.3	0.04	0.04	0	0.01	0	1.02	409.31	222.2	264.13	27.79	247	14.28	93
P103	46.5	77.31	0.06	0	0.51	0.02	0.07	0	0.02	0	0.6	457.45	61.11	419.46	10.69	412.02	5.88	98
P104	75.65	124.52	0.17	0	9.02	0.18	0.4	0.01	0.1	0	0.61	2522.22	13.73	2339.73	18.75	2146.51	35.48	91
P105	395.62	307.62	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0	0.01	0	1.29	198.23	33.33	241.48	4.34	245.9	3.75	98
P106	145.4	400.92	0.12	0	5.61	0.1	0.34	0.01	0.09	0	0.36	1935.5	14.51	1917.94	15.11	1900.23	28.87	99
P107	157.03	214.17	0.06	0	0.57	0.01	0.07	0	0.02	0	0.73	657.42	46.29	456.79	6.59	420.22	6.65	91
P109	45.04	131.81	0.05	0	0.37	0.01	0.05	0	0.01	0	0.34	405.61	57.4	321.23	6.32	310.93	4.31	96
P110	124.29	243.57	0.05	0	0.27	0.01	0.04	0	0.01	0	0.51	183.42	53.69	245.34	5.01	251.75	2.95	97
YP150522-1-1																		
P01	27.92	518.84	0.11	0	3.59	0.04	0.24	0	0.06	0	0.05	1803.39	12.5	1546.99	8.33	1364.86	13.11	87
P02	231.03	335.24	0.05	0	0.24	0	0.03	0	0.01	0	0.69	287.1	31.48	222.26	3.52	216.05	2.71	97
P03	345.98	514.14	0.06	0	1.08	0.01	0.12	0	0.03	0	0.67	742.6	13.73	742.65	5.17	742.1	6.93	99
P04	248.43	133.81	0.07	0	1.1	0.01	0.12	0	0.03	0	1.86	827.78	175	754.47	6.67	730.64	7.89	96
P05	89.87	99.58	0.07	0	1.08	0.02	0.12	0	0.04	0	0.9	775.93	29.63	741.94	9.05	730.99	9.93	98
P06	40.44	89.51	0.11	0	5.1	0.09	0.33	0.01	0.09	0	0.45	1854.02	46.45	1836.1	14.5	1818.87	25.81	99



续附表2

测点号	含量/10 <sup>-6</sup>		同位素含量比值						表面年龄/Ma						谱和度/%			
	Th	U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> U	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U				
	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ				
P07	80.22	174.2	0.11	0	4.45	0.1	0.29	0.01	0.08	0	0.46	1812.96	22.23	1722.12	18.04	1649.27	31.75	95
P08	43.31	236.04	0.11	0	4.99	0.1	0.32	0.01	0.09	0	0.18	1868.83	17.75	1817.79	17.21	1773.4	32.97	97
P09	45.51	304.6	0.12	0	5.17	0.08	0.33	0.01	0.09	0	0.15	1883.34	12.5	1847.37	13.89	1815.35	25.08	98
P10	95.18	266.83	0.11	0	5.08	0.07	0.32	0.01	0.09	0	0.36	1866.36	16.2	1832.7	12.09	1805.03	25.34	98
P11	120.18	415.24	0.11	0	3.23	0.07	0.21	0	0.06	0	0.29	1805.56	23.46	1464.46	15.77	1243.17	26.52	83
P13	106.66	101.18	0.09	0	2.72	0.05	0.23	0	0.07	0	1.05	1353.7	22.22	1334.29	13.49	1324.32	22.25	99
P14	40.36	112.62	0.12	0	5.2	0.1	0.33	0.01	0.09	0	0.36	1884.88	15.59	1852.04	17.16	1820.54	28.53	98
P15	31.17	29.82	0.11	0	4.39	0.11	0.28	0.01	0.08	0	1.05	1831.49	33.34	1710.92	20.96	1616.1	33.69	94
P16	223.99	679.9	0.11	0	2.91	0.09	0.19	0	0.05	0	0.33	1818.21	32.41	1384.7	22.62	1114.17	18.88	78
P17	64.23	189.02	0.16	0	10.43	0.15	0.46	0.01	0.12	0	0.34	2491.67	12.96	2474.06	13.28	2453.52	30.63	99
P18	209.29	667.32	0.11	0	4.4	0.09	0.28	0.01	0.08	0	0.31	1855.56	13.43	1711.47	16.39	1606.17	29.32	93
P19	250.4	378.27	0.11	0	5.1	0.09	0.32	0.01	0.09	0	0.66	1872.23	16.97	1835.35	15.23	1803.8	30.15	98
P20	90.19	955.44	0.11	0	5.09	0.06	0.33	0	0.07	0	0.09	1839.2	12.97	1834.69	10.37	1831.29	19.53	99
P21	94.56	112.5	0.07	0	1.17	0.02	0.13	0	0.04	0	0.84	788.58	24.07	788.77	9.09	789	9.83	99
P22	97.3	850.71	0.11	0	4.21	0.06	0.27	0	0.07	0	0.11	1832.41	17.6	1676.12	11.35	1554.43	18.86	92
P23	115.08	347.17	0.11	0	5.17	0.08	0.33	0	0.09	0	0.33	1857.41	14.81	1848.48	13.38	1841.11	22.39	99
P24	114.9	122.18	0.07	0	1.17	0.02	0.13	0	0.04	0	0.94	787.04	25	787.67	8.68	789.35	10.72	99
P25	32.5	37.91	0.07	0	1.13	0.02	0.12	0	0.04	0	0.86	875.93	43.52	767.26	10.63	731.89	8.22	95
P26	173.34	199.54	0.11	0	5.26	0.07	0.34	0	0.09	0	0.87	1831.79	17.6	1862.99	11.31	1891.2	20.51	98
P27	26.08	202.59	0.11	0	5.22	0.08	0.33	0	0.09	0	0.13	1879.94	14.35	1855.09	13.07	1831.79	20.99	98
P28	79.99	354.07	0.12	0	5.81	0.07	0.36	0	0.1	0	0.23	1933.03	13.12	1948.49	10.99	1964.43	21.87	99
P29	31.23	44.74	0.07	0	1.19	0.02	0.13	0	0.04	0	0.7	842.59	158.3	797.64	11.39	783.06	10.57	98
P30	350.61	297.76	0.06	0	0.67	0.01	0.08	0	0.03	0	1.18	527.82	31.48	520.97	6.92	520.08	7.27	99
P31	341.74	521.42	0.12	0	6.15	0.06	0.36	0	0.1	0	0.66	2016.67	12.35	1997.69	8.48	1980.48	15.83	99
P32	55.1	327.15	0.12	0	6.03	0.08	0.36	0	0.1	0	0.17	1979.32	14.5	1979.94	11.01	1981.77	21.77	99
P33	82.51	124.41	0.07	0	1.08	0.02	0.12	0	0.04	0	0.66	783.34	21.3	741.6	9.11	727.95	8.69	98
P34	71.95	305.63	0.14	0	8.21	0.09	0.41	0	0.12	0	0.24	2272.23	12.66	2254.78	9.96	2237.29	20.31	99
P35	106.53	46.8	0.06	0	1.07	0.02	0.12	0	0.04	0	2.28	773.77	48.15	739.83	10.9	731.16	8.03	98
P36	137.38	247.06	0.06	0	0.5	0.01	0.06	0	0.02	0	0.56	455.6	29.63	410.15	5.67	404.58	6.09	98
P37	97.74	284.38	0.11	0	4.85	0.08	0.31	0	0.1	0	0.34	1851.55	24.08	1793.04	13.64	1742.5	17.18	97

续附表2

测点号	含量/10 <sup>-6</sup>				同位素含量比值				表面年龄/Ma				谐和度/%					
	Th	U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	<sup>206</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 σ	1 σ				
			1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ				
P38	457.11	848.91	0.06	0	0.34	0.01	0.04	0	0.01	0	0.54	433.38	35.18	294.75	4.04	278.92	4.24	94
P39	80.92	84.75	0.07	0	1.08	0.03	0.12	0	0.04	0	0.95	775.93	56.63	745.17	16.88	735.89	15.36	98
P40	197.74	554.15	0.13	0	6.82	0.15	0.38	0.01	0.11	0	0.36	2098.46	15.13	2088.33	19.85	2071.75	30.92	99
P41	151.06	522.57	0.12	0	5.98	0.13	0.35	0.01	0.11	0	0.29	1986.73	46.76	1972.94	18.87	1953.03	28.77	98
P42	34.42	48.26	0.11	0	4.57	0.08	0.3	0	0.09	0	0.71	1838.89	28.55	1743.44	14.37	1667.72	20.72	95
P43	448.24	968.24	0.06	0	0.31	0	0.04	0	0.01	0	0.46	477.82	25.92	275.12	2.98	252.87	2.23	91
P44	115.36	254.5	0.16	0	10.33	0.11	0.46	0.01	0.13	0	0.45	2472.22	9.57	2464.82	10.12	2458.54	23.54	99
P45	20.6	376.71	0.11	0	5.11	0.07	0.32	0	0.1	0	0.05	1933.34	11.11	1838.28	10.87	1812.83	20.17	98
P46	321.62	517.46	0.05	0	0.41	0.01	0.06	0	0.02	0	0.62	366.72	25	346.67	4.17	345.16	4.64	99
P47	295.14	456.95	0.11	0	5.08	0.05	0.32	0	0.1	0	0.65	1875.93	11.11	1833.08	7.92	1796.96	15.6	98
P48	68.63	207.96	0.11	0	5.02	0.06	0.32	0	0.09	0	0.33	1876.86	11.72	1823.22	10.66	1777.4	19.86	97
P49	73.3	262.19	0.12	0	5.92	0.09	0.36	0.01	0.1	0	0.28	1962.04	12.81	1963.64	13.84	1967.46	29.52	99
P50	211.91	442.71	0.11	0	5.08	0.06	0.32	0	0.1	0	0.48	1855.25	4.48	1833.1	10.51	1813.45	20.14	98
P51	505.57	1292.1	0.06	0	0.27	0	0.04	0	0.01	0	0.39	416.72	36.11	245.75	3.21	228.19	2.2	92
P52	638.73	553.54	0.06	0	0.28	0	0.04	0	0.01	0	1.15	475.97	42.59	253.07	3.73	230.04	3.44	90
P53	85.44	220.85	0.11	0	5.04	0.06	0.32	0	0.09	0	0.39	1850.01	11.58	1826.6	10.07	1805.03	17.49	98
P54	157.89	160.24	0.11	0	5.03	0.07	0.32	0	0.1	0	0.99	1862.66	12.81	1824.69	11.28	1789.94	20.22	98
P56	219.78	384	0.11	0	4.23	0.05	0.27	0	0.08	0	0.57	1860.81	14.66	1679.14	10.59	1535.29	16.13	91
P57	70.03	106.56	0.11	0	4.63	0.05	0.31	0	0.09	0	0.66	1761.11	16.05	1754.78	9.78	1747.62	15.77	99
P58	253.69	489.34	0.11	0	4.82	0.07	0.3	0	0.09	0	0.52	1877.47	17.43	1787.79	11.82	1710.75	23.18	95
P59	17.1	599.61	0.12	0	4.91	0.06	0.31	0	0.09	0	0.03	1891.05	15.59	1804.76	9.71	1728.26	17.36	95
P60	161.84	318	0.11	0	4.86	0.06	0.31	0	0.09	0	0.51	1879.63	14.81	1795.76	10.1	1723.76	20.75	95
P61	123.66	433.77	0.12	0	5.06	0.06	0.32	0	0.09	0	0.29	1883.34	17.59	1828.89	10.85	1779.13	19.92	97
P62	49.95	127.04	0.13	0	6.69	0.08	0.38	0	0.11	0	0.39	2064.81	13.27	2071.83	11.12	2075.64	21.65	99
P63	474.89	657.73	0.12	0	5.86	0.07	0.35	0	0.1	0	0.72	1950.31	11.27	1954.94	10.83	1956.72	21.6	99
P64	251.7	363.23	0.11	0	4.33	0.06	0.28	0	0.08	0	0.69	1864.82	14.81	1699.9	11.7	1569.85	21.55	92
P65	35.8	111.77	0.08	0	1.88	0.04	0.18	0	0.05	0	0.32	1131.49	32.25	1075.13	14.16	1046.8	16.6	97
P66	89.59	84.16	0.07	0	1.07	0.02	0.12	0	0.04	0	1.06	775.93	35.18	739.79	8.48	728.38	7.18	98
P67	121.38	266.89	0.14	0	8.27	0.08	0.41	0	0.1	0	0.45	2286.73	10.96	2260.98	9.12	2230.15	17.97	98
P68	398.79	143.92	0.07	0	1.19	0.02	0.13	0	0.04	0	2.77	820.37	22.22	795.76	8.13	785.63	7.97	98

续附表2

测点号	含量/10 <sup>-6</sup>		同位素含量比值						表面年龄/Ma						谐和度/%			
	Th	U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th
	1	σ	1	σ	1	σ	1	σ	1	σ	1	σ	1	σ		1	σ	1
P69	156.42	285.89	0.07	0	1.2	0.02	0.13	0	0.04	0	0.55	838.89	21.14	800.52	8.07	787.76	10.64	98
P70	175.47	521.07	0.11	0	5.1	0.06	0.32	0	0.09	0	0.34	1872.23	14.66	1836.22	10.32	1804.45	17.44	98
P71	78.4	149.32	0.11	0	5.04	0.07	0.32	0	0.09	0	0.53	1864.82	14.81	1826.54	11.3	1795.71	21.02	98
P72	48.67	295.93	0.12	0	5.17	0.07	0.33	0	0.09	0	0.16	1879.94	14.2	1847.17	11.32	1819.13	21.54	98
P73	114.61	135.89	0.05	0	0.24	0.01	0.03	0	0.01	0	0.84	242.66	52.77	221.02	5.13	218.7	3.31	98
P74	36.59	115.42	0.12	0	5.13	0.06	0.32	0	0.09	0	0.32	1881.17	18.52	1840.72	10.58	1807.45	20.52	98
P75	53.2	322.58	0.11	0	5.09	0.06	0.32	0	0.09	0	0.16	1865.75	13.12	1834.64	10.44	1807.25	18.49	98
P76	61.65	431.49	0.11	0	4.15	0.05	0.27	0	0.08	0	0.14	1845.99	14.04	1664.31	9.22	1524.84	15.5	91
P77	25.44	112.31	0.07	0	1.1	0.02	0.12	0	0.03	0	0.23	831.48	34.41	754.59	10.98	729.61	11.18	96
P79	241.49	165.6	0.06	0	1.06	0.02	0.12	0	0.03	0	1.46	742.6	32.25	733.96	9.03	732.52	11.24	99
P80	136.33	262.85	0.16	0	10.43	0.14	0.46	0.01	0.12	0	0.52	2507.1	12.81	2473.87	12.2	2433.77	25.28	98
P81	138.91	557.65	0.11	0	5.07	0.08	0.32	0.01	0.09	0	0.25	1861.43	14.51	1830.44	13.06	1805.39	24.91	98
P82	319.5	570.1	0.08	0	2.17	0.03	0.19	0	0.05	0	0.56	1216.67	18.51	1169.93	10.14	1146.75	15.06	97
P83	174.83	137.13	0.11	0	5.1	0.1	0.33	0.01	0.09	0	1.27	1861.12	20.99	1836.61	17.1	1816.4	28.31	98
P84	198	514.15	0.06	0	0.53	0.01	0.07	0	0.02	0	0.39	431.53	25.92	433	5.8	434.66	7.57	99
P85	41.7	46.44	0.11	0	4.66	0.09	0.3	0.01	0.08	0	0.9	1850.01	29.63	1759.42	15.85	1687.8	33.55	95
P86	85.28	97.87	0.07	0	1.08	0.02	0.12	0	0.04	0	0.87	788.89	25.92	745.86	9.57	734.39	9.33	98
P87	292.36	617.17	0.05	0	0.25	0	0.04	0	0.01	0	0.47	275.99	23.15	228.23	3.5	223.75	2.69	98
P88	111.41	172.58	0.07	0	1.23	0.02	0.13	0	0.04	0	0.65	894.45	19.45	816.32	9.32	789.63	11.19	96
P89	99.97	168.76	0.12	0	5.68	0.07	0.35	0	0.09	0	0.59	1920.37	12.66	1928.43	10.52	1940.22	20.92	99
P90	74.59	60.57	0.06	0	1.06	0.02	0.12	0	0.03	0	1.23	738.9	33.33	734	9.71	732.66	8.46	99
P91	197.17	343.35	0.11	0	5.1	0.08	0.32	0	0.09	0	0.57	1876.24	12.96	1835.7	12.99	1801.02	23.09	98
P92	375.32	487.55	0.11	0	5.08	0.07	0.32	0	0.09	0	0.77	1872.23	12.66	1832.11	11.91	1799.48	23.03	98
P93	81.02	292.03	0.11	0	5.12	0.07	0.32	0	0.09	0	0.28	1879.32	21.14	1839.5	11.39	1805.64	21.78	98
P94	140.08	298.37	0.11	0	5.08	0.06	0.33	0	0.09	0	0.47	1850.93	10.5	1833.2	10.09	1817.38	18.11	99
P95	108.22	234.11	0.12	0	4.65	0.09	0.29	0	0.08	0	0.46	1894.45	17.44	1758.68	16.81	1646.69	23.9	93
P96	85.6	282.36	0.11	0	4.93	0.06	0.31	0	0.08	0	0.3	1873.77	12.5	1806.87	10.91	1750.29	21.02	96
P97	311.01	398.43	0.11	0	4.77	0.05	0.31	0	0.08	0	0.78	1850.31	11.11	1779.96	8.65	1720.07	15.51	96
P98	127.19	316.15	0.14	0	7.68	0.21	0.41	0.01	0.11	0	0.4	2190.43	14.66	2194.74	24	2195.78	45.78	99
P99	70.54	110.6	0.17	0	11.04	0.17	0.46	0.01	0.12	0	0.64	2586.73	16.67	2526.35	14.73	2454.99	34.23	97