

# 北秦岭二郎坪群晚中生代伸展-走滑-收缩体制研究

张宏远<sup>1</sup>, 王宗起<sup>2</sup>, 刘俊来<sup>1</sup>, 闫全人<sup>3</sup>, 王涛<sup>3</sup>, 闫臻<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 晚中生代, 中朝、扬子两地块的拼合带进一步受到强烈的陆内构造-岩浆活动改造, 为揭示其规律性, 以拼合带上北秦岭二郎坪群主体地块为研究对象, 综合开展了中小构造解析、显微构造岩组学、电子探针、年代学等研究。研究发现, 二郎坪群主体内部的小寨-二郎坪剪切带具右行韧性走滑特征, 大庙-湾潭剪切带具右行韧性走滑兼后期脆-韧性逆掩叠加的特征;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  构造-热年代学分析揭示出一期连续抬升-剥露过程, 时间介于~121 Ma和~100 Ma之间。晚中生代二郎坪群地块经历了伸展-走滑-收缩背景依次控制下的构造改造过程, 先是在区域伸展体制下, 被内部的小寨-二郎坪剪切带、大庙-湾潭剪切带切割为抱树坪岩片、火神庙岩片、二进沟岩片等构造岩片; 在其后的早白垩世早期区域走滑背景下, 各构造岩片又发生了平移为主的右行走滑运动; 最后, 二郎坪岩体的侵入终止了内部小寨-二郎坪剪切带的活动, 而大庙-湾潭剪切带也在区域收缩体制下终止活动, 从而使二郎坪群重又焊接为一体。研究结果预示着北秦岭二郎坪群晚中生代同时期的构造体制可能与大别山是相反的。

**关键词:** 晚中生代; 二郎坪群; 构造岩片; 剪切带;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学; 构造体制

**中图分类号:** P54

**文献标识码:** A

## 1 研究区概况

研究区北秦岭二郎坪群在地质历史上, 古生代为冈瓦纳古陆和劳亚古陆之间、特提斯洋中的一系列具有前寒武纪结晶基底的海山、洋岛; 中生代早期, 主体与华北、扬子陆块拼合, 位于拼合带上; 晚中生代, 受大西洋张开、太平洋消减等全球因素影响, 发生了强烈的陆内构造-岩浆活化, 华北东部构造体制由挤压向拉张转变, 这一方面对南北相邻盆地及内部断陷湖盆的发育及区域成矿起到了控制作用<sup>[1-3]</sup>, 另一方面促进了中央造山带的形成<sup>[4-8]</sup>; 新生代以来, 位于逐渐隆起的青藏高原东北缘, 伴随着欧亚板块和印度板块的拼合碰撞, 成

收稿日期: 2008-11-20

基金项目: 地质过程与矿产资源国家重点实验室基金项目(GPMR200634); 国家自然科学基金项目(40602026); 国家自然科学基金重点基金项目(90814006)。

作者简介: 张宏远(1977-), 男, 河北省新城县(今高碑店市)人, 博士, 现任中国地质大学(北京)讲师, 主要从事构造地质学领域的教学科研工作。E-mail: zhanghongyuan@cugb.edu.cn

为逃逸构造活动带的一部分, 但太平洋板块俯冲作用仍然发挥远程效应。

二郎坪群位于河南西峡县二郎坪一带, 南北以朱阳关-夏馆和瓦穴子-乔端剪切带为界, 分别与秦岭群、宽坪群相邻, 近东西向带状展布(见图1)。南北向横剖面依次有子母沟组、抱树坪组、小寨组、火神庙组、大庙组和二进沟组等地层学单位<sup>①</sup>, 主体为细碧角斑岩-沉积碎屑复理石建造。其结构及演化过程较复杂, 是由原秦岭系解体出来的, 历来被作为解剖秦岭演化的重要构造单元<sup>[2,9-11]</sup>。有关变质作用研究工作揭示出二郎坪群经历了叠加变质改造<sup>[2,6,12-16]</sup>, 蛇绿岩片<sup>[17-19]</sup>、非蛇绿岩构造组合体<sup>[20]</sup>、子母沟组实为朱阳关-夏馆韧性剪切带的构造岩<sup>[5]</sup>、以板山坪-太平镇主背斜带为中央的复式倒转褶皱系<sup>[21]</sup>等大量科学论点被提出。

晚中生代的陆内构造-岩浆活动改造使二郎坪群的结构变得复杂, 也使得岩片划分及演化等细节问题的研究更为困难。本文在中朝、扬子两大地块拼合带的背景框架内, 从变形-变质作用关系出发, 解剖晚中生代二郎坪群的构造岩片组成, 并通过中小构造解析、显微构造岩组学、电子探针、年代学等工作, 探讨构造体制转换问题。

## 2 二进沟岩片、火神庙岩片及抱树坪岩片

通过对二郎坪群的详细地质测量和对比, 发现其具有强/弱相间分布的变形规律, 可以大庙-湾潭剪切带( $F_5$ )和小寨-二郎坪剪切带( $F_6$ )为界, 将二郎坪群自北向南划分为二进沟、火神庙、抱树坪等3个主要构造岩片(见图1B)。

二进沟岩片, 位于瓦穴子-乔端剪切带( $F_2$ )和大庙-湾潭剪切带( $F_5$ )之间, 总体为一套高级变质岩系, 常见混合岩化斜长角闪片麻岩和混合岩化斜长角闪岩残留体。原岩主要为基性和中性火山岩, 部分源于基性拉斑玄武岩喷发<sup>[27]</sup>。侵入岩体十分发育, 规模较大的有加里东期张家庄石英闪长岩体(ZJZ)及燕山期堂坪-长探河(TPCT)、太平镇-满子营(TPMZ)、烟镇(YZ)等二长花岗岩体, 可见斜长角闪岩以透镜体或包裹体的形式存在于其中。

火神庙岩片, 位于大庙-湾潭剪切带( $F_5$ )和小寨-二郎坪剪切带( $F_6$ )之间, 主体最宽处位于河南省西峡县湾潭-二郎坪一带, 向西在小寨以西尖灭, 总体呈楔形, 主要由变质中、基性火山岩(细碧角斑岩)等构成, 局部可清晰辨别枕状玄武岩、硅质岩、碎屑岩等的原生构造。高联达等在湾潭的灰色、灰黑色砂板岩中发现丰富的中泥盆世陆生植物孢子(Spores), 少数疑源类(Acritarchs)和极少数几丁虫(Chitinozoa)化石<sup>[28]</sup>。内部发育加里东期中-酸性岩体, 如白虎岭闪长岩体(BHL)及西庄河(XZH)淡色云英闪长岩(奥长花岗岩)体。

抱树坪岩片, 位于小寨-二郎坪剪切带( $F_6$ )和朱阳关-夏馆剪切带( $F_3$ )之间, 主体为一套低压中温变质岩系<sup>②[13,29]</sup>, 以弱变形黑云母片岩夹斜长角闪质条带为主。但在靠近边界剪切带处则发育二云母片岩, 白云母含量较剪切带外显著增多。抱树坪岩片原岩可能为拉斑质碱性玄武岩<sup>[12]</sup>, 经历了2期区域叠加变质作用<sup>[13,29]</sup>。由于发生于岩片边界上的高温剪切作用及其流体的导入是导致构造岩中白云母生成的重要原因, 所以推测边界剪切带的构造岩还可能经历了剪切热变质作用。燕山期酸性岩浆活动十分发育, 见骨头崖(GTY)和二郎坪(ELP)等较大的二长花岗岩体以及一系列同期岩脉。

① 河南省地质局区域地质测量队三分队. 1973. 中华人民共和国区域地质调查报告 1:50000 河南省西峡县北部. 1~159.

② 河南省地质矿产厅区域地质调查队调所一分队. 1994. 中华人民共和国地质图说明书 1:50000 米坪幅 (I-49-91-B).

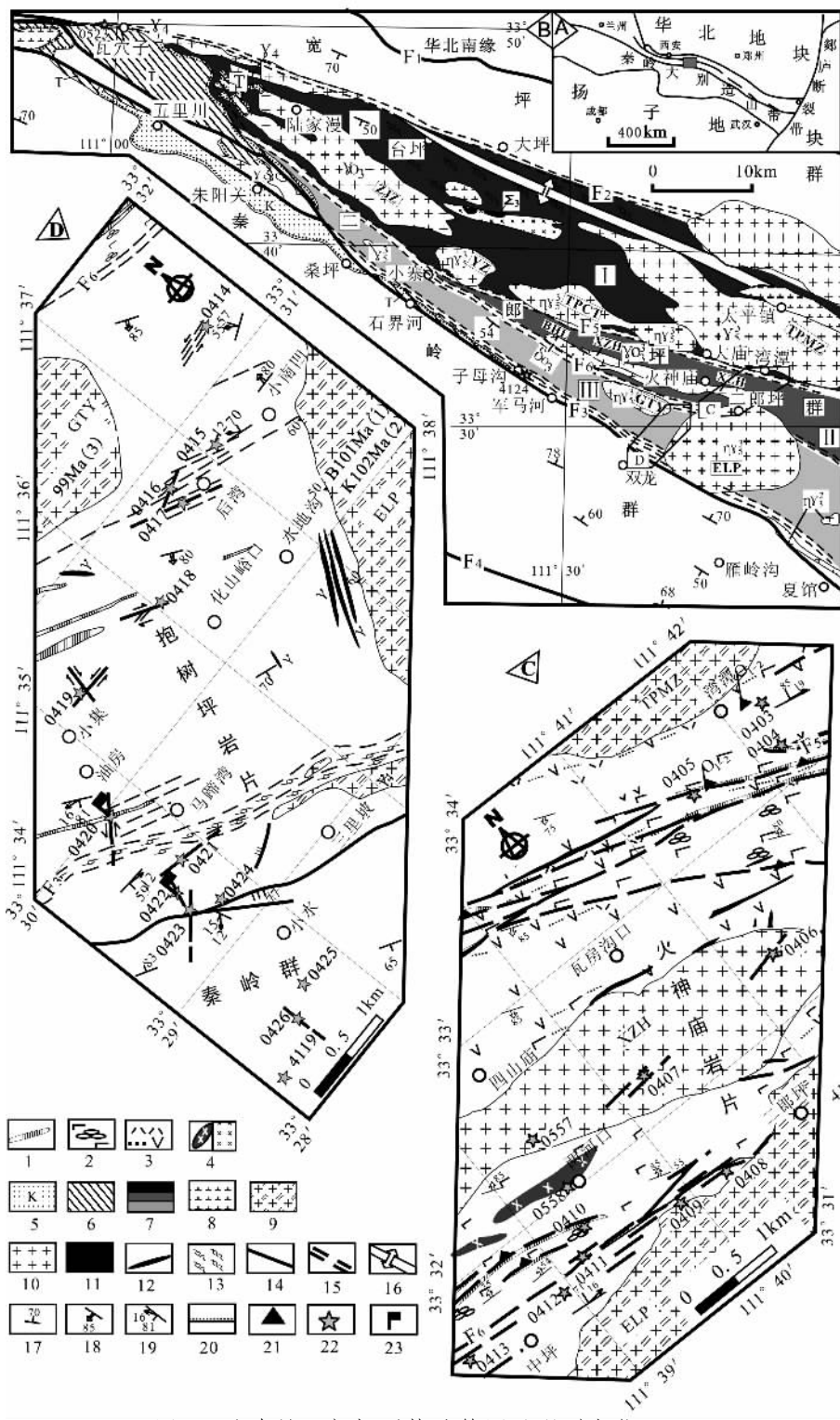


图1 北秦岭二郎坪群构造简图及观测点位 (据文献 [12, 21-24] 编制)

Fig.1 A sketch showing the structure of the "Erlangping Group" in North Qinling and research positions

A. 研究区位置; B. 研究区构造简图; C. 二郎坪-湾潭一带地质简图; D. 小水-后湾一带地质简图

1-钙质板岩、硅质岩; 2-变质玄武岩; 3-变质中、酸性火山岩; 4-基性岩脉/岩株; 5-晚白垩世红色砾岩系 [25-26]; 6-三叠纪碎屑岩系; 7-二郎坪群 (其中 I、II、III 分别指二进沟岩片、火神庙岩片、抱树坪岩片); 8-石英闪长岩; 9-二长花岗岩; 10-花岗闪长岩; 11-超基性岩; 12-花岗质脉; 13-混合片麻岩; 14-脆性、脆-韧性剪切带; 15-韧性剪切带; 16-太平镇-板山坪背斜; 17-层理产状; 18-片理产状; 19-片理及其上矿物线理产状; 20-不整合面; 21-古生物化石发现位置; 22-本文观测点; 23-本文 Ar-Ar 测年采样点; F<sub>1</sub>-洛南-栾川剪切带; F<sub>2</sub>-瓦穴子-乔端剪切带; F<sub>3</sub>-朱阳关-夏馆剪切带; F<sub>4</sub>-高南-丹凤剪切带; F<sub>5</sub>-大庙-湾潭剪切带; F<sub>6</sub>-小寨-二郎坪剪切带; ZJZ-张家庄岩体; BHL-白虎岭岩体; XZH-西庄河岩体; YZ-烟镇岩体; TPCT-堂坪-长探河岩体; TPMZ-太平镇-满子营岩体; GTY-骨头崖岩体; ELP-二郎坪岩体

### 3 岩片边界剪切带变形 - 变质作用关系

#### 3.1 小寨 - 二郎坪韧性剪切带

作为火神庙岩片和抱树坪岩片（见图 1C、1D）的边界，小寨 - 二郎坪剪切带（ $F_6$ ）在小寨组地层单元内表现尤为明显，但在二郎坪附近明显被二郎坪粗粒花岗岩体吞噬。二郎坪岩体为近圆形，展布基本不受小寨 - 二郎坪剪切带控制。总体为 WNW - ESE 走向，倾向 SSW，倾角  $45 \sim 70^\circ$ 。关山坪黑云母拉伸线理产状为  $290^\circ \angle 20^\circ$ 。

该剪切带主要表现出韧性变形特征，发育具强烈剪切热变质特点的构造岩，如绢云母片岩和变形二云母片岩等。小寨 - 二郎坪剪切带伸展型右行韧性走滑为主的运动学特点，使得该剪切带对二郎坪群的改造仅限于将其一分为二，使两断盘发生相对平移运动。野外宏观证据有：①小寨附近砾岩、云母片岩强烈变形，ECC 构造指示存在上盘向北的高角度逆冲及水平右行走滑；②中坪一带辉绿岩侵入体雁列式出露，指示宏观尺度上的右行剪切，显微结构特征显示其为中浅层次剪切变形；③关山坪斜长角闪岩强烈变形，角闪石残斑指示水平右行走滑。显微构造研究（见图 2、图 3）显示，富黑云母叶理（C）与新生富白云母叶理（C'）小角度相交，整体构成伸展型 C-C' 构造；剪切叶理面近乎直立，显示以伸展型右行走滑运动为主的特点；云母褶劈理内新生白云母的发育，推测与局部剪切热及相关流体之间关系密切。因此，在火神庙岩片和抱树坪岩片的边界处优势发育的二云母片岩经历了右行走滑韧性剪切改造过程，并在尔后的整体抬升过程中未遭受明显的脆性变形叠加改造。

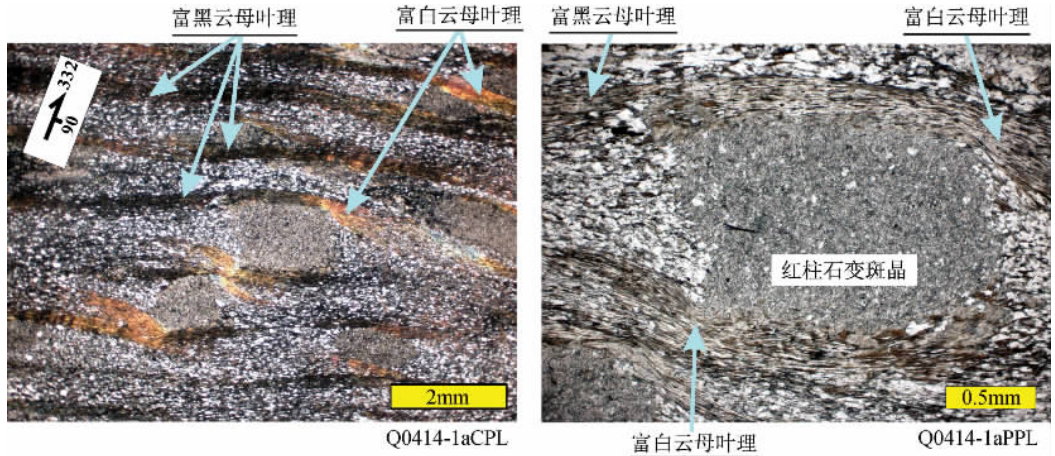


图 2 中坪南二云母片岩显微构造

Fig.2 Micro-structure of muscovite - biotite schist from Zhongping village

强烈叶理化改造，发育云母 C-C' 劈理构造，即发育两期云母，早期为黑云母 C 面理，晚期为白云母（绢云母）C' 面理。薄片号 Q0414a（图 1D，点 0414），薄片恢复产状为北西 - 南东走向、直立倾角；CPL—正交偏光，PPL—单偏光。下同

#### 3.2 大庙 - 湾潭剪切带

小寨以东，沿烟镇岩体、堂坪长探河岩体南缘，经大庙 - 湾潭一带向东延伸；小寨以西，逐渐并入小寨 - 二郎坪剪切带（见图 1B）。走向大致在 WNW  $280^\circ \sim$  ESE  $100^\circ$ ，在湾潭一带倾向为 NNE，倾角  $70 \sim 90^\circ$ ，在西段小寨北关山坪一带为倾向 SSW，倾角  $60 \sim 80^\circ$ 。湾潭一带的菱形块体及高角度南倾的剪切面理构成了水平面内的双重构造，代表脆 - 韧性剪切带的

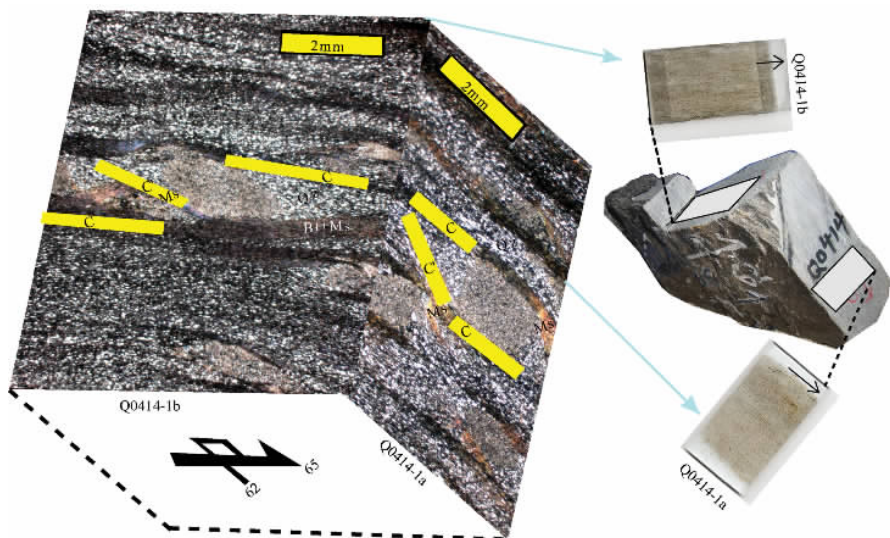


图3 小寨-二郎坪韧性剪切带内糜棱岩三维显微构造模型

Fig.3 3D micro-structural model for mylonite from the Xiaozhai-Erlangping Ductile Shear Zone

同一糜棱岩样品(图1D,点0414),薄片Q0414-1a、Q0414-1b模型由两张恢复产状的互相垂直薄片的正交偏光显微照片拼合而成,表现出伸展型C-C'构造的发育特点,C'内常见新生矿物白云母,指示遭受了沿主剪切面C的右行平移剪切

压扭活动特点(见图1B、1C)。中泥盆世早期孢子化石<sup>[28]</sup>就是在断夹块内被发现的。但本文所指大庙-湾潭剪切带横剖面的核心是在该双重构造带的北侧,也就是传统的大庙组内,发育大量千糜岩。湾潭千糜岩(样品Q0403-1)显微构造研究显示,细粒化、叶理化显著。叶理域内新生绢云母十分发育。探针分析也表明富云母域中发育的是Si离子数为2.8~2.9的细小白云母,揭示了剪切流体的存在。据此初步推测云母叶理是岩石在右行走滑剪切过程中出现的(见图4)。

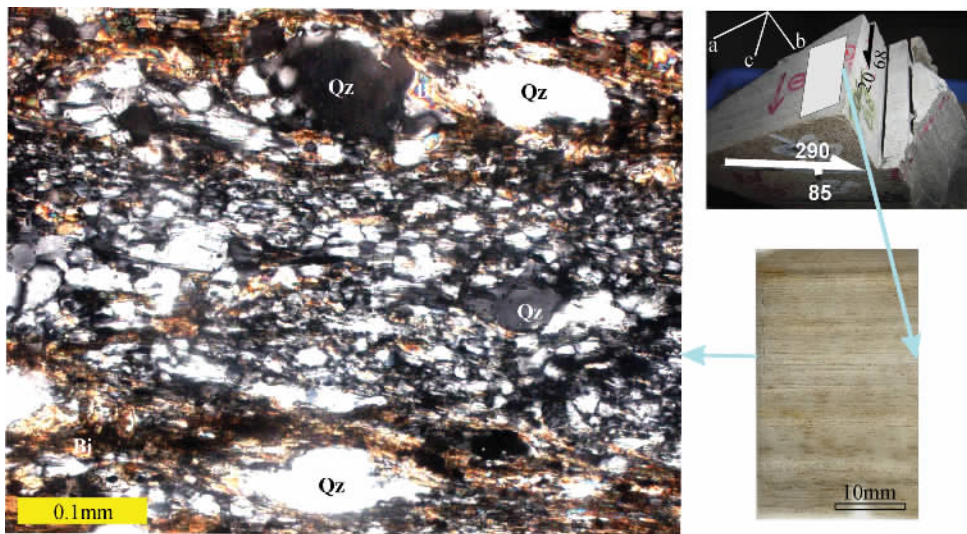


图4 大庙-湾潭剪切带的显微右行剪切运动学标志

Fig.4 Micro-dextral shearing marks along the Damiao-Wantan Shear Zone

千糜岩样品Q0403-1(图1C,湾潭附近采样点0403)正交偏光照片,显示了C-C'构造指示右行剪切的特点

大庙 - 湾潭剪切带核心带的韧性右行剪切事件显然早于宏观上的压扭性双重构造的发育。因此, 大庙 - 湾潭剪切带的构造运动使得二郎坪群一分为二, 并使两盘岩片经历两阶段的相对运动, 早期右行韧性走滑为主, 晚期脆 - 韧性压扭运动为主。

### 3.3 朱阳关 - 夏馆剪切带

朱阳关 - 夏馆剪切带是二郎坪群和秦岭群的边界断裂, 主要展布于河南省卢氏县朱阳关镇 - 西峡县米坪乡子母沟、内乡县板场乡、夏馆镇沿线, 向东没入南阳 - 襄樊夹道平原, 并于桐柏县大河乡一带复出。剪切带内叶理倾向 SSW - SW, 倾角  $40 \sim 70^\circ$ , 拉伸线理倾向为  $280 \sim 310^\circ$ , 倾伏角约  $10^\circ$ 。剪切带南、北两侧地块在叶理优选产状方面存在较大差别。沿线野外可清楚地观察到糜棱岩带、褶皱冲断构造、碎裂岩带等不同层次的构造变形标志, 说明具有多期次、多层次的活动特点, 另见大量指示右行走滑事件的运动学标志; 沿线发育三叠纪残留盆地和深受其控制变形较弱的白垩纪红层盆地。本文着重通过对剪切带内长英质糜棱岩的显微构造及岩组学分析阐明朱阳关 - 夏馆剪切带的深层次变形 - 变质作用过程。

以马蹄湾花岗质糜棱岩为例, 镜下可见眼球状长石残斑较多, 长石中微斜长石居多, 波状消光, 边部细化为基质, 总体构成残斑系; 正交偏光下可见石英多呈现聚晶条带样式, 而聚晶条带由变形较弱的细粒化粒状或多边形石英组成。据此推测, 原生石英经历了低绿片岩相的单晶丝带阶段的变形过程, 随后又经历了高绿片岩相条件下的静态恢复阶段, 据未经受明显的脆性变形叠加改造的特点推测最终是整体抬升至地表的。但是基于产状恢复的石英  $c$  轴组构图却灵敏地指示出两期活动, 主体活动是上盘区域性地向北西方向中温伸展, 次要活动为上盘向南东方向低温叠加性仰冲 (见图 5)。综合得知, 该处糜棱岩的改造过程为, 首先是经历了上盘区域性地向北西方向伸展滑脱过程, 发生于在低绿片岩相向高绿片岩相的进变质环境下; 然后经历了上盘向南东方向的低温浅层次脆 - 韧性仰冲过程。

虽然子母沟糜棱岩在基于产状恢复的石英  $c$  轴组构图方面与马蹄湾的具有相似性, 即亦为 III 型极密和 V 型极密, 但其显微尺度下所看到的石英变形特点与来自马蹄湾的不尽相同, 本处的单晶石英发生了进一步的低温韧性剪切变形 (见图 6)。综合两方面研究揭示出, 糜棱岩至少经历两个阶段的变形改造, 即先是升温进变质阶段, 表现为石英拉长定向到静态重结晶细粒化, 尔后是静态重结晶的石英新颗粒再次拉长定向阶段。

综上可知, 朱阳关 - 夏馆剪切带的活动是多层次和多阶段的, 其活动可能伴随着二郎坪群的形成及演化的全过程, 活动持续至今。带内构造岩至少经历了区域伸展进变质、韧性右行走滑、脆 - 韧性挤压等过程。

### 3.4 瓦穴子 - 乔端剪切带

瓦穴子 - 乔端剪切带为二郎坪群北侧边界断裂, 其北侧为宽坪群, 该带改造了加里东期张家庄岩体和二进沟岩片 (见图 1B)。该剪切带具有区域性、长期性、多层次的活动特点。

瓦穴子、马连一带糜棱岩显微构造研究显示, 向南陡倾的韧性剪切叶理内的 S-C 组构等运动学标志指示了右行走滑的运动学特点 (见图 7)。经电子探针分析, 发现构造岩叶理域中发育大量新生白云母及绢云母, 部分为多硅白云母, Si 离子数介于  $2.70 \sim 3.25$  之间。而据 Massonne 等的研究, 当 Si 离子数达 3.22 时即可判断为高压多硅白云母<sup>[30]</sup>。因此, 瓦穴子 - 乔端剪切带构造岩右行走滑过程伴有高压流体的产生, 具有韧性变形的特点。

## 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 构造年代学及其意义

前人研究认为二郎坪群区域低压变质作用 (产生红柱石,  $0.3 \sim 0.45 \text{ GPa}$ ,  $510 \sim 620 \text{ }^\circ\text{C}$ )

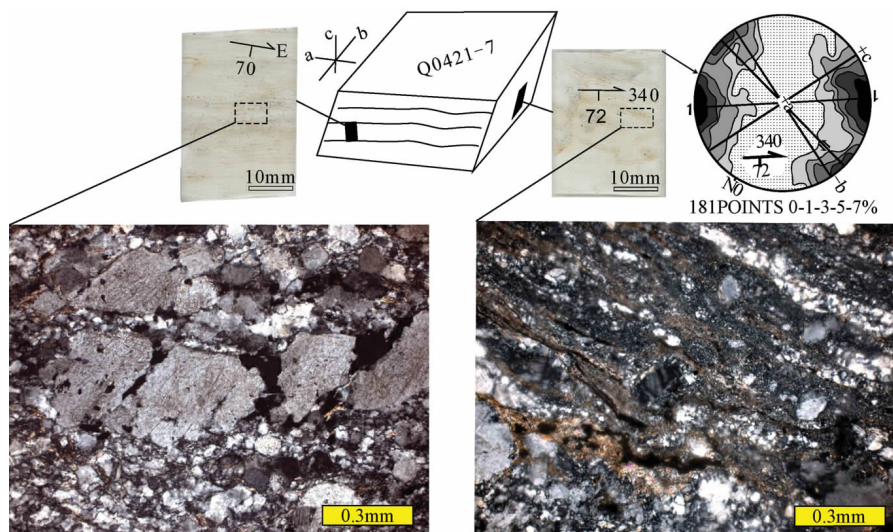


图5 朱阳关-夏馆韧性剪切带小水-马蹄湾一带的糜棱岩显微岩组学分析

Fig.5 Micro-texture analysis of mylonite from Xiaoshui-Matiwan area along the Zhuyangguan-Xiaguan Shear Zone 眼球状长英质糜棱岩样品 Q0421-7 (图 1D 点 0421) 正交偏光照片。眼球状长石残斑较多, 波状消光, 与细粒化长石基质构成残斑系。石英主要以聚晶条带样式呈现, 其中细小单晶又多表现为细晶弱变形状态。下半球等面积投影石英 c 轴组构极密类型为较大的 III 型极密 (菱面滑移) 和较小的 VII 型极密 (底面滑移)。结合显微鉴定及产状恢复, 可判断出两个明显的韧性变形阶段: 一为大极密所指示的大规模上盘指向北西的中温下降改造, 二为小极密所指示的局部性上盘指向南东的低温抬升改造过程

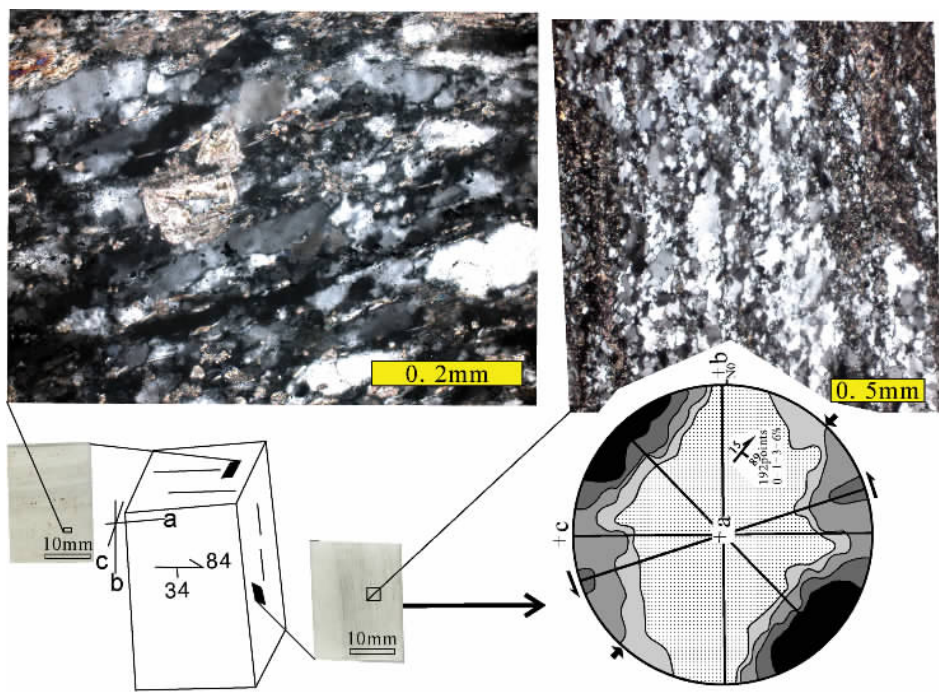


图6 朱阳关-夏馆剪切带子母沟糜棱岩显微构造分析

Fig.6 Micro-texture analysis of mylonite from Zimugou located in the Zhuyangguan-Xiaguan Shear Zone 糜棱岩样品 Q4124 (图 1B 点 4124) 正交偏光显微照片。石英呈聚晶条带状, 单晶已定向拉长。下半球等面积投影石英 c 轴组构图显示极密类型为 III 型极密 (中温菱面滑移) 和 V 型极密 (高温柱面滑移)。结合显微鉴定及产状恢复, 可判断出两个明显的韧性变形阶段: 一为 III 型极密所指示的上盘向北的中温构造伸展, 二为 V 型极密所指示的上盘向南的高温抬升缩短

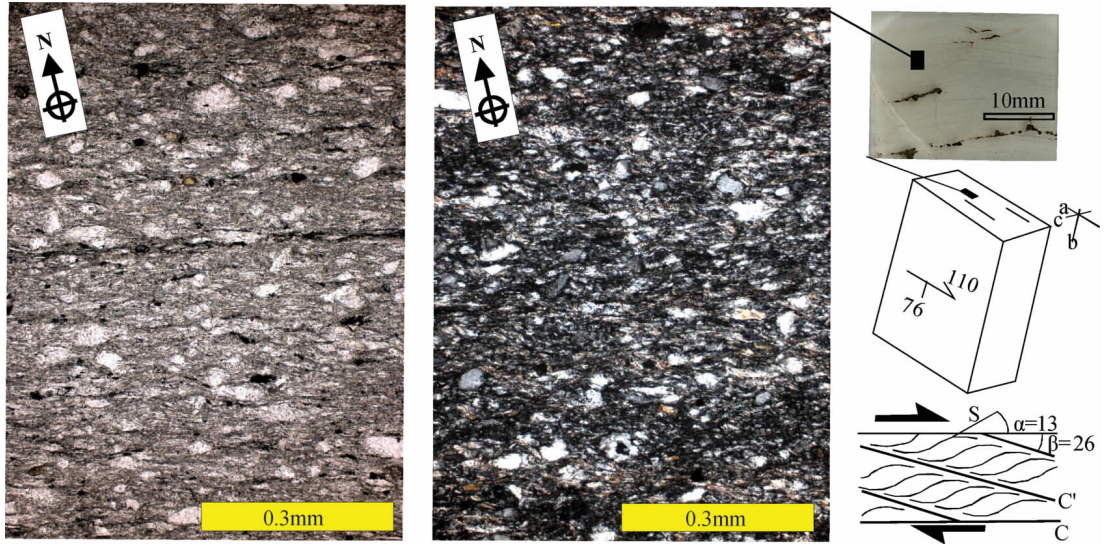


图 7 瓦穴子-乔端剪切带 ( $F_2$ ) 糜棱岩显微构造分析

Fig.7 Micro-structural analysis of mylonite from the Waxuezi-Qiaoduan Shear Zone

马连一带糜棱岩显微照片 (左为单偏光, 中为正交偏光, 图 1B 采样点 0523)

显示长英质 S-C 糜棱岩结构, 示右行剪切. S-C 夹角  $13^\circ$ , C-C' 夹角  $26^\circ$

可能发生于加里东期<sup>[13,27]</sup>。赵东林等对二郎坪群构造岩中白云母、角闪石进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素定年, 结果分别为  $\sim 111.2\text{ Ma}$  和  $\sim 121\text{ Ma}$ <sup>[31]</sup>, 部分地揭示了构造岩剥露冷却的时间。为了进一步揭示该构造过程, 本文选择位于朱阳关-夏馆剪切带上马蹄湾附近点 0420 (见图 1D) 的黑云母片麻岩 (编号 Q0420-1, 地理坐标  $33^\circ29.967'$ 、 $111^\circ34.739'$ ) 中的黑云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年龄测试, 过程和结果简述如下。

将黑云母单矿物放入北京中国原子能研究院 49-2 反应堆进行快中子照射, 照射时间为 10 h 54 min, 快中子累积通量为  $2.3544 \times 10^{17}$ , 所用国际标准样为美国鱼谷凝灰岩中的透长石 (形成时间为  $27.88 \pm 0.02\text{ Ma}$ ); 待样品放射性剂量衰减到安全条件, 利用中国地质大学 (北京) 同位素质谱实验室 MM-5400 稀有气体同位素质谱仪 (英国 GV 公司生产) 对该取回样品进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段加热实验, 结果如表 1、图 8 所示。黑云母的坪年龄为  $104.7 \pm 0.5\text{ Ma}$ , 坪比较平整, 说明比较纯净; 等时年龄为  $106.6 \pm 2.6\text{ Ma}$ , 坪年龄与等时年龄接近。因此, 该年龄值是可信的。

依据 Dodson 的封闭温度相关理论<sup>[32]</sup>、赵东林等的研究成果<sup>[31]</sup> 及本文上述工作, 容易推知在环境温度方面二郎坪群现今位于地表的岩石经历了从  $\sim 121.5\text{ Ma}$  的  $500 \sim 550\text{ }^\circ\text{C}$  (即角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  封闭温度<sup>[33]</sup>), 到  $\sim 111.2\text{ Ma}$  的  $\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$  (白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  封闭温度<sup>[34]</sup>), 再到  $\sim 100\text{ Ma}$  的  $\sim 300\text{ }^\circ\text{C}$  (黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  封闭温度<sup>[34]</sup>) 的衰减过程。这反映的是晚中生代经历的一个为期  $\sim 20\text{ Ma}$  连续抬升变浅的过程。因此, 小寨-二郎坪剪切带、大庙-湾潭剪切带的深层次韧性右行走滑事件应发生于  $\sim 121\text{ Ma}$  前。

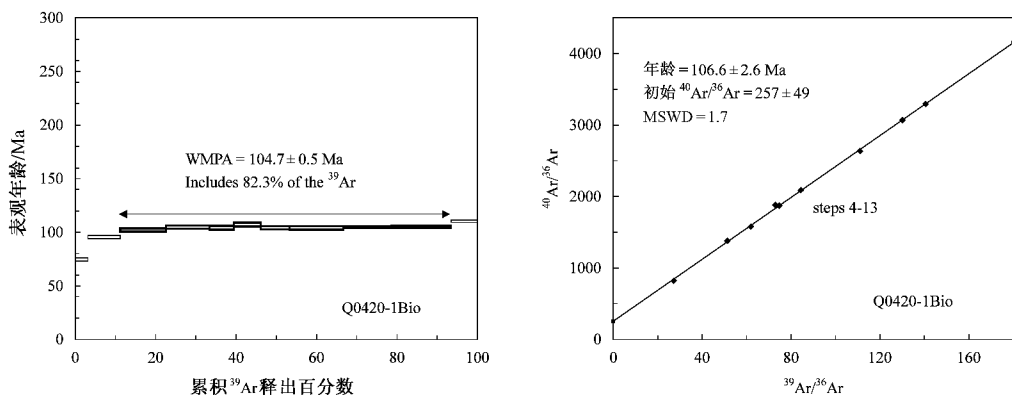
## 5 结论和讨论

宏观上的构造-地层-岩浆关系研究表明, 晚中生代在北秦岭地区经历了较大规模具造

表1 样品 Q0420-1 黑云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 阶段升温测年数据Table 1 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar aging data of biotite from Sample Q0420-1

温度/°C	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	<sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	<sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	<sup>40</sup> Ar <sub>ijk</sub> / <sup>39</sup> Ar <sub>k</sub>	<sup>39</sup> Ar/10 <sup>-8</sup> ccSTP	<sup>39</sup> Ar/%	( <sup>40</sup> Ar <sub>ijk</sub> / <sup>40</sup> Ar <sub>总</sub> )/%	年龄/Ma	误差/Ma
650	117.074	0.328	23.585	22.150	0.004	0.1	19.63	109.1	137.0
800	478.466	1.404	59.727	71.224	0.002	0.0	15.29	329.5	544.8
920	27.982	0.044	0.221	15.038	0.215	3.0	54.34	74.8	1.5
980	30.225	0.037	0.134	19.358	0.566	8.0	64.51	95.7	1.5
1030	25.489	0.016	0.042	20.715	0.802	11.4	81.51	102.2	1.5
1080	24.755	0.012	0.036	21.251	0.763	10.8	86.03	104.8	1.5
1120	26.915	0.019	0.024	21.151	0.424	6.0	78.86	104.3	1.8
1160	25.840	0.014	0.072	21.784	0.470	6.7	84.50	107.3	1.8
1200	25.088	0.013	0.224	21.131	0.510	7.2	84.42	104.2	1.4
1240	23.766	0.009	0.025	21.099	0.940	13.3	88.92	104.0	1.6
1280	23.568	0.008	0.067	21.295	0.841	11.9	90.50	105.0	1.0
1350	23.466	0.007	0.001	21.358	1.048	14.9	91.14	105.3	1.0
1400	27.577	0.017	0.000	22.436	0.463	6.6	81.60	110.4	1.1

注: 样号 Q0420-1Bio, 称重 (g) = 0.01632, J = 0.0028132

图8 Q0420-1 黑云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄谱 (左) 和等时年龄 (右)Fig. 8 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar plateau age (left) and isochron age (right) of biotite from Sample Q0420-1

山性质的强烈构造改造<sup>[1-8]</sup>, 这已为各种地质体的中温及低温年代学记录<sup>[22,35]</sup>所证实。总体而言, 北秦岭构造带内二郎坪群的结构比较复杂, 但出露关系清楚, 可较详细地揭示该改造过程。二郎坪群建造及改造过程复杂, 前人已提出许多不同的成因模式<sup>[5,22,36-38]</sup>; 加里东期以来改造较为复杂, 一是区域中温低压变质作用显著<sup>[13,27]</sup>, 二是加里东期岩体至燕山期岩体大规模发育, 三是对上述变质及岩浆活动起到控制作用的构造活动十分强烈。因此, 现有同位素年龄值分布也是很分散的<sup>[19,22]</sup>。通过本文分析, 对二郎坪群的中生代构造活动过程取得如下初步认识:

①二郎坪群解体。在内部小寨-二郎坪剪切带、大庙-湾潭剪切带强烈活动时期, 二郎坪群地块被分割为抱树坪、火神庙、二进沟 3 个构造岩片。小寨-二郎坪剪切带为韧性剪切带; 大庙-湾潭剪切带具有韧性剪切带、脆-韧性剪切带双重层次。

②晚中生代二郎坪群 3 个构造岩片以剪切带为界发生了复杂的相对运动, 经宏观、微观构造分析, 认为其大约经受了伸展、走滑、收缩 3 个体制的叠加变形改造。

区域伸展期。二郎坪群内部发生了酸性岩浆侵位活动, 热年代学数据<sup>[22,24]</sup>表明该期岩浆活动从燕山早期持续到早白垩世时期。伸展构造普遍发育。朱阳关-夏馆剪切带内马蹄湾糜

棱岩显微构造记录了二郎坪群相对于秦岭群的向北/北西下滑的事件。因而, 白垩纪早期在朱阳关-夏馆剪切带局部产生了拉分型红层盆地。结合 Ar-Ar 热年代学推知, 本阶段应限于 ~121 Ma 之前。

边界剪切带的右行韧性走滑期, 发生于早白垩世。岩片之间似无明显的相对升/降运动, 系伸展体制和收缩体制的过渡阶段。小寨-二郎坪剪切带、大庙-湾潭剪切带构造岩均经历右行韧性剪切改造。构造岩叶理内新生白云母普遍增多(含多硅白云母), 系右行走滑同生产物。该期右行韧性走滑活动概由二郎坪岩体为代表的最后一期区域性岩浆侵入活动所中止。

收缩剥露期。当小寨-二郎坪韧性剪切带被二郎坪岩体焊接之后, 构造岩片是沿着大庙-湾潭、朱阳关-夏馆剪切带、瓦穴子-乔端等边界剪切带活动的, 并在沿线产生了大量叠加于韧性剪切糜棱岩之上的逆掩构造。韧性连续抬升事件发生于 ~121 Ma 至 ~101 Ma 期间。抬升过程中, 抱树坪岩片和火神庙岩片是一体的。朱阳关-夏馆剪切带内糜棱岩显微构造及定向岩组学研究也揭示了该阶段的一些变形特点, 如子母沟一带上盘向南/南东高角度收缩事件。大庙-湾潭剪切带的焊接标志着本挤压收缩事件脆-韧性变形阶段的基本结束和整个二郎坪群诸岩片的二次统一, 具体时间有待进一步研究。但二郎坪群边界断裂, 朱阳关-夏馆剪切带及瓦穴子-乔端剪切带活动至今, 这两条剪切带对秦岭造山带的新生代成山可能起到了重要作用。

③本文对北秦岭二郎坪群晚中生代构造体制演化的认识似与东部大别山中生代构造演化中体制的更替规律相反。秦岭-大别同属中国中央造山带, 大别山在侏罗纪末到早白垩世, 源区剧烈持续上升和剥蚀; 早白垩世晚期, 源区构造演变为转换拉张; 晚白垩世, 盆地边缘与源区一起抬升, 并遭受剥蚀<sup>[39]</sup>。而本地区经受了伸展、走滑、收缩 3 个体制的叠加变形改造。这可能与其中朝与扬子两刚性地块结合带不同位置的力学性质差异性有关, 该问题值得从大地构造角度进一步研究。

**致谢** 在本文研究过程中得到了中国地质科学院王新社、王涛、胡建民、牛宝贵、张宗清和中国地质大学王瑜、胡玲、孙凯荪、陈华以及北京大学刘树文、李秋根、郑亚东等专家的多方指教, 并受到了著名构造学家姜春发先生的长期鼓励, 笔者谨向他们表示诚挚的谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 张二朋. 秦巴及邻区地质-构造特征概述 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 1~291.  
ZHANG Er-peng. Geologic-tectonic features of Qinling-Dabashan Mountains and adjacent regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1~291.
- [2] 刘国惠, 张寿广, 游振东, 等. 秦岭造山带主要变质岩群及其变质演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 1~190.  
LIU Guo-hui, ZHANG Shou-guang, YOU Zhen-dong, et al. Main metamorphic groups and their metamorphic evolution of Qinling Orogen [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1~190.
- [3] 张复新, 杜孝华, 王伟涛, 等. 秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应 [J]. 地质科学, 2004, 39 (4): 486~495.  
ZHANG Fu-xin, DU Xiao-hua, WANG Wei-tao, et al. Mineralization responded to Mesozoic geological evolution of the Qinling Orogen and its environs [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39 (4): 486~495.
- [4] 姜春发. 中央造山带主要地质构造特征 [J]. 地学研究, 1993, 27: 107~108.

- JIANG Chun-fa. Major geological and structural characteristics of the Central Orogenic Belts, China [J]. *Geoscience Research*, 1993, 27: 107 ~ 108.
- [ 5 ] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1 ~ 855.
- ZHANG Guo-wei, ZHANG Ben-ren, YUAN Xue-cheng, et al. Qinling orogen and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001, 1 ~ 855.
- [ 6 ] 索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 中国中央造山带内两个超高压变质带关系 [J]. *地质学报*, 2004, 78 (2): 156 ~ 165.
- SUO Shu-tian, ZHONG Zeng-qiu, ZHOU Han-wen, et al. On the relationship between the two UHP metamorphic belts in the Central Orogenic Belt, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78 (2): 156 ~ 165.
- [ 7 ] 杨文采. 中央造山带东段岩石圈的构造格架 [J]. *中国地质*, 2005, 32 (2): 299 ~ 309.
- YANG Wen-cai. Tectonic framework of the eastern segment of the central orogenic belt of China [J]. *Chinese Geology*, 2005, 32 (2): 299 ~ 309.
- [ 8 ] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 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*, 2006, 80 (12): 1793 ~ 1806.
- XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, Li Hai-bing, et al. The Early Paleozoic 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 Geologica Sinica*, 2006, 80 (12): 1793 ~ 1806.
- [ 9 ] 赵亚曾, 黄汲清. 秦岭山及四川之地质研究 [J]. *地质专报甲种第9号*, 1931.
- ZHAO Ya-zeng, HUANG Ji-qing. Geological research of Qinling Mountain and Sichuan [J]. *Geological Survey in China (Series A, No. 9)*, 1931.
- [ 10 ] 肖思云, 张维吉, 宋子季, 等. 北秦岭变质地层 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988. 1 ~ 320.
- XIAO Si-yun, ZHANG Wei-ji, SONG Zi-ji, et al. Metamorphic stratigraphy in North Qinling [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1988. 1 ~ 320.
- [ 11 ] 赵宗溥. 试论陆内型造山作用——以秦岭-大别山造山带为例 [J]. *地质科学*, 1995, 30 (1): 19 ~ 28.
- ZHAO Zong-pu. An introcontinental-type orogeny: Evidence from Qinling-Dabie orogenic belt, China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1995, 30 (1): 19 ~ 28.
- [ 12 ] 刘军. 东秦岭二郎坪群变质作用 [D]. 北京: 北京大学, 1987.
- LIU Jun. Erlangping metamorphism in the eastern Qinling [D]. Beijing: Peking University, 1987.
- [ 13 ] 张阿利, 魏春景, 田伟, 等. 北秦岭二郎坪群低压变质作用研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2004, 23 (1): 26 ~ 36.
- ZHANG A-li, WEI Chun-jing, TIAN Wei, et al. Low-pressure metamorphism of Erlangping Group in North Qinling Mountains [J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2004, 23 (1): 26 ~ 36.
- [ 14 ] 胡能高, 赵东林, 徐柏青, 等. 北秦岭含柯石英榴辉岩的发现及其意义 [J]. *科学通报*, 1994, 21: 2013.
- HU Neng-gao, ZHAO Dong-lin, XU Bai-qing, et al. The discovery of Coesite-bearing eclogite and its significance in North Qinling [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 21: 2013.
- [ 15 ] 游振东, 韩郁菁, 杨巍然, 等. 东秦岭大别高压超高压变质带 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998. 1 ~ 157.
- YOU Zhen-dong, HAN Yu-jing, YANG Wei-ran, et al. High pressure and ultra-high pressure metamorphic belt in East Qinling [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1998. 1 ~ 157.
- [ 16 ] 杨经绥, 许志琴, 裴先治, 等. 秦岭发现金刚石: 横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别 [J]. *地质学报*, 2002, 76 (4): 484 ~ 495.
- YANG Jing-sui, XU Zhi-qin, PEI Xian-zhi, et al. Discovery of diamond in North Qinling: Evidence for a giant UHPM belt across central China and recognition of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze Plates [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76 (4): 484 ~ 495.
- [ 17 ] 贾承造, 施央申, 郭令智. 东秦岭板块构造 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1988. 1 ~ 130.
- JIA Cheng-zao, SHI Yang-shen, GUO Ling-zhi. Plate tectonics in the east of Qinling Mountain [M]. Nanjing: Press of Nanjing University, 1988. 1 ~ 130.
- [ 18 ] 孙勇, 卢欣祥, 韩松, 等. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学 [J]. *中国科学 (D辑)*, 1996, 26 (增刊): 49 ~ 55.
- SUN Yong, LU Xin-xiang, HAN Song, et al. Composition and geochemistry of Erlangping ophiolite in North Qinling in Early Paleozoic era [J]. *Science in China (series D)*, 1996, 26 (Supp.): 49 ~ 55.

- [19] 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 等. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 2006. 1~348.  
ZHANG Zong-qing, ZHANG Guo-wei, LIU Dun-yi, et al. Isotopic chronology and geochemistry of ophiolites, granites and clastic sedimentary rocks in the Qinling orogenic belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. 1~348.
- [20] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
ZHANG Qi, ZHOU Guo-qing. Ophiolites in China [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [21] 王铭生, 武新强, 宋峰, 等. 河南毛集-二郎坪断陷带主体构造格架的确立及意义 [J]. 中国区域地质, 1999, 18 (1): 23~27.  
WANG Ming-sheng, WU Xin-qiang, SONG Feng, et al. The establishment of the main structural framework of the Maoji-Erlangping down faulted zone in Henan and its significance [J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (1): 23~27.
- [22] Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): Tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history [J]. Tectonophysics, 2003, 366: 1~53.
- [23] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带结构构造 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, 25 (9): 994~1003.  
ZHANG Guo-wei, MENG Qing-ren, LAI Shao-cong. Texture and structure of Qinling Orogen [J]. Science in China (Series B), 1995, 25 (9): 994~1003.
- [24] 卢欣祥. 秦岭花岗岩大地构造图 (1: 1000000) [M]. 西安: 西安地图出版社, 2000.  
LU Xin-xiang. Tectonic map of granites in Qinling (1: 1000000) [M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 2000.
- [25] 席文祥, 巴光进, 亢进法. 豫西卢氏县朱阳关组的建立 [J]. 中国区域地质, 1994, 4: 298~300.  
XI Wen-xiang, BA Guang-jin, KANG Jin-fa. The establishment of the Zhuyangguan Formation [J]. Regional Geology of China, 1994, 4: 298~300.
- [26] 周世全, 朱广彬, 冯祖杰. 河南内乡夏馆-高丘盆地的夏馆组及其时代 [J]. 资源调查与环境, 2003, 24 (1): 69~74.  
ZHOU Shi-quan, ZHU Guang-bin, FENG Zu-jie. Xiaguan Formation and its era of Xiaguan-Gaoqiu Basin in Neixiang County, Henan Province [J]. Volcanology & Mineral Resources, 2003, 24 (1): 69~74.
- [27] 田伟, 魏春景. 北秦岭造山带加里东期低 Al-TTD 系列: 岩石特征、成因模拟及地质意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 2005, 35 (3): 215~224.  
TIAN Wei, WEI Chun-jing. Petrological features, formation model and geological significance of Caledonian low Al-TTD series in north Qinling orogen [J]. Science in China (Series D), 2005, 35 (3): 215~224.
- [28] 高联达, 王宗起, 王涛, 等. 河南西峡地区二郎坪群火神庙组中发现泥盆纪孢子化石 [J]. 地质通报, 2006, 25 (11): 1287~1294.  
GAO Lian-da, WANG Zong-qi, WANG Tao. Discovery of Devonian spores in the Huoshenmiao Formation of the Erlangping Group in the Xixia area, Henan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (11): 1287~1294.
- [29] 周汉文, 陈能松. 豫西东秦岭造山带低压变质带的变质变形和变质反应 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1994, 19 (1): 9~18.  
ZHOU Han-wen, CHEN Neng-song. Metamorphism, deformation and metamorphic reactions of low-pressure metamorphic belt in East Qinling Orogenic Belt, western Henan [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1994, 19 (1): 9~18.
- [30] Massonne H, Szpürka Z. Thermodynamic properties of white micas on the basis of high-pressure experiments in the systems  $K_2O$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  and  $K_2O$ - $FeO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  [J]. Lithos, 1997, 41: 229~250.
- [31] 赵东林, 胡能高, 安三元. 北秦岭二郎坪岩群 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄特征及其地质意义 [J]. 矿物学报, 1998, 18 (1): 101~104.  
ZHAO Dong-lin, HU Neng-gao, AN San-yuan.  $^{40}Ar/^{39}Ar$  plateau age spectra of Erlangping Group, North Qinling and their geological implications [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18 (1): 101~104.
- [32] Dodson M H. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1973, 40 (3): 259~274.
- [33] Mark Harrison T. Diffusion of  $^{40}Ar$  in hornblende [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1981, 78 (3): 324~331.
- [34] McDougall I, Harrison T M. Geochronology and thermochronology by the  $^{40}Ar/^{39}Ar$  method [M]. Oxford: Oxford University Press, 1999. 1~269.
- [35] 胡圣标, 郝杰, 付明希, 等. 秦岭-大别-苏鲁造山带白垩纪以来的抬升冷却史-低温年代学数据约束 [J]. 岩

石学报, 2005, 21 (4): 1167 ~ 1173.

HU Sheng-biao, HAO Jie, FU Ming-xi, et al. Cenozoic denudation and cooling history of Qinling-Dabie-Sulu orogens: Apatite fission track thermochronology constraints [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21 (4): 1167 ~ 1173.

- [36] Zhang G W, Yu Z P, Sun Y, et al. The major suture zone of the Qinling orogenic belt [J]. *Southeast Asia Earth Science*, 1989, 3: 63 ~ 76.
- [37] Xue F, Lerch F, Kröner A. et al. Tectonic evolution of the East Qinling Mountains, China, in the Paleozoic: A review and a new tectonic model [J]. *Tectonophysics*, 1996, 253: 271 ~ 284.
- [38] 王作勋, 王宗起, 姜春发, 等. 秦岭造山带显生宙构造迁移与陶湾群沉积变形 [M]. 北京: 地震出版社, 1995. 1 ~ 104.
- WANG Zuo-xun, WANG Zong-qi, JIANG Chun-fa, et al. Phanerozoic structural dislocation and Taowan Group deformation in Qinling Orogen [M]. Beijing: Seismic Publishing House, 1995. 1 ~ 104.
- [39] 姜春发. 中央造山带几个重要地质问题及其研究进展 (代序) [J]. *地质通报*, 2002, 21 (8~9): 453 ~ 455.
- JIANG Chun-fa. Several important geological problems and their research review in Central Orogenic Belt [J]. *Regional Geology of China*, 2002, 21 (8~9): 453 ~ 455.

## THE LATE MESOZOIC EXTENSION-SLIPPING-CONTRACTION OF THE ERLANGPING GROUP IN THE NORTH QINLING TECTONIC BELT, CENTRAL CHINA

ZHANG Hong-yuan<sup>1</sup>, WANG Zong-qi<sup>2</sup>, LIU Jun-lai<sup>1</sup>, YAN Quan-ren<sup>3</sup>, WANG Tao<sup>3</sup>, YAN Zhen<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Mining Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The convergence belt between the Sino-Korea block and the Yangtze block was strongly deformed by intracontinental tectonomagmatic activity in the Late Mesozoic. In order to show details of the belt during the Late Mesozoic, we have carried out a series of analysis for the Erlangping Group on meso-small structure, micro-texture, electron-probe and geochronology. The study has recognized a ductile right lateral slipping deformation for the Xiaozhai-Erlangping shear zone inside the Erlangping Group, and a superimposition of ductile right lateral slipping and late brittle-ductile thrusting for the Damiao-Wantan shear zone.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  tectonic-thermal chronological analysis reveals a continuous uplifting-denudating course between ~121 Ma and ~100 Ma. During the Late Mesozoic, the Erlangping Group experienced the tectonic reworkings respectively under the extensional, slipping and contractional tectonic regimes. Firstly, under the regionally extensional condition, the Erlangping Group was split by the Xiaozhai-Erlangping and Damiao-Wantan shear zones into three slabs, namely the Baoshuping, Huoshenniao, and Erjingou slabs. Then in Early Cretaceous a right lateral movement of the slabs happened under a slipping regime. The intrusion of the Erlangping rock body ended the Xiaozhai-Erlangping shear zone, and the Damiao-Wantan shear zone was stopped under a contractional tectonic regime, which made the Erlangping Group welded into a single block again. Our results also indicated that the tectonic evolution of the Erlangping Group of the North Qinling in the Late Mesozoic processed in an opposite way to that of the Dabieshan tectonic belt.

**Key words:** Late Mesozoic; the Erlangping Group; tectonic slab, shear zone;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology, tectonic regime