

西秦岭北缘断裂带漳县—车厂断层的结构及构造演化

郭进京¹⁾, 韩文峰¹⁾, 王志强²⁾, 马兆武²⁾, 梁收运³⁾, 于 飞³⁾, 刘 高³⁾

1)天津城市建设学院地质与测绘学院, 天津 300384;

2)甘肃省水利水电勘测设计研究院, 甘肃兰州 730000;

3)兰州大学土木工程与力学学院, 甘肃兰州 730000

摘要: 西秦岭北缘断裂带是青藏高原东北缘主要构造边界断裂带之一, 其构造变形历史和运动学特征研究可以为西秦岭中新生代构造过程和印度—亚洲板块碰撞动力学的远程构造响应提供约束。漳县—车厂断层是西秦岭北缘断裂带的重要组成部分, 通过对工程开挖所揭露的断层带内丰富构造现象的观测与分析, 至少可以辨别出3期性质、规模、运动学特征各异的构造变形事件。第一期为向北北东陡倾的伸展正断层作用; 第二期为向南南西倾的由南向北的逆冲断层作用; 第三期为沿近直立断面左旋走滑作用。尽管每期变形的时代尚缺乏构造物质测年的约束, 但根据其与白垩系、新近系的空间关系以及已有第四纪以来沿断层地貌位错和相关沉积物测年以及地震活动历史研究对断层左旋走滑作用的时代约束, 认为第一期伸展正断层作用起始于早白垩纪, 可能持续到渐新世; 第二期向北逆冲断层作用起始于渐新世初, 可能持续到早第四纪; 第三期左旋走滑断层作用起始于晚第四纪, 持续至今。漳县—车厂断层是一条典型的多期变形的脆性断层, 其变形特征与历史, 如果代表了西秦岭北缘断裂带特征与构造变形过程, 那么现今西秦岭北缘断裂带仅是起始于早白垩纪、新生的脆性断裂带, 并非是印支主造山期大规模韧性逆冲推覆作用的边界断层。

关键词: 西秦岭北缘断裂带; 漳县—车厂断层; 断层带结构; 断层运动学

中图分类号: P542.3; P588.331 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.02.03

The Components and Structures of the Zhangxian-Chechang Fault Zone in the North Margin of West Qinling and Its Deformation History

GUO Jin-jing¹⁾, HAN Wen-feng¹⁾, WANG Zhi-qiang²⁾, MA Zhao-wu²⁾, LIANG Shou-yun³⁾, YU Fei³⁾, LIU Gao³⁾

1) School of Geology and Geomatics, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384;

2) Gansu Water and Hydropower Survey and Design Institute, Lanzhou, Gansu 730000;

3) College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract: The north margin fault zone of West Qinling is one of the tectonic boundary faults and earthquake faults in the northeast margin of Tibetan plateau. Its structural characteristics and deformation history can provide important constraints on the Mesozoic-Cenozoic tectonic processes of West Qinling and the remote tectonic responses to the Indian-Europe plate collisions. Based upon the tectonic observation and analysis of Zhangxian-Chechang fault zone which was uncovered by engineering construction and is located in the central segment of the north margin faults of West Qinling, the authors identified three phases of deformation events with different properties, scales, and kinematics. The first event is characterized by steep NNE-dipping extensional normal faulting. According to the relationship between Cretaceous red bed basin and the fault, it is suggested that this normal faulting event documented the Cretaceous regional crustal extension and development of the red bed basin. The fault gouge with a lot of grinding gravels and well-developed faulting foliations indicates its long

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41072149; 41140018)资助。

收稿日期: 2012-03-16; 改回日期: 2012-06-13。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 郭进京, 男, 1962年生。博士, 教授。主要从事构造地质、工程地质教学与研究工作。E-mail: tjgjj@126.com。

duration, probably lasting to the Late Oligocene, i.e., 29 Ma when Linxia basin began developing. The second event is characterized by south-dipping inverse faulting, which led to the folding and thrusting of the Cretaceous red bed strata, possibly indicating the transition from crustal extension to contraction. This tectonic transition probably suggests that the India-Europe plate collision might have been spread to West Qinling, and strong thrusting should have occurred at 3.6 Ma when Jishishan and Wuquanshan conglomerates occurred. The third event is characterized by sinistral strike-slipping along the nearly vertical NNW-striking fault plane, which began in Late Quaternary and has continued up till now. Zhangxian-Chechang fault as one of the north margin faults of West Qinling is a typical brittle fault, which failed to document the large-scale ductile shearing in Indochina orogeny. Therefore it is held that the north margin fault zone of West Qinling, which has been generally believed to be the tectonic boundary fault between the Central Qinling and North Qinling or Central Qilian Block, is a newly generated fault from the Cretaceous instead of the boundary fault in the Indochina orogeny.

Key words: north margin faults of West Qinling; Zhangxian-Chechang fault; structure of fault zone; kinematics

断裂带是上地壳中最重要的构造类型,特别是区域性断裂带常构成不同构造单元之间构造边界。这些具有构造边界性质的区域性断裂带不仅规模大、结构复杂,而且活动历史长,其作为大陆地壳中构造敏感区,不仅记录了断裂带本身的构造变形历史、几何学与运动学、物质结构的转换(断层岩)等构造过程信息,而且还是不同地质单元或地块的形成与演化及其相互之间时空关系的重要地质信息源(Alpar et al., 2002; Koçyiğit et al., 1998, 2001; Lin et al., 2001; Picha, 2002; Reid et al., 2002; Tsutsumi et al., 2001; 施炜等, 2003; 张秋文等, 2004)。西秦岭北缘断裂带是我国西部主要的构造边界断裂带之一,海西—印支主造山期曾是秦岭微板块与北秦岭地块之间的拼合边界(张国伟等, 2001, 2004; 高锐等, 2006; 王宗起等, 2009),中—新生代又构成了陇西盆地与西秦岭山系的盆山构造边界,是我国主要的活动断裂带之一,在我国西部构造格局的形成与演化中占有重要地位。虽然前人对此做过大量专门研究,但多局限于晚新生代,特别是第四纪以来地震活动、左旋走滑位移及其地貌特征研究(陕西省地质矿产勘查开发局, 1996; 康来迅等, 1999; 袁道阳等, 1999; 曹娟娟等, 2003; 李传友等, 2006, 2007, 2010)和与西秦岭北缘断裂带相邻的新生代红层盆地(临夏盆地、天水盆地等)沉积学、古地磁年代学、裂变径迹热年代学、古生物学、地球化学、构造变形等综合研究(李吉均等, 1996; 方小敏等, 1997; 王修喜等, 2006; 王志才等, 2006; 袁道阳等, 2007; Zheng et al., 2003),以及大区域构造综合分析(姜晓伟等, 2003; 张岳桥等, 2005),尚缺乏对北缘断裂带本身系统揭露、详细观测研究。西秦岭北缘断裂带包括哪些断层,这些断层带物质组成和结构特征以及其记录的断层变形期次、变形性质和运动学特征如何,断裂带与中新生代红层盆地的动力学联系是前陆冲

断还是伸展拉张或走滑拉分等问题,尚缺乏断层的几何学、运动学及其变形历史研究的地质约束。本文通过对西秦岭北缘断裂带的主要断层之一——漳县—车厂断层的工程揭露断面的野外详细观测,查明了组成该断层带的断层岩类型,根据断层岩特征、运动学标志和构造截切关系,确定该断层经历了运动学特征不同的3期变形事件,并结合区域地质构造分析,探讨了北缘断裂带3期变形事件的地质意义。

1 漳县—车厂断层的地貌特征

西秦岭北缘断裂带东起天水,沿北西300°方向延伸,经甘谷、武山、漳县,越洮河,过临夏至尖扎与南祁连南边界断层相接,全长近300 km,由6条规模不同的、相互近于平行的断层组成,笔者曾称之为西秦岭北缘断层系(郭进京等, 2009)。漳县—车厂断层是西秦岭北缘断裂带中段主要断层之一,该断层地貌上呈北西西向线状负地形,漳县—三岔—车厂—分水岭的线形沟谷地貌正是断层的延伸方向,沿断层两侧分布由断层控制的小型白垩纪红层盆地和新近纪红层盆地(图1)。漳县—车厂断层晚第四纪以来左旋走滑造成的冲沟左旋位移的微地貌特征、历史地震活动以及由地震活动形成的堰塞塘沉积特征已有较详细研究(康来迅等, 1999; 袁道阳等, 1999; 曹娟娟等, 2003; 李传友等, 2006, 2007, 2010)。断层主要断在二叠系结晶灰岩、碎屑灰岩、生物灰岩、炭质板岩、粉砂质板岩和石炭系变质砂岩、板岩中,断层南北两侧高耸山体主要由碳酸盐岩地层组成(图2)。

2 漳县—车厂断层带结构特征与变形历史

断层岩(fault rocks)是断层两盘在断层作用中被改造形成的具有特征性结构、构造和矿物成分的岩

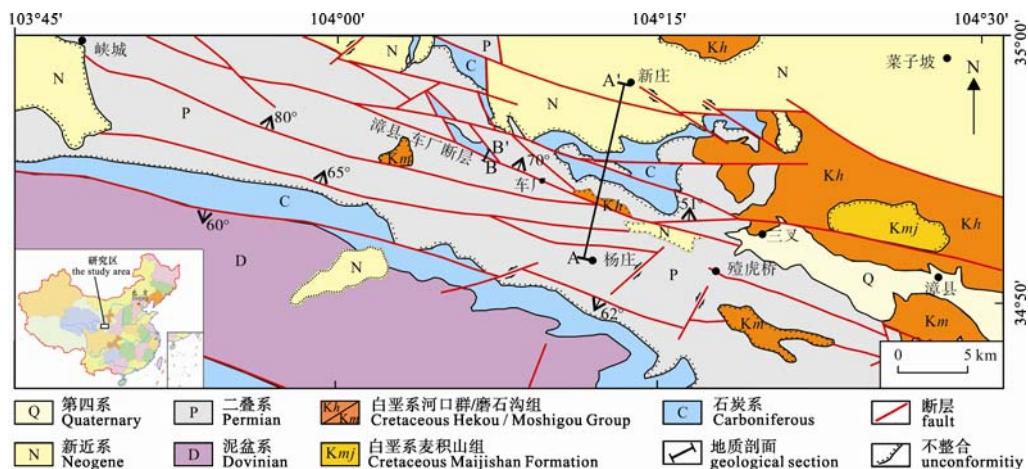


图 1 西秦岭漳县—车厂地区地质图(据 1: 250000 岷县幅地质图(甘肃省地质调查院, 2007)简化修改)

Fig. 1 Simplified geological map of Zhangxian-Chechang area in the northern margin of West Qinling (simplified and revised after 1:250000 Minxian Geological Map by Geological Survey of Gansu Province, 2007)

石, 一般分为韧性变形的糜棱岩和脆性变形的碎裂岩两大类, 其中碎裂岩又包括断层角砾岩、碎裂岩、超碎裂岩、玻化岩(假玄武玻璃或假熔岩)、断层泥(孙岩等, 1985; 何永年等, 1988; 林爱明, 1996; Sibson, 1977; Snock et al., 1998)。断层岩不仅是原岩在挤压-剪切作用下结构的改变, 而且还伴随物理化学环境和流体的变化, 产生矿物成分和化学成分的变化, 特别是断裂带作为地壳深部物质和能量向地壳上部传输的通道, 其矿物成分和化学成分的变化即可反映断层构造作用的物理化学环境变化, 还可能有地壳深部物质传输(流体和气体)特征的信息, 特别是断层泥和假熔岩的物质成分变化研究意义更大。断层带物质组成和结构特征蕴含的丰富的构造变形的运动学、变形性质和环境的信息, 但由于断层带往往是力学薄弱带, 易于侵蚀和被第四纪堆积物覆盖而难以看到断层带全貌, 同时由于大陆地壳中断层带往往经历了多期不同性质的变形, 其各种构造

信息交织在一起, 造成了有关断层变形各种信息提取筛分的复杂性。但随着我国大规模铁路、公路、引水等工程建设中的开挖, 为地质学家提供难得的系统观测研究断层带的机会。本次研究就是利用 212 国道改造中开挖出的漳县—车厂断层一个十分难得的断面, 该断面位于铁水沟与黄香沟之间的分水岭之南东 2 km 处公路西侧 (N34°55'22", E104°07'2"), 断裂带宽度约 50 m, 发育丰富的断层岩类型和构造运动学指示标志(图 3)。

从揭露的组成断层带断层岩类型看, 漳县—车厂断层以地壳浅层次脆性变形为主要特征。断层带内红色、黑色、土黄色断层泥, 含磨砾断层泥、断层角砾岩、碎裂岩、假熔岩, 摩擦镜面和擦痕线理、大小和形态各异的构造透镜体等都指示了其地壳浅层次脆性变形特征。尽管这些不同构造期次或构造阶段形成的断层岩、构造面理、构造线理交织给识别不同期次变形的几何学和运动学特征造成困难,

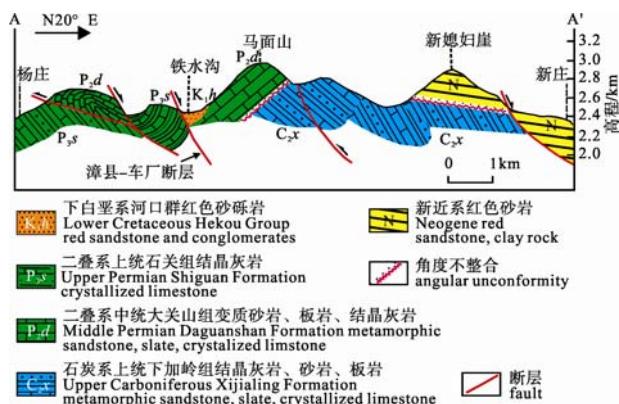


图 2 AA' 地质剖面图(AA'位置见图 1)

Fig. 2 AA' geological section(see AA' in Fig. 1)

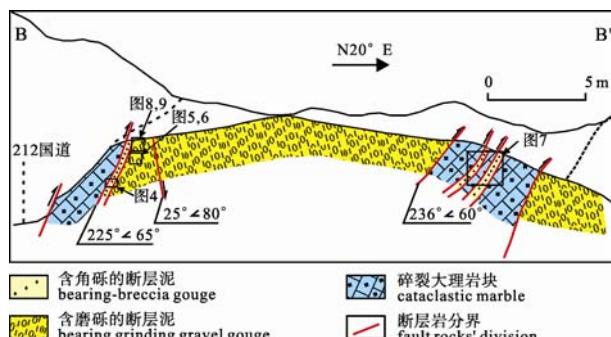


图 3 西秦岭北缘漳县—车厂断层带断面图
(BB'位置见图 1)

Fig. 3 Profile of Zhangxian-Chechang fault in the north margin of West Qinling(see BB' in Fig. 1)

但通过对断层岩本身结构特征、构造形迹交切关系和运动学指示标志分析,仍然可以辨别出至少3期具有不同几何学、运动学特征和变形性质的构造变形历史。

2.1 断层岩类型、特征及其运动学标志

漳县—车厂断层近50 m宽断层带由红色断层泥、黑色断层泥、土黄色断层泥、含磨砾断层泥、含

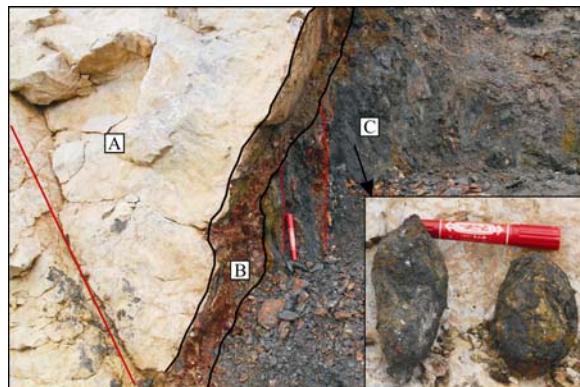


图4 断层带中杂色断层岩

Fig. 4 Variegated fault rocks in the fault zone

A-碎裂大理岩; B-红色断层角砾岩、断层泥; C-黑色断层泥、断层磨砾岩; 红色直线-构造节理; 红色虚线-黑色断层泥、断层磨砾岩中的面理; 右下角插图为黑色断层泥中磨砾形态

A-cataclastic marble; B-red fault breccias and gouge; C-black gouge, grinding gravel gouge; red line-tectonic joint; red dash line-foliation in black gouge and grinding gravel gouge; the lower right corner insert photo-grinding gravel in black gouge

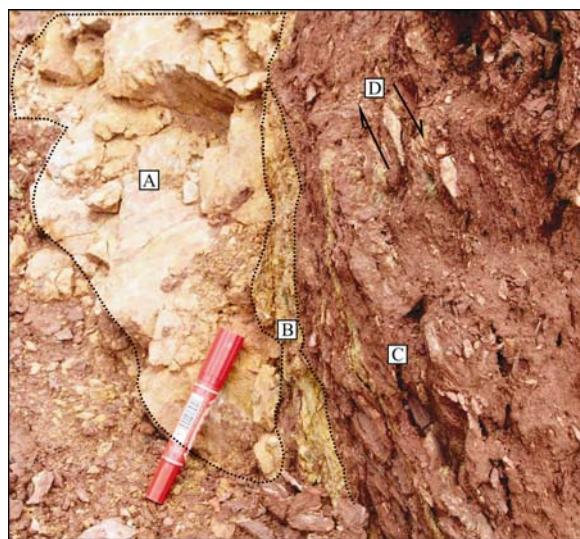


图5 断层带内红色断层泥、断层磨砾岩

Fig. 5 Red gouge and grinding gravel gouge in the fault zone

A-胶结的碎裂岩(原岩为大理岩)透镜体; B-土黄色断层泥、断层角砾岩(为胶结的碎裂岩再次脆性剪切的产物); C-红色断层泥、断层磨砾岩; D-构造透镜体不对称指示断层高角度正断层

A-cemented cataclasite lens (protolith being marble); B-khaki-colored gouge and breccias (re-cataclasitic material of cemented cataclasite); C-red gouge, grinding gravel gouge; D-asymmetric tectonic lens indicating high angle normal faulting

角砾的断层泥、未胶结的碎裂岩、黑色假熔岩脉状体等组成。

2.1.1 含磨砾或角砾断层泥

含磨砾的断层泥是漳县—车厂断层带内断层岩的主体,仅断面中部的宽度就近15 m,包括含磨砾的黑色断层泥(图4)和红色断层泥(图5)。断层泥中叶理发育,特别是红色断层泥中的叶理(图5)。平行叶理出现大量大小不一的碎裂大理岩的构造透镜体,这种磨砾的扁平面平行叶理,且长轴与断层倾向近乎一致,从构造透镜体的错动位移方式和磨砾不对称形态(图4)以及碎裂大理岩滑动面的不对称性(图6),可以判断出断层运动学方式为南盘上升,北盘下降,而断层泥带面理总体产状为向北北东陡倾,所以主体断层应为正断层。磨砾本身是胶结的断层角砾岩,这种胶结断层碎裂岩的形成深度应在4 km以下,估计深度在4~10 km之间(Sibson, 1977; 林爱民, 1996)。如果如此,现在我们看到的红色和黑色断层泥带很可能是后来地壳抬升或后期断层向上位移而出露到现在位置。说明红色和黑色含碎裂岩透镜体或磨砾的断层带经历了在4~10 km深度的碎裂岩化阶段和4 km以上的断层泥形成阶段的演化过程。

另外,在这套红色和黑色断层泥带与碎裂大理岩块体接触部位出现了约30 cm宽的红色含断层角



图6 断层带内胶结碎裂岩中不对称滑动面

Fig. 6 Asymmetric slide face in the cemented cataclasite in the fault zone

土黄色岩石为胶结的碎裂岩(原岩为大理岩);

黑色虚线为滑动面,不对称性指示了上(北)盘下降

the khaki-colored rock is cemented cataclasite (protolith is marble); black dash line is the sliding surface, and its asymmetry indicates that the upper block (north) drops down along the sliding face

砾的断层泥带，其产状与断层带主体的黑色和红色断层泥带倾向相反，并且这一小型断层泥带的面理发育程度差，断层泥中缺乏浑圆的磨砾而大量出现棱角状角砾，且定向不显著，断层泥带边界清晰，切割了早期红色和黑色断层泥面理，两者呈大约30°的交角(图 4)。指示了它是晚期的近地表脆性变形的产物，与其呈锐角的构造节理指示其为北盘下降，南盘上升的逆冲断层(图 4)。

2.1.2 大理岩中的未胶结的断层角砾岩

在断层剖面北部的碎裂大理岩块体中，出现了向南倾的小型断层带，宽度在0.5 m左右，上盘发育一组向南倾的构造节理，中止于小型断层带，且与断层带成锐角相交(图 7)，指示该断层带为向北的逆冲。这一小型断层带主要由未胶结的断层角砾岩和断层粉状岩组成，断层带内的断层角砾呈扁平状沿断层定向排列(图 7)，指示其水平挤压应力条件下的逆冲剪切特征。这种未胶结的断层岩指示了这期变形现在的断层岩纪录是地壳近表层脆性变形产物。

2.1.3 摩擦镜面及其运动学线理

在断层带南部边界，先前碳酸盐质胶结碎裂岩块体中出现近直立的摩擦镜面，摩擦镜面上发育近水平两组滑动摩擦线理，可能是一次或两次地震事件的记录(郭进京等, 2011)。从擦痕线理由粗变细和手感阻力判断是左旋走滑(图 8)这与前人根据

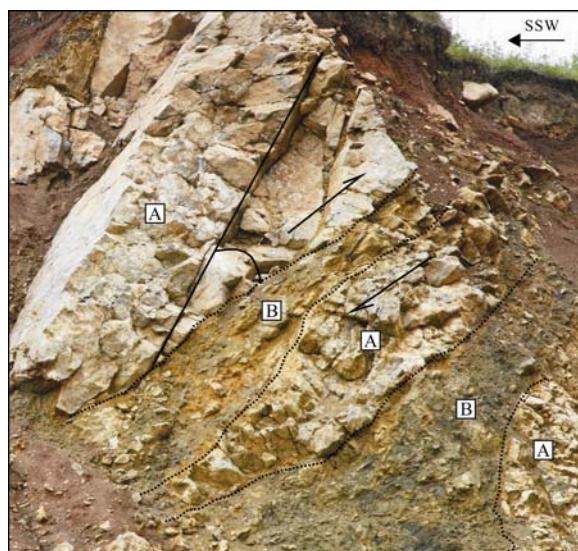


图 7 断层带内未胶结断层角砾岩、粉状断层岩

Fig. 7 Non-cemented cataclasite in the fault zone

A-碎裂大理岩; B-未胶结的断层角砾岩、粉状断层岩;
黑色直线为脆性断层的派生构造节理与断层带呈30°夹角，
指示下(北)盘下降，上(南)盘上升

A-cracked marble; B-non-cemented fault breccias, powder fault rocks;
black straight line-joints derived from brittle faulting, between it
and fault zone is an angle of 30°, indicating that lower (north) block
drops down and upper (south) moves up



图 8 断层带内近直立的断层摩擦镜面和擦痕线理

Fig. 8 Nearly vertical fault frictional mirror and slide lineation in the fault zone

A-断层摩擦面上的黑灰色超碎裂岩(假熔岩);
黑直线表示两组擦痕线理

A-a dark gray ultra-cataclasite (pseudo-lava) on the fault friction mirror; black straight lines show two sets of striation lineation



图 9 断层带内黑色超碎裂岩(假熔岩)

Fig. 9 Ultra-cataclasite (pseudo-lava) in the fault zone

左边为土黄色胶结碎裂岩中滑动面；中间黑色部分为超碎裂岩
(假熔岩)；右边为红色断层角砾岩，断层泥
on the left is the khaki cemented cataclasite sliding surface;
the black part in the middle is ultra-cataclasite (pseudo-lava);
on the right are red fault breccias and fault gouge

漳县—车厂断层对冲沟左旋位移确定的晚第四纪以来的左旋走滑相对应。摩擦镜面上残留有黑灰色超碎裂岩(假熔岩)指示其为地震过程中快速水平左旋走滑剪切的产物。

2.1.4 超碎裂岩假(假熔岩)

在断层带内,还出现与摩擦镜面相伴的8~10 cm宽的黑色超碎裂岩(假熔岩)(图9)。这种特殊的岩石结构相对均匀,粒度极细,碎斑少,且多为棱角状。这种假熔岩应是地震过程中快速剪切摩擦的机械破碎的产物,与一般的断层快速剪切摩擦升温造成岩石熔融形成的玻璃质假熔岩不同,说明其为近地表快速剪切变形的结果(林爱民,2008)。假熔岩被认为是地震化石(林爱民,2008),8~10 cm宽的假熔岩可能是一次7~8级大地震的记录。

2.2 漳县—车厂断层带构造变形序列分析

2.2.1 变形序列分析

根据漳县—车厂断层带的构造岩类型和构造形迹相互切割关系指示了该断层至少可以辨别出3期构造变形事件,每次变形事件形成的断层物质(断层岩)特征不同,而且其产状和运动学特征也不同。

第一期变形以近30 m宽度的含磨砾或构造透镜体的断层泥带为主要断层活动的物质记录,断层岩中面理产状稳定,走向呈北西西向($290^{\circ}\sim300^{\circ}$),向北北东陡倾,倾角为 $70^{\circ}\sim80^{\circ}$,断层岩中的磨砾和构造透镜体的相对位移或不对称构造指示了上盘(北盘)下降,下盘(南盘)上升的伸展正断层的运动学特征。特别是该期变形形成的断层岩中磨砾或透镜体是胶结的碎裂岩,说明这些断层岩中磨砾的碎裂岩化不是形成在现今位置,而是在4~10 km深度,现今出露位置是后期地壳抬升或这期活动晚期或第二期的断层逆冲作用的结果。从该期断层活动的物质记录(断层岩)和断层带规模看,该期断层活动应该是漳县—车厂断层主变形期,变形持续时间长,规模大。

第二期变形以30~50 cm的向南倾的逆冲断层作用形成的小型断层破碎带为特征。断层走向与第一期变形一致,也呈北西西向,但倾向相反,向南倾,倾角为 60° ,截切了第一期变形的断层泥带。该期变形形成的断层岩与第一期变形形成的断层岩特征不同,主要表现在断层泥中以角砾为主,而不出现磨砾,碎裂大理岩中小型断层带是未胶结的断层岩,其形成深度近于地表。

第三期变形是在前期断层岩基础上,沿近直立断面左旋走滑作用为特征,表现在近直立断层摩擦镜面和镜面上的近水平擦痕线理,同时还出现近直

立的黑色超碎裂岩(假熔岩)。这些构造现象与前人对西秦岭北缘断裂带研究所发现的沿断裂带多处山脊、水系、阶地等左旋断错地貌以及断层陡坎、断塞塘等现象(康来迅等,1999;袁道阳等,1999;曹娟娟等,2003;李传友等,2006,2007,2010)相一致。

2.2.2 变形时代分析

如前所述,西秦岭北缘断裂带的漳县—车厂断层是一条典型的由断层泥、碎裂岩组成的脆性断层。断层带内断层岩类型与特征和构造形迹交切关系指示了其经历了3期具有不同性质、不同规模、不同运动学特征的变形。3期变形的时代及其所反映的区域构造演化过程需要从断层带本身特征、地层错断缺失或重复、与断层相关的沉积盆地特征、地形地貌特征及其第四纪沉积物特征与分布、断层物质测年等来综合分析。

西秦岭北缘断裂带漳县—车厂断层第三期左旋走滑作用的时代,前人通过对地貌位错、沉积物测年和历史地震活动研究已经给予了较好约束,发生在晚第四纪以来(康来迅等,1999;袁道阳等,1999;曹娟娟等,2003;李传友等,2006,2007,2010)。第一期的伸展正断层作用规模大,持续的时间长,根据车厂以东沿断层下降盘出现的箕状白垩纪红层盆地(早白垩纪河口群)(图1、图2),应该与伸展正断层运动学有内在的动力学联系,可以推断第一期主变形起始于早白垩纪。如果再考虑到西秦岭北缘断裂带以北大面积白垩纪红层分布,以及西秦岭内部也分布有众多规模各异的白垩纪红层,漳县—车厂断层伸展正断作用可能不是局部现象,而具有更广泛的区域意义。也就是说,白垩纪以来西秦岭经历了一次区域性地壳伸展构造作用,西秦岭以北的陇西盆地和西秦岭内部的白垩系是统一的伸展构造系统作用下形成伸展拉张盆地,而不是地壳挤压缩短-逆冲推覆作用下的前陆盆地。

漳县—车厂断层的第二期变形以近地表脆性变形形成的未胶结的断层泥、断层角砾岩、碎粉状碎裂岩为特征,断层面向南倾,截切了第一期断层带内面理,运动学以北盘向南逆冲为主。它应该记录的白垩纪伸展盆地构造反转事件,但构造反转并未迁就利用原有的断层面,而是新生的断层面,说明了这期断层活动标志着区域构造变形的动力学环境从拉张构造环境向挤压缩短构造环境的转换。它的时代应该是白垩纪红层盆地的顶面年龄,但区域上白垩系顶面年龄尚未有确切的年代资料约束,所以我们根据区域上新近系角度不整合在经历了宽缓褶皱变形的白垩系之上,并且还可见到新近系红层覆

盖在西秦岭北缘断裂带某些断层之上(图1西部峡城一带),认为其时代应在新近纪之前的白垩纪末—古近纪。如果再考虑到西秦岭北缘断裂以北晚新生代临夏盆地的29 Ma底界年龄和临夏盆地具有再生前陆盆地的特征(李吉均等,1996;方小敏等,1997),认为漳县—车厂断层第二期逆冲断层作用发生在渐新世,并且这种逆冲作用一直持续到第四纪,只是逆冲规模和强度在逐渐增大,如8~6 Ma的同沉积构造变形记录和3.6 Ma以来积石山砾岩、五泉山砾岩的出现就说明逆冲作用的阶段性增强和空间向北的迁移。

3 结论与讨论

漳县—车厂断层是西秦岭北缘断裂带的重要组成部分,通过对难得的工程揭露的断层带的观测与分析,至少可以辨别出3期性质、规模、运动学特征各异的构造变形事件。第一期为向北北东陡倾的伸展正断层为特征。第二期为向南南西倾的由南向北逆冲断层作用为特征。第三期为沿近直立断面的左旋走滑作用。尽管对每期变形的时代还缺乏构造物质测年的约束,但根据其与白垩纪和新近纪红层沉积地层的地质关系和新近纪红层底界年龄以及前人根据第四纪以来地貌位错和相关沉积物测年以及地震活动历史研究对断层左旋走滑作用时代的约束,可以初步确定第一期伸展正断层作用起始于早白垩纪,可能持续到渐新世;第二期逆冲断层作用起始于渐新世早期,持续到早第四纪;第三期左旋走滑断层作用起始于晚第四纪,持续至今。

漳县—车厂断层是一条经历多期变形的脆性断层,如果其变形历史反映了西秦岭北缘断裂带的变形历史,那么现今的西秦岭北缘断裂带并未显示出印支主造山期的大规模韧性逆冲推覆作用的构造边界断层的特征,而是起始于早白垩纪新生的地壳浅部的脆性断裂带,那么西秦岭块体的北部构造边界应该隐伏在北部白垩系和新近系红层沉积之下。另外,西秦岭北缘漳县—车厂断层白垩纪以来经历了由伸展拉张到挤压逆冲,再到左旋走滑的构造转换,这种构造转换发生的区域构造动力学背景是什么,现今作为印度板块—欧亚板块汇聚碰撞形成的青藏高原的组成部分,断层活动方式的构造转换与高原隆升和变形过程的时空关系是什么,西秦岭构造转换的时间与高原内部挤压到伸展走滑转换是否存在统一性等是值得今后深入研究的问题。当然,西秦岭北缘断裂带由多条断层组成,每条断层的物质组成、结构、运动学和变形期次是否一致,断层带物

质测年和微观构造研究都是今后要深入研究的问题。

参考文献:

- 曹娟娟, 刘百篪, 闻学泽. 2003. 西秦岭北缘断裂带特征地震平均复发间隔的确定和地震危险性评价[J]. 地震研究, 26(4): 372-381.
- 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 陈怀录, 曹继秀. 1997. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分[J]. 科学通报, 42(14): 1457-1471.
- 甘肃省地质调查院. 2007. 岷县幅 1:250000 区域地质调查报告[R]. 兰州: 甘肃省地质调查院.
- 高锐, 王海燕, 马永生, 朱铉, 李秋生, 李鹏武, 匡朝阳, 卢占武. 2006. 松潘地块若尔盖盆地与西秦岭造山带岩石圈尺度的构造关系——深地震反射剖面探测成果[J]. 地球学报, 27(5): 411-418.
- 郭进京, 韩文峰, 李雪峰, 刘寒鹏. 2011. 汶川 8.0 级地震断层同震位移的构造意义与运动学模型[J]. 地质学报, 85(3): 309-322.
- 郭进京, 韩文峰, 李雪峰. 2009. 西秦岭新生代以来地质构造过程对青藏高原隆升和变形的约束[J]. 地学前缘, 16(6): 215-225.
- 何永年, 林传勇, 史兰斌. 1988. 构造岩石学基础[M]. 北京: 地质出版社.
- 姜晓玮, 王江海, 张会化. 2003. 西秦岭断裂走滑与盆地的耦合——西秦岭—松甘块体新生代向东走滑挤出的证据[J]. 地学前缘, 10(2): 201-207.
- 康来迅, 张新基, 黄杏珍, 李立武. 1999. 西秦岭北缘断裂带排气活动的比较研究[J]. 地震学报, 21(6): 657-664.
- 李传友, 张培震, 袁道阳, 王志才, 张剑玺. 2006. 西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪水平位移特征及其微地貌响应[J]. 地震地质, 28(3): 391-404.
- 李传友, 张培震, 袁道阳, 王志才, 郑德文. 2010. 活动走滑断裂带断塞塘沉积特征及其构造含义——以西秦岭北缘断裂带断塞塘为例[J]. 地质学报, 84(1): 90-104.
- 李传友, 张培震, 张剑玺, 袁道阳, 王志才. 2007. 西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪活动表现与滑动速率[J]. 第四纪研究, 27(1): 54-63.
- 李吉均, 方小敏, 马海洲, 朱俊杰, 潘保田, 陈怀录. 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起[J]. 中国科学(D辑), 26(4): 316-322.
- 林爱明. 1996. 断层岩与断层模式[J]. 高校地质学报, 2(3): 295-306.
- 林爱明. 2008. 地震化石: 假熔岩的形成与保存[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 陕西省地质矿产勘查开发局. 1996. 秦岭北缘活动断裂带[M]. 北京: 地质出版社.
- 施炜, 张岳桥, 董树文. 2003. 郊庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征[J]. 地球学报, 24(1): 11-18.

- 孙岩, 韩克从. 1985. 断裂构造岩带划分[M]. 北京: 科学出版社.
- 王修喜, 李吉均, 宋春晖, 张军, 赵志军, 高军平, 潘美慧. 2006. 青藏高原东北缘西秦岭新生代抬升——天水盆地碎屑颗粒磷灰石裂变径迹记录[J]. 沉积学报, 24(6): 783-789.
- 王志才, 张培震, 张广良, 李传友, 郑德文, 袁道阳. 2006. 西秦岭北缘构造带的新生代构造活动——兼论对青藏高原东北缘形成过程的指示意义[J]. 地学前缘, 13(4): 119-135.
- 王宗起, 闫臻, 王涛, 高联达, 闫全人, 陈隽璐, 李秋根, 姜春发, 刘平, 张英利, 谢春林, 向忠金. 2009. 秦岭造山带主要疑难地层时代研究的新进展[J]. 地球学报, 30(5): 561-570.
- 袁道阳, 杨明. 1999. 西秦岭北缘断裂带的位移累计滑动亏损特征及其破裂分段性研究[J]. 地震研究, 22(4): 382-389.
- 袁道阳, 张培震, 方小敏, 王志才, 宋春晖, 郑德文. 2007. 青藏高原东北缘临夏盆地晚新生代构造变形及过程[J]. 地学前缘, 14(1): 243-250.
- 张国伟, 郭安林, 姚安平. 2004. 中国大陆构造中西秦岭-松潘大陆构造带[J]. 地学前缘, 11(3): 23-32.
- 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.
- 张秋文, 张培震, 王乘, ELLIS M A. 2004. 断层间相互作用的触震与缓震效应定量评价[J]. 地球学报, 25(4): 483-488.
- 张岳桥, 马寅生, 杨农, 张会平, 施炜. 2005. 西秦岭地区东昆仑—秦岭断裂系晚新生代左旋走滑历史及其向东扩展[J]. 地球学报, 26(1): 1-8.
- 郑德文, 张培震, 万景林, 李传友, 曹继秀. 2003. 青藏高原东北边缘晚新生代构造变形的时序——临夏盆地碎屑颗粒磷灰石裂变径迹记录[J]. 中国科学(D), 46(S1): 266-275.
- References:**
- ALPAR B, YALTTIRAK C. 2002. Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution[J]. Marine Geology, 190(1-2): 329-350.
- Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Shannxi Province. 1996. The north frontal active fault zone of Qinling mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CAO Juan-juan, LIU Bai-chi, WEN Xue-ze. 2003. Determination of the Average Recurrence Intervals of Characteristic Earthquakes and Estimate of Earthquake Risk on Northern Xiqinling Faults[J]. Journal of Seismological Research, 26(4): 372-381(in Chinese with English abstract).
- FANG Xiao-min, LI Ji-jun, ZHU Jun-jie, CHEN Huai-lu, CAO Ji-xiu. 1997. Absolute age determination and division of the Cenozoic stratigraphy in the Linxia Basin, Gansu Province, China[J]. Chinese Science Bulletin, 42(14): 1457-1471(in Chinese).
- Geological Survey of Gansu Province. 2007. 1:250000 Minxian Regional Geological Surveying Report[R]. Lanzhou: Geological Survey of Gansu Province(in Chinese).
- GAO Rui, WANG Hai-yan, MA Yong-sheng, ZHU Xuan, LI Qiu-sheng, LI Peng-wu, KUANG Zhao-yang, LU Zhan-wu. 2006. Tectonic Relationships between the Zoigê Basin of the Song-Pan Block and the West Qinling Orogen at Lithosphere Scale: Results of Deep Seismic Reflection Profiling[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(5): 411-418(in Chinese with English abstract).
- GUO Jin-jing, HAN Wen-feng, LI Xue-feng, LIU Han-peng. 2011. Tectonic Implication of Co-seismic Displacement of Ms8.0 Wenchuan Earthquake Fault and Its Kinematic Model[J]. Acta Geologica Sinica, 85(3): 309-322(in Chinese with English abstract).
- GUO Jin-jing, HAN Wen-feng, LI Xue-feng. 2009. The Cenozoic Tectonic Evolution of the West Qinling: Constraints on the Uplift and Deformation of the Tibetan Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 16(6): 215-225(in Chinese with English abstract).
- HE Yong-nian, LIN Chuan-yong, SHI Lan-bin. 1988. Basis of Tectonic Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- JIANG Xiao-wei, WANG Jiang-hai, ZHANG Hui-hua. 2003. Coupling between strike-slip faults and basins: the evidence for Cenozoic eastward extrusion of the West Qinling-Songgan Block[J]. Earth Science Frontiers, 10(2): 201-207(in Chinese with English abstract).
- KANG Lai-xun, ZHANG Xin-ji, HUANG Xing-zhen, LI Li-wu. 1999. Comparative study on degassing activities along the north fault zone of western Qinling[J]. Acta Seismologica Sinica, 12(6): 716-723.
- KOÇYİĞİT A, BEYHAN A. 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey[J]. Tectonophysics, 284(3-4): 317-336.
- KOÇYİĞİT A, YILMAS A, ADAMIA S, KULOSGVILI S. 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for Transition from Thrusting to Strike-Slip Faulting[J]. Geodinamica Acta, 14(1-3): 177-195.
- LI Chuan-you, ZHANG Pei-zhen, YUAN Dao-yang, WANG Zhi-cai, ZHANG Jian-xi. 2006. Late-Quaternary horizontal displacement and its associated microgeomorphology of the western Qinling Fault Zone at Huangxianggou[J]. Seismology and Geology, 28(3): 391-404(in Chinese with English abstract).
- LI Chuan-you, ZHANG Pei-zhen, YUAN Dao-yang, WANG Zhi-cai, ZHENG De-wen. 2010. Sedimentary characteristics of sag-pond on the active strike slip fault and its tectonic implications: An example from sag pond along the West Qinling Fault[J]. Acta Geologica Sinica, 84(2): 90-104(in Chinese with English abstract).
- LI Chuan-you, ZHANG Pei-zhen, ZHANG Jian-xi, YUAN

- Dao-yang, WANG Zhi-cai. 2007. Late-Quaternary activity and slip rate of the Western Qinling Fault zone at Huangxianggou[J]. Quaternary Sciences, 27(1): 54-63(in Chinese with English abstract).
- LI Ji-jun, FANG Xiao-min, MA Hai-zhou, ZHU Jun-jie, PAN Bao-tian, CHEN Huai-lu. 1996. Geomorphological and environmental evolution in the upper reaches of the Yellow River during the Late Cenozoic[J]. Science in China (Series D), 39(4): 380-390.
- LIN Ai-ming. 1996. Fault rocks and faulting model[J]. Geological Journal of China Universities, 2(3): 295-306(in Chinese with English abstract).
- LIN Ai-ming. 2001. S-C fabrics developed in cataclastic rocks from the Nojima fault zone, Japan and their implications for tectonic history[J]. Journal of Structural Geology, 23(6-7): 1167-1178.
- LIN Ai-ming. 2008. Earthquake fossils pseudotachylytes: generation and preservation[M]. Beijing: High Education Press(in Chinese).
- PICHA F J. 2002. Late orogenic strike-slip faulting and escape tectonics in frontal Dinarides-Hellenides, Croatia, Yugoslavia, Albania, and Greece[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 86(9): 1659-1671.
- REID L F, SIMONY P S, ROSS G M. 2002. Dextral strike-slip faulting in the Cariboo Mountains, British Columbia: A natural example of wrench tectonics in relation to Cordilleran tectonics[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 39(6): 953-970.
- SHI Wei, ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen. 2003. Quaternary Activity and Segmentation Behavior of the Middle Portion of the Tan-Lu Fault Zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(1): 11-18(in Chinese with English abstract).
- SIBSON R H. 1977. Fault rocks and fault mechanism[J]. Journal of the Geological Society, 133(3): 191-213.
- SNOKE A W, TULLIS J, TODD V R. 1998. Fault-related rocks: a photographic atlas[M]. New Jersey: Princeton University Press.
- SUN Yan, HAN Ke-cong. 1985. Division of Fault Rock Zone[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- TSUTSUMI H, YEATS R S, HUFTILE G J. 2001. Late Cenozoic tectonics of the Northern Los Angeles fault system, California[J]. Geological Society of America Bulletin, 113(4): 454-468.
- WANG Xiu-xi, LI Ji-jun, SONG Chun-hui, ZHANG Jun, ZHAO Zhi-jun, GAO Jun-ping, PAN Mei-hui. 2006. Cenozoic Uplift of West Qinling, Northeast Margin of Tibetan Plateau: The record of detrital apatite fission track data in Tianshui Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 24(6): 783-789(in Chinese with English abstract).
- WANG Zhi-cai, ZHANG Pei-zhen, ZHANG Guang-liang, LI Chuan-you, ZHENG De-wen, YUAN Dao-yang. 2006. Tertiary tectonic activities of the north frontal fault zone of the west Qinling mountains: implications for the growth of the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 13(4): 119-135(in Chinese with English abstract).
- WANG Zong-qi, YAN Zhen, WANG Tao, GAO Lian-da, YAN Quan-ren, CHEN Jun-lu, LI Qiu-gen, JIANG Chun-fa, LIU Ping, ZHANG Ying-li, XIE Chun-lin, XIANG Zhong-jin. 2009. New Advances in the Study on Ages of Metamorphic Strata in the Qinling Orogenic Belt[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(5): 561-570(in Chinese with English abstract).
- YUAN Dao-yang, YANG Ming. 1999. Research on the features of displacement cumulative slip deficits and segmentation in the northern margin fault zone of the western Qinling[J]. Journal of Seismological Research, 22(4): 382-389(in Chinese with English abstract).
- YUAN Dao-yang, ZHANG Pei-zhen, FANG Xiao-min, WANG Zhi-cai, SONG Chun-hui, ZHENG De-wen. 2007. Late Cenozoic tectonic deformation of the Linxia Basin, northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 14(1): 243-250(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guo-wei, GUO An-lin, YAO An-ping. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 23-32(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guo-wei, ZHANG Ben-ren, YUAN Xue-cheng, XIAO Qing-hui. 2001. Qinling Continental Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- ZHANG Qiu-wen, ZHANG Pei-zhen, WANG Cheng, ELLIS M A. 2004. Interaction of Active Faults and Its effect on Earthquake Triggering and Delaying[J]. Acta Geoscientica Sinica, 25(4): 483-488(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yue-qiao, MA Yin-sheng, YANG Nong, ZHANG Hui-ping, SHI Wei. 2005. Late Cenozoic Left-slip Faulting Process of the East Kunlun-Qinling Fault System in West Qinling Region and Its Eastward Propagation[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- ZHENG De-wen, ZHANG Pei-zhen, WAN Jing-lin, LI Chuan-you, CAO Ji-xiu. 2003. Late Cenozoic deformation subsequence in northeastern margin of Tibet-Detrital AFT records from Linxia Basin[J]. Science in China (Series D), 46(S1): 266-275(in Chinese).