www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

六盘山东麓断裂南段断裂沟槽韵律沉积特征 对最新活动时代的限定

史志刚^{1,2)},李廷栋^{1)*},袁道阳²⁾,刘兴旺²⁾,丁孝忠¹⁾,耿树方¹⁾ 1)中国地质科学院地质研究所,北京 100037;2)中国地震局兰州地震研究所,甘肃兰州 730000

摘 要: 六盘山位于华北断块西部鄂尔多斯块体与青藏块体祁连断褶带之间的构造转换部位。前人对六盘 山东麓断裂南段进行过一定程度的研究,根据地貌特征推断六盘山东麓断裂南段晚更新世以来不活动。根 据断裂特征,大致可将六盘山东麓断裂划分为北段、中段和南段。活动断裂带上的断裂沟槽沉积物表现为 由多个粗粒层与细粒层交替的韵律层序结构,韵律沉积特征与断裂活动有直接关系。在六盘山东麓断裂南 段冶家村西发现一个断裂沟槽韵律沉积剖面,共鉴别出三期韵律沉积组合。通过分析认为本剖面所反映的 韵律沉积特征应为构造成因。对断裂沟槽沉积物采样测年的结果表明,该段断层分别在约 500 a BP 后、6 ka BP 后和 15 ka BP 前有过明显的地质活动。确认六盘山东麓断裂南段晚更新世以来有过多次活动,是一条活动断裂 带。

关键词: 六盘山东麓断裂南段; 断裂沟槽韵律沉积; 剖面分析; ¹⁴C 测年; 三次地质事件; 活动断裂 中图分类号: P542.3; P546 文献标志码: A **doi:** 10.3975/cagsb.2014.01.05

The Recent Active Time of the South Segment of the Eastern Liupanshan Piedmont Fault: Constraints from the Characteristics of Rhythmic Deposits in the Fault Grooves

SHI Zhi-gang^{1, 2)}, LI Ting-dong^{1)*}, YUAN Dao-yang²⁾, LIU Xing-wang²⁾, DING Xiao-zhong¹⁾, GENG Shu-fang¹⁾

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract: The Liupanshan region is located in the transitional tectonic zone between the Ordos block of the western North China block and the Qilianshan orogenic belt of the northeastern Qinghai-Tibetan block. Generally the eastern Liupanshan piedmont fault may be divided into northern, middle and southern segments. The groove sedimentation on the active fault is displayed as the structure of the rhythm sequences that consist of the many alternate coarse beds and fine beds. Each circle of rhythmic deposits was caused by a movement of the fault. A profile of the rhythmic deposits of the fault grooves in the south segment of the eastern Liupanshan piedmont fault was discovered. Three circles of the rhythmic deposits were discerned on the profile. The characteristics of the rhythm sedimentation on the profile are considered to have been caused by a few geological events. The results of sampling and dating from the deposits of the fault grooves suggest that the south segment of the eastern Liupanshan piedmont fault experienced remarkable movements after about 500 a BP, after about 6 ka BP and before about 15 ka BP respectively. It can be confirmed that the recent activity of the south segment of the eastern Liupanshan piedmont fault is evident and this segment of fault has expereinced several movements since

本文由中国科学院战略性先导科技专项子课题(编号: XDB03020201)和国家自然科学基金重点项目(编号: 41030317)联合资助。 收稿日期: 2013-06-11; 改回日期: 2013-08-12。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 史志刚, 男, 1973 年生。博士研究生。主要从事造山带构造和活动构造研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄 大街 26 号中国地质科学院地质研究所。E-mail: cngsszg@126.com。

^{*}通讯作者:李廷栋,男,1930年生。中国科学院院士。长期从事区域地质研究和地质编图研究。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街 26 号中国地质科学院地质研究所。E-mail: litdong@163.com。

the Late Pleistocene. Hence, the south segment of the eastern Liupanshan piedmont fault is active.

Key words: the south segment of the eastern Liupanshan piedmont fault; the rhythmic deposits of the fault grooves; analysis of the profile; ¹⁴C dating; three times geological events; active fault

青藏高原作为世界上构造活动最活跃的地区 之一, 倍受全球地质学界的关注(李廷栋, 1995; 尹 安, 2001; 肖序常, 2006; 莫宣学, 2011)。印度板块 和欧亚板块的碰撞导致了广泛的陆内变形。这些陆 内变形带为理解板块之间碰撞的过程与机制提供 了优越的研究区域。作为青藏高原东北缘重要组成 部分的六盘山地区构造活动也是对青藏高原变形 和隆升的响应, 对其进行深入研究具有重要理论 和现实意义。

六盘山地区在构造上位于华北断块西部鄂尔 多斯块体与青藏块体东北部祁连断褶带之间的构造 转换部位。由于其特殊的构造位置以及与青藏高原 的密切联系,近年来已经成为国内外地质学界关注 的热点之一(宋友桂等, 2001; 张韬等, 2002; 王双绪 等,2005)。盆山耦合过程中盆地周缘断裂带对其演 化的控制和改造起着至关重要的作用(张兴洲等, 2010)。目前鄂尔多斯盆地已经成为我国重要的油气 勘探远景区之一, 对鄂尔多斯盆地周缘的重要断裂 带进行深入分析是对其研究的重要组成部分。六盘 山东麓断裂是六盘山地区的主干活动断裂之一,构 成了青藏块体对鄂尔多斯块体施加北东东向挤压作 用的直接接触边界(张维岐、1988;孙昭民等, 1994)。对此断裂前人曾做过一些研究,但相对较为 粗略。早期对六盘山东麓断裂的活动性质及参数的 研究基本上集中在北段(张维岐, 1988; 邓起东等, 1989; 张培震, 1990; 朱世龙, 1990; 孙昭民等, 1994; 向宏发等, 1998; 张秉良等, 2000; Zhang et al., 1991; Zheng et al., 2013)。以上研究初步得到了六盘山东 麓断裂带第四纪以来平均垂直滑动速率 0.9 mm/a, 北段平均左旋水平滑动速率为 1~3 mm/a 的结论。 而对该断裂中南部的活动性参数只是进行了定性估 计(孙昭民等, 1994; 向宏发等, 1998), 且其获得的六 盘山东麓断裂南段晚更新世以来不活动的结论也需 要重新审视。本文通过活动断裂沟槽韵律沉积特征的 研究, 对六盘山东麓断裂南段的最新活动时代进行了 精确限定。

1 六盘山东麓断裂南段研究现状

1.1 六盘山东麓断裂构造概况

六盘山东麓断裂地貌表现线性特征清晰明显, 断裂沿线表现为西部中高山与东部中低山及山间盆 地的分界,其北端在硝口附近与海原断裂带相接。 此断裂自硝口开始向东南经曹家河、海子峡至开城, 总体走向近 330°,略呈向北东突出的弧形。自开城 经杨家岭、和尚铺至香水店,总体走向接近南北, 长近 35 km。从泾源香水店向东南,经冶家、新民 散庄子至马家新庄附近与陇县—宝鸡断裂带的固关 —县功断裂相接(图1),总体走向近 335°,略具向南 西突出的弧形。整个六盘山东麓断裂带全长约 90 km。

根据断裂走向变化、几何细结构、活动幅度以 及位错速率等方面的差异(丁国瑜, 1992; 施炜等, 2003),大致可将六盘山东麓断裂划分为北部孙家 庄—开城、中部开城—香水店和南部香水店—马家 新庄三段。本文研究的重点是南段。

1.2 六盘山东麓断裂南段研究程度

前人对六盘山东麓断裂南段的研究程度较低,目 前比较一致的观点是该断裂活动性质以挤压逆冲或 逆掩运动为主,白垩系地层由西向东逆掩在古近系红



图 1 六盘山东麓断裂构造简图(据向宏发等, 1998 改绘) Fig. 1 Tectonic sketch map of the eastern Liupanshan piedmont fault(modified after XIANG et al., 1998) F₁-六盘山东麓断裂; F₂-六盘山西麓断裂; A-北段; B-中段; C-南段 F₁-eastern Liupanshan piedmont fault; F₂-western Liupanshan piedmont fault; A-North segment; B-Middle segment; C-South segment

层之上,水平位错分量很小。对六盘山东麓断裂南段 的最新活动时代未得出明确的结论,只是粗略估计该 断裂的活动时代主要发生在早、中更新世,晚更新世 以后活动性不甚明显(孙昭民等,1994;向宏发等, 1998)。

2 断裂沟槽沉积特征研究方法

断裂活动的信息可以通过由断裂作用形成的 沉积物记录下来。断裂沟槽是断裂活动时断错地质、 地貌体等造成局部下陷,在坡面上形成负地形,汇 集坡面流水形成的积水洼地,它在形成时及形成后 接受的沉积即为断裂沟槽沉积。断裂沟槽与断裂作 用形成的断塞塘从横剖面上看形态很相似,均为负 地形。二者的区别在于断塞塘的宽度相对于长度较 大,近于椭圆形,而断裂沟槽呈长条状,宽度相对 于长度较小。断塞塘通常位于断裂一侧,而断裂沟 槽往往跨越在整个断裂带上。

断裂沟槽沉积作为沿活动断裂带发育的典型 断裂成因沉积物,可以完整地记录其形成以来断裂 的活动信息。过去许多学者注意到了断裂沟槽和断 塞塘应作为活动断裂的一种地貌特征(国家地震局 地质研究所等, 1990; 丁国瑜, 1995; Allen et al., 1991; Guo et al., 2006), 对其进行过研究讨论。同时 部分学者(Wallace, 1977; Amit et al., 1995; 李传友 等, 2010)发现断裂活动形成的断裂沟槽和断塞塘不 仅具有断裂的地貌意义,其韵律沉积特征还蕴含着 的丰富地质学信息,曾经对其进行过论述。前人研 究结果表明断裂沟槽沉积物特征与活动断裂的地质 事件具有重要相关性。活动断裂带上的断裂沟槽沉 积物常表现为由多个韵律组成的层序结构,每个沉 积韵律旋回都是由下部的粗粒层与上部的细粒层组 成,粗粒层属崩积和冲积的快速堆积,细粒层则是 平静期的缓慢沉积。每一期断裂沟槽和断塞塘韵律 沉积的形成均可能与一次断裂活动有关(李传友等, 2010)。通过对韵律沉积物进行精确测年,就有可能 对断裂带的活动年代进行限定,但利用断裂沟槽沉 积物特征对断裂带的活动年代进行限定需要考虑的 一个重要问题是区分韵律沉积的构造成因与非构造 成因。关于这个问题将在本文后面章节进行详细 论述。

3 剖面分析

六盘山东麓断裂南段断层地貌清晰,半山坡上 明显可见多个陡坎呈线状分布(图 2),白垩系灰色、 灰绿色砂岩夹灰黑色炭质泥岩呈 10°~30°角由西向 东逆冲于古近系紫红色、砖红色泥岩夹砾岩之上。

在泾河南冶家村西(图 1)一条大沟内北壁见到

清晰的两套地层呈断层接触, 白垩系土黄色、灰白 色泥岩夹砂岩呈 30°逆冲在砖红色古近系砂泥岩之 上。在大沟南壁清理出一个断层剖面(图 2a), 有两 条断层产生逆冲运动。西侧断层(F₁)的上盘是胶结 的白垩系灰白色、土黄色泥岩向东逆冲到古近系砖 红色泥岩之上。东侧断层(F₂)上盘白垩系土黄色及 灰白色泥岩向东逆冲到古近系砖红色泥岩之上, 形 成一个高约 4~5 m 的正向大陡坎。由于断层上盘后 部的反向引张作用, 在大陡坎的后部形成了一个高 约 2~3 m 的反向小陡坎。西侧断层形成的陡坎和东 侧断层后部的反向陡坎形成了典型的断裂沟槽沉积 环境(图 2b)。

经仔细观察共识别出断裂沟槽沉积最上部的 3 期韵律结构,每期韵律沉积均包括一套粗粒层和 一套细粒层,粗粒层主要为砂和细砾,偶含中砾, 最大粒径达3mm。粒度粗,弱分选,缺乏沉积构造 特征,属快速堆积。细粒层由粘土、粉砂等细粒物 质组成,含有较多的有机质,颜色较深,属稳定静 水沉积。本研究组未对第III期韵律沉积层的粗粒堆 积层以下继续挖掘。

本剖面细粒层中的丰富有机质具备采用¹⁴C方 法测定本层位的沉积年龄值的良好前提。近年来¹⁴C 年代学测定方法因其具有较高的年龄分辨率优点, 已广泛应用于晚更新世至全新世时期地质、古气候 和考古等科学研究之中, 取得了令人瞩目的成果 (王华等, 2005; Van Der Woerd et al., 2002; Ramsey, 2006)。本研究组在含有机质相对丰富的韵律沉积 I 细粒沉积层的顶部, 和第二个韵律沉积 II 细粒沉 积层的顶部和底部分别采集了 3 个样品, 用于 ¹⁴C 年代学测定,采样位置如图 3b 所示,采样坐标 35.38850°N, 106.36784°E。自上而下采样点距地表 距离分别是 0.7 m、1.5 m 和 2.1m(图 3a)。样品送至 兰州大学西部环境教育部重点实验室进行¹⁴C年代 测定。样品用酸碱酸(HCl 2 mol/L、NaOH 0.5%)处 理,烘干后氧化化合成苯。已制备的苯配 HIS-3 闪 烁液,静置7天后测量计数。测试时间1500 min。 样品没有作 δ^{13} C 校正; 放射性碳年代采用碳-14 半 衰期惯用值 5568 计算获得,结果见图 4a、b、c。树 轮校正采用 CALIB 5.01 程序,选取 INTCAL04 北半 球非海洋陆地校正模式。经树轮校正后自上而下 3 个样品的测年结果依次为(524±16) a BP、 (5968±207) a BP、(15228±236) a BP。这3个样品测 年结果对断裂沟槽近3期韵律沉积中的粗粒层沉积 时间进行了相对精确的限定。

4 讨论

一般来说, 断裂沟槽韵律沉积具有非构造成因

与构造成因两种可能。一些学者(李传友等, 2010; Wallace, 1977; Amit et al., 1995)认为断裂沟槽和断 塞塘中构造成因粗粒崩积物主要是在短时间内突然 沉积形成, 地质事件后 100 年内是最主要崩积作用 时期。100年至2000年重力崩积作用将逐渐减弱,



图 2 冶家村西断裂地貌和断裂沟槽剖面 (剖面 P'P 位置见图 1) Fig. 2 Faulting geomorphology and profile of the fault grooves in the west of the Yejia Village (see profile P'P in Fig. 1) a-断裂沟槽照片; b-剖面素描图 ①-砖红色泥岩; ②-灰绿色坡积砾石层; ③-土黄色泥岩; ④-胶结的土黄色泥岩; -砖红色泥岩

a-photo of the fault groove; b-the sketch of the profile; 1)- nacarat mudstone, 2)-grayish green deluvial gravel layer, 3-loose khaki mudstone, (4)-cemented khaki mudstone. -nacarat mudstone

风化冲刷作用会超过重力崩积作用而成为主要侵蚀 原因。当断层运动从活动期转入相对平静期,由于 沉积环境稳定,所以沉积物成分较纯,不含砾石等 大颗粒成分, 断层陡坎下的堆积物逐渐转变为松散 的细粒沉积。随后逐渐沉积黄土以及亚粘土而形成 细粒层。多次的重复地质事件就可形成韵律沉积。 理想条件下, 剖面上每一套崩积物层均代表一次古 地震事件,如果构造事件间隔时间足够长,可以使 崩积粗粒层之间有充足时间沉积土层,甚至形成土 壤层, 这会有利于识别不同期次的崩积物。因此由 于断层构造运动形成的断裂沟槽沉积物包含有数个 被土壤层分隔开的崩积韵律构造,显示为断裂多次 地质事件导致的幕式沉积特征。

依据已有的大量研究, 断裂沟槽中非构造成因 沉积物为重力作用之下因自然风化与地表流水冲刷 沉积而成,经历了连续而低速率的沉积过程,沉积 物颗粒精细。非构造成因的细粒沉积层不会被埋藏 在粗粒堆积物之下,而且通常是凹面向上地披盖在 坡面之上,极少形成韵律沉积特征。

笔者认为此剖面中清晰的韵律沉积特征为构 造成因, 是六盘山东麓断裂南段最近几次周期性错 动所致。每一期韵律沉积的粗粒沉积物是由于断裂 突然运动导致崩积和坡积作用,形成一套较粗颗粒 的砾石和砂, 代表了六盘山东麓断裂南段一次比较 强烈的快速运动事件。而含有机物较多的细粒沉积 层则代表了断层活动趋于稳定之后, 在静水环境下 的沉积, 代表了断层活动的相对平静期。原因分析 如下,首先本剖面中每一期韵律沉积的粗粒层中砾 石均为无定向的杂乱堆积,具有崩积沉积的粘土、



图 3 断裂沟槽韵律沉积剖面综合柱状图 Fig. 3 Synthetic columnar section of rhythmic deposits exposed on the profile a-韵律沉积剖面柱状图; b-韵律沉积剖面照片





砂砾石混杂堆积特征, 堆积物颗粒粗, 弱分选且无 层理, 3 期粗粒层堆积间隔时间约为 5 ka 和 10 ka。 细粒层沉积是黄土及亚粘土, 粒度精细均匀, 显示 长期缓慢沉积的特征, 是断层处于平静期形成。如 果是干旱期风化形成的下部砾石层, 砾石的大小应 该分布均匀而非杂乱无章; 如果是流水期带来的碎 石, 这种突然大降雨导致的坡面流水通常几十年或 百年尺度以内就会发生一到几次, 极少可能间隔五 千年甚至万年左右才发生一次。

其二,前面的测年结果显示,此剖面上部的三 期韵律沉积分别间隔5ka和10ka左右,因此,如果 是气候因素所致,则支持该地区大幅度的气候变化 周期。气候变化具有大区域同步性,根据孢粉,古 植物、古动物、黄土-土壤、青藏高原冰芯及湖泊等 研究表明(施雅风等,1992;李有利等,1997;姚檀栋, 1999;贾玉连等,2001;黄春长等,2002),西部地区 和青藏高原东北部近19kaBP以来,约11kaBP、 8kaBP、5kaBP、3kaBP有4次明显的气候变化, 与六盘山东麓断裂南段本剖面的沉积韵律变化期及 间隔期明显不一致。

另外,根据地貌特征研究,六盘山东麓断裂南 段全新世以来明显有过多次活动。在上黄村和先进 水库等地断层通过处,断层错断 T1 和 T2 级阶地, 沿断层多处还可见到保留新鲜的断层陡坎和自由面 (另文详述)。这些现象表明断层全新世具有强烈的 活动性。当断裂带活动时跨越断层的沟槽沉积物必 然有所响应,因此推断本剖面中断裂沟槽沉积物应 具有断裂突然活动时形成的崩积和快速堆积成因。

综上所述,根据前面断裂沟槽非构造成因沉积 物与构造成因崩积物的特征分析,结合本剖面韵律 沉积特征和测年结果以及本区气候变化规律和地貌 表现,本研究组认为此剖面所反映的韵律沉积特征 不是气候变化的结果,而是构造运动造成的。本剖 面中三个样品的年龄测定结果可以近似代表断层三 次地质事件的时代。

5 结论

通过断裂沟槽沉积特征研究,对六盘山东麓断 裂南段的最新活动时代进行了限定。

1)对断裂沟槽 3 期韵律沉积采样并测年确定分 别在约 500 a BP 后、6 ka BP 后和 15 ka BP 前该段 断层有过明显的活动。

2)上述结果改变了以往对六盘山东麓断裂南段 活动时代的传统认识,确认六盘山东麓断裂南段晚 更新世以来有过多次活动,是一条活动断裂带。

3)六盘山东麓断裂活动性研究成果将极大影响 对南北地震带北段地震危险性的评价,并对青藏高 原东北缘的构造解释有重要意义。

致谢:感谢中国地震局兰州地震研究所何文贵研 究员与刘百篪研究员建设性的意见以及金卿硕士 的野外帮助。感谢审稿人和编辑对文章修改提供的 指导。

参考文献:

- 邓 起 东, 张 维 岐, 张 培 震, 焦 德 成, 宋 方 敏, 汪 一 鹏, BURCHFIEL B C, MOLNAR P, ROYDEN L, 陈社发, 朱世 尤,柴炽章. 1989. 海原走滑断裂带及其尾端挤压构造[J]. 地震地质, 11(1): 1-14.
- 丁国瑜. 1992. 有关活断层分段的一些问题[J]. 中国地震, 8(2): 1-9.
- 丁国瑜. 1995. 阿尔金活断层的古地震与分段[J]. 第四纪研究, 15(2): 97-106.
- 国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局. 1990. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社.
- 黄春长, 庞奖励, 黄萍, 侯春红, 韩宇平. 2002. 关中盆地西部 黄土台塬全新世气候事件研究[J]. 干旱区地理, 25(1): 10-15.
- 贾玉连,施雅风,王苏民,蒋雪中,李世杰,王爱军,李徐生. 2001.40 ka 以来青藏高原的 4 次湖涨期及其形成机制 初探[J].中国科学(D辑),S1:241-251.

李传友,张培震,袁道阳,王志才,郑德文.2010.活动走滑断

裂上断塞塘沉积特征及其构造含义[J]. 地质学报, 84(1): 90-105.

- 李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报, 1:1-9.
- 李有利,杨景春.1997. 河西走廊平原区全新世河流阶地对气候 变化的响应[J]. 地理科学,17(3):248-252
- 莫宣学.2011. 岩浆作用与青藏高原演化[J]. 高校地质学报, 17(3):351-367.
- 施炜,张岳桥,董树文.2003. 郯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.
- 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 唐领余, 王富葆, 姚檀栋, 赵希涛, 张丕远, 施少华. 1992. 中国全新世大暖期的气候波动与重 要事件[J]. 中国科学(B 辑), 12: 1300-1308.
- 宋友桂, 方小敏, 李吉均, 安芷生, 苗晓东. 2001. 晚新生代六 盘山隆升过程初探[J]. 中国科学(D辑), 31(S1): 142-148.
- 孙昭民,邓起东.1994. 六盘山东麓断裂和陇县-宝鸡断裂带基本特征及其相互关系[M]//中国地震学会.中国活动断层研究.北京:地震出版社:114-125.
- 王华,张会领,涂林玲, 覃嘉铭, 冯玉梅. 2005. 桂林甑皮岩洞 穴遗址钙华板¹⁴C 年代学研究[J]. 地球学报, 26(4): 333-336.
- 王双绪,张希,张四新,张晓亮,薛富平.2005. 青藏高原东北 缘现今构造变动与地震活动特征[J].地球学报,26(3): 209-216.
- 向宏发, 虢顺民, 张秉良, 张晚霞, 池田安隆, 何宏林. 1998. 六 盘山东麓活动逆断裂构造带晚第四纪以来的活动特征[J]. 地震地质, 20(4): 321-327.
- 肖序常. 2006. 开拓、创新, 再创辉煌——浅议揭解青藏高原之 谜[J]. 地质通报, 25(1-2): 15-19.
- 姚檀栋. 1999. 未次冰期青藏高原的气候突变[J]. 中国科学(D 辑), 29(2): 175-184.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化-显生宙亚洲大 陆生长[J]. 地球学报, 22(3): 193-230.
- 张秉良,向宏发,虢顺民,张晚霞.2000.六盘山东麓断裂断层 泥的组构特征及其意义[J].地震地质,22(1):47-52.
- 张培震. 1990. 六盘山地区的构造特征及地壳缩短量[M]//国家 地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断 裂带. 北京: 地震出版社: 121-136.
- 张韬,林畅松,丁孝忠,杜玉良,翟刚毅,张文秦.2002. 六盘山 弧形构造带铜多金属矿床的成矿环境[J]. 地球学报,23(6): 553-558.
- 张维岐. 1988. 鄂尔多斯西南边缘弧形断裂束第四纪活动 特征[M]//国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系. 北京: 地震出版社: 143-161.
- 张兴洲,马志红. 2010. 黑龙江东部中-新生代盆地演化[J]. 地 质与资源, 19(3): 191-196.
- 朱世龙.1990.关于青藏高原东北部地壳动力学问题的讨论 [M]//国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局.海 原活动断裂带.北京:地震出版社:256-277.

References:

ALLEN C R, LUO Z L, QIAN H, WEN X Z, ZHOU H W, HUANG W S. 1991. Field Study of a Highly Active Fault Zone: the Xianshuihe Fault of Southwestern China[J]. Geological Society of America Bulletin, 103(9): 1178 -1199.

- AMIT R, HARRISON J B J, ENZEL Y, 1995. Use of soils and colluvial deposits in analyzing tectonic events – The southern Arava Rift, Israel[J]. Geomorphology, 12(2): 91-107.
- DENG Qi-dong, ZHANG Wei-qi, ZHANG Pei-zhen, JIAO De-cheng, SONG Fang-min, WANG Yi-peng, BURCHFIEL B C, MONLAR P, ROYDEN L, CHEN She-fa, ZHU Shi-long, CHAI Zhi-zhang. 1989. Haiyuan Strike-slip Fault Zone and Its Compressional Structures of the End[J]. Seismology and Geology, 11(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- DING Guo-yu. 1992. Some Discussion on Fault Segmentation[J]. Earthquake Research in China, 8(2): 1-10(in Chinese with English abstract).
- DING Guo-yu. 1995. Paleoearthquakes Along the Altun Active Fault and its Segmentation[J]. Quaternary Sciences, 15(2): 97-106(in Chinese with English abstract).
- GUO Jian-ming, LIN Ai-ming, MARUYAMA T, ZHENG Jian-jing, SUN Guo-qiang. 2006. New Constraints on Recent Large Earthquakes along the Xidatan-Dongdatan Segment of the Kunlun Fault, Western China[J]. Bul1etin of the Seismological Society of America, 96(1): 48-58, doi: 10.1785/0120040176.
- HUANG Chun-chang, PANG Jiang-li, HUANG Ping, HOU Chun-hong, HAN Yu-ping. 2002. Holocene Climatic Events on the Loess Tableland in the Western Guanzhong Basin, China[J]. Arid Land Geography, 25(1): 10-15(in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology, China Earthquake, Administration, Ningxia Hui Autonomous Regions Earthquake Adminastrtion. 1990. the Haiyuan Active Faults Zone[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- JIA Yu-lian, SHI Ya-feng, WANG Su-min, JIANG Xue-zhong, LI Shi-jie, WANG Ai-jun, LI Xu-sheng. 2001. The Primary Research on the four Risen Periods and Mechanisms of the Lakes on the Tibetan Plateau since 40 ka BP[J]. Science in China (Series D), S1:241-251(in Chinese).
- 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[J]. Acta Geologica Sinica, 84(1): 90-105(in Chinese with English abstract).
- LI Ting-dong. 1995. The Uplifting Process and Mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1: 1-9(in Chinese with English abstract).
- LI You-li, YANG Jing-chun. 1997. Response of Alluvial Terraces to Holocene Climatic Changes in the Hexi Corridor Basins, Gansu, China[J]. Scientia Geographica Sinica, 17(3): 248-252(in Chinese with English abstract).
- MO Xuan-xue. 2011. Magmatism and Evolution of the Tibetan Plateau[J]. Geological Journal of China Universities, 17(3): 351-367(in Chinese with English abstract).
- RAMSEY C B. 2006. Radiocarbon Calibration and Analysis of Strati-

graphy: the OxCal Program[J]. Radiocarbon, 37(2): 425-430.

- SHI Wei, ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen. 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).
- SHI Ya-feng, KONG Zhao-chen, WANG Su-min, TANG Ling-yu, WANG Fu-bao, YAO Tan-dong, ZHAO Xi-tao, ZHANG Pi-yuan, SHI Shao-hua. 1992. The Climatic Fluctuations and Important Events in Chinese Warm Periods of Holocene[J]. Science in China (Series B), 12: 1300-1308(in Chinese).
- SONG You-gui, FANG Xiao-min, LI Ji-jun, AN Zhi-sheng, MIAO Xiao-dong. 2001. the preliminary discuss of the uplift process of the Liupan Mountains in late Cenozoic[J]. Science in China (Series D), 31(S1):142-148(in Chinese).
- SUN Zhao-min, DENG Qi-dong. 1994. Basic Characteristics and Interaction of the Eastern Liupanshan Piedmont Fault and the Longxian-baoji Fault Zone[M]//Seismological Society of China. The Active Fault Research in China. Beijing: Seismological Press: 114-125(in Chinese).
- VAN DER WOERD J, TAPPONNIER P, RYERSON, F J, MERIAUX A S, MEYER B, GAUDEMER Y, FINKEL R C, CAFFEE A S, ZHAO G G, XU Z Q. 2002. Uniform postglacial slip-rate along the central 600 km of the Kunlun Fault (Tibet), from ²⁶Al, ¹⁰Be, and ¹⁴C dating of riser offsets, and climatic origin of the regional morphology[J]. Geophysical Journal International, 148(3), 356-388.
- WALLACE R E. 1977. Profiles and Ages of Young Fault Scarps, North –Central Nevada[J]. Geological Society of America Bulletin, 88(9): 1267-1281.
- WANG Hua, ZHANG Hui-ling, TU Lin-ling, QIN Jia-ming, FENG Yu-mei. 2005. A Study of the ¹⁴C Age of Tufa Layer in the Zengpiyan Cave Site of Guilin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(4): 333-336(in Chinese with English abstract).
- WANG Shuang-xu, ZHANG Xi, ZHANG Si-xin, ZHANG Xiao-liang, XUE Fu-ping. 2005. Characteristics of Recent Tectonic Deformation and Seismic Activity in the Northeastern Margin of Tibetan Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(3): 209-216(in Chinese with English abstract).
- XIANG Hong-fa, GUO Shun-min, ZHANG Bing-liang, ZHANG Wan-xia, IKEDA Yasutaka, HE Hong-lin. 1998. Active Features of the Eastern Liupanshan Piedmont Reverse Fault Zone Since Late Quaternary[J]. Seismology and Geology, 20(4): 321-327(in Chinese with English abstract).
- XIAO Xu-chang. 2006. Making Innovation in a Pioneering Spirit and Scoring more Glorious Achievements-A Preliminary Discussion on the 1:250000 Regional Geological Mapping in the Qinghai Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 25(1-2): 15-19(in Chinese).

- YAO Tan-dong. 1999. The Climatic Mutations of the Tibetan Plateau during the Latest Glacial Epoch[J]. Science in China (Series D), 29(2): 175-184(in Chinese).
- YIN An. 2001. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogens in the context of Phanerozoic contental growth of Asia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 22(3): 193-230(in Chinese).
- ZHANG Bing-liang, XIANG Hong-fa, GUO Shun-min, ZHANG Wan-xia. 2000. The Fabric of Fault Gouge from the Eastern Liupanshan Piedmont Fault Zone and Their Implication[J]. Seismology and Geology, 22(1): 47-52(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Pei-zhen. 1990. The Tectonic Characteristics and Crustal Shortening Magnitude in Liupanshan Region[M]//Institute of Geology, State Earthquake Bureau, Ningxia Hui Autonomous Region Earthquake Administration. the Haiyuan Active Faults Zone. Beijing: Seismological Press: 121-136(in Chinese).
- ZHANG Pei-zhen, BURCHFIEL B C, MONLAR P, ZHANG Wei-qi, JIAO De-cheng, DENG Qi-dong, WANG Yi-peng, ROYDEN L, SONG Fang-min. 1991. Amount and Style of Late Cenozoic Deformation in the Liupanshan Area, Ningxia Autonomous Region, China[J]. Tectonics, 10(6): 1111-1129.
- ZHANG Tao, LIN Chang-song, DING Xiao-zhong, DU Yu-liang, ZHAI Gang-yi, ZHANG Wen-qin. 2002. Mineralization Environment of the Cu Polymetallic Deposits in the Liupan Shan Arc Structure Belt[J]. Acta Geoscientia Sinica, 23(6): 553-558(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wei-qi. 1988. The Active Characteristics of the Southwestern Marginal Arc Faults of the Ordos Block in the Quaternary[M]//the research team of the peripheral active faults of the Ordos Block. the peripheral active faults of the Ordos Block. Beijing: Seismological Press: 143-161(in Chinese).
- ZHANG Xing-zhou, MA Zhi-hong. 2010. Evolution of mesozoic-cenozoic basins in the eastern Heilongjiang province, northeast China[J]. Geology and Resources, 19(3): 191-196(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Wen-jun, ZHANG Pei-zhen, HE Wun-gui, YUAN Dao-yang, SHAO Yan-xiu, ZHENG De-wen, GE Wei-peng, MIN Wei. 2013. Transformation of Displacement between Strike-slip and Crustal Shortening in the Northern Margin of the Tibetan Plateau: Evidence from Decadal GPS Measurements and Late Quaternary Slip Rates on Faults[J]. Tectonophysics, 584: 267-280, doi: 10.1016/j.tecto.2012.01.006.
- ZHU Shi-long. 1990. The Discussion on the Crustal Dynamics of the Northeastern Tibetan Plateau[M]//Institute of Geology, State Earthquake Bureau, Ningxia Hui Autonomous Region Earthquake Administration. the Haiyuan Active Faults Zone. Beijing: Seismological Press: 256-277(in Chinese).