

张志亮. 西秦岭北缘断裂带西端的活动性及其对西宁至成都铁路方案的影响 [J]. 华南地震, 2020, 40 (2): 85-91. [ZHANG Zhiliang. The Activity of the West End of the Western Qinling Fault Zone and Its Influence on the Railway Project from Xining to Chengdu [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (2): 85-91]

西秦岭北缘断裂带西端的活动性及其对 西宁至成都铁路方案的影响

张志亮

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 西秦岭北缘断裂带是青藏高原东北缘一条强烈活动的Ⅱ级块体边界断裂, 曾发生过多达 6.5 级以上地震。规划中的西宁至成都铁路设计线路拟从甘家盆地一带穿行, 西秦岭北缘断裂带西端的活动性及其端部终止位置, 直接关系到铁路安全。基于甘家盆地一带的第四纪地质地貌与断裂活动性调查结果, 对西秦岭北缘断裂带的西端活动性及其对铁路方案的影响进行了分析和讨论。结果显示: 西秦岭北缘断裂带西段发散为两条主要活动断层, 均有全新世地表弱活动迹象; 断裂西端终止于甘家盆地东缘一带, 铁路设计方案在甘家盆地一带未直接穿经西秦岭北缘断裂带, 未来遭遇突发位错的可能性不大, 但需要考虑该断裂可能产生的地震动影响。

关键词: 西秦岭北缘断裂; 活动断裂; 甘家盆地; 西成铁路

中图分类号: U212.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 02-0085-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.02.013

The Activity of the West End of the Western Qinling Fault Zone and Its Influence on the Railway Project from Xining to Chengdu

ZHANG Zhiliang

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd. Xian, 710043, China)

Abstract: The western Qinling fault zone, one of boundary faults of one secondary active block located on the northeastern margin of the Tibet Plateau, actives strongly and occurred several earthquakes with $M \geq 6.5$ in history. The planned railway project from Xining to Chengdu run through Ganjia basin adjacent to the western Qinling fault zone, so the decision of the activity and west end of the fault zone have close relations to the planed railway project. Based on the field investigation on the Quaternary geology, geomorphology and faults activity around the Ganjia basin, this paper analyzed and discussed the activity of the west end of the fault zone and its influence on the railway project. The results suggest that the western segment of the western Qinling fault zone is divided into two branch active faults, and both of which show signs of weak Holocene surface activity. However, the west end of the fault zone terminates at the eastern margin of the Ganjia basin, and the planed railway lines does not traverse the fault zone directly in the area around the Ganjia basin. Therefore, for the railway project, it is less likely to encounter sudden offsets aroused by the western Qinling fault zone, and the seismic ground motion is the main effect to consider.

Keywords: Western Qinling fault; Active fault; Ganjia basin; Planed Xining-Chengdu railway

收稿日期: 2019-10-18

基金项目: 铁一院科研项目 (院科 17-12) 资助。

作者简介: 张志亮 (1983-), 男, 高级工程师, 主要从事铁路工程地质方面的工作。

E-mail: 25877548@qq.com.

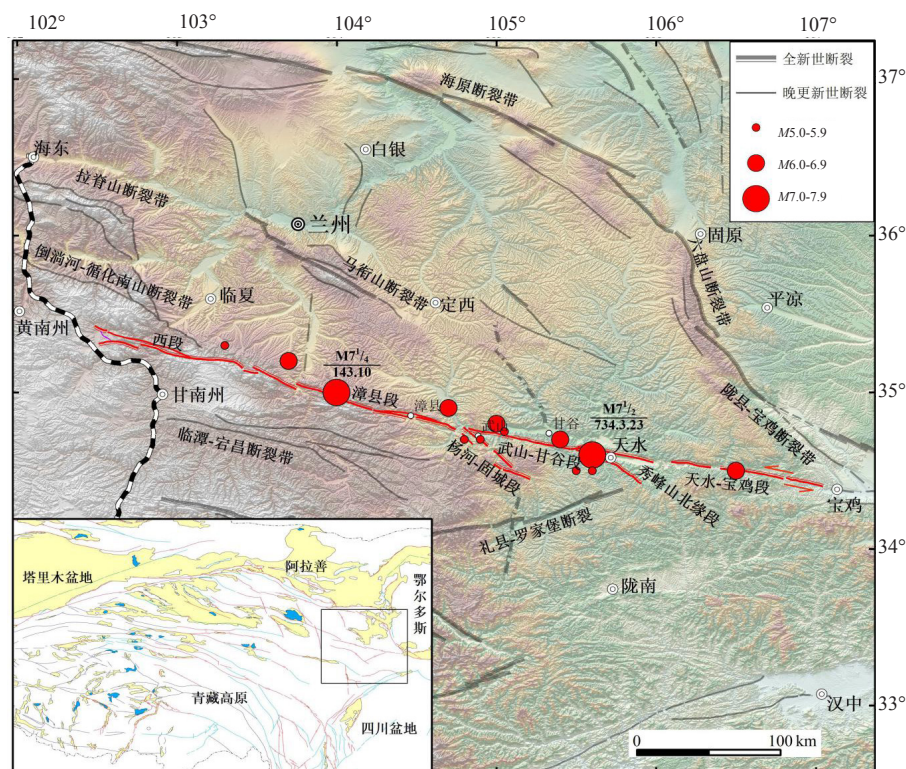
0 引言

西秦岭北缘断裂带是青藏高原东北缘一条强烈活动的区域性深大断裂,控制着东昆仑—柴达木断块和祁连山断块等 2 个 II 级块体的边界(图 1)。沿断裂带,曾发生过公元 128 年甘谷 $6\frac{1}{2}$ 级、143 年甘谷西 $7\frac{1}{4}$ 级、734 年天水 $7\frac{1}{2}$ 级地震、1765 年甘谷—武山 $6\frac{1}{2}$ 级地震和 1936 年康乐 $6\frac{3}{4}$ 级等多次历史强震和大震。关于断层的几何结构、晚第四纪活动性与活动参数,很多学者先后开展过调查和研究工作,积累了丰富的基础资料和研究成果^[1-13]。断裂带总体呈 NWW 向,东端延向渭河盆地,终止于陇县—宝鸡断裂带;而断裂的西端终止到哪,却依然存有疑问。国家地震局兰州地震研究所^[3] 1/5 填图工作认为断裂西端延到土房村附近。张波等^[14] 沿土房村以西段开展了调查,认为断裂西端延到了甘家镇南侧的切龙沟附近,并终止于甘家盆地东缘。规划中的西宁至成都铁路(简称西成铁路)设计线路拟从甘家盆地穿经,西秦岭北缘断裂带西段的活动性及其端部终止位置,直接关系到铁路安全。对此,我们在甘家盆地一

带开展了断裂活动性调查,获得了一些新的资料。本文拟在这些资料的基础上,分析和探讨西秦岭北缘断裂带西端的活动性及其对铁路的可能影响。

1 构造背景

受印度板块与欧亚板块的挤压、碰撞影响,青藏高原持续隆升,并向 N-NE 推挤,造成青藏高原东北部发育东昆仑断裂带、西秦岭北缘断裂带和祁连山北缘—海原断裂带等一系列大规模的 NWW-NW 向左旋走滑断裂,将高原分割成几个次级块体。西秦岭北缘断裂带是东昆仑—柴达木块体和祁连山块体边界的重要组成部分,东起宝鸡,往西经天水、武山、漳县、和政,至临夏以西的青海同仁一带,长约 500 km,总体走向 NWW,倾向 NE,左旋走滑性质。关于断裂带的几何结构破裂分段,综合不同学者的认识^[3, 9, 12, 13],断裂带总体可分为 6 条主要次级断裂,从东往西依次为:宝鸡—天水断裂、秀峰山北缘断裂、武山—甘谷断裂、杨河—固城断裂、漳县断裂、锅麻滩断裂(图 1)。



红色线条指示西秦岭北缘断裂带;活动块体、活动断裂和历史地震等据邓起东等^[15]修改

图 1 西秦岭北缘断裂带平面展布简图

Fig.1 Distribution of the western Qinling fault zone

宝鸡—天水段是西秦岭北缘断裂带的最东段，从天水以西的凤凰山南麓一直东延至渭河出山口附近，西段沿凤凰山南麓展布，天水以东，大致沿渭河谷地展布，长约 110 km，由 2~3 条次级断裂组成，活动性质以左旋走滑为主，局部张性正断。沿该段断裂无历史大震记录，探槽揭露，断层断错了 ^{14}C 测年结果为 (2440 ± 30) a B.P. 的地层^[13]。

秀峰山北缘断裂从硬岵村西，呈 $\text{SE}70^\circ$ 方向，延至两旦河、老鸦河一带，长约 45 km，控制西南侧高山与北东侧山前梁状丘陵之间的地貌分界。毛集村一带，断层左旋断错了冲沟 T1-T2 阶地，T1 阶地上探槽揭露，断层断错了 T1 阶地砾石层。该段断裂为公元 734 年天水 $7\frac{1}{4}$ 级地震的发震断裂，该次地震中，凤凰山断裂也可能同时破裂^[13]。

武山—甘谷断裂东起凤凰山南麓的胡家沟，经武家河、武山，止于鸳鸯镇西苟家山附近，长约 70 km，倾向 NE，倾角 $60^\circ\sim70^\circ$ ，左旋走滑，局部兼有正断性质。断裂晚第四纪以来活动显著，发育断层沟槽、断层陡坎、山脊与水系同步左旋等微地貌，晚第四纪以来的平均水平滑动速率约 2.5 m/a，垂直速率为 0.5 mm/a。沿断裂段发生过公元前 47 年陇西 $6\frac{3}{4}$ 级地震，地震断层沟槽、黄土中密集发育的张性构造裂缝、滑坡体和串珠状落水洞等同震地表破裂与变形遗迹局部仍然可辨。

杨河—固城断裂西起榜沙河东，向南东经四门、杨河，至固城南东一带，长约 48 km，由多条不连续的断层段组成。在四门和杨河附近，断层左旋断错了一系列的山脊、冲沟及冲洪积台地，地表形成线性的断层陡坎或陡崖。断层断错地层的顶部 ^{14}C 样品测年结果为 (840 ± 30) a B.P.。沿断裂有 2 次 5~6 级地震记录，但无 6 级以上历史地震记录。

漳县断裂东起酸刺湾，向西经董家山、庞家湾，穿过漳县盆地后，顺车厂沟向西，越过分水岭，经黄香沟、黑林沟，止于洮河西岸，总体走向 $290^\circ\sim300^\circ$ ，倾向 NE，倾角 65° 左右，

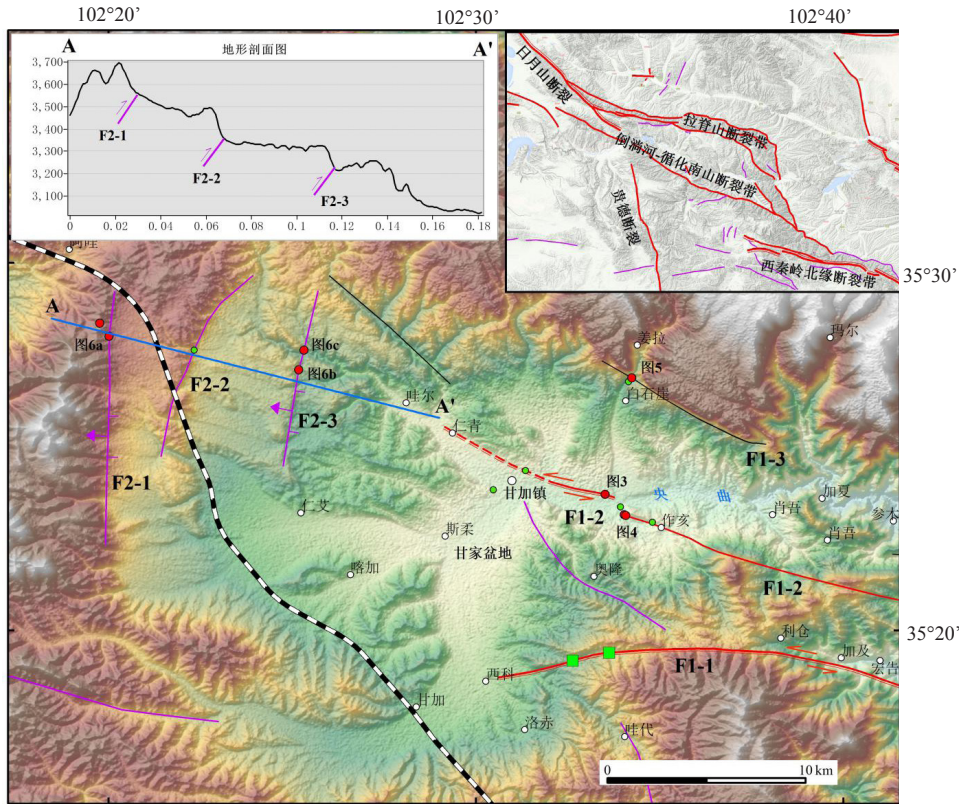
长近 110 km。沿断裂，线性影像特征清晰，断层崖、断层陡坎、水洗位错等微地貌发育。全新世以来的平均左旋滑动速率为 2~3 mm/a，垂直速率约 1.2 mm/a^[4]。闫家坪探槽揭露断层断错了 ^{14}C 测年结果为距今约 (2010 ± 30) a 的全新世晚期沉积物。黄香沟探槽揭露出 6 次地震事件，从老到新依次为 13480 ± 240 、 9890 ± 220 、 7020 ± 93 、 5148 ± 62 、 3028 ± 94 和 1163 ± 44 a B.P.，平均复发间隔约 2400 年^[11]，最新一次事件即公元 143 年甘谷西 $7\frac{1}{4}$ 级地震，沿断裂多处可见地震崩积楔、充填楔及断塞塘淤积。

锅麻滩断裂是西秦岭北缘断裂带的最西段，与东侧的漳县断裂左阶斜列，东端起于洮河西岸的莲麓附近，往西几何结构较为复杂，由多条更次一级的断裂组成。其中，围子山—大夏河断裂上保留有 1936 年康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震地表破裂带，表现为基岩崩塌、断层陡崖、地裂缝等^[16]。松香滩南西的探槽揭露断层断错全新世晚期坡积层，活动性质以正左旋走滑活动为主。

2 甘家盆地一带的断裂活动性

甘家盆地是高原内部一个小型的新近纪以来形成的山间汇水盆地，水系从南、西、北三面向东汇聚至央曲，盆地东西长约 23 km，南北宽约 18 km，总体呈西宽东窄的斗状（图 2），最低海拔 2930 余米。从西缘山体延向盆地最低点，发育有两排近南北向的基岩垄脊。盆地周缘以新近系红层为主，往盆地中央直接过渡到山麓洪积扇形或洪积平原型、河谷型晚更新世—全新世堆积，基本未见早—中更新世地层。

沿西秦岭北缘断裂带，从八五期间 1/5 万填图的西端点土房村再往西，1/20 万和 1/25 万地质图上都标示出多条断层，且空间位置有较大差别。影像上和地貌上，断层地表活动迹象并不十分明显，仅局部有所显示。经探槽揭露，盆地东缘的切龙沟附近局部线性槽谷为断层活动引起，最新一次活动的时间在距今 (1932 ± 54) 年左右^[14]。断裂形迹终止于盆地东缘。

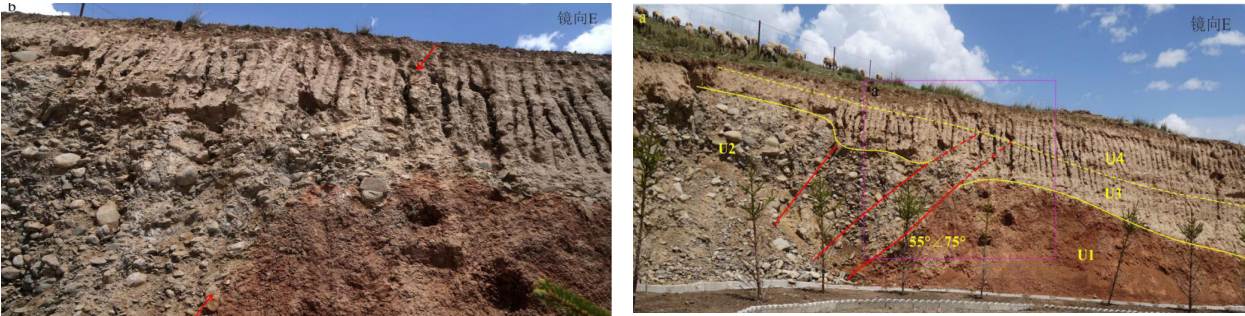


红色双线条为全新世活动断裂（虚线表示推测），红色单线条为晚更新世活动断裂，紫色线条为早 - 中更新世断裂，黑色线条为前第四纪断裂，蓝线条示意地形剖面位置。红点为断层剖面点，蓝点为地质地貌观察点，绿色矩形为前人开挖探槽位置。
F1, 西秦岭北缘断裂带；F2, 甘家盆地西缘逆断裂组

图 2 甘家盆地一带活动构造简图
Fig.2 Active tectonic map around the Ganjia basin

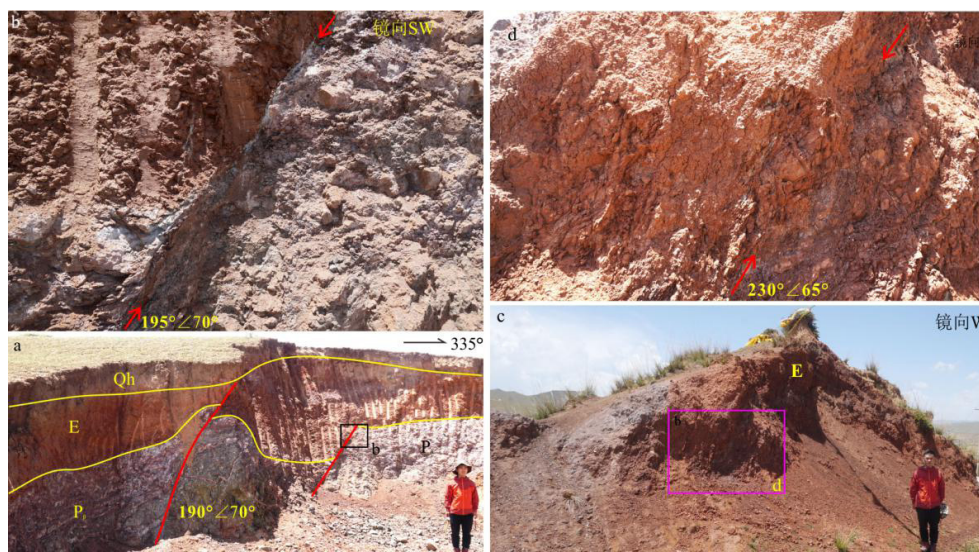
甘家镇央曲北岸(102°33'30.9"E, 35°23'41.9"N)一带，是线性影像比较清晰的一段，地貌上，为 NWW 向线性陡坎。陡坎前缘经开挖揭露，断层断错了央曲的 T2 阶地基座砾石层，并影响到了近地表的含砾石次生黄土（图 3），但最顶层黄土未见明显断错。剖面揭示这一陡坎地貌

为断层晚更新世 - 全新世活动形成，但全新世活动可能已减弱。从该点往西南方向延伸，在（102°34'04.1"E, 35°23'06.2"N）一带也见有两个断层剖面，断层断错了古近纪红层（图 4）。地貌上未观察到明显的断错微地貌。该断层与央曲北岸断层似呈右阶斜列。



红实线示意断面，红虚线为不是很明显的推断裂面，黄实线为地层单元界线，黄虚线示意界面不是很明显的地层单元界线。
U1 古近系红层；U2 更新世冲洪积砾石层；U3, 含砾块黄土；U4, 表层黄土

图 3 甘家镇央曲北岸（102°33'30.9"E, 35°23'41.9"N）处断层剖面图
Fig.3 Fault profile of the north bank of Yang river in Ganjia town



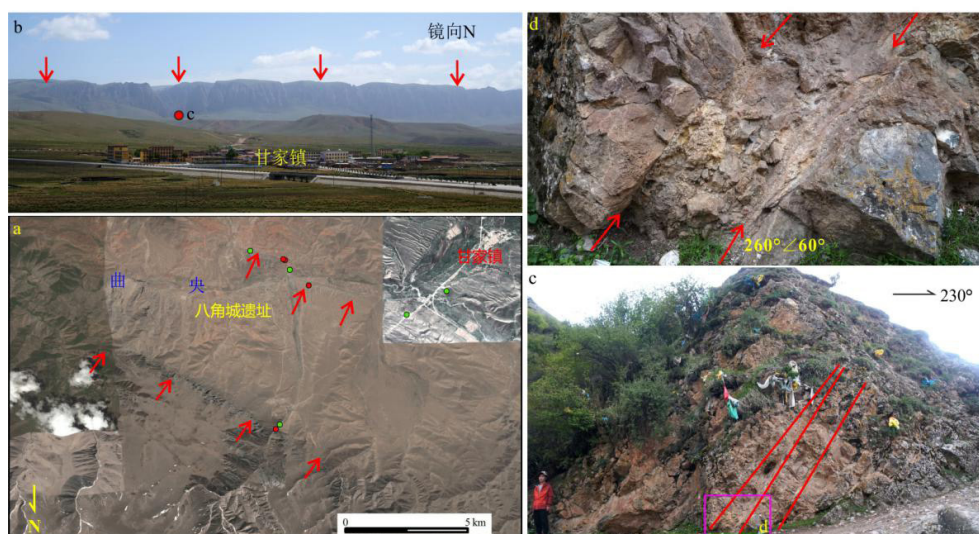
红实线为断面，红箭头指示断面。P_p，二叠纪玄武岩；E，古近纪红层；Qh，全新世表土层残坡积土

图4 甘家镇央曲南岸（102°34'04.1"E, 35°23'06.2"N）处断层剖面图

Fig.4 Fault profiles of the south bank of Yang river in Ganjia town

甘家盆地北缘基岩山前一带，线性影像特征非常清晰，长近 10 km。地貌上，为灰岩山前断层陡崖。在（102°34' 14.6"E, 35°26' 51.6"N）处，见有基岩破碎带出露（图 5），发育断层泥，但

已基本固结或半固结。沿断层走向，断层控制山前古近系山麓红层堆积，断层陡崖和断层三角面清晰，但山麓堆积未见明显变形迹象。断层最新活动可能在第四纪早期。



(a) 甘家盆地北缘影像图（据 GoogleEarth）；(b) 甘家盆地北缘地貌；(c) 断层剖面（位置见图 b）

红实线为断面，红箭头指示断层崖或断面。剖面位置参图 2

图5 甘家盆地北缘一带地貌与断层剖面图

Fig.5 Geomorphology and fault profiles along the northern margin of the Ganjia basin

盆地西缘的 3 条近南北向线性影像，为 3 排向西倾的高角度逆断层带，多处见有断层剖面出露（图 6）。最西侧的第一排，断层发育于灰岩中，上覆有较厚的 Qp₃-Qh 坡洪积含砾砂土。最东侧的第 3 排，断层发育于花岗岩中，断面非常清晰，断层泥发育，半固结为主，局部较

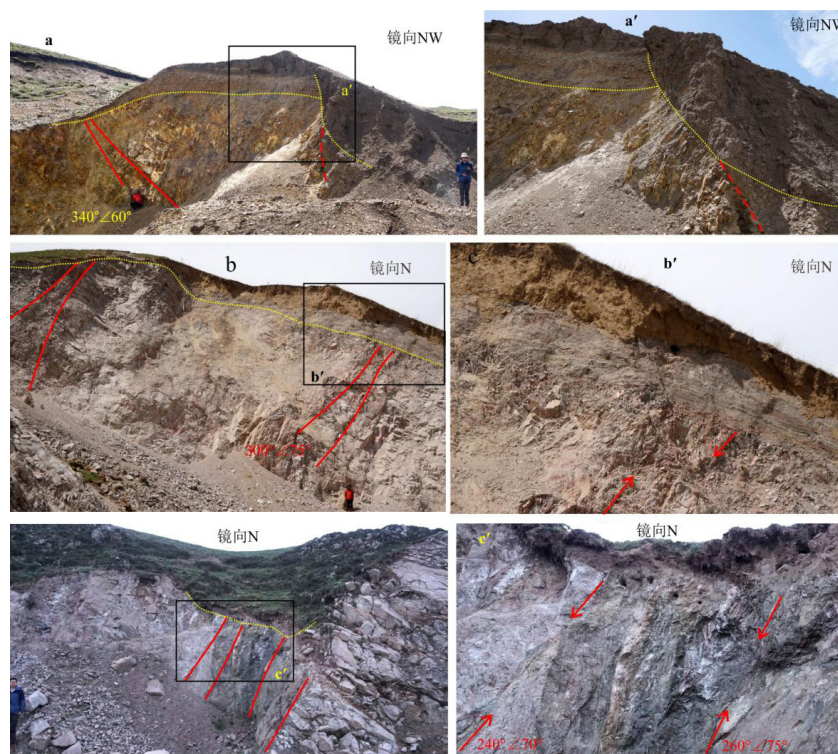
松散。断层均上覆洪坡积含砾砂土。几排逆断层的最新活动时代可能在第四纪早期。

3 讨论

甘家盆地周缘断裂活动性调查结果显示：

甘家盆地是一个西高东低的新生代箕状汇水盆地；盆地西缘受3排高角度逆断层控制；盆地北缘，受NWW向山前断层控制；盆地南缘，未见控盆山前断裂；盆地东缘，西秦岭北缘断裂发散为多条断层，其中，有2支断层晚第四纪以来可能仍有活动，但地表断错迹象已明显减弱，2支断层也基本止于盆地东缘。综合这些观察结果，甘家盆地可能是古近纪形成的一个

高原内部小型压陷性盆地。受西侧逆冲阻挡影响，西秦岭北缘断裂活动已进入尾端。从区域构造环境看，日月山断裂以东，拉脊山断裂带、倒淌河—循化南山断裂带以及西秦岭北缘断裂带，走向和活动性质近似，总体呈右阶斜列，与之间间夹的拉脊山和循化南山组成一组NWW向构造。西秦岭北缘断裂带往西，构造活动可能已向北迁移。



红实线为断面，红虚线为推测断面，红箭头指示断面，黄虚线示意地层界面。剖面位置参图2

图6 甘家盆地西缘一带断层剖面图

Fig.6 Fault profiles along the western margin of the Ganjia basin

也就是说，甘家盆地的东缘已是西秦岭北缘断裂带的尾端。正在规划中的西宁至成都铁路线路方案从甘家盆地西侧穿行，未直接穿经西秦岭北缘断裂西段2条主要活动断裂，未来遭遇该断裂突发位错的可能性不大。但由于盆地东缘附近的西秦岭北缘断裂西端仍有全新世地表弱活动迹象，未来存在发生7级左右地震的可能，线路规划需要考虑该断裂可能产生的地震动影响。

4 结论

(1) 西秦岭北缘断裂带西段发散为两条主要活动断层，仍有全新世地表弱活动迹象。

(2) 断裂西端终止于甘家盆地东缘一带，西宁至成都铁路现有设计线路方案在甘家盆地一带未直接穿经西秦岭北缘断裂带，未来遭遇突发位错的可能性不大，但需要考虑该断裂可能产生的地震动影响。

致谢：感谢陈立春研究员和李彦宝副研究员对现场工作和论文撰写的指导与帮助，感谢高帅坡博士、韩明明博士、卢丽莉硕士等参与野外工作，感谢审稿专家对论文的意见与建议！

参考文献：

- [1] 康来迅. 西秦岭北缘断裂带地震地貌的基本特征 [J]. 大地测量与地球动力学, 1990, 10(1): 46-54.
- [2] 康来迅. 西秦岭北缘断裂带活动构造地貌特征及其形

- 成机理 [J]. 华东师范大学学报 (自然科学版), 1994, (2): 67-75.
- [3] 国家地震局兰州地震研究所. 西秦岭北缘断裂带 1/5 万活动断裂地质图说明书 [R]. 兰州: 国家地震局兰州地震研究所, 1993.
- [4] 滕瑞增, 金瑶泉, 李西候, 等. 西秦岭北缘断裂带新活动特征 [J]. 西北地震学报, 1994, 16 (2): 85-90.
- [5] 董治平, 雷芳. 西秦岭北缘断裂带的深部构造特征及其与地震活动的关系 [J]. 内陆地震, 1996, 10 (3): 224-234.
- [6] 李延兴, 康来迅. GPS 测量所揭示的西秦岭北缘断裂带现今活动特征 [J]. 中国地震, 1999, 15 (4): 295-303.
- [7] 袁道阳, 杨明. 西秦岭北缘断裂带的位移累积滑动亏损特征及其破裂分段性研究 [J]. 地震研究, 1999, 22 (4): 59-66.
- [8] 王志才. 青藏高原东北缘新生代以来的构造变形特征与时空演化: 以陇西—武山地区为例 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所. 2004.
- [9] 李传友. 青藏高原东北部几条主要断裂带的定量研究 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所. 2005.
- [10] 雷中生, 袁道阳, 葛伟鹏, 等. 734 年天水 7 级地震考证与发震构造分析 [J]. 地震地质, 2007, 29 (1): 51-62.
- [11] 李传友, 张培震, 袁道阳, 等. 活动走滑断裂上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, 2010, 84 (1): 90-105.
- [12] 邵延秀, 袁道阳, 王爱国, 等. 西秦岭北缘断裂破裂分段与地震危险性评估 [J]. 地震地质, 2011, (1): 82-93.
- [13] 王爱国, 袁道阳, 张波, 等. 西秦岭北缘断裂带地震危险性与危害性 [J]. 城市与减灾, 2018, 121 (4): 52-58.
- [14] 张波, 何文, 袁道阳, 等. 西秦岭北缘断裂带西端晚第四纪活动特征及其西延问题 [J]. 地震, 2012, 32 (1): 136-143.
- [15] 邓起东, 冉勇康, 杨晓平, 等. 中国活动构造图 [M]. 北京: 地震出版社, 2007.
- [16] 张波, 何文贵, 方良好, 等. 1936 年甘肃康乐 6.3/4 级地震地表破裂带调查 [J]. 地震研究, 2015, 38 (2): 262-271.