

# 党河南山北缘断裂古地震形变带特征研究<sup>1</sup>

邵延秀<sup>1,2)</sup> 袁道阳<sup>1,2)</sup> 雷中生<sup>1)</sup> 刘兴旺<sup>1,2)</sup> 罗浩<sup>1)</sup>

1) 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000

2) 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 兰州 730000

**摘要** 通过对党河南山北缘断裂的野外地貌考察, 发现东段保存了长约 40km 的古地震地表形变带, 主要表现为纹沟和高漫滩断错, 形成高约 0.5m 左右的低矮断层陡坎, 且活动时代较新。经查阅相关史料和文献, 结合最新冲积地貌面的估算年代, 推测该地震形变带可能与公元 384 年、419 年、1000 年和 1297—1303 年发生在敦煌附近的 4 次地震中的某一次地震有关。

**关键词:** 党河南山北缘断裂 地震形变带 断层陡坎 历史地震

## 引言

位于祁连山西端的党河南山北缘断裂是北东向的阿尔金断裂与北西向的北祁连山断裂之间构造转换和应变分配的主干断裂之一(国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组, 1992; 徐锡伟等, 2003; Zhang 等, 2007)。该断裂主要由 3 条近于平行排列的北西向挤压逆冲断裂组成(图 1)。Meyer 等(1998)曾基于卫星影像构造解译和区域地质构造特征, 初步分析了该区的构造转换与变形模式。赵朋(2009)通过考察初步给出了党河南山断裂各段的滑动速率。2009—2010 年, 笔者在考察该断裂时, 发现其前缘保存了 1 条连续性较好的新断层陡坎, 这是前人未报道过的古地震形变带。本文拟在对新发现的地表形变带特征分析和相关地震史料考证的基础上, 探讨党河南山北缘断裂的强震活动特征。

## 1 断裂带的新活动特征

党河南山北缘断裂呈北西向展布在党河南山北麓, 自肃北西水沟向东一直延伸到盐池湾东南, 长约 190km。西端与阿尔金断裂在西水沟附近相连(Woerd 等, 2001), 分配了阿尔金断裂部分走滑应变分量(徐锡伟等, 2003)。根据断裂几何特征可将其自西向东分为肃北段(F3-1)、别盖段(F3-2)和盐池湾段(F3-3)三段, 性质以逆冲为主(图 1)。其中, 肃北段是党河南山北缘断裂与阿尔金断裂交汇的衔接段, 由 2 条次级断裂组成。其后缘发育的断层陡坎高达 10m 以上(Woerd 等, 2001), 前缘断层上发育的陡坎高 2—3m, 活动时代新。别

**1 基金项目** 国家自然科学基金(40872132), 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2010A88-2)和舟曲特大山洪泥石流灾害恢复重建项目资助。中国地震局兰州地震研究所论著号: LC2011048

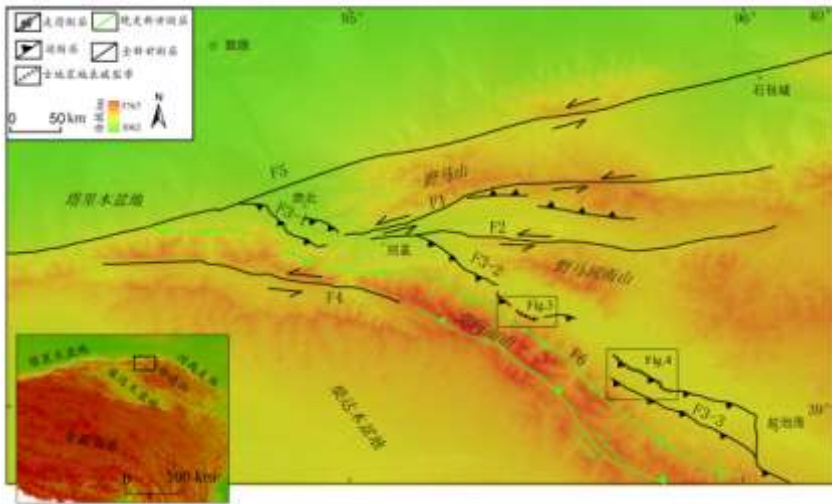
**[收稿日期]** 2011-03-15

**[作者简介]** 邵延秀, 男, 生于 1984 年。硕士。主要研究领域: 活动构造与地震危险性分析。E-mail: shaoyx@geoidea.org

盖段西端与野马河南缘断裂在野马河口子（别盖）相接，向东延伸到孔子沟，长约 45km。该段断层上发育的陡坎高度多在 4—6m 之间，孔子沟口一带的断层陡坎呈断续分布，有较新的低矮陡坎 (<1m) 分布。盐池湾段从大红沟一带一直向东延伸到盐池湾东南，盐池湾以西分为 2 条次级断裂，于盐池湾南面合并为 1 条，全长约 100km。盐池湾以西，后缘次级断裂切错冲沟的 T2 和 T3 级阶地，形成高达 10—12m 的陡坎。前缘次级断裂断错冲沟的高漫滩及纹沟等地貌面，最新形成陡坎的高度为 0.5—2.5m。

## 2 党河南山北缘地震地表形变带特征

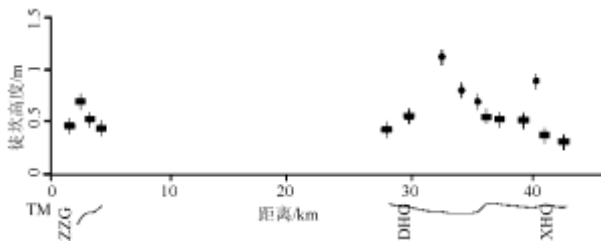
野外考察发现，沿党河南山北缘断裂别盖段的孔子湖一带和盐池湾段的大红沟—小红沟一带，在其前缘断裂上存在 2 段较为连续的地震地表形变带（图 1）。其主要表现为冲沟低阶地面（T1）、高漫滩和最新冲积扇面上均被断错，形成高 0.5—1.5m 左右的新鲜断层陡坎，局部段落的陡坎高度甚至不足 0.5m（图 2）。其中，孔子沟段分布于孔子沟东岸，可见长度约 2.4km；大红沟—小红沟段破裂带连续分布于大红沟—小红沟沟口一带，长度约 14km。



F1: 野马河北缘断裂; F2: 野马河南缘断裂; F3: 党河南山北缘断裂 (F3-1 为肃北段; F3-2 为别盖段; F3-3 为盐池湾段); F4: 党河南山南缘断裂; F5: 阿尔金断裂; F6: 党河南山主峰断裂

图 1 肃北党河南山地区主要活动断裂分布图

Fig. 1 Distribution of main active faults in Danhe Nanshan, Subei

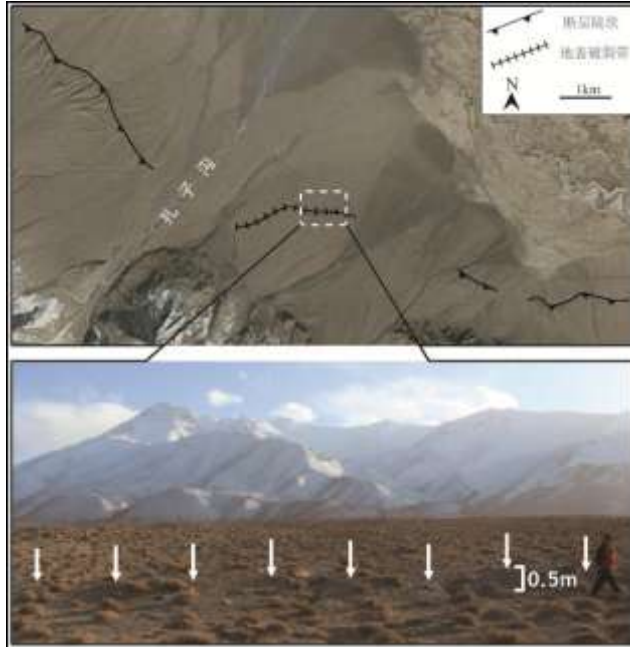


TM: 地震地表破裂带的行迹; ZZG: 孔子沟; DHG: 大红沟; XHG: 小红沟; 圆表示 T1 级阶地; 矩形表示高漫滩 (T0) 或最新冲积扇面; 从图中可以看出破裂带陡坎的高度集中在 0.5m 左右

图 2 党河南山北缘断裂地表破裂带及陡坎高度分布

Fig. 2 Distribution of surface rupture and scarp height along Danghe Nanshan Northern fault

扎子沟段形变带主要分布在扎子沟口东，破裂带切过主沟东岸的最新洪积扇，在扇面上形成蜿蜒延伸的低矮断层陡坎，总体走向近北东（图 3），由钢卷尺测量获得的陡坎高度在 0.5—1m 左右。卫星影像显示，该段破裂带的线性形迹十分明显，并保存有清晰的自由面特征。



上图为党河南山北缘断裂中段在扎子沟冲积扇面上的地震地表破裂带和断层陡坎（来源于 Google Earth）；下图为沟口冲积扇面上的地震地表破裂带陡坎的高度从西向东逐渐降低（镜像南），但最大高度都没有超过 1m

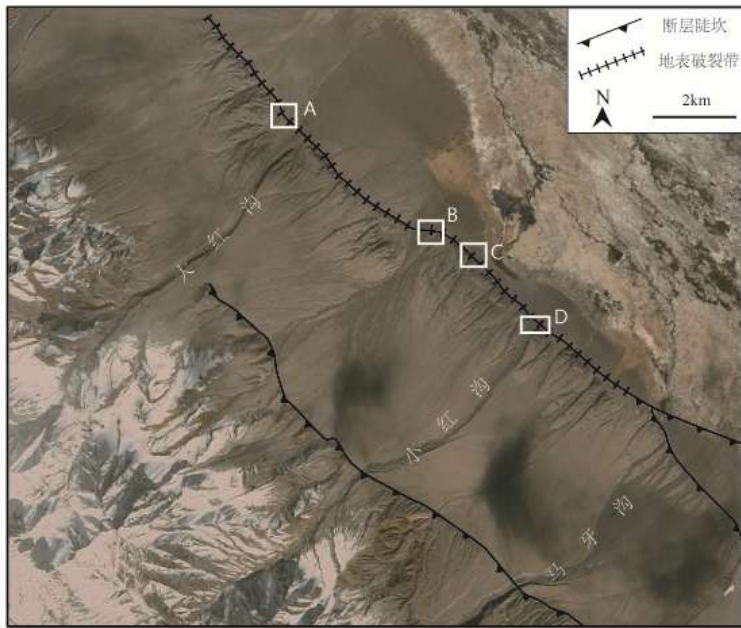
图 3 党河南山北缘断裂中段破裂带

Fig. 3 Surface rupture of central segment of Danghe northern fault

大红沟—小红沟段的破裂带断续分布于大红沟以西约 2.8km 至小红沟以东约 2.5km 一带，在地貌上形成向北东倾的正向断层陡坎，其线性形迹非常明显，钢卷尺测量的陡坎高度在 0.5—1.5m 之间，局部坎高小于 0.5m。破裂带错断了大红沟西、小红沟的 T1 低阶地（图 4-D）、高漫滩（图 4-D）和小冲沟的最新洪积扇面（图 4-A）等最新地貌面。该段破裂带多发育于党河南山北缘断裂系主断层的前缘部位，应是该断裂由南向北挤压逆冲向盆地内部扩展的结果（图 4）。

上述地表破裂带主要为逆冲性质，没有发现水平走滑的可靠证据。对比发现，扎子沟段与大红沟—小红沟段地表形变带均断错了最新地貌面，陡坎高度和地貌形态近似。因此，笔者认为这 2 段形变带应为同一期地震活动的结果，总长度至少在 40km 以上。同时根据小红沟附近最新被断错的高漫滩沉积年龄，估计该地表破裂带形成年代大约在 1000a 左右。由 Wells 等（1994）给出的逆冲断层表面破裂长度和震级的经验关系式： $M_w=5+1.22 \times \lg SRL$ （式中， $M_w$  为矩震级； $SRL$  为地表破裂长度；标准差  $S$  为 0.28），可以估算该次地震的矩震级约

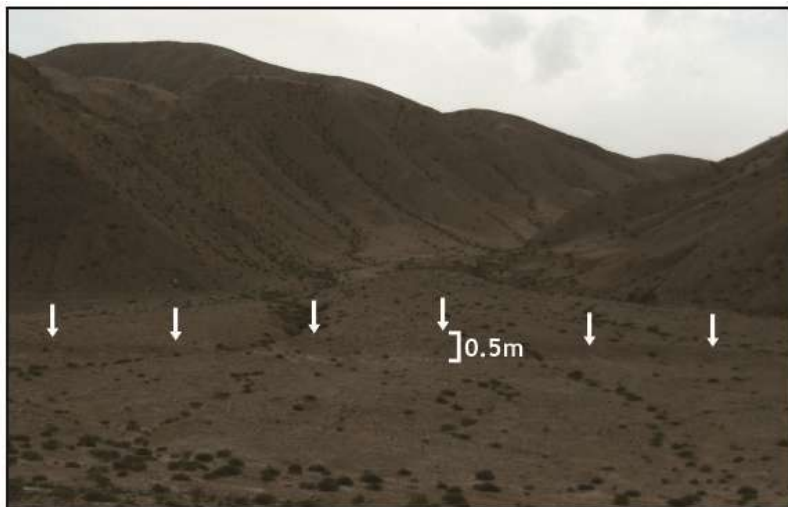
为  $6.9 \pm 0.28$ ，即震级大约为 7 级左右，这与发育的低矮断层陡坎大体匹配。



该段分布 2 条断层陡坎（图 1），地震地表破裂带分布于前缘断层（底图来源于 Google Earth），破裂带一直从大红沟西延伸到小红沟以东，沿线破裂带地貌非常清晰，本文选取展示 4 处典型地貌（A、B、C、D）

图 4 党河南山北缘断裂东段破裂带

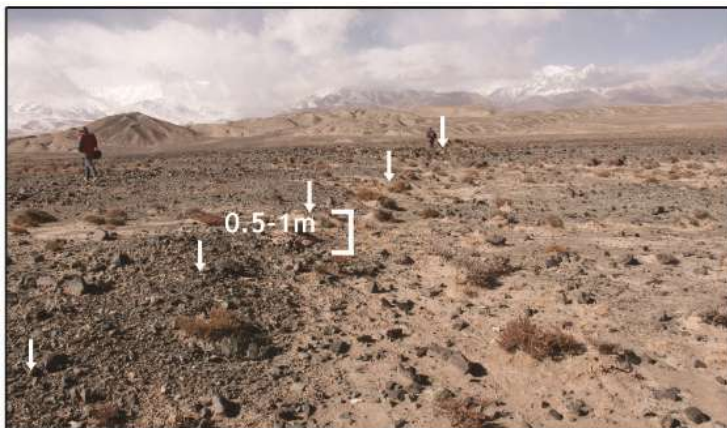
Fig. 4 Surface rupture of eastern segment of Danghe northern fault



陡坎高度 <math>< 0.5\text{m}</math>，为被保留下来最新的地震自由面

图 4-A 大红沟西侧最新冲积扇形成破裂陡坎（镜像南西）

Fig. 4-A Fault scarp developed in alluvial fan in west of Dahong Valley



T1 上形成的断层陡坎高度<1m; T0 上形成的断层陡坎高度约 0.5m

图 4-B 小红沟西被断错的地貌面（镜像西）

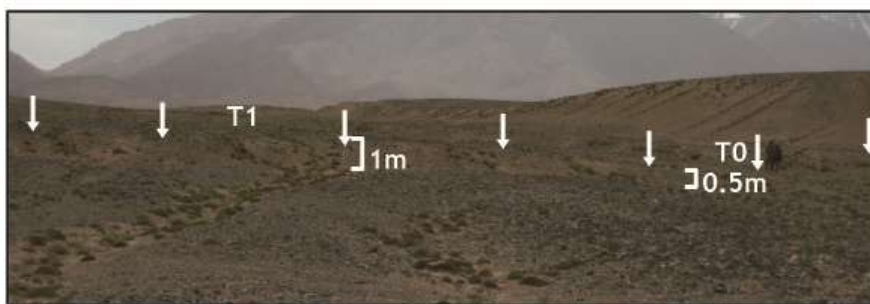
Fig. 4-B Surface rupture in west of Xiaohong Valley



冲积扇上保存较好的地震自由面，破裂陡坎高度<0.5m，后缘是较老的断层陡坎，表明该断裂系在向前扩展

图 4-C 小红沟西被断错的冲积扇面（镜像南东）

Fig. 4-C Offset in alluvial fan in west of Xiaohong Valley



T1 上形成的断层陡坎高度约 1m; T0 上形成的断层陡坎高度约 0.5m



图 4-D 小红沟沟口被断错的地貌面（镜像南西）

Fig. 4-D Surface rupture in Xiaohong Valley

### 3 相关历史地震讨论

由于研究区地处偏僻，人烟稀少，对上述未知年代的地震形变带，没有相关的地震史料记载。笔者在距离研究区最近的敦煌市（古沙洲郡）进行史料调查时，获得了一些早期历史地震方面的资料，为推断上述地表形变带的年代提供了一些线索。

查阅敦煌市博物馆和莫高窟文史馆收藏的相关史料表明，敦煌及其附近曾发生过多次历史地震，这些史料记载的内容如下：

（1）据《晋书》卷八七《梁后主李歆传》记载：“主薄汜称又上疏谏曰：……（建元）二十年而吕光东反，子败于前，身戮于后。段业因辟胡创乱，遂称制此方（敦煌）。三年之中，地震五十余所。……效谷先生鸿渐之始，谦德即尊之室，基陷地裂，大凶之征也”。根据这条史料记载可知，在十六国前秦苻坚建元二十年（公元 384 年）段业在敦煌建立地方政权，在三年之中，发生地震 50 多次，著名的谦德殿地基下陷，地面开裂（谢毓寿等，1989；国家地震局兰州地震研究所，1999）。敦煌亦为敦煌郡治所，在今敦煌西党河西岸，据此，国家地震局兰州地震研究所在《陕甘青宁四省（区）强地震目录》（国家地震局兰州地震研究所，1985）将本次地震震级定为 5 级 VI 度地震。众所周知，对于无仪器记录的历史地震，一般以震害最重的地方作为最可能的震中位置。晋代敦煌附近地区，再无较大的行政建置，所以震中只能暂定在敦煌，由于敦煌附近无区域性活动断裂存在，所以实际震中在它处的可能性较大，尤其是阿尔金断裂或祁连山西段的主干活动断裂。假定本次地震与阿尔金断裂带或党河南山断裂有关的话，两者的直线距离约为 100km，且位于短轴一侧。根据历史地震烈度、震级简表（顾功叙，1983），敦煌谦德殿地基下陷造成破坏，加上这次地震后连续发生有感余震达到 50 余次，综合考虑，其震级应在 7 级或 7 级以上，本次地震距今已有 1626 年。

（2）据《晋书》卷八七《梁后主李歆传》记载：“主薄汜称又上疏谏曰：（嘉兴三年）今兹春夏地频五震。”也就是说，在十六国西凉李歆嘉兴三年（公元 419 年）春夏之间，敦煌连续发生过 5 次强有感地震。虽然强有感地震频繁，但由于敦煌是否造成破坏不详，如果地震发生在阿尔金一带，则震中区震级可达到 6 $\frac{3}{4}$ —7 级，距今已有 1591 年。

（3）敦煌研究院院长樊锦诗（1993）认为，“至五代、宋时期可能因晚唐、五代有一次较大的地震，（莫高窟）而进行了一次颇具壮观的全面修缮，在崖面上绘制了大面积的露天壁画，建筑了窟外木窟檐，整修了窟前栈道，至今还保存着 4 座木构窟檐，下层洞窟前建造了一批窟前殿堂；在许多前代洞窟内局部或全部地重绘了壁画。”由于晚唐至五代时期，当时政局混乱，诸侯内战，加之河西刚从吐蕃手中收回（被吐蕃统治长达 70 年），所以史料极为缺乏，也没有地震史料记载。如果这次大规模整修与地震破坏有关，震中或在莫高窟附近，烈度可定为 VII—VIII 度；因距离莫高窟最近的三危山断裂为 Q<sub>1-2</sub> 活动断层，晚第四纪无新活动证据，所以发生 7 级以上地震可能性不大，而最有可能发生在其附近的区域性大断裂上，即发生在阿尔金断裂或党河南山断裂的可能性最大。如果地震发生在阿尔金断裂或党河南山断裂且影响到莫高窟，则震级可能达到 7 $\frac{1}{2}$  级，距今已有 1000 年左右。但这条地震无史料依据，只是樊锦诗（1993）院长从莫高窟大规模整修而得到的一个推断。不过，这个推断还是有一

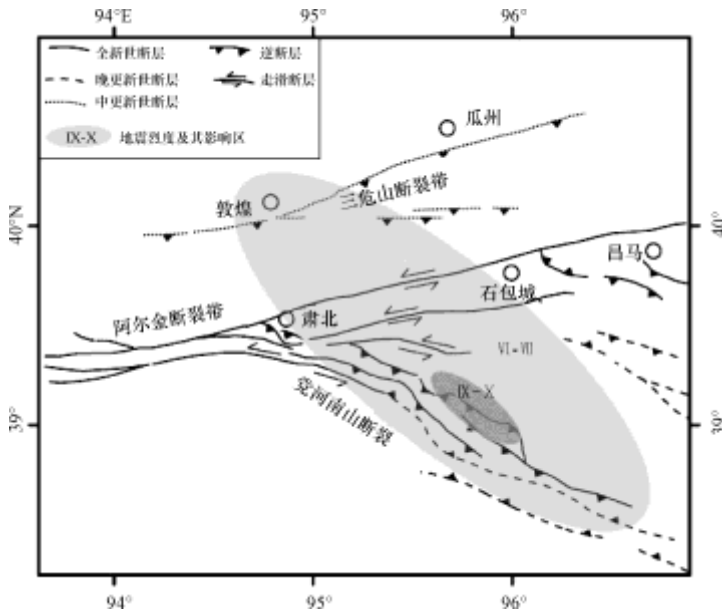
定科学依据。

(4)《安西县志》记载有“唐建中四年(公元 783 年)大地震,元大德年间(公元 1297—1303 年)地震以及 1403 年、1437 年、1684 年、1727 年、1735 年、1875 年 9 月、1893 年 4 月几次地震”,这些地震其他史料也无记载,只能备考,其可靠性差些。

(5)《敦煌市志》上记载“元顺至正二十六年(公元 1289 年)沙洲(今敦煌)地震,城坏。”而正史,却无此条记载,所以不知道《敦煌市志》的关于这次地震的更早出处。但与民国《安西县志》记载的大德年间(公元 1297—1303 年)地震事件相近,也有可能曾发生过破坏性地震。

综合上述史料分析,敦煌附近历史上可能存在 4 次较大的历史地震事件,即约公元 384 年、419 年、1000 年和 1297—1303 年的地震事件。虽然根据历史地震确定震中的原则(顾功叙, 1983),这些地震的震中位置均按照发生在敦煌附近的中强地震来处理,但实际上,综合考虑敦煌周缘地区活动断裂的展布特征,上述地震发生在其外围阿尔金断裂或党河南山断裂等区域活动断裂上的可能性更大。只是长期以来缺乏可靠的野外地震地质证据,无法确定其震中位置和发震断层。

综上所述,党河南山北缘断裂中段扎子沟和东段大红沟—小红沟一带的地表破裂带很有可能是敦煌附近所记载的几次历史地震中的某一次地震造成的,该地震使党河南山北缘断裂的中段和东段均产生了破裂,地表破裂长度达 40km 以上,平均抬升量约为 0.5—1m 左右,震级可达 7 级以上。在极震区的烈度可能达到 IX—X 度,而对敦煌的影响可能在 VI—VII 度的范围内(图 5),其破坏程度基本与史书上记载相吻合。



极震区为发现地表破裂带的地方,烈度可达到 IX—X 度

图 5 推测历史地震极震区及影响范围示意图

Fig. 5 Meizoseismal and affected area with inferred historical earthquake

## 4 结论

党河南山北缘断裂中、东段的孔子沟和大红沟—小红沟一带,均保存有较新的地震地表形变带,经野外调查分析,这2段较为连续的破裂带应为同一次地震形成的,目前可见地表破裂带长度达40km,陡坎高度在0.5—1.5m。由此估算,该次地震的震级可能会达7级或以上。由野外初步估计,小红沟一带的高漫滩形成年龄大约在1000a B.P.,该次地震与史料记载的公元384年、419年、1000年和1297—1303年发生在敦煌附近的4次地震中的某一次地震有关。

## 参考文献

- 樊锦诗, 1993. 敦煌莫高窟的保存、维修和展望. 见: 敦煌研究文集——石窟保护篇(上). 兰州: 甘肃民族出版社, 4—6.
- 顾功叙主编, 1983. 中国地震目录. 北京: 科学出版社.
- 国家地震局兰州地震研究所, 1985. 陕甘宁青四省(区)强地震目录. 西安: 陕西科学技术出版社, 9.
- 国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组, 1992. 见: 阿尔金活动断裂带. 北京: 地震出版社, 1—194.
- 国家地震局兰州地震研究所, 1999. 甘肃省地震资料汇编. 北京: 地震出版社, 20.
- 谢毓寿, 蔡美彪, 1989. 中国地震历史资料汇编. 北京: 科学出版社, 20—50.
- 徐锡伟, Tapponnier P., Van Der Woerd 等, 2003. 阿尔金断裂带晚第四纪左旋走滑速率及其构造运动转换模式讨论. 中国科学(D辑), **33**(10): 967—974.
- 赵朋, 2009. 肃北地区主要断裂晚第四活动特征研究 [硕士学位论文]. 中国地震局地质研究所.
- Meyer B., Tapponnier P., Bourjot L. et al., 1998. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet Plateau. *Geophys J. Int.*, **135**: 1—47.
- Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**(4): 974—1002.
- Woerd J. Vander, Xiwei X., Haibing L. et al., 2001. Rapid active thrusting along the north-western range front of the Tanghe Nan Shan (western Gansu, China). *J. Geophys. Res.*, **106**: 30, 475—30, 504.
- Zhang P.Z., Molnar P., Xu X.W., 2007. Late quaternary and present-day rates of slip along the Altyn Tagh Fault, northern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonics*, **26**: TC5010, doi: 10.1029/2006TC002014.



## The Features of Earthquake Surface Rupture Zone on Northern Margin Fault of Danghe Nanshan

Shao Yanxiu<sup>1, 2)</sup>, Yuan Daoyang<sup>1, 2)</sup>, Lei Zhongsheng<sup>1)</sup>,  
Liu Xingwang<sup>1, 2)</sup> and Luo Hao<sup>1)</sup>

1) Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China

2) Lanzhou Base, Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China

**Abstract** Through field investigation we found a 40km-long seismic surface rupture zone, along central and eastern segment of northern margin fault of Danghe Nanshan in Gansu. The fault rupture zone offset the high floodplain of river and the uplift is about 0.5 m. Since the deposits of the high floodplain are young, so that it is reasonable to believe that the active time of the rupture zone was close to the present. According to various historical records and related documents, we identified that four earthquakes had occurred in the vicinity of this fault, and the four historical earthquakes occurred in 384 A.D., 419 A.D., 1000 A.D. and 1297-1303 A.D. respectively. Finally we inferred that the rupture zone may be related to one of the four earthquakes given above.

**Key words:** Northern margin fault of Danghe Nanshan; Earthquake rupture zone; Historical earthquake