

对宁夏中卫南 F_{201} 左旋逆走滑发震断层长度的确定张向红¹, 杨斌¹, 张向阳², 王爱国¹

(1. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州机车厂小学, 甘肃 兰州 730050)

摘要:对宁夏中卫南 F_{201} 左旋逆走滑断层长度一直存在不同意见。通过八个方面的对比研究, 本文认为 F_{201} 断层长度至少是 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震破裂带的长度。该地震破裂带西起营盘水东, 东到双井子, 并扩展到刘岗井以东的石圈沟附近, 近东西向延伸长 110 km。由小红山—孤山子、西梁头—腰峁子沟、窟窿山—碱沟、青驼崖西—寺口子沟东及山羊场—刘岗井东 5 条次级剪切断层段组成。

关键词: F_{201} 断层; 长度; 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震; 破裂带长度

中图分类号: P316

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)03-0240-06

Length Investigation for F_{201} Left Lateral Strike-slip Fault in South of Zhongwei, Ningxia Prov.

ZHANG Xiang-hong¹, YANG Bin², ZHANG Xiang-yang², WANG Ai-guo

(1. Earthquake Administration of Gansu, Lanzhou 730000, China;

2. The Primary School of Lanzhou Locomotive Engine Factory, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Up to now, there are different views on the length of F_{201} left lateral strike-slip fault in South of Zhongwei, Ningxia province. Through comparison study on the rupture belt of $M7\frac{1}{2}$ South of Zhongwei earthquake in 1709 from eight aspects in this paper, it is determined that the length of F_{201} is at least as same as the rupture length of the South of Zhongwei earthquake in 1709. The earthquake rupture starts from East to Yingpanshui as west end and extends eastward to Shuangjingzi, then expands to nearby Shijuangou at east to Liugangjing, the overall east-west length of the rupture is 110 km. The rupture is composed of five secondary shear faults, Xiaohongshan—Gushanzi, Xiliangtou—Yaoxianzigou, Kulongshan—Jiangou, West to Qingtuwai—East to Sikouzigou and Shanyangchang—East to Liugangjing.

Key words: F_{201} Fault; Length; $M7\frac{1}{2}$ South Zhongwei in 1709 earthquake; Rupture length

0 引言

原水电部西北勘测设计院 1983 年在宁夏中卫南黄河黑山峡一带开展勘测工作中, 在长流水沟口及麻雀湾(马跳湾)发现了晚更新世晚期活断层剖面, 并命名为 F_{201} 断层^①。此后从 80 年代开始, 由于黄河黑山峡两坝址工程比选的需要, 许多单位对 F_{201} 断层的长度及活动性质开展了大量的研究工作, 一直存在不同的意见(表 1)。对 F_{201} 断层长度的不同看法实质是对 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震破裂

带长度的不同认识, 分别有 53 km^[1-2]、60 km^[3]、64 km^[4] 几种看法。由于该地震距今已近 300 年, 并且发生在腾格里沙漠南缘, 其地表破裂带除震中区段比较清晰外, 其它地段由于沙漠覆盖, 地震地表破裂形迹难以确认, 加之测年证据中存在的诸多不确定性, 不同的认识在所难免。本文通过八个方面地震破裂带特征的对比研究、综合分析后认为 F_{201} 断层长度至少是 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震破裂带的长度, 它西起营盘水, 南至刘岗井东, 长 110 km。

收稿日期: 2005-07-15

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20050046

作者简介: 张向红(1970—), 女(汉族), 湖南隆回人, 工程师, 主要从事地震工程与地震地质工作。

① 水电部西北勘测设计院. 黄河大柳树水电站工程可行性研究报告, 1984.

表 1 F₂₀₁ 断层长度及 1709 年地震破裂带长度认识一览表

序号	时间	调查研究单位	F ₂₀₁ 长度	1709 年地震破裂带长度	资料索引
1	1983—1984	水电部西北勘测设计院	长流水沟口及马跳湾剖面,命名 F ₂₀₁ 断层。		《黄河大柳树水电站工程可行性研究报告》
2	1984-04	中国科学技术咨询中心黑山峡工程论证组	F ₂₀₁ 长流水沟口及马跳湾剖面		《黄河黑山峡河段开发方案论证》工程地质专题报告
3	1985-10	国家地震局兰州地震研究所	经过长流水沟口及马跳湾的中卫~同心活动断裂带(小红山—刘岗井—同心)长 100~150 km	鄂博沟至刘岗井,长 64 km	《大柳树坝址附近地震地质考察及地震危险性分析报告》
4	1986-06	水电部西北勘测设计院	马跳湾—长流水沟口—东大沟,长 27 km		《黄河大柳树水电站工程可行性研究报告》
5	1987-11	国家地震局地质研究所	东起长流水沟口,西经供水二所、孟家湾村到麻雀湾,长 8 km(未过黄河东)	粉石沟—碱沟,碱沟—刘岗井,长 27~28 km	《黄河黑山峡大柳树坝址地震基本烈度复核报告》
6	1989-05—12	国家地震局兰州地震研究所	经过长流水、马跳湾的中卫小红山—双井子断层,110 km	小红山—双井子东,长 110 km	《黄河黑山峡小观音坝址地震基本烈度复核报告》 《黄河黑山峡小观音坝址和大柳树坝址构造稳定性对比研究》
7	1991-10	国家地震局分析预报中心	由长流水沟口向东过黄河到窑上村、东大沟一带,向西经孟家湾、麻雀湾至大堆堆沟,长度约 18 km	东起双井子,西经粉石沟过黄河,终止于大堆堆沟,全长 53 km	《黄河黑山峡河段主要断裂活动及大柳树坝址地震危险性分析报告》
8	1993	中国科学技术咨询服务中心,地质矿产部环境地质研究所,中国科学院工程地质力学开放实验室,南京大学地球科学系	由长流水沟口向西经二所、孟家湾至麻雀湾,全长 8.5 km	粉石沟至刘岗井西全长约 30 km	《黄河黑山峡河段大柳树坝址工程地质专题研究》,地震出版社
9	1993-03	兰州大学	西起大堆堆沟,东至小洞山一带,长 20.5 km	西至大堆堆沟,东至红谷梁,长约 53 km	《黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究》,甘肃科学技术出版社
10	1994-11—12	地质矿产部“黄河黑山峡大柳树水利枢纽工程地质论证项目”专家组	为次一级小断层		《地质矿产部黄河黑山峡大柳树水利枢纽工程地质论证专家组报告》
11	1995-10	宁夏回族自治区地震局	西至麻雀湾,东至长流水沟口(未过黄河以东),长度仅 8 km,且其连续性也差	西起大堆堆沟,东至双井子、小红湾,全长 60 km	《天景山活动断裂带》
12	2002-05	国家电力公司西北勘测设计研究院,兰州大学	中卫—同心活动断裂带长约 200 km。该断裂带 1709 年发生了中卫南 7.5 级地震	认为 110 km 长的地震破裂带符合实际。	《黄河黑山峡小观音和大柳树两坝址区域构造稳定性对比》

1 F₂₀₁ 左旋逆走滑发震断层特征

我们依据前人资料和线索,在 1985 年及 1989 年工作的基础上,新开展了野外 1:5 万地质填图和隐伏区地球物理探查以及系统的年代测试工作。研究确定 1709 年中卫南 7½ 级地震破裂带西起营盘水以东,向东经小红山西、甘塘南、孤山子北、西营盘子、大堆堆沟、孟家湾、粉石沟、碱沟、双井子,沿山前主断裂延至寺口子沟以东小红湾南,并由双井子扩展到刘岗井以东石圈沟附近,近东西向延伸长 110 km。而 F₂₀₁ 断层长度至少是这次地震破裂带的长度。断层由小红山—孤山子、西梁头—腰峁子沟、窟窿山—碱沟、青驼崖西—寺口子沟东及山羊场—刘岗井东 5 条次级剪切断层段组成,并在碱沟及西营盘子分别形成了阶距为 700 m 及 550 m 左阶拉分

区,在腰峁子沟附近形成阶距为 750 m 右阶挤压区,在双井子以东的端部形成分叉破裂带特征(图 1)。该活断层带总体显示左旋逆走滑性质,仅在拉分区表现了正走滑特点。青驼崖至红谷梁断层段地震破裂遗迹最集中,保留最完整,最大左旋水平断距为 5.6 m,最大垂直断距 1.15 m,位于红谷梁西 1 km,应是 1709 年中卫南 7½ 级地震的宏观震中之所在,也是中卫—同心活动断裂带中段弧形弯曲较大的部位和 F₂₀₁ 活断层带晚第四纪以来左旋走滑位移量最大的区段^[5]。由于各段的地质条件和地貌环境的差异,造成各段上的地震形变特征不尽相同,其中粉石沟至双井子距震中区较近的主体破裂区段地表破裂形迹显著并保留完好,因而确认程度高。需指出的是孤山子—小红山石膏矿断层东起西营盘子,

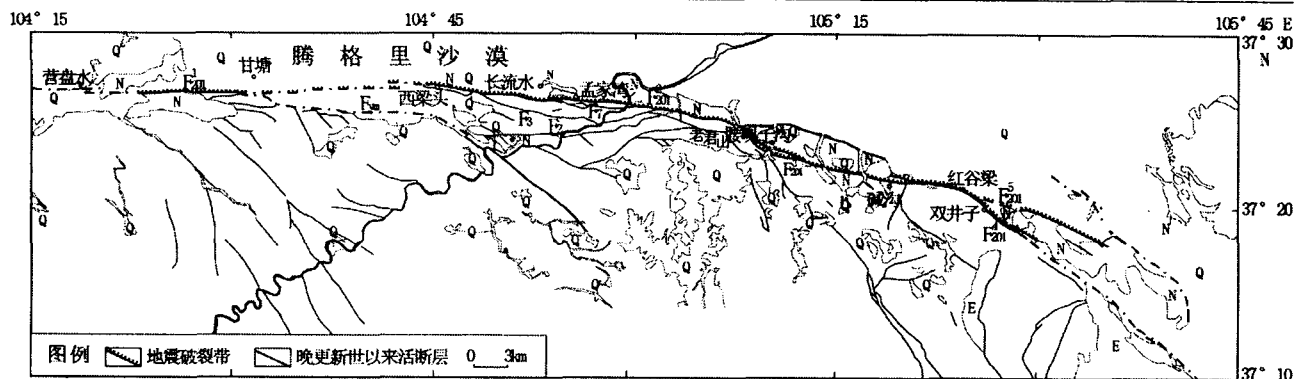


图 1 F_{201} 断层展布图

Fig. 1 Distribution map of the F_{201} fault.

西至营盘水,近东西向延伸长 34 km。其西端长 6 km 区段虽然断层连续延伸,由于处于隐伏状态,地表地震破裂遗迹不甚清楚。我们仅定银兰公路以东的 28 km 为中卫地震破裂带,如将整条断层考虑在内,1709 年地震破裂带长度为 114 km,相差不大。

2 F_{201} 发震断层长度确定的主要依据

构造地震是地壳内岩石快速破裂的结果。地震破裂可以沿先存断层发生,也可以沿新生断层发生。已被确认为 1709 年地震破裂带的主要形变遗迹有地震沟槽、陡坎、滑坡、土林、小冲沟位移及其活动的年代学证据。通过对比研究,可最终确定这次地震的总破裂长度。现将 1709 年地震破裂带的长度确定为 110 km 的主要依据简述如下。

2.1 地震陡坎剖面形态的相似性

地震陡坎是地震时主破裂面切穿地表所形成的线状小断层崖,多产生于 9 度以上的大地震。新的地震陡坎坡角较大,自由面清楚。随着时间的推移断崖陡坎坡角逐渐变缓,自由面逐渐消失。同一地震产生的地震陡坎剖面形态应大致相近。可以利用已知地震断崖陡坎的剖面形态与未知断崖陡坎形态对比,以佐证其形成年代。

根据被确认为 1709 年中卫南 7½ 级地震时形成的断崖陡坎实测结果(图 2),一般断崖陡坎高 0.6~1.15 m,新第三系基岩坡角 60°~65°,黄土自由面倾角 61°~66°,碎屑坡角 18°~30°,黄土坡角 22°~26°。滑坡群后缘主坡角为 24°~25°。

作为对比,我们测量了小红山石膏矿以东至大堆堆沟断层区段及刘岗井—石圈西断层区段的断崖陡坎(图 3),结果与 1709 年震中区断层附近的最新断崖陡坎剖面形态是相近的。

R. E. wallace^[6-7] 对地震断崖陡坎的研究表

明,当基岩坡在 65°左右,碎屑坡在 25°左右,其年代不超过 1 000 a。1739 年平罗 8 级地震陡坎的垂直位移 0.6~1.7 m,碎屑坡角为 14.5°~24.7°。绝大部分是在 20°以上,并保留有较好的黄土自由面,倾角 60°~80°。 F_{201} 断层上陡坎垂直断距为 0.5~1.15 m。最大碎屑坡角 20°~28°,黄土自由面坡角 60°~65°,基岩断崖坡角 60°~66°,黄土滑坡群后缘主坡角为 20°~25°。与平罗地震时间相差 30 年,地震陡坎总的剖面形态相似,说明自小红山石膏矿西至刘岗井附近的最新断崖陡坎应该是 1709 年中卫南 7½ 级地震形成的(见图版 3,图 4)。

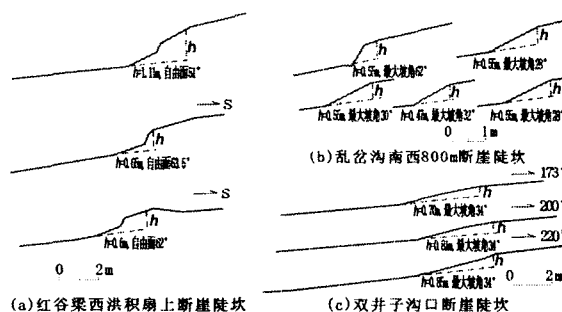


图 2 1709 年震中区断崖陡坎实测剖面

(据宋方敏等,1987)

Fig. 2 Survey profiles on 1709 Earthquake fault-scarps.

2.2 断错最年轻的小冲沟和纹沟位移量的相近性

小的冲沟和纹沟被地震断层左旋错断。在被确认为 1709 年中卫南地震破裂带的主体地段,年轻的小冲沟和纹沟绝大部分发育于黄土斜坡和冲洪积层中,深度一般在数十厘米至 1~2 m,长度为十几米到 100 余米,横剖面上常呈“V”型。1709 年大地震使这样的小冲沟和纹沟都发生了左旋位移,其位移量为 3.4~5 m,震中区最大达 5.6 m^[8]。

我们在小红山石膏矿至甘塘区段统计并测量了 62 条冲沟和纹沟,绝大多数横穿断层时发生了左旋

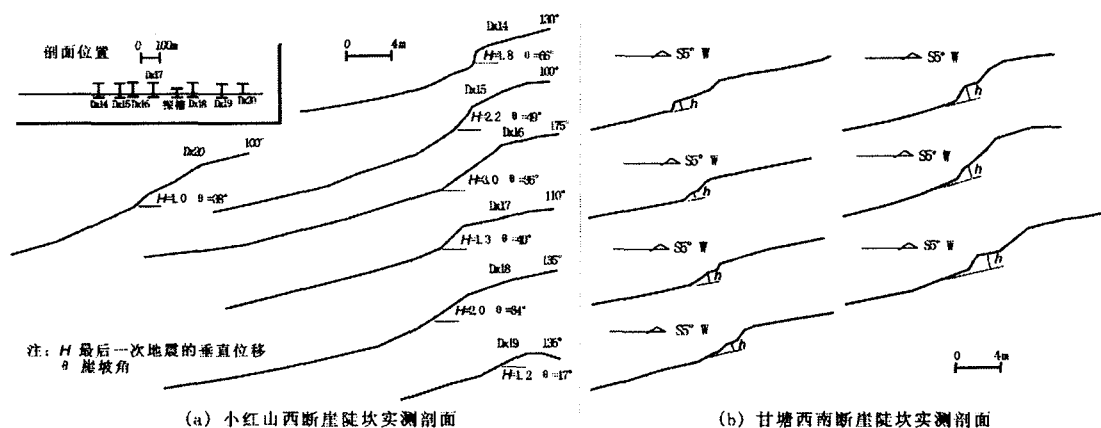


图3 未被确认的1709年地震断崖陡坎实测剖面

Fig. 3 Survey profiles on unconfirmed 1709 Earthquake fault-scarps.

同步弯曲,并在断层线上形成Ω形沟、断头沟、断尾沟及废弃沟现象。被断错小冲沟、纹沟长度多为30~50 m,最长100 m左右;沟深1 m左右,并呈“V”型。被左旋断错的位移值自西向东呈0.5~2.5 m的增大趋势,最大3 m左右(见图版3,图5)。在西梁头、大堆堆沟也见到小冲沟被左旋位错3~3.5 m的证据。刘岗井、小红湾南断层段的小冲沟位移量为1~2 m。这些与被确认的1709年地震破裂带中小冲沟、纹沟的长度、深度及位移值是协调一致的,仅仅是位移量小一些。

冲沟长度与形成它的年代之间是一个线性关系,即冲沟越长,年代越老,二者的关系可以用 $T=KL$ 表示, K 作为斜率是一个常数。冲沟溯源侵蚀速率受气候、岩性和地形坡度等多种因素的影响,所以在相距较近的同地区,上述影响因素大致相同的情况下, K 值也应该相近。我们利用地质类比、绝对年龄测定、考古方法统计获得了被确认为1709年中卫南7½级地震及被确认为1927年古浪8级地震及1920年海原8.5级地震时被断错的小冲沟的年代,并通过最小二乘法进行了统计曲线的拟合,求得这一地区 K 值为1.24^[5]。应用于未被确定的大堆堆沟以西至小红山石膏矿附近实测的小冲沟和纹沟的年代确定中,获得了这些长30~50 m及100 m左右的小冲沟的年代大致在距今372~620 a之间,最长为1240 a。在这一时间段内,这里的位错小冲沟只经历了1709年中卫南7½级地震和1887年景泰5级地震。因后者震级太小,不会在地表产生地震破裂带,只有1709年中卫南7½级地震才能在断层西端产生小冲沟为2.5~0.5 m的左旋水平位错。

程绍平等^[9]在研究海原地震断层时,得到长度

为十几米到一百多米,深数十厘米至1.5米左右的冲沟溯源侵蚀速率为8.46 cm/a。小红山石膏矿至刘岗井地震断层与海原地震断层所处的地质、气候环境相似,利用这一侵蚀速率来推算小红山一小孤山及刘岗井—石圈地震断层上长30~50 m及100 m左右小冲沟和纹沟的形成年代为小于355~591 a,最长为1182 a。由此也可以判定这类小冲沟的位移只能是1709年中卫南7½级地震造成的。

2.3 地震裂缝和地震土林特征的一致性

地震裂缝和地震土林是黄土地区剪切走滑地震破裂带上最常见的形变现象。这种地震形变遗迹在被确认的1709年地震破裂带上常呈串珠状、带状广泛发育,分布在有黄土覆盖的地震断层宽几十米或100~200 m范围内。最宽处分布于阶距为750 m的碱沟拉分构造区附近,南北可达1 km范围。

地震沟槽在青舵崖至双井子地震断层主体破裂区段保留得最壮观。沟槽宽5~20 m,最宽25 m,深1~2 m,局部由于水流冲刷改造其深度可达2.5~3 m。地裂缝中被后期淋滤石膏脉填充。红谷梁西300 m一条冲沟中的地裂缝内和坍塌体底部压埋了灰炭层和羊骨及陶片。灰炭层¹⁴C测年小于500 a,陶片年代鉴定是1709年地震掩埋的。在青舵崖至双井子区段断层附近的冲沟壁多见到黄土中发育3组规律性的格状平直通天裂缝。一组N10°~20°W/NE∠87°;一组N50°~60°E/SE∠89°;延伸比较长的一组为N75°~88°W/NE或N80°~85°E/NW∠86°~87°,构成追踪地裂缝,并组合成0.9~1 m间距的断块。断块之上即是一个个摇动土堆或鼓包组合而成的网络状土地貌系统。地震土堆高0.5~0.7 m,最高1 m左右。远离震中区,这种断块间距变小,土堆高度也相对变低。

我们在刘岗井至石圈区段及寺口子区段和大堆堆沟至小红山石膏矿以西区段断层两侧几米至几十米甚至150~200 m范围内,均断续发现了地震产生的土林地貌,最清楚的区段位于小红山石膏矿大豁口东及刘岗井以东石圈沟西。一系列摇动小土丘高0.4~0.3 m,最高0.5 m,在地表呈网络状有序排列。在断层附近的冲沟壁上可见上述地裂缝在黄土中形成的柱状节理面及扰动的表土层,由于流水侵蚀多形成了落水洞。在地震断层通过处常形成迭水地貌和冲沟的左旋位移。这些土林中的裂缝与密集通天断层束展布特征是一致的。

小红山石膏矿的地裂缝充填了全新世次生黄土和压埋的炭化植物根,其 ^{14}C 测年小于200 a,沿断崖陡坎并发育带状分布的土林地貌。这与红谷梁地裂缝充填及土林特征是一致的。

2.4 地震断层活动年代的统一性

野外调查证实,西起小红山石膏矿西,东至刘岗井东及寺口子沟东,长110 km全新世左旋走滑断

层沿线均可见到断层切穿表土层的天然地质剖面(图6)。在开挖的一些探槽中也揭露出断层直通地表,并对应最新地震陡坎。有的断面则被很薄的全新世冲坡积、风积物所覆盖。通过28个探槽及10余个天然剖面,发现这些断层均经历过多次错动事件,多数断面显示了左旋逆走滑破裂,仅拉分区附近显示有局部左旋正走滑或正断层破裂。断层两端则表现了上部左旋正走滑而下部则为左旋逆走滑性质。通过古地震剖面的系统采样和73个新样品的TL测年结果分析,确定晚更新世晚期14 ka以来该地震断层共发生了至少9次古地震事件,其中全新世以来包括1709年地震在内有7次古地震事件。

这9次地震事件在时间上的分布是不均匀的,但具明显的丛集现象。其中1709年、距今7.4~8.4 ka、距今13.1~14.5 ka3次地震事件是沿110 km长的地震断层贯通破裂的事件。揭示了 F_{201} 左旋逆走滑地震断层带的特征地震震级为7½级。

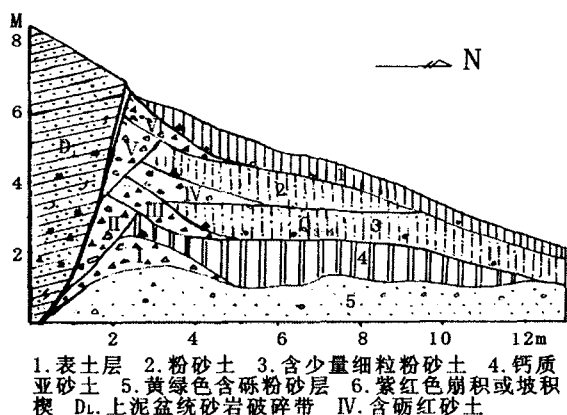


图6 大堆堆沟西壁古地震剖面及断层地貌景观

Fig. 6 Paleoseismic profile and seismic landscape at West of Daduidigou.

2.5 地震断层在深部延伸的连续性及地震破裂遗迹的一致性

(1) 高精度重磁资料反演结果揭示了在20 km左右及10 km以浅,自刘岗井至营盘水存在一条向南倾斜的近东西向深大断裂,并从小孤山北麓通过(见图版3,图7)。

(2) 各种物理探测手段及卫星遥感影像处理证明南侧的 F_{ym} 断层(一碗泉—麻黄沟)西起甘塘阎王坡西南,东经地沟、拉牌水养路工区、一碗泉、冯家堂,与麻黄沟北西向断层带斜接。北侧的断层 F_{201}^1 西起小红山西,东经甘塘南采膏场、阎王坡北、甘塘旧址北、小孤山北麓,至西营盘子南与 F_{201}^2 呈阶距为550 m的左阶拉分区相连,线性延伸大于30 km。



(3) 沿小孤山东西两侧完成的可控源音频大地电磁测深(CSAMT)剖面勘探结果,揭示了小孤山以南3 km以浅至少存在两条近东西向断层。沿小孤山东西两侧完成了3条热释汞测试剖面及3条甚低频探测剖面,并完成了直流电法中的4条总长30余公里的联合剖面及13个四极对称电测深点。确定了这两条主要断层的具体位置及两侧基岩的相对落差(见图版3,图8)。

(4) 1:5万卫星影像增强处理及线性解译和大比例尺航空照片判读结果表明:沿阎王坡至甘塘旧址北存在一条东西向的冲沟,断层线性影像十分清晰,地表见线性展布的断崖陡坎高2~5 m。小孤山北麓山前冲洪积扇面上见断崖陡坎断续延伸长约3

km。沿陡坎处小冲沟表现了左旋同步弯转。向东延伸,断层在全新世沙漠覆盖区有不同程度色调差异显示的线性影像。

(5) 断层东延在西营盘子附近,多手段探查结果表明断面直立,地表略向北倾。

上述结果均被野外调查所证实。

2.6 地震破裂带长度与地震震级之间的相关性

地震破裂带或地震断层长度和同震位错量与地震震级之间密切相关,国内外许多学者统计出了许多经验关系式。我们利用地震震级的考证结果和实际调查的最大同震位错量对 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震破裂带的长度进行了验算,进一步确定了 F_{201} 发震断层长度。根据选用的十几种公式综合判定,7.5 级地震的破裂带长度应在 110 km 左右。这与我们实际调查结果相符,也与我国西北其他强震破裂带长度与震级的关系基本吻合。

2.7 地震破裂带长度与地震高烈度区的基本吻合性

50 年代以来有关文献资料均给出了 1709 年地震的基本参数和等震线图,并一致认为这次地震的极震区烈度为 9~10 度。1983 年顾功叙给出的重破坏区呈近东西向,长轴 128 km,短轴 88 km;1985 年兰州地震所给出的重破坏区呈北西西向,长轴 140 km,短轴 90 km;1990 年国家地震局地球物理所给出的 9 度区近圆形,东西长 70 km,南北宽 60 km,香山寺位于 9 度异常区内;1995 年国家地震局震害防御司给出的 9~10 度区近东西向,长轴 84 km,短轴 48 km。极震区或重破坏区长轴平均长度为 106 km。与我们的考察结果基本吻合。

2.8 与地震破裂带有限元数值模拟结果的良好对应性

采用 Ansys 三维有限元巨型集成软件系统,对黑山峡区域构造应力场进行的数值模拟结果^[10]表明:

(1) 区域平面模拟的岩石破裂危险度 KR 大于 0.85 高值区长度分布,及断裂滑动危险系数 KF 大于 0.4 高值区长度分布的范围,西起白墩子,东至双井子东,近东西向延伸长 110~120 km。

(2) 岩石破裂危险度 KR 峰值为 1.0,位于腰峁子沟~碱沟附近;断裂滑动危险系数 KF 峰值为 0.42,位于碱沟至青驼崖附近。 KR 及 KF 峰值向西衰减慢,向东衰减快。这与实际考察获得的结果

是基本吻合的。腰峁子沟至青驼崖是 1709 年地震破裂带的主体地段,最大水平断距 5.6 m,向东 15 km 后水平位移量便衰减为零,向西 80 余公里才衰减为零。

(3) 剖面上破裂区沿 F_{201} 断层向下发展很深。 KF 值反映 F_{201} 断层向下可能滑动区段位于该断层深 12~17 km 区段。以震源的垂直投影位置推断, F_{201} 南盘至少 5 km 范围均将受到强烈影响而产生一系列微破裂。利用一些经验关系式和相关的参数 (I_0 、 ΔI 、 M) 等来估算中卫 $7\frac{1}{2}$ 级地震的宏观震源深度为 18~25 km。

3 结论

通过以上分析,我们认为 F_{201} 断层长度至少是 1709 年 $7\frac{1}{2}$ 级地震破裂带的长度。该地震破裂带西起营盘水东,东经小红山西、甘塘南、孤山子北、西营盘子、大堆堆沟、孟家湾、粉石沟、碱沟、双井子,沿山前主断裂延至寺口子沟以东小红湾南,并由双井子扩展到刘岗井以东石圈沟附近,近东西向延伸长 110 km。

[参考文献]

- [1] 兰州大学. 黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究[M]. 甘肃: 甘肃科学技术出版社. 1993.
- [2] 聂政, 林伟凡. 中卫—同心断裂带中段: 香山—天景山断裂带 1709 年 $7\frac{1}{2}$ 级地震形变带特征[J]. 地震, 1993, (1): 41—44.
- [3] 宁夏回族自治区地震局. 天景山活动断裂带[M]. 1995.
- [4] 周俊喜, 刘百虎. 中卫—同心活断层研究[J]. 西北地震学报, 1987, 9(3): 71—77.
- [5] 兰州地震工程院. 黄河黑山峡大柳树坝址及小观音坝址区域构造稳定性研究报告[R]. 2002.
- [6] R E Wallace. Profiles and age of ground fault scarps. North—central Nevada[J]. B G S A. 1977, (88).
- [7] R E Wallace. Time—hidtory analysis of fault scarps and fault—traces[A]. in: Sixth world Conference on Earthquake Engineering[C]. 1977.
- [8] 张维岐, 焦德成, 柴炽章, 等. 宁夏香山—天景山弧形断裂带新活动特征及 1709 年中卫南 $7\frac{1}{2}$ 级地震形变带[J]. 地震地质, 1988, 10(3): 12—20.
- [9] 程绍平, 彭贵, 李洪春. 宁夏海原南华山北麓断裂带的冲沟断错与 8.5 级盲震重复率[J]. 地震地质, 1984, 6(4): 25—37.
- [10] 王爱国, 杨斌, 马巍, 等. 数值模拟在黑山峡两坝址构造稳定性评价中的应用[J]. 地震研究, 2004, 27(4): 350—355.

Yukitake SHIOI 等: Influence of Rigidity of the Surface Layer on Liquefaction during Earthquake

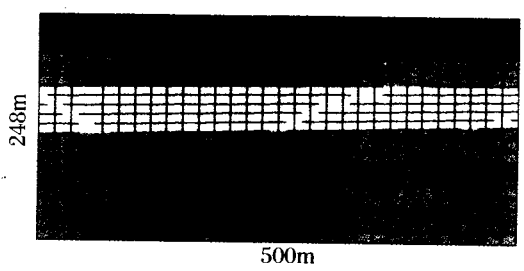
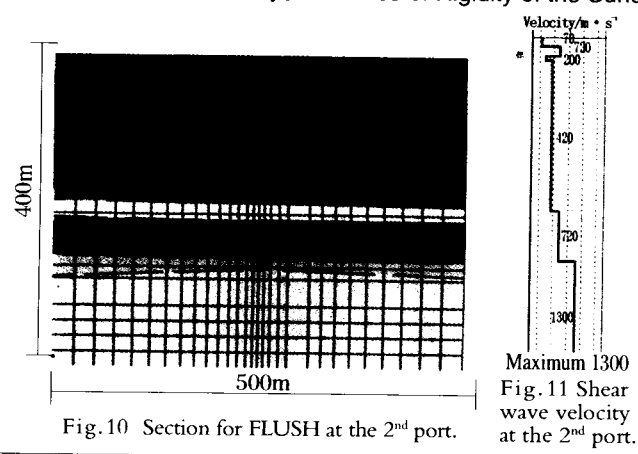


Fig.15 Section for FLUSH at Fukui.

张向红等: 对宁夏中卫南 F₂₀₁ 左旋逆走滑发震断层长度的确定



图7 黄河黑山峡河段(深10km左右)视磁化率异常图

Fig.7 Map of apparent magnetic susceptibility anomaly in Heishanxia Gorge area (about 10km deep).

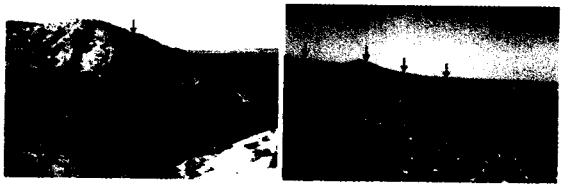


图4 1709年地震陡坎地貌
Fig.4 Fault-scarps formed in 1709 earthquake.

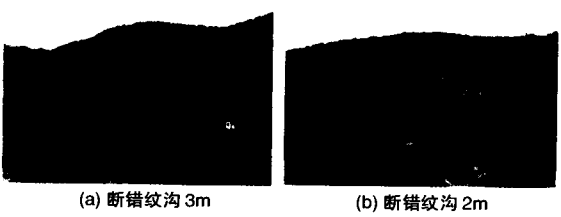


图5 小红山 F₂₀₁ 左旋断错纹沟
Fig.5 Gully left lateral displacement caused by the F₂₀₁ fault at Xiaohongshan.

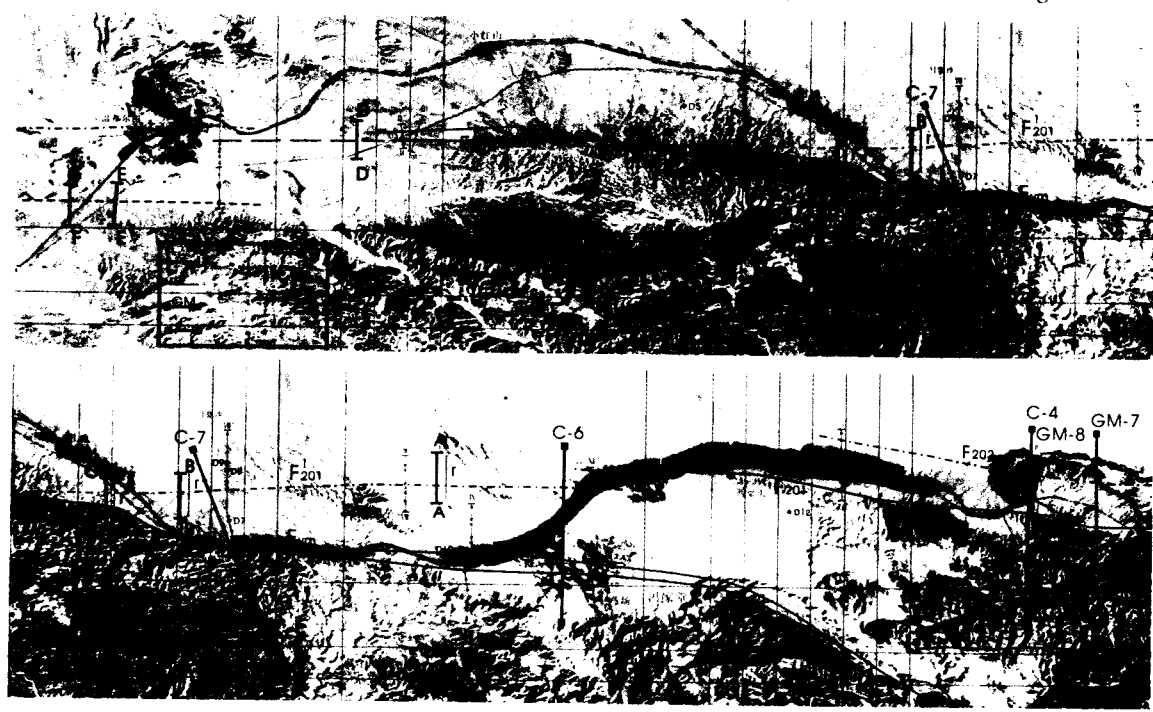


图8 浅层电法勘探布线及综合成果图

Fig.8 Chart of shallow layer electrical prospecting wiring and comprehensive achievement.