

兰州中川民用机场扩建工程场地 隐伏活断层探测研究^{*}

张向红, 杨 斌, 周俊喜, 王爱国

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要: 通过地质地貌、物探、槽探及钻探等综合探测研究, 发现秦王川盆地西缘发育有一条 NNW 向隐伏断层, 且从中川机场扩建工程区通过. 详细研究了断层的规模、几何分段和活动年代等有关问题, 对该断层对工程场地的影响进行了评价.

关键词: 隐伏构造; 活断层; 中川机场

中图分类号: P315.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2000)04-0458-07

0 前言

秦王川盆地在以往的研究中一直被认为是侵蚀堆积盆地. 兰州中川机场扩建工程区即位于盆地西缘. 1996 年, 为了提高机场设施的整体抗震性能, 减轻扩建工程可能遇到的地震灾害损失, 笔者承担了该扩建工程区的地震安全性评价工作. 发现秦王川盆地为东、西缘断裂控制的断陷盆地, 并且西缘断层从场地通过. 通过详细的地质地貌、物探、槽探及钻探研究, 确定了西缘断层的性质、规模、几何分段和活动年代等, 并对断层的活动性进行了评价, 从而改变了中川机场扩建工程区原设计方案, 将候机楼向北移了 70 m 左右.

1 区域地震地质概述

兰州中川民用机场扩建工程场地位于兰州市以北约 40 km 的秦王川盆地西缘, 地处青藏高原东北缘与黄土高原交界带附近. 大地构造属祁连山褶皱系中祁连隆起带的东段, 并属于青藏高原北部地震区西海固地震带. 工程场地北部为 NWW 转 NNW 呈向北东突出的弧形延伸的毛毛山-海原活动断裂带, 沿该断裂发生的最大地震为 1920 年海原 8.6 级地震; 工程场地南部为 NWW 向延伸的西秦岭北缘断裂带, 沿该断裂发生的最大地震为 143 年 7 级地震; 工程场地向西紧邻 NNW 向延伸的庄浪河断裂带, 历史上沿该带发生的最大地震为 1440 年永登 $6\frac{1}{4}$ 级地震. 新生代以来, 伴随着青藏高原的隆升, 中川机场扩建工程区附近以整体间歇式隆升为主要特点, 新构造差异活动不甚强烈. 该扩建工程区弱震活动水平不高, 其地震频度密度值为每年每平方公里不超过 4.37×10^{-4} 次, 其地震活动度密度值为每年每平方公里 0.64×10^{-2} 次, 其地震能量密度值为每年每平方公里 0.7×10^{-15} J. 该扩建工程区历史上遭受最大地震的

收稿日期: 2000-09-14

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000050

作者简介: 张向红(1970-), 女(汉族), 湖南隆回人, 助理工程师, 从事地震烈度区划及工程地震研究.

波及影响烈度为Ⅵ度。

秦王川为一宽广的黄土丘陵间盆地,盆地南北长42 km,东西宽15~20 km,面积为720 km²。盆地北部为低山,东、西、南3面为低缓的黄土丘陵,相对高差40~60 m,盆地表现为冲洪积平面,并分布有南北走向的低缓垄岗状残丘。盆地面由北向南倾斜,海拔高程由北向南由2300 m降到1885 m。盆地基底为前寒武系、下古生界、下白垩统及上第三系,上覆上更新统及全新统。盆地在第三纪为一湖盆,中更新世晚期至晚更新世早期,金强河及黑马圈河沿岔口驿、坪城、兔窝分2支,经秦王川向东南注入黄河,在秦王川盆地东、西两侧残留了2条古河道。晚更新世晚期至全新世,由于坪城—松山盆地的抬升及庄浪河的袭夺作用,河流改道,使秦王川盆地失去了物质来源,而成为一个封闭盆地。盆地北部处于剥蚀夷平环境,上第三系红层已裸露地表,盆地南部处于沉降堆积环境,晚第四纪冲洪积砂砾及粉土层厚30~60 m。

2 秦王川盆地西缘隐伏断层探测

2.1 地形地貌特征

通过详细的卫星影像的判读和野外考查发现,秦王川盆地西缘线性特征清晰,且在线性地貌的二侧含水层深度不同,东侧地下水位埋深16~60 m,西侧多较东侧浅。南北走向的低缓垄岗状残丘也沿线性地貌的西侧分布,海拔2000~2100 m,侵蚀深度为20~50 m,东侧则为一地势平坦的冲洪积平面,海拔2000 m左右,两侧地形比差20~60 m。地层分布在该线性地貌二侧也不同,西侧以Q₃²风成黄土分布为主,在石井子附近,可见N₁褐黄色砂质粘土夹砂砾岩(地层产状较平缓)Q₁、Q₂冲积、洪积砾石层(五泉砾石层)出露;东侧以Q₄冲洪积亚砂土及砂砾石层为主,而Q₁~Q₂地层在该侧未发现。由于地表未见断层,但根据上述现象推测,在秦王川盆地西侧有隐伏断层存在。

2.2 隐伏断层综合探测

运用物探、槽探及钻孔等方法对秦王川盆地西缘是否存在隐伏断层进行了验证。

2.2.1 物探结果分析

在此次工作中,共完成联合剖面21条,电测深点25个,实测秦王川盆地地质剖面4条(图1)。

工作中布极方式,联合剖面法是AMN∞与∞MNB的联合测量,供电系统AB=100 m,OA=OB=60 m,OM=ON=($\frac{1}{5}-\frac{1}{20}$)OB,OC≥600 m(图2)。布置符合规范要求。

从图2典型的联合剖面可见:

(1) 秦王川盆地西缘确实存在一条隐伏断层,且断层从北端的庙湾经方家槽、陈家井、赖家坡、史喇口、马家山、刘家湾止于哈家嘴东北,长37 km,总体走向NNW,倾向西,倾角较陡。

(2) 断层由3段不连续断层右行雁列而成,且在断层段分处断距最大(图3)。

北段F₁¹从庙湾经方家槽止于陈家井附近,直线型延伸长11.5 km,为单一断层,属逆断层性质,产状N6°W/SW∠80°,韩家墩以南倾向东,上第三系顶面断距2~20 m,距扩建工程区最近距离7.4 m。

中段F₁²与北段阶距200 m,从陈家井经史喇口,在中川机场2号道口附近分为3条次级右行雁列且呈北收南撒的断层,止于陈家河,长14 km。史喇口北为逆断层,2号道口以南为正断层性质,产状N10°W/SW∠81°,上第三系顶面断距4~18 m,断层斜穿原机场候机楼及跑道沿扩建工程区南部通过。

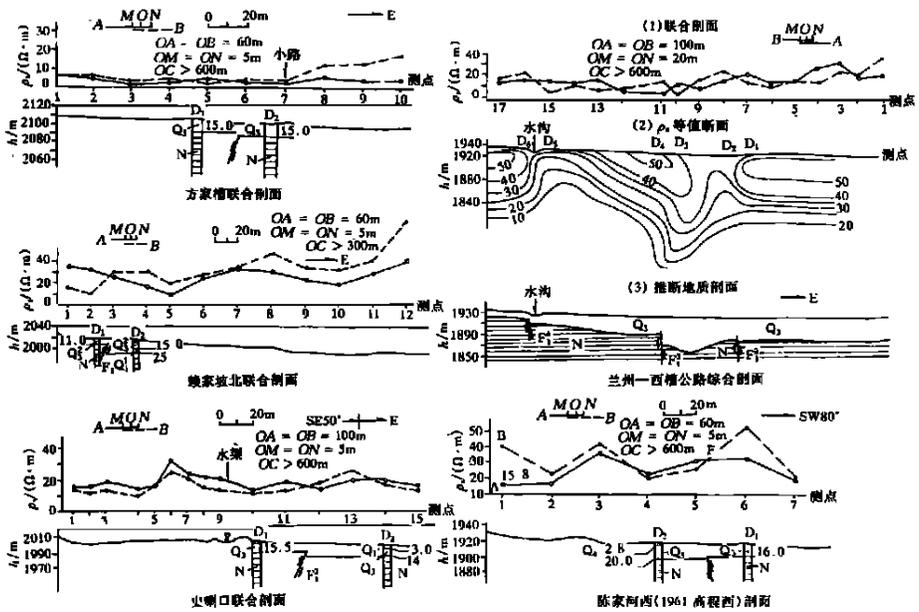


图 2 秦王川盆地西缘典型联合剖面

Fig. 2 Typical combined profiles on the west margin of Qinwangchuan basin.

和角砾有错断迹象。

由上述钻孔资料可见:

- (1) 岩层从挤压破碎带到相对完整, 地层产状倾角也由陡变缓。
- (2) 第三系红层在两盘间存在断距。
- (3) 钻孔岩芯内可见擦痕、高角度劈理、泥岩裂隙发育, 且裂隙中有石膏脉充填。

以上证据表明: 中川机场扩建工程区确实有隐伏断层存在, 且断层在机场新跑道附近倾向东, 倾角 70° 左右, 为正断性质。第四系底部地层有错断迹象。

2.2.3 槽探揭露

物探揭示第三系地层在北部埋深最浅, 为此在方家槽公路边开挖了一探槽。由探槽揭露: 在 20 m 范围剖面内, 远离主断面由南西向北东有 9 m 左右第三系土黄褐色砂质粘土夹砂砾岩的密集区, 红层具斜层理, 产状大致为 $N11^{\circ}E/NW \angle 6^{\circ}$, 红层内有少许石膏脉填充。在靠近主断面的强烈挤压带, 第三系红层(其顶部有 1 m 厚的风化壳)产状紊乱, 节理非常发育, 且交织成网, EW 组、NE 组、NS 组、 $N10^{\circ}W$ 组节理内均有石膏脉充填, 只有 NW 组节理无石膏脉填充。EW 组、NE 组和 NW 组节理穿透破碎带, 而终止于风化壳之下。NS 组张性节理和 $N10^{\circ}W$ 组压扭性节理则穿透了风化壳, 而终止于表土层之下。主断面切穿 Q_3 粉土层及冲洪积砾石层, 东、西盘间 Q_3 有 4 m 落差, 但上覆表土层未动。 Q_3 之下为完整红层出露, 这表明断层在第三纪末至第四纪晚更新世早期曾有过明显活动, 造成盆地内红层顶面及上覆上更新统冲洪积砂、砾石层 Q_3 的断错(图 5)。

此外, 机场附近的马家山冲积 Q_3^1 黄土(具近水平层理)在断层附近发育了多组节理或次

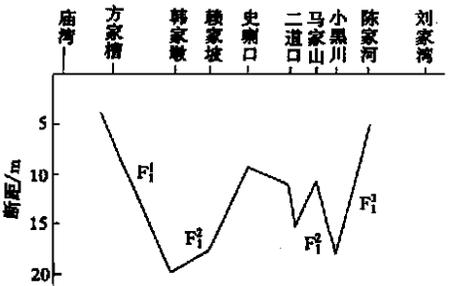


图 3 秦王川盆地西缘各测点断距
Fig. 3 Separations of stations on the west margin of Qinwangchuan basin.

级小断层,其内有较薄而平整的石膏脉填充,上部风成黄土(Q_3^2)和远离断层黄土结构完整,表明主断层活动中断层上盘产生了较多的次级断层,说明该断层晚更新世早期曾有过活动,为一条 Q_3^1 断层。

上述地质地貌、物探、钻孔及槽探资料均表明:秦王川盆地西缘确实存在一条隐伏断层,且该断层由3段不连续断层组成,沿NNW方向延伸37 km,挤压破碎带宽15~25 m。

北段北起庙湾南至陈家井,沿 $N6^\circ W$ 方向直线型延伸11.5 km,倾向南西(韩家墩以南倾向北东),倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。中段北起陈家井,南至陈家河,由3条右行雁列的断层束组成,沿 $N10^\circ W$ 方向直线型延伸14 km,倾向北东(史喇口以北倾向南西),倾角 $74^\circ \sim 80^\circ$,其中 F_1 断层自史喇口南2号道口进入中川机场拖机道口旧跑道,从扩建工程区南段通过。南段北起马家山南至哈家嘴东北,沿 $N9^\circ E$ 方向舒缓波状延伸14.5 km,倾向NW(小黑川附近倾向SE),倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。中段与南段有约3 km 长的重叠区。秦王川盆地西缘断层的活动造成的上第三系顶面垂直断距至少有4~20 m,并切割了晚更新世早期(Q_3^1)冲洪积砂砾石及冲积黄土层,但上覆晚更新世晚期(Q_3^2)风积黄土及全新世沉积物(Q_4)未见任何变动,表明该断层为一条晚更新世活断层。

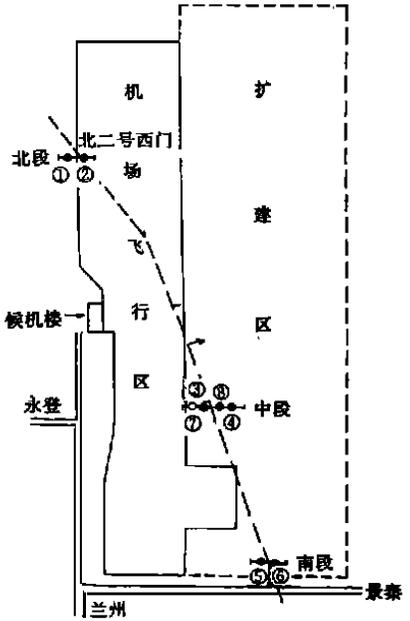


图4 钻孔布局

Fig. 4 The allocation of boreholes.

3 秦王川盆地西缘断层活动性评价

3.1 断层年代

为获得准确的断层活动年代,可从以下3个方面加以确定。

(1) 方家槽露头挤压破碎带宽15~25 m,内有大量石膏脉填充,最大宽度为30 cm, N_1 中次级断层切穿风化壳,其内也有细石膏脉填充。这些至少证明它们是第三纪末期以来的产物,

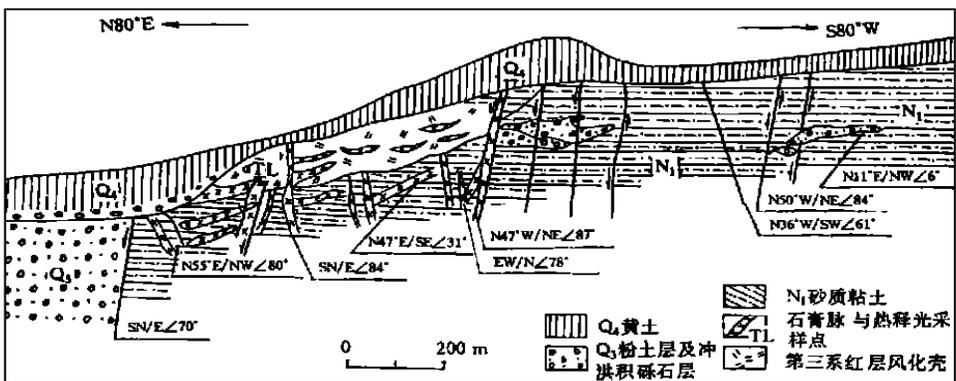


图5 方家槽探槽剖面

Fig. 5 The trench profile in Fangjiacuo.

采取了 N_1 次级断层内的石膏样品,其电子自旋共振年代为 (93 ± 11) ka.

(2) 由于新第三纪地层断距明显,而且 Q_3 底部洪积物都断错 $2 \sim 20$ m. 在方家槽开挖的探槽中发现,上部亚砂土及粉土未被断错,在距地表 7.5 m 深处采热释光样品,其年代为 (55 ± 7) ka.

(3) 马家山 Q_3^1 冲积黄土内次生断层中的石膏脉是由于主断层活动带动次级断层活动的结果,而上部 Q_3^2 风成黄土未被断错,其年代对比至少为距今 40 ka. 这样,石膏脉的年代应为最新活动年代,电子自旋共振年龄值为距今 (58 ± 6) ka. 表明秦王川盆地西缘活断层至少 48 ka 以来处于相对稳定状态.

3.2 断层追踪调查及活动性评价

在秦王川盆地西缘断层的北部古窑南布设了联合剖面,结果显示无断层通过,即该断层确实起始于庙湾. 而断层向南与哈家嘴 NNW 向断层、深沟桥断层断续相接,长达 120 km. 为了确定西缘断层是否与哈家嘴断层为同一断层的不同断层段还是一条独立断层,以便正确评价该断层的活动性以及对中川机场扩建工程区的影响,对西缘断层进行了追踪调查.

哈家嘴断层沿 $N10^\circ W$ 方向延伸 70 km 左右,为压扭性断层,延续性好,与秦王川盆地西缘断层呈右行雁列,阶距大于 500 m. 断层发育于第三系红层中,挤压破碎带宽 20 多米. 在第四纪中未见断层错断痕迹,表明其新构造活动不明显.

深沟桥断层沿 $N30^\circ W$ 方向延伸 13 km,是控制马滩水源盆地的西部边界. 该断层与哈家嘴断层呈左行雁列,阶距大于 500 m. 该断层东降西升,为一条向北东陡倾的正断层,断距最大有 270 m. 断层活动性强,是一条晚更新世活动的断层.

上述资料表明:由于秦王川盆地西缘断层与哈家嘴断层、深沟桥断层的力学属性及断层活动强度均不同,故该断层应为一条独立的断层,其断层长度为 37 km.

根据 $M = a + b \lg L$ 计算得出,秦王川盆地西缘断层未来发生最大地震的震级为 6.6 级. 考虑到秦王川盆地西缘断层为晚更新世活动断层,至少 40 ka 以来未见明显活动的地质证据及减震规律和地震活动性研究,认为未来百年内该断层不至于发生 6.5 级以上地震,但不能排除 5.5 级左右中强随机地震发生的可能性. 如果发生 5.5 级左右地震,将会使中川机场扩建工程区场地遭到地震烈度达 VII 度的影响.

4 秦王川盆地形成机理新认识

运用联合剖面法,在秦王川盆地东缘也发现了一条与西缘断层近于平行的隐伏断层. 该断层长约 35 km,从地貌上看仅北部在盆地边缘有奥陶系变质岩出露地表. 断层西侧为秦王川冲积盆地沉积物,二者比差 $20 \sim 30$ m,最低为 $3 \sim 5$ m,为剥蚀低山丘陵. 甘露池—四墩子古河道的发育明显受断层控制,沿断层二侧含水层深度也出现了变化,断层西侧深 30 m 处未见红层,且冲洪积砂砾石层中含水,而东侧未见泉水,推测奥陶系由东向西逆冲于新第三系之上,上覆的 Q_3^1 冲洪积物不整合于断层之上,为一条 Q_{1-2} 断层.

通过对秦王川盆地东、西缘断层的研究,否定了“秦王川盆地为侵蚀堆积盆地”的认识,认为该盆地是受东、西缘断层控制的断陷盆地,同时还重新揭示了该盆地的成因机理.

5 结论

秦王川盆地西缘隐伏断层由 3 条不连续断层段右行雁列组成,NNW 向延伸长 37 km,挤压破碎带宽 $15 \sim 25$ m,是一条晚更新世活断层. 其中断层中段自史喇口南 2 号道口进入中川

机场拖机道口旧跑道,从扩建工程区南段通过.未来百年内,该断层不至于发生 6.5 级以上地震,但不能排除 5.5 级左右中强随机地震发生的可能性,从而使中川机场扩建工程区场地遭到地震烈度 VI 度的影响.

秦王川盆地形成于第四纪.盆地基底为前寒武系、下古生界及下白垩统、上第三系,上覆上更新统及全新统,厚 30~60 m,为被东、西缘断裂控制的一断陷盆地.

[参考文献]

- [1] 甘肃省地质矿产局.甘肃区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
[2] 陕西地矿局第二水文地质队.黄河中游区域工程地质[M].北京:地质出版社,1986.

SURVEYING OF SUBSURFACE ACTIVE FAULT IN THE SITE OF ZHONGCHUAN CIVIL AIRPORT EXTENSION OF LANZHOU

ZHANG Xiang-hong, YANG Bin, ZHOU Jun-xi, WANG Ai-guo
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By the comprehensive study of geology, geomorphology, physical probing, trenching and boring, a subsurface fault is found along the west edge of Qinwangchuan basin, which stretches to the NNW and crosses the site of Zhongchuan airport extension. Some related issues of the fault, such as the dimension, segmentation and active time are investigated in detail and the effects of the fault to the site are scientifically evaluated.

Key words: Subsurface structure; Active fault; Zhongchuan airport

(上接 451 页)

THE CRUST DEGASIFICATION ALONG THE HAIYUAN ACTIVE FAULT

JIANG Dayong, CHEN Wen-bin, SHI Ya-liu
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The structural aerogeochemistry process along the earthquake-generating fault of the Haiyuan ($M_s 8.5$ earthquake) in 1920 is discussed based on the experimental result. The degassing on the Haiyuan active fault is mainly crust degasification, in which the contents are mainly from middle-upper crust. The degassing intensity is closely correlated to the fault stress state as well movement characteristics. The different degassed elements reflect different depth and characteristics. Radon reflects shallow depth and tension, mercury and Helium reflect relative deep depth, and hydrogen reflects obduction or nappe or rock-water reaction on the fault surface.

Key words: Active fault; Crust; Degasification; Haiyuan fault