

第四纪水泉尖山-岷崮山南麓断裂带 活动的迁移及其机制*

才树华, 张 杰

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:位于甘肃靖远地区的水泉尖山-岷崮山南麓断裂带早第四纪前为走向逆断层, 第四纪中期出现左旋走滑迹象. 研究表明, 水泉尖山-岷崮山南麓断裂带断裂活动的横向迁移与海原活动断裂带的形成和强烈活动有着密切的关系.

主题词: 甘肃; 第四纪; 断层活动; 迁移机制

中图分类号: P534.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)02-0194-09

0 前言

在我国, 第四纪断层上断裂活动的迁移具有一定的普遍性. 如郯庐断裂带沂沭段、北祁连断裂带、阿尔金断裂带、天山北麓断裂带、富蕴断裂带、鲜水河断裂带等都具有典型的迁移特征^[1~3]. 许多现象表明, 第四纪断层上断裂活动的迁移存在两种形式, 即沿构造带的纵向和横向迁移. 这种迁移, 可以是第四纪断层上的构造迁移, 也可以表现为强震系列中的地震迁移^[4].

本文重点研究的水泉尖山-岷崮山南麓断裂带位于甘肃靖远地区, 为乌鞘岭-六盘山构造带内规模较大的断裂带(图1, 表1). 断裂在早第四纪前为走向逆断层, 断裂活动使得前中生界逆冲于新生界之上, 断层的垂直断距达1 500 m以上^①. 第四纪中期出现左旋走滑迹象, 至晚第四纪中期前停止活动. 海原断裂带为区内规模最大、活动最强、与地震活动关系最密切的活动断裂带. 该断裂带的出现和强烈活动使水泉尖山-岷崮山南麓断裂带停止活动, 显示了第四纪断层上断裂活动的横向迁移特点.

1 第四纪断层活动特征

1.1 水泉尖山-岷崮山南麓断裂带(f_1)

水泉尖山-岷崮山南麓断裂带西起水泉, 往东经大水头、小水, 一直延伸至下井北东, 全长70 km. 断裂带总体走向 310° , 倾向北东, 倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$. 大致以大水头为界, 断裂西段出露良好, 以东断裂大部分被晚更新世黄土覆盖, 基本为隐伏状, 仅在部分沟谷底部有所出露. 地形地

收稿日期: 1998-08-18

* 参加野外考察的还有滕瑞增、金瑞泉、李西侯、苏向洲等; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC1999012

第一作者简介: 才树华, 男, 1940年6月出生, 副研究员; 从事地震地质研究工作.

① 甘肃省133煤田勘探队. 甘肃靖远煤田王家山矿区地质勘探总体报告. 1981.

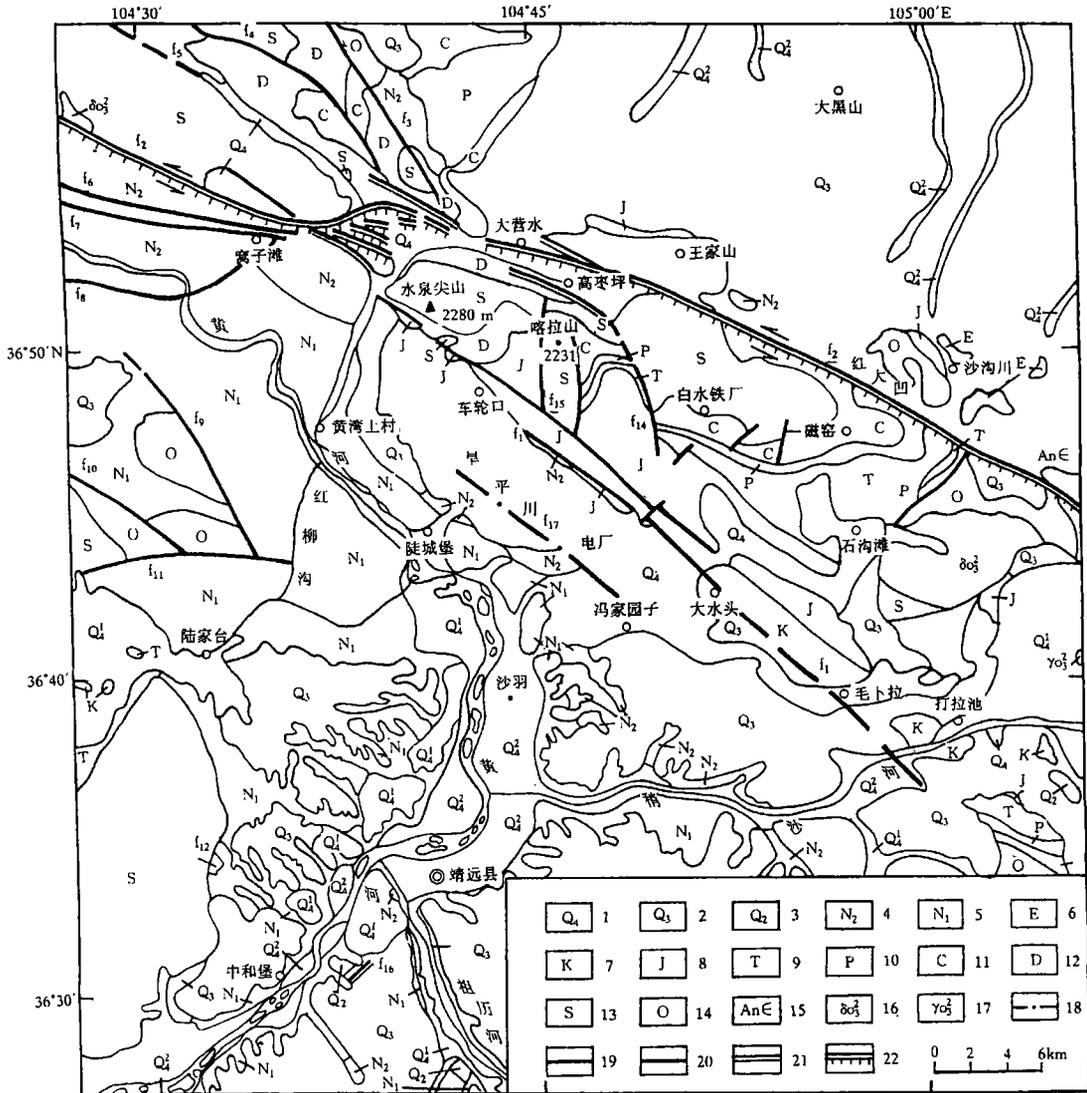


图1 甘肃靖远地区地质图

Fig. 1 Geological map of the Jingyuan region in Gansu.

- 1 现代冲洪积及黄土; 2 冲洪积砂砾层及黄土; 3 冲洪积砾石层; 4 红色砂砾岩;
- 5 砖红色砂岩; 6 暗红色砂砾岩; 7 紫红色砂砾岩夹泥岩; 8 灰白色砂岩夹煤系岩层;
- 9 石英砂岩、砂泥岩; 10 凝灰岩及砂泥岩; 11 灰岩、砂岩及煤系岩层;
- 12 紫红色砾岩及砂砾岩; 13 千枚岩及变砂岩; 14 硅质岩、千枚岩、大理岩;
- 15 大理岩、片岩; 16 加里东中期石英闪长岩; 17 加里东中期斜长花岗岩; 18 隐伏断层;
- 19 活动时代不确定的断层; 20 早-中更新世断层; 21 晚更新世断层; 22 全新世断层

貌特征显示,大湾以西断裂带成为水泉尖山-北嶂山与旱平川盆地的天然界线.断层北侧的基岩山地的海拔高程为1851 m,南侧盆地高程为1474 m,相对高差约为400 m.大湾以东断裂带为岷峨山基岩山地与黄土丘陵的分界线,两者高差约300 m,显示断层的垂直落差往东逐渐降低.断裂带最早可能出现在早古生代,控制加里东中期石英闪长岩的侵入,后经漫长的构造运动,控制有关地层的堆积和形变.断裂基本沿地层走向延伸,从而使老地层逆冲于新地层之上,形成高角度逆断层和构造挤压带,显示为走向逆断层.第四纪中期在挤压逆冲的同时断层

出现左旋运动,晚第四纪中期前停止了活动.现由西向东将断裂带不同部位的活动情况介绍如下.

表 1 甘肃靖远地区断层产状及其活动情况

断层代号 ¹⁾	断层名称	长度 L/km	产状	切割地层
f ₁	水泉尖山-岷山南麓断裂带	70.0	310°/NE<70°~80°	O ₁ ~Q ₂
f ₂	海原活动断裂带	237.0	290°/NE-SW<60°~70°	An~Q ₄
f ₃	哈思山北麓断层	15.0	320°/NE-SW<70°	O ₁ ~Q ₂
f ₄	小红沟断层	30.0	310°~330°/SW<60°	S ₁ ~Q ₂
f ₅	红家庄断层	12.0	300°/NE?	S ₁ ~Q ₂
f ₆	窝子滩-席茂水北侧断层	50.0	275°/NE<56°	O ₂₋₃ ~Q ₂
f ₇	窝子滩-席茂水南侧断层	50.0	275°/NE<59°	O ₂₋₃ ~Q ₂
f ₈	大化子沟-窝子滩断层	15.0	80°/NW?	N ₁ ~Q ₂
f ₉	大青山东麓断层	14.0	320°~330°/SW<65°	O ₂₋₃ ~Q ₂ ?
f ₁₀	宋家梁东麓断层	22.0	300°/SW<50°	O ₂₋₃ ~Q ₂ ?
f ₁₁	宋家梁南麓断层	20.0	84°/NW<69°	O ₂₋₃ ~Q ₂ ?
f ₁₂	雁洼沟断层	1.5	310°/	S ₁ ~Q ₂
f ₁₃	小石沟断层	6.0	40°/SE<70°	O ₁ ~T ₃
f ₁₄	石碑子断层	8.0	NS/E<70°	S ₁ ~Q ₂
f ₁₅	喀拉山-稍水山西麓断层	6.0	NS/W<60°~70°	S ₁ ~Q ₂
f ₁₆	贾家口子-河包口断层	1.5	25°/NW<54°	K ₁ ~Q ₃
f ₁₇	徐家湾隐伏断层	10.0	315°/NE<?	N ₂ ~Q ₂

1) 断层代号同图 1.

断裂带西端的上堡村剖面(图 2)显示,在下中泥盆统紫色砾岩与下志留统灰绿色板岩之间可能存在两条断层.剖面左侧 F₁ 为推测断层,地表被全新统洪积砾石层覆盖.区域地质资料表明,侏罗系以角度不整合沉积于较老地层之上.但从本剖面地层出露位置和产状分析结果看来,下中泥盆统地层似乎逆冲于中侏罗统之上.该地区的地形地貌特征是,从剖面左侧出露的下中泥盆统砾岩层开始往北直至水泉尖山主峰地区山势陡峻,基岩山区与旱平川盆地交界带的北缘可能就是断层 F₁ 所在部位.断层 F₂ 为发育在中侏罗统地层内部的挤压破碎带,断层走向 325°,倾向北东,倾角 75°.断层破碎带宽 10 m,带内紫红色砂泥岩遭受强烈挤压形成片理化带,其内夹有体积较大的挤压透镜体.挤压片理走向与断层走向相近,片理面上断层擦线发育,向南东侧伏,伏角 22°,显示断层在挤压同时兼有左旋运动特点.断层破碎带的岩石已经固结,其上被上更新统冲洪积砾石层覆盖.覆盖层下部的热释光(TL-6)^①年龄距今(1.7±0.3)×10⁴a,说明断层 F₂ 在晚更新世晚期前已不再活动.

在车轮口至大水头之间,水泉尖山-岷山南麓断裂带由两条南北相距 1~2km 的平行断层组成.由车轮口以北 1.2 km 处向东展布的为断裂带的北侧断层,其走向 310°,倾向南西,倾角 60°.剖面显示,断层上盘由中侏罗统砂岩组成的单斜岩层向北东逆冲在由下、中、上侏罗统地层组成的向斜构造之上,在断层通过处鞍状地貌特征明显.

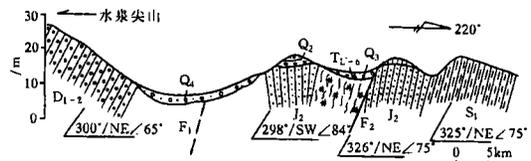


图 2 上堡村山前断层剖面

Fig. 2 Profile of piedmont fault in Shangpu village.

① 热释光(TL)年龄样品由成都地质学院核工系高新技术研究所测定,下同.

位于车轮口以东的断裂带南侧断层发育在中侏罗统砂岩夹页岩和煤线地层之中(图3). 地层走向北北东, 总的倾向北西, 近断层处上盘岩层发育有背斜构造并向南东逆冲. 断层挤压破碎带宽约20 m, 地表处为鞍状地貌. 在断层下盘由中侏罗统地层构成的小丘南缘与旱平川盆地接壤地带的上更新统冲洪积砾石层之下, 可能存在隐伏断层.

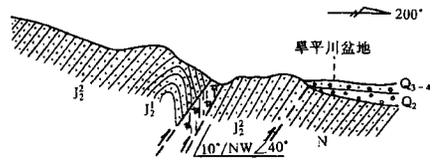


图3 车轮口以东山前断层剖面

Fig. 3 Profile of piedmont fault on the east of Chelunkou.

往东, 断裂带沿山前地带展布, 地表显示为断层三角面和断层沟槽. 断层三角面的侧向线清晰笔直, 面上纹沟发育. 断层三角面前缘的断层沟部分段落已被上更新统冲洪积砾石层掩埋, 如排子沟洪积扇顶面现已高出其东西两侧断层沟沟底10 m以上, 洪积扇表面无断错迹象, 说明洪积扇堆积以后断层已不再活动. 位于图3剖面以东700 m处的山前断层剖面显示, 在陡立的中侏罗统砂岩层中发育有断层挤压破碎带, 由压片岩、糜棱岩和挤压透镜体组成. 挤压片理走向 325° , 倾向北东, 倾角 69° , 破碎带上部被上更新统砂砾石层覆盖.

响泉口西2.5 km处的山前低平地带显示, 中侏罗统砂岩由北往南逆冲在中新统红色砂岩之上, 断层总体走向北西, 倾向北东, 倾角 50° 以上. 中新统岩层因遭受变动而倾角变陡, 多为 40° 左右. 在响泉口西2 km处的山前地带, 中侏罗统砂岩往南西逆冲于中更新统砾石层之上(图4). 断层走向 300° , 倾向北东, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$. 砾石层已胶结, 断面上保留清晰的断层擦痕, 擦线向南侧伏, 伏角 20° , 说明在中更新统砾石层堆积以后, 大约在中更新世中晚期断层活动有左旋走滑迹象. 断层带上的中更新统地层遭受强烈挤压形成箕状褶曲, 岩层倾角可达 55° , 远离断层逐渐恢复自然倾斜, 倾角仅为 4° . 断层上覆地层为上更新统砾石层, 盖层偏上部位的热释光(TL-1)年龄距今 $(2.7\pm 0.5)\times 10^4$ a. 在山缘内侧, 响泉沟切割由中更新统砾石层堆积的老洪积扇, 洪积扇顶面平坦, 高出冲沟谷底约80 m, 为本区最高洪积台地. 在响泉沟口处, 晚更新世洪积扇迭置于中更新世洪积扇之上, 新洪积扇顶面高出冲沟谷底15~20 m. 以上现象说明, 晚第四纪以来山区处于阶段性的缓慢上升之中.

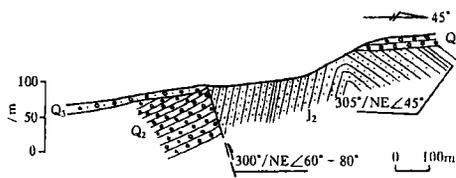


图4 响泉口西山前断层剖面

Fig. 4 Profile of a piedmont fault on the west of Xiangquankou.

平川陶瓷厂西沟山前断层剖面(图5)显示, 中侏罗统砂岩往南西逆冲在中新统红色砂泥岩之上, 断层走向 297° , 倾向北东, 倾角 67° . 断层破碎带宽20 m, 挤压片理走向 330° , 倾角近于直立. 发育于挤压片理面上的断层擦线向南东侧伏, 伏角 17° , 反映断层具挤压兼左旋走滑性质. 断面被上更新统砾石层覆盖, 覆盖层的热释光(TL-2)年龄距今 $(3.0\pm 0.6)10^4$ a. 平川陶瓷厂至大水头山前地带发育有断层三角面, 其特征

与车轮口一带相似, 形貌较老.

大湾西侧山前地带出露下白垩统紫红色砂泥岩, 岩层走向 292° , 倾向南西, 倾角 71° , 挤压片理发育, 显示水泉尖山-峨嵋山南麓断裂带由比通过. 断层已被上更新统冲洪积物掩埋, 地貌特征不明显. 大湾至小水老庄山前地带, 地表被上更新统冲洪积层和厚20 m以上的黄土覆盖, 不见断层迹象, 唯在小水老庄

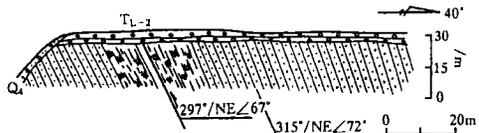


图5 平川陶瓷厂西沟山前断层剖面

Fig. 5 Profile of a piedmont fault in a gully on the west of Pingchuan Ceramic Factory.

东南 2 km 山前一条北东向冲沟沟壁上见有断层挤压破碎带的完整剖面。剖面底部出露下白垩统紫红色砂砾岩夹灰绿色砂泥岩, 岩层走向 310° , 倾向北东, 倾角 70° , 挤压片理相当发育, 其剥蚀面由下往上堆积了上更新统冲洪积砾石层、次生黄土和黄土, 砾石层底部的热释光(TL-3)年龄距今 $(5.0 \pm 0.7) \times 10^4$ a.

上述情况表明, 水泉尖山-岷岷山南麓断裂带在第四纪早期以前为走向逆断层, 中更新世中晚期出现左旋走滑运动, 此后被晚更新世冲洪积层和黄土覆盖。覆盖层的热释光年龄距今 $(5.0 \sim 1.7) \times 10^4$ a, 说明在距今约 5 万年之前断裂就不再活动了。这一认识也可从山前地带晚更新世以来的堆积物和地貌面无明显变动以及跨断层冲沟无扭错迹象得以证明。

1.2 海原活动断裂带(f_2)

海原活动断裂带在区内展布于水泉尖山-岷岷山南麓断裂带北侧, 两者呈斜交之势, 其间最短距离约 6 km。海原活动断裂带是青藏高原东北缘规模最大, 活动最强, 对地震频度和强度控制最有力的断裂带^[5~7]。断裂带西起甘肃兴泉堡, 东至宁夏硝口南, 全长 237 km。断裂带沿山区与盆地交界地带展布形成醒目的地貌界线, 沿断裂带有一条清晰的重力梯级带, 反映其为“深、大、活”断裂。

经过早古生代及后续构造形变, 在海原地区(广义)形成了一系列近于平行的, 走向北西-北西西的褶皱和走向逆断层。早期的走向逆断层奠定了后期构造的形变格局——断层的分布和走向方位。早第四纪晚期开始, 随着区域应力场主压应力方向的转变, 在这一走向逆断层系列的构造背景上形成了新的构造组合。一条由次级剪切断层以及与之相伴生的拉分盆地和推挤构造区组成的规模宏大的左旋走滑断裂带, 即海原活动断裂带便逐步形成了。

海原活动断裂带为典型的剪切破裂带。它是由 11 条不连续的次级剪切断层、8 个拉分盆地和 2 个推挤构造区组成的。早更新世末至中更新世初断裂带出现左旋走滑运动以来, 断裂的水平位移总量一般为 6~10 km, 最大为 12~14.5 km, 最大水平位移值分布在断裂带中部南西华山北麓一带。断裂带的水平滑动速率也以中部为最高(11.7~19.7 mm/a)。全新世以来断裂带各次级剪切断层的水平滑动速率(上限)为 3.32~9.92 mm/a, 也是以断裂带中部为最高。各次级剪切断层的古地震平均重复间隔为 6 954~1 282 a, 其中以南西华山北麓断层为最短(1 780~1 282 a)。含 1920 年海原 8.5 级地震在内, 总共在海原活动断裂带上揭露出 9 次全新世不同时期的地震事件, 8 级大震的重复间隔平均为 1 200a。

位于水泉尖山-岷岷山南麓断裂带展布范围北侧的部分海原活动断裂带自东而西由 5 条次级剪切断层(阴山窑断层、北嶂山北麓断层、赵家岷-小红门断层、水泉-荒凉滩盆地北缘断层和哈思山南麓断层)、4 个拉分盆地(秦家湾盆地、大营水盆地、邵水盆地和荒凉滩盆地)和一个边沟推挤构造区组成。上述次级剪切断层全新世水平滑动速率(上限)为 4.28~9.92 mm/a, 具东部高西部低特点, 其滑动速率在整个海原断裂带次级剪切断层中属中上水平。1920 年海原 8.5 级地震的宏观震中位于南西华山北麓断层大沟门-万家水段, 地震地表水平位错幅度普遍为 6~9 m, 其中在石卡关沟一带最大为 10~11 m, 该地距阴山窑断层不足 25 km。海原地震最强余震($M=7$)的宏观震中位于北嶂山北麓磁窑一带, 估计可能发生在北嶂山北麓断层上, 说明展布于本区的海原活动断裂带有关次级剪切断层的活动性是相当强的。

1.3 其它断裂

区内地表出露的其它断层大致分为北西-北西西向($f_3 \sim f_{12}$)和北东-南北向($f_{13} \sim f_{16}$)两组(表 1)。其中北西-北西西向断裂反映区域主体构造方向, 断裂的规模相对较大, 现就其中两条主要断裂的第四纪活动特征简述如下。

1.3.1 哈思山北麓断层(f_3)

该断层展布于大红门-松柏崖南,长15 km.断层走向 320° ,南东段倾向南西,北西段倾向北东,倾角 70° ,为挤压枢纽断裂.卡家台地区断层造成上盘下志留统地层往北东方向逆冲于上泥盆统地层之上,断层破碎带宽40~50 m,岩层挤压强烈,断层地貌标志清楚,呈沟槽状沿山前分布.边墙子地区断层造成上盘下奥陶统地层往南西方向逆冲在上泥盆统和下石炭统地层之上,挤压破碎带宽约20 m.断层沿冲沟分布,但在冲沟新老冲积层中未见断层活动迹象.

1.3.2 小红沟断层(f_4)

此断层展布于石门川东南至邵水东,全长30 km,区内展布16 km.断层走向 $310^\circ\sim 330^\circ$,朝北东突出,倾向南西,倾角 60° 以上.断层上盘为由泥盆系-下石炭统组成的轴向为 310° 的不甚完整的向斜构造.断层下盘南东段也为由上述地层组成的轴向近南北的向斜构造.泉水沿断层呈带状分布,断层谷特征明显.下圈剖面显示,断层为挤压逆冲性质,挤压破碎带发育有紫红色断层泥,地表被厚约4 m的冲洪积砾石层覆盖.

2 旱平川盆地构造特征

旱平川盆地位于水泉尖山-岷嶮山与黄河谷地之间.盆地沿北西-南东方向展布,呈宽条状,东西长16 km,南北宽5.5 km,地面北高南低向南西倾斜.盆地堆积中-上更新统砂砾石层,部分表面被黄土覆盖,沉降中心位于盆地中部,最大堆积厚度超过300 m.

盆地北界受水泉尖山-岷嶮山南麓逆冲断裂带控制,东缘为黄土丘陵区,未见边界断层,南缘地表出露由上新统红色砂砾岩组成的背斜构造.背斜北翼沿新水泉-靖远电厂南侧-冯家园子一带存在徐湾隐伏断层(f_{17}).航片影像显示,断层线性特征较为清晰,色调略有差异.微地貌显示,南西侧地面抬升,上新统红层产状平缓,近断层处地层往北东倾斜,倾角 17° ,局部被上更新统砂砾石层超覆.上更新统上层位的热释光(TL-4和TL-5)年龄分别距今 $(3.4 \pm 0.5) \times 10^4$ a和 $(2.5 \pm 0.3) \times 10^4$ a.地貌面清晰,未遭受变动,冲沟变窄,略有下切,阶地较发育,大冲沟存在3级阶地;北东侧地势相对低洼,普遍堆积上更新统冲洪积角砾层和次生黄土,冲沟变宽,阶地不发育.水文钻孔CK₁直接钻到盆地南侧的背斜砂砾岩层之中.盆地内相毗邻的钻孔CK₂与CK₃揭示上新统红层埋深分别为197 m和263 m,说明盆地南缘边界地带南北相距仅300 m的范围内上新统红层落差竟超过260 m.上新统红层如此巨大的落差不大可能单纯由地层向北倾斜 17° 这一因素所造成,其中必定包含有断层的垂直落差.经物探证实,徐湾隐伏断层确实存在,断层长10 km,走向 315° ,倾向北东,为陡倾正断层.水泉沙河构造剖面(图6)显示,旱平川盆地西缘存在由中新统砂岩和不整合其上的上新统砾岩组成的轴向北西的背斜构造.背斜南西翼剥蚀面以上为中-上更新统砾石层和黄河阶地堆积;北东翼为旱平川盆地中-上更新统砾石层和黄土堆积.剖面资料证实,旱平川盆地西缘不存在边界断层且徐湾隐伏断层也未延伸至盆地西缘.

上述事实说明,旱平川盆地为第四纪压陷盆地,盆地活动主要受北缘断裂控制.从覆盖在水泉尖山-岷嶮山南麓断裂带上的上更新统砂砾岩层的热释光年龄(距今 $(5.0\sim 1.7) \times 10^4$ a)和盆地南缘超覆在上新统红层之上的上更新统砾石层的热释光年龄(距今 $(3.4\sim 2.5) \times 10^4$ a)分析来看,旱平川盆地在距今5万年之前便停止了压陷活动转入正常的剥蚀和堆积.

3 第四纪断层上断裂活动的迁移及其机制

断层上的破裂活动不仅往往是以群集的方式在断层的一定段落上或一定区域内的活跃

(此时在其邻区或相邻段落保持平静), 而且在活动段一系列群集的破裂事件发生后, 断裂活动往往还以一定的次序变换到其它段落或区域, 这就是所谓的断裂活动的迁移现象^[1].

水泉尖山-岷峨山南麓断裂带和海原断裂带属于祁连加里东地槽褶皱系, 经过加里东中晚期及后续长期的构造形变, 在研究区内形成了由一系列北西-北西西走向逆冲断层组成的断裂系. 这些逆冲断层在新生代早中期仍然具有较强的挤压逆冲活动, 使不同时代的老地层逆冲于第三系红层和下更新统砾石层之上, 并在某些部位形成受逆冲断层控制的单断或双断型压陷盆地. 贯穿研究区东西的, 规模巨大的, 活动强烈的, 并以左旋走滑为其主要特征的海原活动断裂带内的次级剪切断层就是利用这些逆冲断层或其某一段落发展起来的, 这一改造利用过程始于早更新世末期至中更新世初期. 断裂带切错各种地质体, 使穿越断裂带不同时期的水系发生幅度不等的左旋变位, 从而导致沿断裂带不同时期的地貌面发生幅度小于水平位错的垂直位错. 新产生的断层岩以碎裂岩和断层角砾岩为主, 表明该断裂为典型的脆性剪切破裂带. 沿这一条脆性剪切破裂带发生的强烈剪切形变集中在宽 1~3 km 的狭长条带内. 只有这一剪切形变带内的先存逆冲断层才有可能被改造利用演变成次级剪切断层. 区内的先存逆冲断层一般规模较大, 多呈波状弯曲, 其中多数断层或某些断层的部分段落并不在海原活动断裂带的剪切形变带范围内, 也就是说, 这些断层或其部分段落没有被改造利用, 并不属于海原活动断裂带的组成部分^[7]. 例如海原活动断裂带改造利用了赵家岷-石门川断层的赵家岷-小红门区段(未被其改造利用的断层西段即为前述的断层 f_4), 该段后来分别控制了大营水和邵水两个拉分盆地的南界和北界. 水泉尖山-岷峨山南麓断裂带虽仅距海原活动断裂带 10~20 km, 但这一距离已超出海原活动断裂带脆性剪切破裂带的影响范围; 再则, 该断裂带为北西向, 与海原活动断裂带的北西西走向不相吻合, 基于此等原因使得它不可能被卷入海原断裂带的新活动中去.

前述资料说明, 水泉尖山-岷峨山南麓断裂带和海原断裂带第四纪活动均出现在早更新世末至中更新世初期. 自此阶段以来, 后者逐渐成为左旋走滑断层, 而前者的初期活动仍为逆冲性质, 只是在中更新世中晚期显示有左旋走滑迹象. 现象表明, 这两条断裂带可能在第四纪中期的某一时段曾有过性质相似各自独立活动的过程. 晚第四纪以来随着水泉尖山-岷峨山南麓断裂带和区内其它北西-北西西向断层以及旱平川等压陷盆地活动的消失, 区域内的构造应力主要通过海原断裂带进行积累释放, 从而显示了第四纪断层上断裂活动横向迁移特点, 这种迁移宛如接力赛中接力棒的交接过程. 应当指出的是, 这种迁移有别于祁连山北麓断裂带第四纪断层活动逐渐向走廊盆地推进的横向迁移. 区内第四纪断层上断裂活动的横向迁移并不取决于“迁出”和“迁入”断层原有的几何结构和力学性质, 而是由具体的区域地质构造条件和深部地球物理环境控制的.

下面再讨论一下区域应力场主压应力方向的转变和特定构造边界条件下的条形次级块体运动问题. 包括水泉尖山-岷峨山南麓断裂带和海原断裂带在内的青藏高原东北缘属祁连加里东褶皱系, 其东北面为中朝准地台, 两者界线为龙首山-牛首山-罗山-云雾山一线. 这条大地构

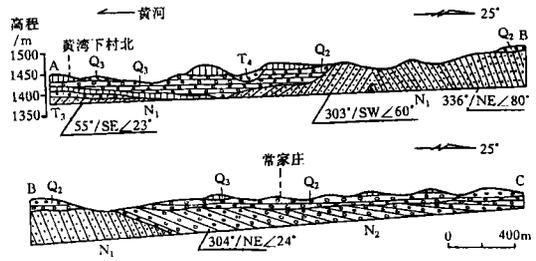


图 6 水泉沙河河谷旱平川盆地西缘构造剖面

Fig. 6 Profile of structures on the west margin of the Hanpingchuan basin in Shahe valley, Shuiquan.

造单元界线后来演化为新生代弧形断裂系最外一个组成单元并成为包括海原断裂带在内的弧形断裂系孕育发展的边界条件. 该弧形构造带是在青藏块体向北东推挤的应力场条件下形成的. 这一过程使地壳沿北东-南西方向挤压缩短. 上新世末期以来, 随着青藏高原快速隆起, 在高原边缘形成应力与应变的集中地带. 早更新世末至中更新世初青藏高原东北缘继续向北东的推挤受到鄂尔多斯和阿拉善两个稳定块体的阻挡, 被海原断裂带等弧形断裂带切割形成的条形次级块体发生速率不等的向东滑移. 这表明, 高原东北缘构造应力场主压应力方向已由北东-南西向转变为北东东-南西西向. 在这一构造应力场作用下, 地壳深部的塑性流体载着较脆弱的中上地壳块体向着阻力最小的方向滑移, 结果使分割条形次级块体的弧形断裂带的左旋走滑运动逐渐占据了主导地位^[7]. 其它先存逆冲断层不是被新生成的走滑断层改造利用, 就是停止了活动.

青藏高原东北缘现代构造应力场数值模拟结果表明, 区内主压应力方向为 $N60^{\circ} \sim 70^{\circ}E$. 在这一主应力作用下, 模拟区的构造形变特征以及断裂带的水平与垂直位移比值非常符合构造运动的客观实际^[8]. 震源机制结果可反映震源处的应力状态以及断层的产状、力学性质和错动方式. 如果多数地震的震源机制解有较好的一致性, 则统计得到的应力场特征应当认为是有区域代表性的. 对青藏高原东北缘弧形断裂系展布区内 1920~1990 年发生的 20 个 4 级以上地震的震源机制解进行的统计表明, 该区的地震断层以左旋走滑型为主, 主压应力轴的平均方位为 $N64^{\circ}40'E$, 平均仰角 $21^{\circ}20'$ ^[8]. 这一结果与区域现代构造应力场数值模拟的结果是一致的.

重力资料反映, 海原断裂带处在青藏高原东北部重力梯度带和莫霍面斜坡带上. 莫霍面深度由鄂尔多斯块体西南缘的 43 km 左右增至甘肃东部地区 52 km 左右. 重力异常等值线总体走向北西, 在海原断裂带展布区局部为北西西向. 大地电磁测深结果表明, 西(吉)海(原)固(原)地区在十几公里和 20~28 km 两个深度范围内存在两层低阻层. 上地幔低阻层在 80 km 深度左右, 上地幔隆起呈北西方向分布. 重力梯度带、莫霍面斜坡带、壳内低阻层的存在和上地幔顶面深度偏浅, 都是现代构造活动强烈地区的深部构造标志, 这些地区有利于应力积累释放和构造活动的迁移.

事实说明, 随着海原活动断裂带的形成和强烈活动, 致使与之相邻的水泉尖山-岷嶮山南麓断裂带以及区内其它晚第四纪前的活断层和压陷盆地停止活动, 显示出第四纪断层上断裂活动横向迁移特点. 区域构造应力场主压应力方向的转变和特定的构造边界条件, 以及有利的深部构造环境是造成断层活动迁移的主要原因.

参考文献

- [1] 丁国瑜. 第四纪断层上断裂活动的群集及迁移现象[J]. 第四纪研究, 1989, (1): 38~44.
- [2] 国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所[M]. 河西走廊-祁连山活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1993.
- [3] 张培震, 邓起东, 徐锡伟, 等. 天山北麓玛纳斯活动断裂-褶皱带的变形特征与演化[A]. 活动断裂研究理论与应用(3)[C]. 北京: 地震出版社, 1994. 18~32.
- [4] 丁国瑜. 我国的强震系列与第四纪活动断裂带[A]. 见: 第三届全国第四纪学术会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1982. 184~194.
- [5] 国家地震局兰州地震研究所, 宁夏回族自治区地震队. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京: 地震出版社, 1980.
- [6] 刘百箴, 周俊喜. 海原活动断裂带上的史前地震[J]. 地震地质, 1985, 7(4): 11~21.
- [7] 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[M]. 北京: 地震出版社, 1990.

- [8] 才树华, 贾云鸿, 何秀琴, 吕德徽. 毛毛山活动断裂带运动学特征及与海原活动断裂带的对比[A]. 见: 中国活动断层研究[C]. 北京: 地震出版社, 1994. 48~58.

ACTIVITY MIGRATION OF THE QUATERNARY SHUIQUANJIANSHAN-JUEWUSHAN SOUTH PIEDMONT FAULT ZONE AND ITS MECHANISM IN JINGYUAN, GANSU

CAI Shu-hua, ZHANG Jie

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract

The Shuiquanjianshan-Juewushan south piedmont fault zone in Jingyuan region, Gansu Province was a strike reverse fault before early Quaternary and became sinistral strike-slip fault in middle Quaternary. As the strong activity occurred along the Haiyuan fault zone, the activities of the Shuiquanjianshan-Juewushan fault zone, other active faults before late Quaternary and compressive settling basin within the region were stopped. Obviously, activity of the Quaternary fault was characterized by lateral migration. It is considered that the migration mainly resulted from change of principal stress orientation of regional stress field and characteristic structure boundary condition.

Key words: Gansu; Quaternary; Faulting; Migration mechanism

(上接 193 页)

PRINCIPAL STRESS ORIENTATIONS BEFORE STRONG EARTHQUAKES IN NORTH CHINA INFERRED BY USING WATER LEVEL b -VALUE DYNAMICS

BU Fan-quan, ZHANG Fu-you, XU Wen-hua

(Seismological Bureau of Binzhou Prefecture, Binzhou 256602, China)

Abstract

Based on well water level b -value dynamics in the Jiyang depression and strikes of faults on which the wells exist, directions of principal stresses before strong earthquakes in North China are inferred and their evolution laws among different fault blocks are preliminarily summed up in order to add a new method for earthquake prediction by using subsurface fluid.

Key words: Well water level; North China; Principal stress orientation; Strong earthquake