

吴传勇, 沈军, 李军, 向志勇, 胡军, 伊利亚尔. 2009. 乌鲁木齐西山断层系的新构造变形特征与机制. 地震学报, 31(1): 42-49.

Wu Chuanyong, Shen Jun, Li Jun, Xiang Zhiyong, Hu Jun, Yi Liyaer. 2009. Neotectonic deformation feature and mechanism of the Xishan fault system in Ürümqi. *Acta Seismologica Sinica*, 31(1): 42-49.

## 乌鲁木齐西山断层系的新构造 变形特征与机制<sup>\*</sup>

吴传勇<sup>†</sup> 沈 军 李 军 向志勇 胡 军 伊利亚尔

(中国乌鲁木齐 830011 新疆维吾尔自治区地震局)

**摘要** 通过对西山断层系详细地追踪考察和系列探槽的开挖,并结合深部探测资料进行了综合分析,认为晚第四纪以来,在近 NS 向的挤压应力作用下,西山块体不断向南侧天山山体方向发展,总体表现为向南的逆冲滑移和地壳缩短.其南侧的主控边界断裂——西山断层的新活动性主要表现为向南的逆冲.西山断层北侧的王家沟断层组和九家湾断层组是与西山断层具有成因联系的次级断层,均为伴随西山隆起形成的顺层滑动断层.但九家湾断层组明显受到博格达推覆体系的影响,是局部拉张应力下产生的正断层.这两组断层吸收转换了西山断层上盘的褶皱变形量,因而西山断隆表现为明显的单斜特征.西山断层系的各条次级断层属于同一发震构造体系,其大震的地震危险性应该合并考虑.

**关键词** 乌鲁木齐 西山断层系 新构造变形 变形机制

**文章编号:** 0253-3782(2009)01-0042-08

**中图分类号:** P315.2

**文献标识码:** A

### Neotectonic deformation feature and mechanism of the Xishan fault system in Ürümqi

Wu Chuanyong<sup>†</sup> Shen Jun Li Jun Xiang Zhiyong Hu Jun Yi Liyaer

(Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Ürümqi 830011, China)

**Abstract:** The Xishan fault system is a very important fault zone in western area of Ürümqi. It consists of 9 secondary faults with different length and activity. Based on detail investigation, geological mapping, some large-scale trenching and the result of deep seismic reflection, we have achieved important progress and gained new knowledge on the neotectonic deformation and its mechanism of the Xishan fault system. The Xishan block extruded southward to the Tianshan mountain because of the compressive force in nearly N-S direction since late Quaternary. The Xishan fault controlling southern boundary of the Xishan

<sup>\*</sup> **基金项目** 中国地震局“十五”重点工程“乌鲁木齐城市活断层探测与地震危险性评价”项目(1-4-31)、国家科技支撑计划项目子专题(2006BAC13B010102)和科技部国际合作重点项目“地震危险性评价与地震预报新方法研究(中俄合作)”(2004DFBA0005)资助.

**收稿日期** 2008-06-11 收到初稿, 2008-09-25 决定采用修改稿.

<sup>†</sup> **通讯作者** e-mail: wuchuanrong001@163.com

block is a southward thrusting fault. The Wangjiagou fault group and the Jiujawan fault group are all secondary faults relative to the Xishan fault. They are all bedding-plane faults, but the fracture style is different. The Wangjiagou fault group consists of thrust faults, but the Jiujawan fault group is a tensional normal fault zone. The Wangjiagou fault group and the Jiujawan fault group absorbed the folding deformation of the Xishan block. The compressive deformation released in movement of dislocation, so the hang-wall of the Xishan fault is obviously a monoclinical structure, rather than folding. The Xishan fault system converges on the detachment surface at about 10 km depth. The seismic risk of the fault system should be assessed together.

**Key words:** Ürümqi; Xishan fault system; neotectonic deformation; deformation mechanism

## 引言

乌鲁木齐西山断层系是指发育在乌鲁木齐市西郊西山块体上的一系列断层。该断层系展布于北天山山前断展褶皱系与博格达推覆构造系的转换部位(邓起东等, 2000), 由 9 条长度几千米至 30 余千米, 运动性质不尽相同的次级断层组成, 包括了狭义上的西山断层、王家沟断层组和九家湾断层组。历史上, 该断层系附近曾有多次中强地震的记载, 如 1863 年乌鲁木齐 5½ 级地震, 1864 年乌鲁木齐 5½ 级地震, 和 1903 年乌鲁木齐 5 级地震等。而且沿断层还发现了明显的古地震形变带(冉勇康等, 2007; 沈军, 宋和平, 2008), 是乌鲁木齐地区一条重要的发震构造带。然而, 长期以来, 由于缺乏对该组断层进行系统的考察研究, 所获得的该断层系的新构造变形特征证据不充分, 导致了一些认识上的模糊, 因而对该断层系构造变形特征与机制等问题一直没有明确的认识, 这在很大程度上影响了人们对本区新构造变形特征和强震发生机制的准确认识和理解。2004—2006 年, 在乌鲁木齐城市活断层探测与地震危险性评价项目中, 通过详细地追踪考察和系列探槽的开挖, 并结合深部探测资料进行了综合分析, 对该断层系的新构造变形特征与机制提出了新的、更明确的认识, 为评价该断层体系的地震危险性问题的奠定了基础。

## 1 西山断层系的新活动特征

乌鲁木齐西郊的西山断层系由 9 条分支断层组成, 全长约 35 km, 分布在南北宽约 7 km 的条带范围内, 总体走向 ENE-NE(图 1)。其中, 王家沟断层组( $F_{1-1}$ ,  $F_{1-2}$ ,  $F_{1-3}$ ,  $F_{1-4}$ )和西山断层( $F_3$ )均为 N 倾的逆断层, 而九家湾断层组( $F_{2-1}$ ,  $F_{2-2}$ ,  $F_{2-3}$ ,  $F_{2-4}$ )则为 NW 倾的正断层。各条断层的新活动特征如下。

### 1.1 王家沟断层组的新活动特征

王家沟断层组西起头屯河东岸, 向东经过王家沟, 截止于苜蓿沟附近, 展布在西山北麓向北缓倾的中更新世洪积砾石台地上, 由 4 条 ENE 向大致平行的次级断层近等间距排列组成, 自北向南各条断层的长度分别为 8.7, 9, 10.8 km 和 12.7 km。该断层组均为 N 倾的逆断层, 断错了中更新统砾石台地及王家沟东岸的Ⅲ级阶地, 地表形成明显的反坡向断层陡坎, 地貌形迹非常清晰。

在王家沟东岸,  $F_{1-1}$  断层断错了河流的Ⅲ级阶地, 地表形成高度为 0.4—1.5 m 的断层陡坎, 探槽开挖揭露出断层为逆冲性质, 断错了全新世早期的断塞塘沉积物(图 2), 属于全新世活动断层. 同时,  $F_{1-2}$  和  $F_{1-3}$  断层也断错了王家沟的Ⅲ级阶地, 具有与  $F_{1-1}$  断层

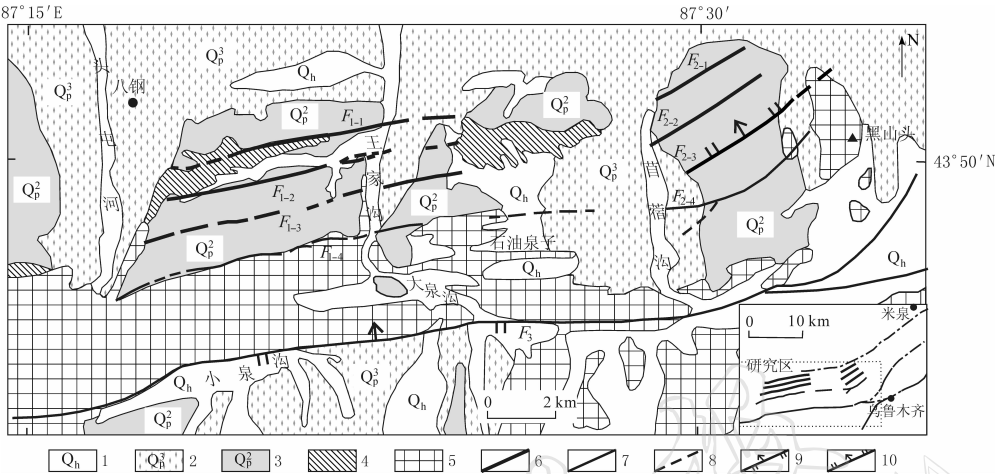


图 1 乌鲁木齐西山断层系地质构造图

1. 全新统; 2. 上更新统; 3. 中更新统; 4. 第三系; 5. 基岩山区; 6. 全新世活动断层;  
7. 晚更新世活动断层; 8. 推断层; 9. 逆断层; 10. 正断层

Fig. 1 Geological structural map of the Xishan fault system in Ürümqi

1. Holocene; 2. Epipleistocene; 3. Middle Pleistocene; 4. Tertiary; 5. bedrock area; 6. active fault of Holocene; 7. active fault of Late Pleistocene; 8. inferred fault; 9. thrust fault; 10. normal fault

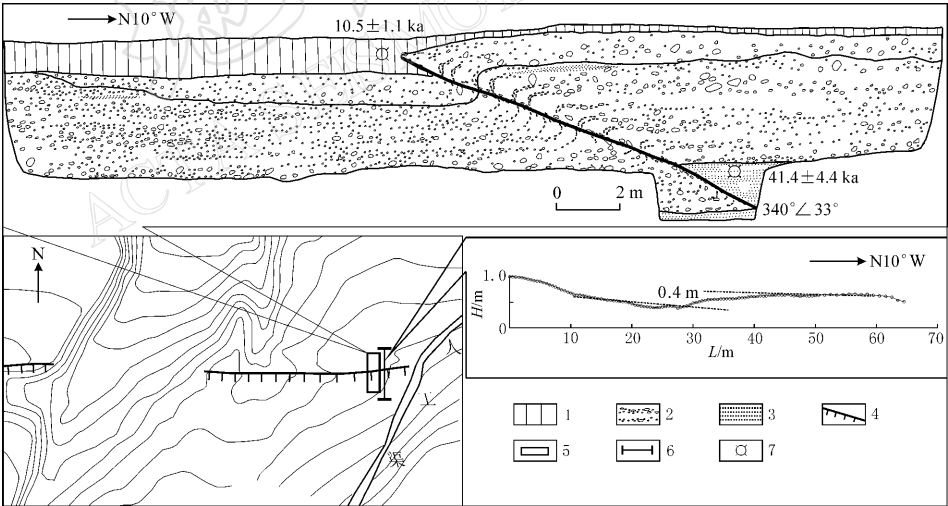


图 2 王家沟东岸Ⅲ阶地上  $F_{1-1}$  断错地貌及探槽剖面

1. 粉土层; 2. 砂砾石层; 3. 细砂层; 4. 断层陡坎; 5. 探槽位置;  
6. 实测陡坎位置; 7. 光释光取样点

Fig. 2 Fault profile of  $F_{1-1}$  on east bank of the Wangjiagou river

1. Silty soil; 2. sandy gravel; 3. fine-sand; 4. fault scarp; 5. trench location;  
6. measuring location of fault scarp; 7. sample site of OSL

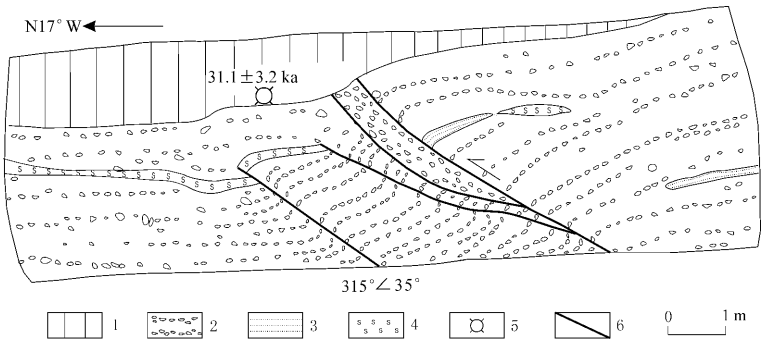


图 3 王家沟东  $F_{1-4}$  断层探槽剖面

1. 粉土层; 2. 砾石层; 3. 细砂层; 4. 石膏; 5. 光释光取样点; 6. 断层

Fig. 3 Fault profile of  $F_{1-4}$  on east bank of the Wangjiagou river

1. Silty soil; 2. sandy gravel; 3. fine-sand; 4. gesso; 5. sample site of OSL; 6. fault

相似的构造地貌现象，探槽开挖和测年结果证实，均属于全新世活动断层。王家沟断层组最南侧的  $F_{1-4}$  断层陡坎较平缓，在王家沟东探槽开挖显示，该断层晚更新世晚期以来活动微弱，未断错光释光年龄距今  $(31.1 \pm 3.2) \text{ka}$  的粉土层(图 3)，属于晚更新世活动断层。

1.2 九家湾断层组的新活动特征

九家湾断层组由 4 条走向 NE、主断面 NW 倾的正断层组成，各条断层近等间距平行排列，自北向南各断层的长度分别为 3.2、4.2、6.8 km 和 4.5 km。该断层组展布于苜蓿沟以东、黑山头以西的中更新世洪积台地上。该断层断错了该地貌面，地貌上形成断层沟槽，构造变形迹象非常清晰。

跨断层开挖的探槽揭露出九家湾断层组由多条倾向相反的正断层组成，剖面上呈“Y”字形不对称地堑形态。地堑南侧的主断层倾向 NW，倾角  $50^\circ-70^\circ$ ；北侧的次级断层倾向 SE，倾角  $50^\circ-60^\circ$ ，两者之间还发育有若干更次一级的正断层。从断层沟槽地貌的新鲜程度对比分析，北侧 3 条断层的地表形迹保留清晰完整，连续性好。测年结果显示，断层断错了光释光年龄距今为  $(8.4 \pm 1.2) \text{ka}$  的地层(图 4)，属于全新世活动断层(沈军，宋和平，2008)。最南侧  $F_{2-4}$  断层的断错地貌仅在航、卫片上有宏观反映。而在实地考察发现，断层变形迹象已经模糊不清，上覆的黄土层基本没有明显的断错迹象。这种现象与王家沟断层组中的  $F_{1-4}$  断层十分相似，判定该条分支断层属于晚更新世活动断层。

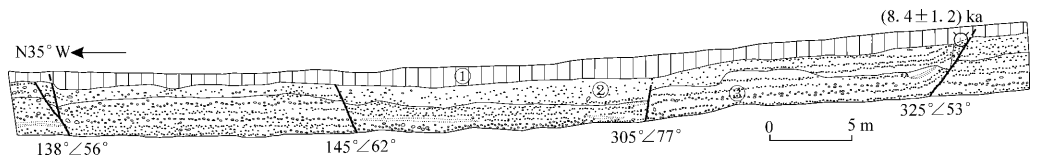


图 4 二宫火车站西  $F_{2-3}$  断层剖面

① 浅黄色表土层; ② 红褐色砂砾石层; ③ 灰色砾石层

Fig. 4 Fault profile of  $F_{2-3}$  in west to the Ergong railway station

① Buff surficial soil; ② rufous sandy gravel; ③ gray sandy gravel

1.3 西山断层的新活动特征

西山断层是西山断隆南边界的主控断层。其西端始于硫磺沟西北永光煤矿附近，向东

经头屯河水库、西山煤矿、建材陶瓷厂、104 团，到耐火材料厂分化为两支：北支走向转为 NE，经烧碱厂、新疆农业大学与碗窑沟断层相连；南支大体平行西山公路向东延伸，止于市电讯台附近. 断层总长约 35 km，断面倾向 N，倾角多在 40°以上，性质以向南的逆冲为主. 该条断层最醒目的地貌标志是中更新统砾石台地被断错形成断崖单斜山岭，两盘落差达百米以上. 在西山四道岔附近开挖的探槽显示，断层仅断错了上更新统的中下部，而上断点被光释光年龄距今 $(37.9 \pm 3.8)$  ka 的地层所覆盖(图 5)，表明该条断层晚更新世晚期以来不再活动.

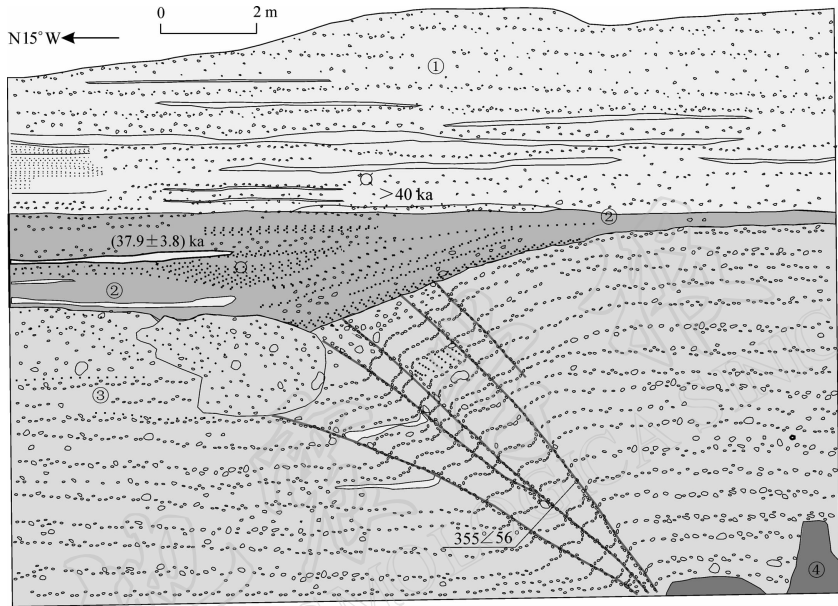


图 5 四道岔附近  $F_3$  断层剖面

① 含土角砾石层；② 崩积楔；③ 卵砾石层；④ 侏罗系煤层

Fig. 5 Fault profile of  $F_3$  near Sidaocha

① Mixed layer of rubble and soil；② colluvial deposit；③ pebble bed；④ coal bed of Jurassic

古地震研究(冉勇康等, 2007)表明, 王家沟断层组和西山断层晚第四纪活动具有分组和组合破裂的特征. 其中,  $F_3$  和  $F_{1-4}$  为一组, 其最晚的地表破裂事件发生在距今约 30 ka 以前; 而  $F_{1-1}-F_{1-3}$  为另一组, 在距今 40 ka 以来发生过 2—3 次事件. 这 3 条分支断层存在同一事件组合破裂的情况. 另外, 根据活断层探测与地震危险性评价项目最新的研究成果, 王家沟断层组与九家湾断层组虽然运动性质不同, 但其反映的古地震事件、震级、时间和复发周期比较接近, 两组断层应该是同时破裂的, 仅是在地表的破裂样式不同(沈军, 宋和平, 2008). 由此分析, 西山断层系中的  $F_{1-4}$ ,  $F_{2-4}$  和  $F_3$  均属于晚更新世活动断层, 为同一时期活动断层, 现今已经不再活动. 其新活动迁移到北侧的各条断层上, 这意味着该断层系的新活动具有向北(盆地方向)迁移的特征.

2 西山断层系的构造变形特征与机制

2.1 构造变形特征

自晚第四纪以来, 乌鲁木齐西部地区在近 NS 向区域构造应力场(高国英, 曲延军,

1998; 张红艳等, 2006; 龙海英等, 2007) 的作用下, 西山块体不断向南侧天山山体方向发展, 总体表现为向南的逆冲滑移和地壳缩短, 而基底的滑脱面则由于受到压缩而产生逆冲和掀斜断块运动, 地貌上形成了明显的 ENE 向断块单斜山地, 即西山断隆。从地表考察来看, 西山断隆主要表现为单斜构造, 构成山体的岩层均向北倾斜, 山体南坡短促陡峭、北坡宽阔平缓, 断层上盘未发现明显的褶皱变形特征。其南侧的主控边界断裂——西山断层的新活动性主要表现为向南的逆冲, 新活动明显。

西山断隆不断掀斜抬升的同时, 其北翼受到持续挤压作用, 在西山断层的北侧形成了一系列次级断层。王家沟断层组就是西山断层北盘掀斜运动所派生出来的逆断层, 是因挤压作用形成的顺层滑动断层(刘保金等, 2007; 沈军等, 2007)。九家湾断层组位于西山块体的东侧端部。该地区是近 EW 向的西山断层系与 NE 向博格达西翼构造系的结合转换部位, 由于两构造体系间运动速率的差异, 在两者的结合部位产生拉张分量, 形成了九家湾断层组。其性质为正断层。

## 2.2 断层活动的起始时间

从西山断层系错断的地层、控制的沉积相和构造地貌状况分析, 其形成年代应是在中更新世之后。沿断层 1:1 万地质地貌填图发现, 虽然该断层系各条分支断层的运动强度和活动时代有所差异, 但都明显断错了中更新统砾石台地, 在西山隆起的南、北两侧, 以中更新统砾石为覆盖层的高台地分布广泛, 至断层附近嘎然消失, 明显被断层隔离。同时, 我们在西山岭脊的低洼地段, 也发现有该套砾石层的分布。因此可以断定, 该断层系是在中更新世山前冲洪积、冰水堆积台地的基础翘升形成的。

西山附近的中更新统砾石台地是在中更新世大东沟冰期(距今 20 万年至 30 万年)的冰川、冰水侵蚀铲平及冰水、冲洪积砾石堆积形成的(乔作山, 1981; 韩淑媵, 叶玮, 1985; 张培震等, 1995)。其分布广泛, 特征明显, 对比性强。我们在乌鲁木齐河东岸测定该套砾石台地的热释光年龄为距今 20 万年左右。这与高存海和刘嘉麒(1990)测得该套砾石层底部的热释光年龄为距今 26 万年是大体一致的。因此更准确地说, 西山断层系是在距今 20 万年至 30 万年以来快速翘升形成的。

## 2.3 构造变形机制

深地震反射叠加剖面清晰地显示了该断层系附近的地下结构和构造图象(图 6)。从图中可以看出, 在西山以南的上地壳沉积层中存在一个向南缓倾的滑脱面( $R_A$ ), 为山前薄皮推覆构造的控制性断裂。该滑脱面在西山附近并没有直接切穿地层出露地表, 而是插入西山块体的底部。来自天山山体向北的推挤作用在此受阻, 在西山块体的前缘地带形成了挤压三角带。该三角带为底部以底板冲断层(滑脱面  $R_A$ ), 顶部以被动顶板冲断层( $F_6$ )为界的冲断楔形体(刘保金等, 2007; 沈军等, 2007)。从地层结构分析, 该处变形最为强烈, 地层发生了严重的褶皱变形, 并发育有低角度的逆断层(如  $F_5$ )和逆冲岩席, 形成叠瓦状堆垛, 地壳显著增厚, 形成了凸起构造和上升推力, 从而使西山断块掀斜隆起, 这也是西山块体新构造运动的主要动力来源。

在来自天山山体不断向北推覆挤压的作用下, 西山块体附近的主压应力场为近 NS 向。这一主压应力方向与西山块体的主断层走向近乎垂直, 其构造变形主要表现为以挤压逆冲为主。因此, 在西山断隆的南缘及北坡发育了一系列的逆冲断裂带, 包括西山断层和王家沟断层组, 它们从南向北呈叠瓦状分布。

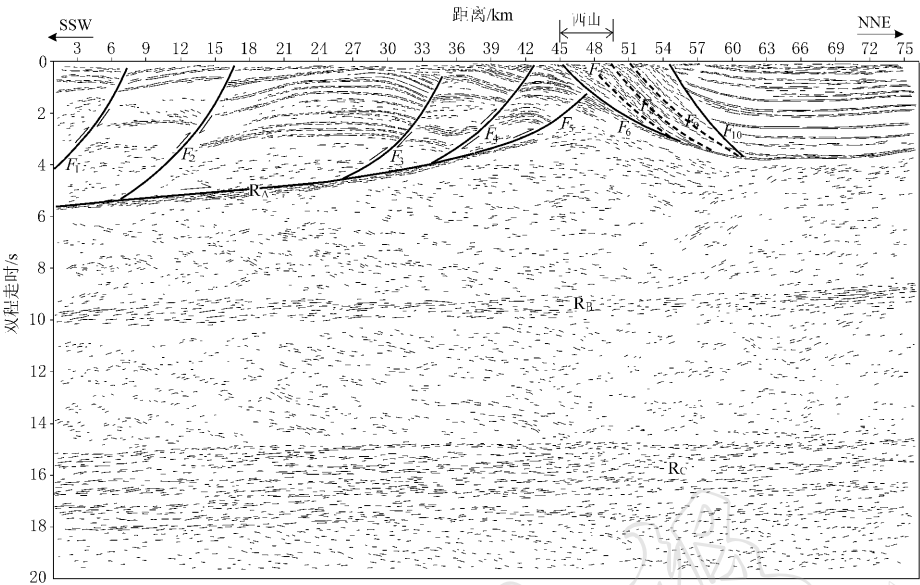


图 6 乌鲁木齐深地震反射探测剖面与断裂解译图(引自沈军等, 2007)

RA: 滑脱面; RB: 上、下地壳分界层; RC: 壳幔过渡带

Fig.6 Explained result of the deep seismic reflection profile in Ürümqi (after Shenjun *et al*, 2007)

RA: Detachment surface; RB: interface between upper and lower crust; RC: transitional belt from crust to mantle

对于九家湾地区发育的正断层组, 我们认为主要是由于不同构造体系间存在运移量的差异, 从而产生局部拉张环境而形成的. 乌鲁木齐地区主要发育有两大构造体现: 东部的博格达弧形推覆构造体系和西部的北天山山前推覆构造体系(沈军等, 2007). 从构造位置上看, 九家湾断层组位于两者的交界转换部位. 由于两个构造体系向北推覆运移的速率不同, 在九家湾地区形成局部的拉张应力, 从而产生了一系列 NE 向的正断层和小型地堑, 即九家湾断层组.

地表调查和深地震反射剖面显示, 西山断隆为典型的单斜构造, 断层上盘的岩层未发生明显的褶皱变形. 西山断隆北坡的王家沟断层组和九家湾断层组均为 N 倾的顺层滑动断层. 在近 NS 向的挤压应力作用下, 西山断隆不断抬升降起, 而断层上盘的地层却未发生明显的褶皱变形. 这很可能是由于西山断层上盘的褶皱变形被上述断层吸收, 转化为断层效应, 以断层错动的形式转化释放所致.

3 结论

晚第四纪以来, 在近 NS 向的挤压应力作用下, 西山块体不断向南侧天山山体方向发展, 总体表现为向南的逆冲滑移和地壳缩短. 而基底的滑脱面则由于受到压缩而产生逆冲和掀斜断块运动, 地貌上形成了明显的 ENE 向断块单斜山地, 即西山断隆. 其南侧的主控边界断裂——西山断层的新活动性主要表现为向南的逆冲.

西山断层北侧的王家沟断层组和九家湾断层组是与西山断层具有成因联系的次级断层. 其中, 王家沟断层组就是西山断层北盘掀斜运动所派生出来的逆断层, 是因挤压作用形成的顺层滑动断层; 而九家湾断层组则受到了博格达推覆体系的影响, 是在局部拉张应

力下形成的正断层. 在南北向的挤压应力作用下, 西山断隆不断抬升隆起, 而断层上盘的地层却未发生褶皱变形. 这很可能是由于西山断层上盘的褶皱变形被上述断层吸收, 转化为断层效应, 以断层错动的形式转化释放所致.

西山断隆北坡的王家沟断层组和九家湾断层组虽然运动性质不同, 但它们都是伴随西山断隆掀斜翘升产生的次生断层, 与西山断层属于同一发震构造体系, 大震的地震危险性应该合并考虑.

## 参 考 文 献

- 邓起东, 冯先岳, 张培震, 徐锡伟, 杨晓平, 彭斯震, 李军. 2000. 天山活动构造[M]. 北京: 地震出版社: 42-48.
- 高存海, 刘嘉麒. 1990. 乌鲁木齐河流域的黄土研究[J]. 第四纪研究, (3): 251-260.
- 高国英, 曲延军. 1998. 乌鲁木齐地区构造应力场与中强地震活动特征延军[J]. 内陆地震, 12(4): 296-303.
- 韩淑妮, 叶玮. 1985. 乌鲁木齐仓房沟晚更新世沉积环境[G]//新疆大学编. 干旱区新疆第四纪研究论文集. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社: 21-23.
- 刘保金, 沈军, 张先康, 陈颢, 方盛明, 宋和平, 鄯少英, 赵成斌. 2007. 深地震反射剖面揭示出的天山北缘乌鲁木齐坳陷地壳结构和构造[J]. 地球物理学报, 50(5): 1464-1472.
- 龙海英, 高国英, 聂晓红, 李莹甄. 2007. 乌鲁木齐地区中小地震震源机制解及构造应力场[J]. 地震, 27(3): 89-96.
- 乔作山. 1981. 乌鲁木齐河头屯河流域第四纪地层概要[G]//新疆第四纪地质及冰川地质论文选集. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社: 176-183.
- 冉勇康, 陈立春, 沈军, 李军, 宫会玲. 2007. 乌鲁木齐西山断裂组与地表破裂型逆断层古地震识别标志[J]. 地震地质, 29(2): 218-235.
- 沈军, 宋和平, 李军. 2007. 乌鲁木齐城市活断层发震构造模型初探[J]. 内陆地震, 21(3): 193-204.
- 沈军, 宋和平. 2008. 乌鲁木齐城市活断层探测与地震危险性评价主要成果简介[J]. 地震地质, 30(1): 273-288.
- 张红艳, 谢富仁, 崔效峰, 杜义, 舒塞兵. 2006. 乌鲁木齐地区活动断层滑动与现代构造应力场[J]. 中国地震, 22(3): 259-268.
- 张培震, 邓起东, 杨晓平, 冯先岳, 彭斯震, 赵瑞斌. 1995. 天山北麓的冰水冲洪积地貌与新构造运动[G]//国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(4). 北京: 地震出版社: 63-78.