

史前古地震的逆断层崩积楔

邓起东 张培震

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 断层崖崩积楔也可用于逆断层古地震研究, 但逆断层崩积楔更复杂. 逆断层崩积楔体亦成三角形, 远离断层崩积楔逐渐尖灭; 崩积楔楔体垂边有时完全与逆断层接触, 有时下段为逆断层, 上段为断层崖崩落后的剥离面; 崩积楔近断层处及下部砾石、块石增多, 砾径增大. 从天山山前活动逆断裂-背斜带中的实例出发, 研究了逆断层崩积楔的特征, 并讨论了其形成过程及其与逆断层的关系. 逆断层断层崖形成后很不稳定, 首先垮落的崩积物堆积于断层崖下及崩积楔底部, 断层崖上部剥离面和早期崩积物顶面共同形成断层崖崖坡, 若后期崩积物物质完全覆盖早期崩积物和剥离面, 则会形成由上部剥离面和下部逆断层共同组成折线状的崩积楔垂边, 若断层崖上段剥离面未被后期崩积物覆盖, 一直处于继续剥蚀过程之中, 则崩积楔的垂边只与逆断层相关. 一个逆断层崩积楔代表了一次断层错动或一次古地震事件, 但逆断层崩积楔的高度常不能真实反映断层垂直错动的幅度.

关键词 逆断层 崩积楔 古地震

在研究活动正断层的古地震时, 崩积楔常是确定古地震事件的有力证据之一^[1~6], 其成因是由于正断层错动形成断层崖, 其后在重力和流水的作用下, 断层崖物质崩落于崖下, 形成三角形崩积楔体, 楔体内堆积杂乱, 近断层一端颗粒粗, 尖灭一端颗粒变细, 常无层理, 有时可见倾斜层理, 楔体内地层常不能与断层上、下盘地层对比, 如果断层快速错动后有较长的稳定时间, 崩积楔上表面常存在风化面, 甚至已土壤化, 形成古土壤层. 由于断层可能经历多次错动, 每一期崩积楔代表一次错动, 通过测定崩积楔上、下地层的年龄, 或崩积层中混杂的化石和树木等的年龄, 甚至测定古土壤层的年龄, 我们可以确定断层错动的年龄及多次错动的重复间隔.

但是, 活动正断层研究的这种经验是否可以在活动逆断层研究中加以应用? 我们在天山活动构造和古地震研究中发现逆断层活动过程中同样可以形成崩积楔, 对它的研究同样可用以分析古地震的存在及其活动历史^[7~9]. 我们在另文中已经就活动逆断裂带中断层活动历史与多期崩积楔的关系进行过一些讨论^[7,9], 本文则希望对活动逆断层崩积楔的形成及其与逆断层的关系进行一些分析.

1 实例

本文列举的实例来自北天山山前活动逆断裂-背斜带, 在北天山山前乌鲁木齐前陆盆地内发育了三排逆断裂-背斜带, 由南向北分别是齐古、霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁和独山子-安集海逆断裂-背斜带, 其中霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁和独山子-安集海逆断裂-背斜带为至今仍在活动的活动逆断裂-背斜带, 在 1906 年玛纳斯 7.7 级地震中还沿前者发生了不连续地表破裂带及地面隆起带^[10]. 该带由霍尔果斯、玛纳斯和吐谷鲁 3 个活动逆断裂-背斜组成, 玛纳斯逆断裂-背斜位于该带中段, 背斜南翼缓北翼陡, 北翼甚至倒转. 在玛纳斯背斜核部和北翼山前地带发育了两条逆断裂, 其中山前逆断裂为晚第四纪以来的活动断裂, 切割玛纳斯河各级阶地

及各级山前冲沟和冲洪积扇, 形成高度不等的断层崖. 经探槽揭露山前逆断裂自距今 15 ka 以来已发生过 4 次 7 级以上地震事件, 其平均重复间隔为 5 ka 左右, 最近一次大地震事件为 1906 年玛纳斯 7.7 级地震^[7,9].

图 1 和 2 为玛纳斯逆断裂-背斜中段二营十一连冲沟沟口山前逆断裂地质剖面 and 照片. 在这一冲沟沟口逆断层切割冲沟 I 级阶地, 形成断层崖, 其垂直位移为 2.9 m, 在地表断层崖下方出露逆断层, 断面南倾, 倾角 40° 左右, 断层上盘的渐新统-中新统沙湾组红色泥岩逆掩于灰褐色全新世冲洪积砂砾石层、砂层和砾石层之上(图 1).

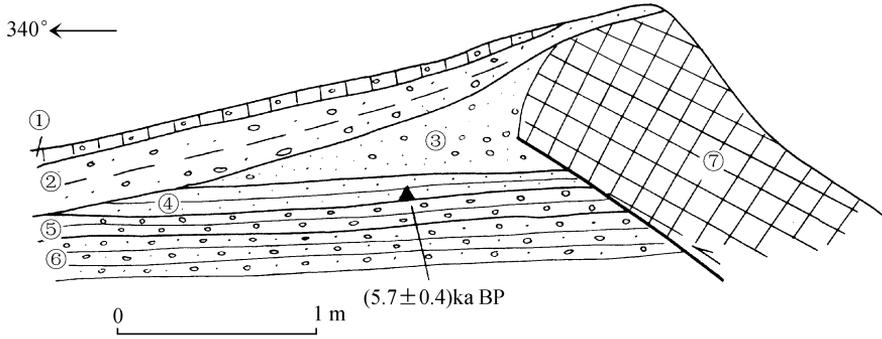


图 1 二营十一连冲沟沟口玛纳斯山前逆断裂断层崖地质剖面
黑三角为热释光采样位置

该剖面上的全新世地层分层及岩性特征如下(图 1):

- ① 浅灰色表土层, 含小砾石, 厚 0.10 m.
- ② 灰褐色含砾粗砂层, 上部砾石较少, 较小, 下部砾石增多, 砾径增大, 最底部为含砂砾石层, 厚 0.1 ~ 0.3 m.
- ③ 灰褐色砂、砾石混杂堆积物组成的三角形楔体, 楔体高 0.6 m, 长 1.8 ~ 1.9 m, 近断层处砾石增多, 砾径增大.
- ④ 灰褐色砂层, 偶含砾石, 热释光 (TL) 年龄为 (5.7 ± 0.4) kaBP, 层厚 0.1 ~ 0.2 m.
- ⑤ 浅灰褐色或灰褐色中粗粒砾石层, 厚 0.1 ~ 0.2 m.
- ⑥ 灰褐色含砂细砾石层, 厚 0.2 ~ 0.3 m.

剖面中层③为一崩积楔, 它形成于层④堆积之后, 层②堆积之前, 层④的 TL 年龄为 (5.7 ± 0.4) kaBP. 值得注意的是, 0.6 m 高的三角形崩积楔的垂边并不成为一条直线, 自上而下可以分为两段, 上段为一段倾向北的、其倾向与断层崖坡向相同的斜面, 倾角为 60 ~ 80° 不等, 上缓下陡, 略成弧形, 它不是一条断层面, 下文中我们将解释它是一条逆断层上盘物质崩落后的剥离面. 下段即为倾向南的断层面, 发育于渐新世-中新世红层(层⑦)与全新世砂砾石层和崩积砂砾石层之间. 显然, 这一崩积楔代表了逆断层的一次错动, 由层④的 TL 年龄可知, 这一次错动事件应发生在 5.7 kaBP 以后. 由于崩积楔被层②所覆盖, 层②为崩积楔形成后的断层崖斜坡堆积, 它并未被逆断层所错断. 所以, 我们似乎可以推测, 此断层的最后一次错动应发生在 5.7 kaBP 以后, 且很接近这一年龄, 因为从这一剖面中断层与地层的关系来看, 断层并未错断层①和层②, 在断层崖上也未发现最新自由面. 本剖面的最后一次断层错动发生在接近 5.7 kaBP.



图 2 二营十一连冲沟沟口玛纳斯山前逆断裂断层崖照片
注意逆断层之上的地表可见断层崖, 镜头指向东

图 3 和 4 是玛纳斯河西岸 II 级阶地上 MTc-2 探槽西壁剖面和照片, 我们已在另文中对这一探槽中的地层及古地震事件作过讨论^[7,9], 在此, 我们只作一些简单的介绍. 本探槽地层自上至下为(图 3):

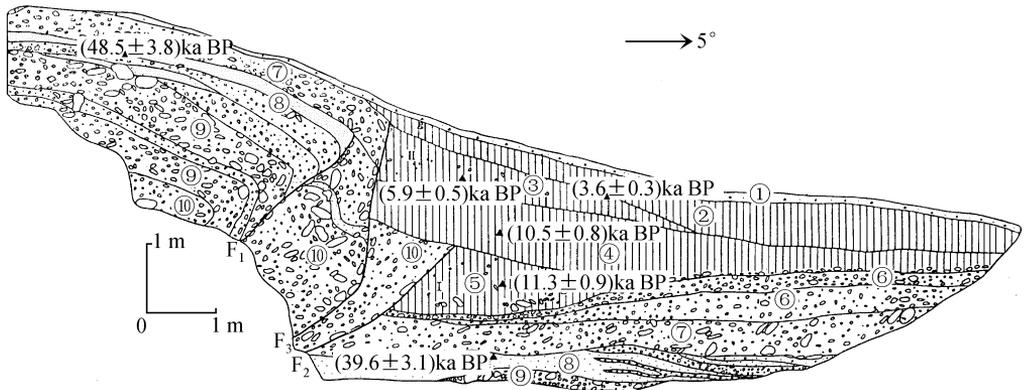


图 3 玛纳斯河西岸 MTc-2 探槽西壁剖面

- ① 浅灰褐色次生黄土夹零星砾石, 厚 0.1 ~ 0.2 m.
- ② 浅灰褐色次生黄土夹少量砾石, 下部 TL 年龄为 (3.6 ± 0.3) kaBP, 层厚 0 ~ 0.7 m.
- ③ 灰黄色次生黄土含砾石, 近断层处砾石增多, 呈三角形, 下部 TL 年龄为 (5.9 ± 0.5) kaBP 近断层处最厚 0.8 ~ 0.9 m.
- ④ 浅灰褐色坚硬次生黄土, 底部有中细砾石组成的底砾, 中部 TL 年龄为 (10.5 ± 0.8) kaBP.
- ⑤ 灰黄色次生黄土夹砾石, 近断层处和底部砾石增多, 增大, 呈三角形, 中部 TL 年龄为 (11.3 ± 0.9) kaBP.

± 0.9) kaBP, 近断层处最厚 1.1 m.

- ⑥ 灰黑色、灰褐色粗砾石层, 磨圆良好, 层厚 0~0.7 m.
- ⑦ 浅灰黑色巨大砾石层, 磨圆良好, 层厚 0.36~1.1 m.
- ⑧ 灰黑色中细砂层, TL 年龄为 (39.6 ± 3.1) kaBP(断层下盘)和 (48.5 ± 3.8) kaBP(断层上盘), 层厚 0.2~0.54 m.
- ⑨ 灰黑色粗大砾石层, 中部有中、细砾石层, 层厚 1.4 m.
- ⑩ 灰褐色中、细粒砾石层, 可见厚 0.4 m.
- ⑪ 灰褐色中、细粒砾石、砂和次生黄土混杂组成的断层带.
- ⑫ 灰黑色中粗粒砾石和砂组成的断层带.

剖面中可见切割不同层位的 3 条断层, 沿断层带均见砾石定向排列, F_1 最早, 产生于层⑧堆积之后, 层⑦堆积之前, F_2 发生于层④和层⑥之间, F_3 形成于层②和层④之间, 由各层的 TL 年龄可以大致确定 3 次断层活动和古地震的年龄. F_1 发育于砂砾石层的内部, F_2 和 F_3 下盘均发育三角形崩积楔, 即层⑤和层③, 由砾石、黄土混杂堆积组成, 近断层处和楔体底部砾石增多、增大是其共同特点. 在本剖面中楔体垂边均为逆断层, 显然, 这一特征与图 1 的崩积楔体是有所区别的.



图 4 玛纳斯河西岸 MTc-2 探槽西壁照片
镜头指向西北

2 逆断层崩积楔的形成过程

我们可以根据上述剖面, 并参考其他逆断层型地震地表破裂、断层崖地质剖面 and 探槽资料, 进一步讨论活动逆断层崩积楔的形成过程(图 5).

逆断层发生错动, 上盘上升, 下盘下降, 地貌面随之被垂直错动, 形成断层崖; 随着断层崖的形成, 上盘将处于临空状态, 所以很不稳定(图 5(a)), 即使断层崖切割的是晚第四纪沉积

物, 由于这种冲洪积物中往往含有钙, 从而也可以形成这种不稳定的断层崖, 但它更不稳定; 由于重力作用, 这种不稳定断层崖上盘物质很快将以碎块形式崩落于临空的断层崖下(C_1), 首先会填满临空的空间, 并对下段断层崖起保护作用, 这时的崩积物大小混杂, 且有较多的大块物质或块石(图 5(b)); 上盘悬空的断层崖崩落后形成与崩积楔上表面同倾向的剥离面, 剥离面与早期崩积楔(C_1)顶面共同组成断层崖坡, 此断层崖的坡向与逆断层倾向相反(图 5(b)); 此后, 在风化和地表水片流作用下, 崩积楔继续发育(C_2), 它们与早期崩积物之间一般没有明显的沉积间断, 但沉积物颗粒相对较细, 有时可能有不甚明显的层理, 此时可能有两种情况, 一种情况是后期崩积物(C_2)完全覆盖在早期崩积物(C_1)和剥离面之上, 这时崩积楔垂边即为折线状, 由上段剥离面和下段断面共同组成(图 5(c)), 然后, 崩积楔之上可能堆积断层崖崖坡堆积物(S), 崩积楔被埋藏(图 5(d)); 另一种情况是早期崩积物(C_1)之上虽然覆盖有后期崩积物(C_2), 但上段剥离面并未被后期崩积物所覆盖, 仍处在不断剥蚀过程之中, 则崩积楔垂边只以逆断层为界(图 5(e)), 当然, 崩积期后的断层崖崖坡堆积(S)也可以埋藏这一三角形崩积楔, 如图 5(f)所示. 前述图 1 所示的二营十一连沟沟口崩积楔具有图 5(c)和(d)的特征, 而图 3 中 MTc-2 探槽中的崩积楔则与图 5(e)和(f)的情况类似.

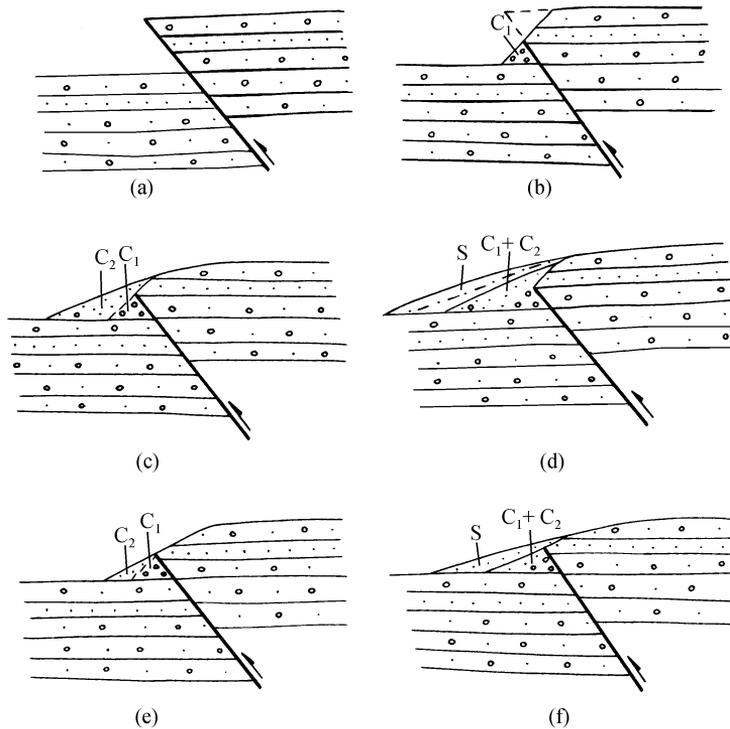


图 5 活动逆断层崩积楔的形成模式

(a) 断层错动和断层崖形成; (b) 断层崖物质的崩落; (c) 崩积楔的形成 (I); (d) 崩积期后堆积; 崩积楔的被埋藏 (I); (e) 崩积楔的形成 (II); (f) 崩积期后堆积, 崩积楔的被埋藏 (II). C_1 为早期崩积物, C_2 为后期崩积物, S 为断层崖崖坡堆积

3 认识

综上所述, 逆断层崩积楔既有与正断层崩积楔类似的特征, 但它们与断层可能有更复杂

的关系. 它们同样可以用来研究断层活动历史和古地震, 一个崩积楔仍然代表了一次断层错动或一次古地震事件, 但逆断层崩积楔的高度常不能真实反应断层垂直错动的幅度.

此外, 逆断裂带常有复杂的结构, 带内常有多条断层面先后发生错动, 一般断裂带内的多条断层面有前展式和后退式两种发展形式, 关于在不同情况下断层多次活动与多期崩积楔的相互关系我们已在另文中进行过讨论^[3], 本文不再重复.

致谢 感谢北天山活动断裂研究组同事们的支持. 特别感谢冯先岳、徐锡伟、杨晓平、彭斯震、李军和赵瑞斌, 他们大多参加了本文涉及的野外工作. 本工作部分受到国家重大基础研究发展规划项目(G1998040701)资助.

参 考 文 献

- 1 Wallace R E. Profiles and ages of young fault scarps. *Geol Soc Am Bull*, 1977, 88(9): 1267 ~ 1281
- 2 Wallace R E. Patterns and timing of late Quaternary faulting in the Great Basin Province and relation to some regional tectonic features. *J Geophys Res*, 1984, 89(B7): 5763 ~ 5769
- 3 Schwartz D P, Coppersmith K J. Fault behavior and characteristic earthquake: example from the Wasatch and Andreas Fault zones. *J Geophys Res*, 1984, 89(B7): 5681 ~ 5698
- 4 邓起东, 汪一鹏, 廖玉华, 等. 断层崖崩积楔及贺兰山山前断裂全新世活动历史. *科学通报*, 1984, 29(9): 557 ~ 560
- 5 Crone A J. Introduction to directions in paleoseismology. *USGS Open File Report*, 1987, 87-683: 1 ~ 5
- 6 Yeats R S, Prentice C S. Introduction to special section: paleoseismology. *J Geophys Res*, 1996, 101(B3): 5847 ~ 5853
- 7 Deng Q D, Feng X Y, Zhang P Z, et al. Paleoseimology in the northern piedmont of Tianshan mountain, northwestern China. *J Geophys Res*, 1996, 101(B3): 5895 ~ 5920
- 8 邓起东, 冯先岳, 杨晓平, 等. 新疆独山子-安集海活动逆断裂带晚第四纪活动特征及古地震. *活动断裂研究*, 1991(1): 37 ~ 56
- 9 邓起东, 冯先岳, 杨晓平, 等. 利用大型探槽研究新疆北天山玛纳斯和吐谷鲁逆断裂-褶皱带全新世古地震. *活动断裂研究*, 1993, (3): 1 ~ 17
- 10 张培震, 邓起东, 徐锡伟, 等. 盲断裂、褶皱地震与1906年玛纳斯地震. *地震地质*, 1994, 16(3): 193 ~ 204

(1999-11-09 收稿, 2000-01-10 收修改稿)