

文章编号: 1006-6616 (2008) 03-0201-11

祁连山中段门源盆地新构造运动的阶段划分

马保起¹, 李德文²

(1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085;

2. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要: 门源盆地是祁连山中段的山间盆地, 南北边缘均为断裂控制, 发育古近系白杨河组、第四纪冰碛物和冰水堆积物。地层变形、地貌发育和断裂活动分期的差异显示新生代以来门源盆地经历了 4 个构造运动阶段。新生代最早的构造运动开始于渐新世中期 (约 30MaB. P.), I 级夷平面解体, 盆地断陷形成并接收了白杨河组砂砾石沉积。第二阶段始于渐新世末期—中新世初 (约 23MaB. P.), 盆地结束了沉降过程, 白杨河组褶皱变形, 这一过程持续至中更新世初期。第三阶段始于中更新世中期 (约 460ka B. P.), 新的边界断裂形成, 盆地再次断陷, 堆积了厚度大于 400m 的冰碛或冰水堆积物, 边缘断裂强烈活动, 这一过程持续到晚更新世晚期 (约 30ka B. P.)。最新阶段始于 30ka B. P., 盆地和两侧的山地整体抬升, 盆地面由此前的加积过程转变为侵蚀切割过程, 北缘断裂的活动由含走滑分量的逆冲性质转变为走滑性质, 但走滑速率明显降低。

关键词: 门源盆地; 构造变形; 断裂活动分期; 新构造运动阶段

中图分类号: P546

文献标识码: A

0 引言

青藏高原的隆升是新生代地球演化的重大地质事件, 对周边环境产生了重大影响^[1~6], 其隆升过程是地球科学研究的重要内容, 国内外学者进行了大量的研究^[7~14], 但目前对高原隆升的时代和隆升高度仍存在较大分歧。作为高原的东北边缘, 祁连山的隆升过程受到了众多研究者的关注, 其隆升过程在一定程度上记录了青藏高原的上升过程。前人的研究多集中在北麓地貌演化及走廊盆地的构造活动上^[8, 11, 14~19], 而对祁连山内的断裂活动和盆地构造演化过程涉及较少, 仅对祁连山内的少数活动断裂进行过晚第四纪以来活动性的研究^[19~21], 且对断裂活动与新构造演化阶段的关系讨论不多。

门源盆地是祁连山内部的一个断陷盆地, 其构造沉降与祁连山隆升相辅相承, 盆地中的新生代堆积物记录了祁连山的构造隆升过程。前人对门源盆地的研究多偏重于盆地及其两侧山地的冰川地貌, 对冰期进行了较为详细的划分, 各期冰碛物和冰水堆积物具有了较为确切

收稿日期: 2008-02-22

作者简介: 马保起 (1965-), 男, 研究员, 地貌学与第四纪地质学专业, 主要从事地貌学与活动构造研究。mabq1965

@yahoo.com.cn

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

的年代约束^[22~28]，而对盆地的新构造演化、第四纪断裂活动、盆地的构造演化与祁连山的隆升过程的关系等方面的研究尚属空白。本文以门源盆地中的新生代地层为基础，运用地层不整合、地貌面发育和断裂活动分期综合分析的方法，区分出分布范围较大、具有一定的普遍性和强度，对地貌的发育和地形形态产生很大影响，在地层划分上和断裂活动上有一定意义的构造事件，作为一个构造运动阶段^[15]，共区分出4个构造运动阶段。

1 门源盆地的基本特征

门源盆地是青藏高原东北缘祁连山中段的山间断陷盆地。其南侧大坂山峰顶 4000 ~ 4100m，北侧冷龙岭山峰多在 4700m 以上。盆地呈典型山间盆地地貌景观（图 1）。盆地自北西向南东掀斜，海拔 2900 ~ 3200m，大通河从盆地南缘由西向东流过，北侧的支流老虎沟、白水河等均发源于冷龙岭的现代冰川，与大通河呈近直角相交。盆地南北两侧均受逆走滑断裂控制，断层活动而形成的盆岭间高差达 1100 ~ 1500m，显示新生代以来边缘断裂强烈的垂直差异运动。

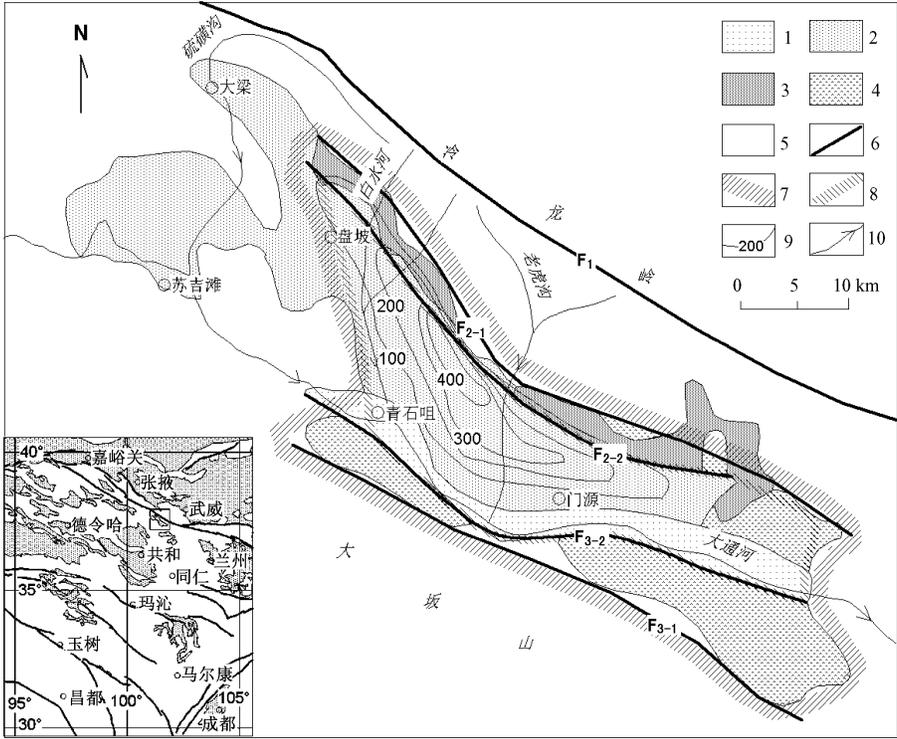


图 1 门源盆地新构造图

Fig 1 Neotectonic map of the Menyuan Basin

- 1. 全新统; 2. 上更新统; 3. 中更新统; 4. 渐新统 5. 前新生界; 6. 断裂; 7. 古近纪盆地边界; 8. 第四纪盆地边界;
- 9. 第四系等厚线/m^①; 10. 水系。断裂名称: F₁, 冷龙岭断裂; F₂₋₁, F₂₋₂, 北缘断裂; F₃₋₁, F₃₋₂, 南缘断裂

盆地中出露的新生代地层为古近系渐新统白杨河组和第四系中更新统、上更新统和全新统，古新统、始新统、中新统、上新统、下更新统缺失。白杨河组分布于盆地的南北两侧，

① 中国人民解放军建字 722 部队，门源盆地 J-47-24、J-47-30 1/20 万水文地质普查报告，1976

第四系分布于盆地中央和山地河谷中, 盆地中的最大厚度超过 400m, 沉积中心靠近北缘断裂(图 1), 下伏地层为古近系白杨河组。从冷龙岭山前到大通河谷地可划分为 3 个地貌带: 山麓古冰碛垄岗状高台地、山前古冰碛—冰水倾斜平原和大通河谷冲积平原(图 2)。

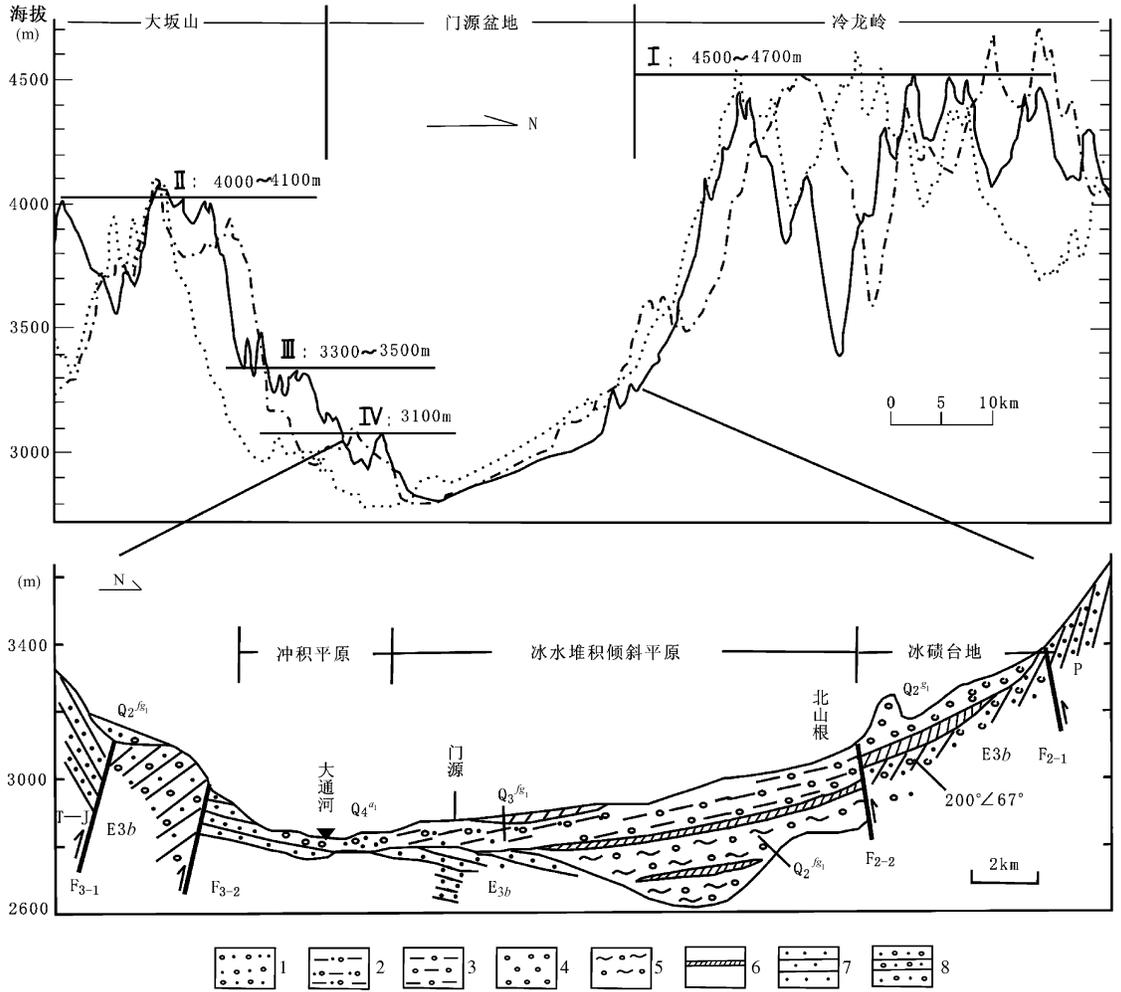


图 2 研究区地质地貌剖面图

Fig 2 Geological and geomorphological section of the study area

1. 砂卵石; 2. 砂泥砾石; 3. 淤泥夹卵石; 4. 砂岩夹泥岩;
5. 含泥砂卵石; 6. 泥砾岩; 7. 砂质粘土; 8. 砂砾岩

山麓古冰碛垄岗状台地: 分布于盆地北部冷龙岭山麓地带, 由倒数第二次冰期巨大的漂砾、冰砾土和泥砾层组成。由于受盆地北缘断裂活动的影响, 古冰碛台地抬升遭受切割而成垄岗状, 高出盆地平原面 30~50m, 门源以北高达 120~160m, 在岗丘之间残存有冰川湖遗迹。在基岩山地前的垄岗状高台地面上发育有洪积扇, 但面积很小。

山前古冰碛—冰水倾斜平原: 是门源盆地分布面积最大的地貌单元, 组成大通河谷和冷龙岭山前之间的倾斜平原, 地面平坦, 微向南东倾斜。构成该平原的物质主要为冰砾土、泥砾和冰水砾石, 表面覆盖有厚 0.5~2.5m 的灰黄色粉砂粘土。青石嘴—土墩湾出露厚度 40m 的剖面, 由下而上的热释光年龄为 62.2ka B.P., 40.1ka B.P., 35.3ka B.P. 和 26.8ka

B. P.^[29], 盆地表面的年龄大约为 30ka B. P. 左右。据钻孔资料, 盆地中最老的第四纪堆积物为本区最老的冰期的冰水堆积物^①, 与老虎沟沟口高、中、低冰碛台地中的高冰碛台地相对应^[1]。祁连山区最老的冰期为中梁赣冰期, 冰碛物的 ESR 年龄为 462ka B. P.^[25~26]。老虎沟沟口的中冰碛台地形成于倒数第二次冰期, 推测高冰碛台地与盆地中的最老的冰水堆积物应属于中梁赣冰期。盆地面被老虎沟、白水河等河流切割成条带状的冲洪积平原, 与大通河呈近直角相交。

大通河冲积平原: 呈狭长带状分布于盆地南部的大通河谷地中, 宽度一般为 500 ~ 1500m, 最宽约 3000m, 坡降较小, 组成物质下部为冲洪积砂砾石, 上部为厚约 1m 的粉砂粘土层。大通河现代河谷两岸断续发育 3~4 级阶地。

盆地南北边缘出露的古近系是一套紫红、暗紫色砾岩、砂砾岩及砂质泥岩夹泥灰岩, 厚度 950m。据钻孔资料, 盆地中第四系与古近系之间为角度不整合接触。1991 年出版的《青海省区域地质志》中把这套地层定为白杨河组, 时代置于中新世。近年来对邻近的酒西盆地和酒东盆地中古近系磁性地层的划分与对比表明白杨河组形成于渐新世, 酒西盆地中的时代为 24.5 ~ 29.5MaB. P., 酒东盆地中为 24.6 ~ 31.6MaB. P., 最大时代跨度为 24.5 ~ 31.6MaB. P.^[30]。相应地门源盆地白杨河组的时代定为 24.5 ~ 31.6MaB. P., 为渐新世晚期。白杨河组与基岩均呈断裂接触, 分布范围完全受边界断裂的控制, 表明其为受边界断裂活动控制的同生堆积物。

2 新构造运动的表现

2.1 古近系构造变形

白杨河组经历了强烈的构造变形, 在盆地边缘被断层错断, 垂直断距超过 200m (图 2)。多处发生地层大角度倾斜和褶皱变形 (图 3), 大通河南白杨河组的产状为 $300^\circ \angle 18 \sim 20^\circ$, 盆地北缘老虎沟口处倾角高达 $60 \sim 80^\circ$, 青石咀附近为 $120^\circ \angle 16^\circ$, 呈拱曲隆起形态; 在石门子河西见有倒转背斜。褶皱和大角度倾斜等构造现象在第四系中不发育。在第四纪之前白杨河组经历了两个构造运动阶段: 第一阶段为白杨河组的沉积阶段, 发生在渐新世, 盆地断陷沉积了 950m 厚的红色砂砾岩, 第二阶段为白杨河组的褶皱变形阶段, 发生在白杨河组堆积之后的新近纪。

2.2 地貌面及其变形

研究区存在多级不同类型的地貌面, 包括 3~4 级夷平面、3 级冰碛台地面和 3 级晚第四纪河流阶地。这些地貌面在不同地貌单元具有不同的高度, 是区域新构造运动的重要表征。

2.2.1 夷平面

盆地两侧的冷龙岭和大坂山发育 3 级夷平面 (图 2)。I 级夷平面海拔为 4500 ~ 4700m, 高出门源盆地面 1400 ~ 1600m。II 级夷平面的海拔为 4000 ~ 4100m。III 级夷平面的海拔为 3300 ~ 3500m, 夷平程度较低。上述 3 级夷平面所夷平的地层均为前新生代基岩。根据区域对比, I 级夷平面形成于新近纪初期, 在渐新世初期的构造运动中解体; II 级形成于中新世 ~ 上新世, 在上新世末期的构造运动中解体^[31]。IV 级夷平面海拔为 3100m 左右, 夷平的地层为渐新统白杨河组, 其上零星的分布有中梁赣冰期的冰川或冰水堆积物, 其后隆升遭受剥

① 中国人民解放军 00926 部队, 祁连山中段南坡大通河黑河流域第四纪冰期研究, 1978。

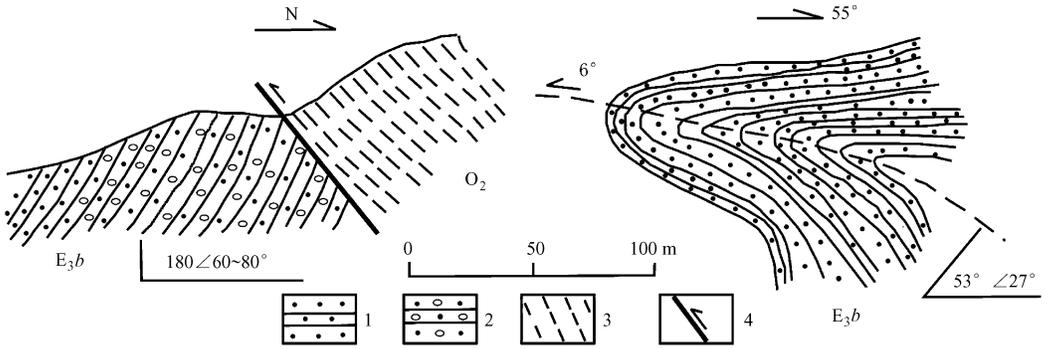


图 3 白杨河组构造变形

Fig. 3 Tectonic deformation of the Baiyanghe Formation

1. 砂岩; 2. 砂砾岩; 3. 千枚岩; 4. 断裂

蚀。

2.2.2 冰碛台地

祁连山在更新世至少存在 3 次冰期，并留下了相应的冰川遗迹。老虎沟发源于冷龙岭上的现代冰川，沟口西侧的山坡上保存有 3 级冰碛平台（图 4），低、中、高平台分别高出现代谷底 90m、200m 和 420m，每个平台又由 2~3 个高差 15m 左右的小台阶组成。平台上的岩块形状为次棱角~次圆，砾径大者为 30~120cm，岩块的掩埋和风化程度从上向下逐渐减弱。低平台形成于末次冰期，白水河谷口保存有该次冰期形态完整的终碛，为两次冰川作用所形成的一推挤垄，前部的 ESR 年龄为 73~55ka B. P.，后部的 ESR 年龄为 36.7ka B. P.^[25]、¹⁴C 年龄为 37.38ka B. P.^[22]。中平台形成于倒数第二次冰期，年龄大约是 150ka B. P. 之前^[22]。高平台是本区最老的冰川遗迹，与祁连山地区最老的冰期—摆浪河谷地的中梁赣冰期相对应，其冰碛物的 ESR 年龄为 460ka B. P.^[25-27]。距谷底 15~25m 有 1 级冰水阶地，沿老虎沟断续分布，在北缘断裂两侧拔河高度大致均为 20m 左右，进入盆地后拔河高度逐渐降低，在盆地中部和盆地面相接。笔者在岗龙沟沟口和老虎沟沟口该套冰水堆积物的上部采到两个热释光测年样品，地壳应力研究所新年代实验室测得的结果分别为 26.6±2.3ka B. P. 和 22.2±1.9ka B. P.，与盆地面的冰水堆积平原的年龄基本相同。

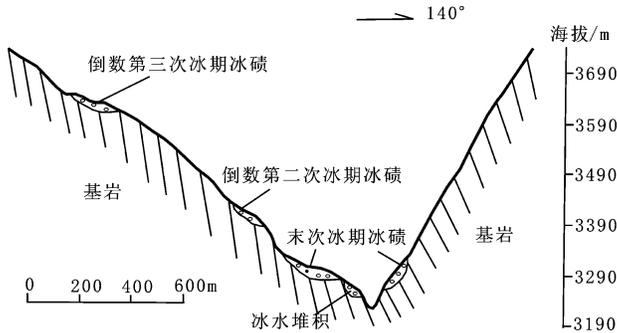


图 4 老虎沟沟口地质地貌剖面

Fig. 4 Geological and geomorphological section at the mouth of the Laohu gully

上述三期冰碛物均位于北缘断裂以北,与断裂南侧盆地中的同期堆积物的高差至少是90m、200m、420m,短距离内同期堆积物如此大的高差反映了冷龙岭与盆地之间较大幅度的垂直差异运动。

2.2.3 河流阶地

大通河在门源盆地及其附近发育三级晚第四纪阶地。作为黄河的二级支流,各级阶地的时代和结构理应可以同湟水和黄河的阶地进行对比。第一级在盆地区为堆积阶地,高5~8m;在石头峡为基座阶地,高8~10m。青石咀西坑滩第一级阶地上覆古土壤采¹⁴C测年样品,年龄为5.87ka B. P.^①。冷龙岭山前洪积扇扇面和该级阶地是同期地貌面,老虎沟西侧沟洪积扇面上覆粘土的热释光测试年龄为7.57ka B. P.^①,阶地面停止漫滩堆积的时代应稍老,推测形成于全新世早期。第二级阶地在石头峡为基座阶地,高25~35m。青石咀以东,南岸第二级阶地均属假阶地,高12~20m,多为大坂山北坡小支流的冰水堆积物;北岸的门源盆地地面与第二级阶地是同期的地貌面,高10~25m。盆地地面的年龄为30ka B. P.^①;第二级阶地形成于晚更新世晚期,约30ka B. P.^①。第三级阶地为基座阶地,在石头峡及其以西拔河高70~80m,与老虎沟沟口的末次冰期冰碛物的拔河高度相近,应为同时代的堆积物;盆地南缘高37~45m。从3级阶地的结构和高差分析,尽管阶地的形成有气候变化因素的影响,但构造抬升引起的河流下切是河流阶地形成的主导因素,每级阶地反映了一次构造隆起。

从地貌面的分布及其变形可以识别出下列构造运动:渐新世初期和上新世末期的2次构造运动使得I级和II级夷平面隆起和遭受剥蚀而解体。中更新世早期的构造运动导致了门源第四纪盆地的形成、接受中更新世以后的沉积物。中更新世末期~晚更新世早期的构造运动使得倒数第二次冰期的冰碛物被抬升。晚更新世中期的构造运动形成了第三级阶地和末次冰期堆积物的抬升。晚更新世晚期的构造运动造成了盆地地面与周围山地的整体抬升和第二级阶地的形成。全新世早期的构造运动形成了第一级河流阶地。

2.3 断裂活动

2.3.1 冷龙岭断裂

冷龙岭断裂沿冷龙岭山脊展布(图1),全长约160km,由多条长度不等断层呈左阶状组合而成,断层端部发育左阶拉分凹地。断裂总体走向300°,倾向NE,倾角50~60°。根据断裂的几何特征、断错地貌及最新活动时间等,将断裂划分为东、中、西等3段^[21]。第四纪断裂活动以左旋走滑为主,具有多期活动的特点^[21]。中段和西端的最新活动时代为晚更新世晚期,全新世以来未见断错地表的的活动,东段全新世活动明显^[21]。中更新世700ka B. P.以来断裂的左旋走滑速率为2.14~4.64mm/a;晚更新世74ka B. P.以来速率为2.43~3.78mm/a,27.8ka B. P.以来速率为3.38~4.21mm/a;断裂东段全新世早期12ka B. P.以来速率为3.35~5.0mm/a^[21]。

2.3.2 门源盆地北缘断裂

门源盆地北缘断裂是门源盆地与北侧冷龙岭山地的边界断裂,长约40km,总体走向北西西,倾向北东,倾角65~80°。该断裂由两条近于平行的断层(图1中F₂₁、F₂₂)组成,其中F₂₁为前新生界逆冲到渐新统白杨河组之上(图2),局部地段为第四纪冰碛物和冲洪积物所覆盖,是冷龙岭山地和古近纪盆地的边界断裂;F₂₂为白杨河组与第四系之间的边界或者断错在第四系之中,是盆地内部山前冰碛台地与冰水平原的边界断裂。在老虎沟口出露的

①. 中国地震局地壳应力研究所新年代实验室测定。

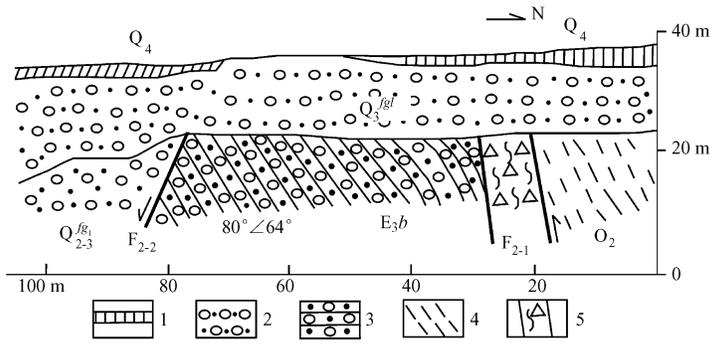


图5 老虎沟口盆地北缘断裂剖面

Fig. 5 Section of the fault at the northern margin of the Laohugoukou basin

- 1 现代土壤; 2 冰水堆积砂砾层; 3 紫红色砂砾岩;
4 千枚岩; 5 断层破碎带

剖面上见两条相距40m的断层(图5), 北侧断层 F_{2-1} 为前新生界奥陶系逆冲到白杨河组之上, 上覆晚更新世晚期的冰水堆积物(T_2); 南侧断层 F_{2-2} 断错在白杨河组和第四纪冰碛物之间。

断裂两侧地貌差异明显, 同期地貌面高差及同时代地层落差可以反映出断层垂直差异运动幅度。在门源县城北的冷龙岭山前, 倒数第二次冰期的冰碛物被抬升高出盆地面120~160m, 部分是断裂垂直断错的结果。断裂北侧的老虎沟沟口附近末次冰期、倒数第二次冰期和中梁赣冰期的冰碛台地高出现代河谷90m、200m和420m(图4), 门源北部钻孔资料揭示同期的冰碛或冰水堆积物埋藏在盆地中, 地层落差大于100m、200m和400m, 是北缘断裂活动的结果。冰水阶地 T_2 拔河高20m, 断裂两侧连续分布而未见垂直断错, 30ka B. P. 以来断裂垂直差异活动不明显。冰碛台地和冰水阶地反映了断裂的三个活动阶段, 台地面的年龄以70ka B. P.、150ka B. P.、460ka B. P. 计, 冰水阶地以30ka B. P. 计, 在不同活动阶段冷龙岭相对门源盆地的抬升速率分别是: 460~150ka B. P. 为 0.7mm/a 、150~70ka B. P. 为 1.3mm/a 和70~30ka B. P. 为 1.5mm/a , 从460ka B. P. 始到30ka B. P. 止, 抬升速率有逐渐加速的趋势, 之后, 相对抬升终止。

盆地北缘断裂除垂直差异活动外, 还存在左旋走滑分量。我们在老虎沟口和白水河之间实测了部分冲沟、阶地及山脊位移量, 位移量分为3组, 分别为250~300m、27~35m、7~10m, 对应的断错地貌体的年龄分别为晚更新世早中期(75.9ka B. P.)、晚更新世晚期(26ka B. P.)和全新世早期(10ka B. P.), 相应的走滑速率分别为 3.8mm/a 、 1.0mm/a 和 0.8mm/a ^①。晚更新世晚期以来断裂的走滑活动仍在继续, 但滑动速率仅为此前的 $1/4$, 显著降低。

上述断错地层和地貌显示, 新生代以来北缘断裂至少经历过三个不同的活动阶段, 第一阶段为白杨河组的堆积和前新生代地层逆冲其上, 断裂活动以逆冲为主; 第二阶段为中梁赣冰期、倒数第二次冰期和末次冰期的冰碛物被垂直断错, 山脊和冲沟被走滑断错, 断裂活动以垂直活动为主, 含左旋走滑分量; 第三阶段为晚更新世晚期的冰水堆积物和全新世的冲洪积物被左旋走滑断错, 垂直断错不明显, 断裂活动性质以左旋走滑为主, 垂直活动不明显。

① 中国地震局地壳应力研究所, 青海省石头峡水库堤坝地壳安全性评价报告, 1999

3 门源盆地的新构造运动阶段

综合分析门源盆地及其邻区的地层变形、地貌发育和断裂活动分期认为, 新生代以来门源盆地至少经历了四个不同的构造运动阶段, 各阶段的基本特征如下。

(1) 门源盆地新生代的构造运动开始于渐新世中期 (30MaB. P.) 前后, 盆地边界断裂 (图 2 中 F_{2-1} 、 F_{3-1}) 的活动导致了古近纪门源盆地断陷形成, 接受了厚度不小于 950m 的白杨河组红色砂砾石沉积, 沉积速率不小于 $130 \sim 140\text{mm/ka}$, 同时 I 级夷平面解体。这次构造运动在酒泉盆地表现为白杨河组与下伏的火烧沟组之间轻微的角度不整合^[30], 盆地的性质由走滑阶段转变为前陆逆冲阶段^[13]。白杨河组的重矿物成熟度低, 堆积时的构造活动强烈, 可能对应着北祁连山开始隆升^[14]。

(2) 始于渐新世末期~中新世初 (23MaB. P.) 的构造运动结束了古近纪盆地沉降接受沉积的过程, 白杨河组红色砂砾石褶皱变形。这次构造运动在酒泉盆地表现为新近系与古近系之间的角度不整合或假整合, 并存在长达 2 1Ma 时间段的沉积间断^[30]。

门源盆地中中新统、上新统和下更新统缺失, 表明这一时期盆地整体处于隆起、遭受剥蚀, 盆地边缘断裂活动微弱, 没有形成明显的盆岭差异。这一过程持续至中更新世初期。

(3) 门源盆地有记录的第四纪构造演化始于中更新世中期 (460ka B. P.), 新的边界断裂 F_{2-2} 和 F_{3-2} 形成, 盆地断陷接收堆积, 这一过程持续到晚更新世晚期 (30ka B. P.)。盆地堆积了厚度大于 400m 的冰碛或冰水堆积物, 同时, 边缘断裂强烈活动, 白杨河组遭受了普遍的断错, 一部分抬升成为盆地边缘的低山丘陵, 另一部分成为门源第四纪盆地的基底。断裂活动以垂直差异运动为主, 兼有部分走滑分量, 垂直断距超过 400m。根据断错层状地貌的年龄, 这一阶段又可以划分为三个次级阶段。

① 第一阶段始于 460ka B. P., 以中梁赭冰期的冰碛台地抬升和断错为标志, 冷龙岭相对门源盆地的抬升速率约为 0.7mm/a 。邻近地区同时代的构造事件有: 祁连山西段的构造事件 V (可能在 500~400ka B. P.)^[15]。祁连山北麓河流阶地显示, 450~150ka B. P. 为构造强烈活动阶段^[17]。祁连山东段沙沟河 T4 阶地 (418ka B. P.) 代表的祁连山的一次强烈隆升^[11]。

② 第二阶段始于 150ka B. P., 以倒数第二次冰期的冰碛台地的抬升和断错为标志。盆地北缘该期冰碛物被北缘断裂断错, 与盆地地面间高差 120m 以上; 冷龙岭相对门源盆地的抬升速率为 1.3mm/a 。这次构造运动与“共和运动”同期^[1], 酒泉砾石层在约 140ka B. P. 结束, 并遭受部分变形、剥蚀和河流切割^[8]。这次构造运动造成了祁连山及其邻近地区河流的广泛下切和阶地的形成, 如西宁一带湟水的 T3 阶地^[7]、沙沟河的 T₂ 阶段^[11]; 这次构造运动是祁连山北麓地貌演化的一个新阶段的开始, 盆地边缘的洪积扇由堆积区转变为侵蚀区并在其上发育阶地^[17]。

③ 第三阶段始于 70ka B. P., 止于 30ka B. P., 以末次冰期的冰碛物抬升、断错为代表, 冷龙岭相对盆地地面的抬升速率为 1.5mm/a , 冲沟和冰碛物被走滑断错 250~300m, 冷龙岭断裂同时活动。这次构造运动在邻近地区有所表现, 湟水发育同时代的 T₂ 阶地^[7], 祁连山北麓的部分河流发育同时代的阶地^[18]。

(4) 门源盆地的最新构造运动始于 30ka B. P., 盆岭间的相对差异升降运动转变为盆岭整体隆起运动。这次构造运动极大的改变了盆地原来的地貌环境, 盆地地面由以前的加积过程转变为侵蚀切割过程, 北缘断裂的活动也由逆冲走滑性质转变为走滑性质, 但滑动速率明显

降低。根据地貌发育和断裂活动的差异, 这次构造运动可以进一步划分为晚更新世晚期(30ka B. P. 以来)和全新世早期以来两个次级运动阶段。

晚更新世晚期的构造阶段表现为北缘断裂的走滑活动、冷龙岭断裂的走滑活动等。在这次构造运动阶段中, 祁连山北麓的河流发育 T₂ 阶地^[18], 所代表的垂直抬升速率发生了变化^[16~17]; 嘉峪关断裂表现为三次断错地表的活^[32]; 祁连山山麓地带的洪积扇被抬升和切割, 同样由堆积过程转变为切割和剥蚀过程。这次构造运动阶段和川滇地区的最新构造事件对应^[33]。

全新世早期的运动阶段表现为北缘断裂的走滑活动、河流 T₁ 阶地的下切形成、冷龙岭断裂两端活动减弱等。在这次运动阶段中, 祁连山北麓普遍形成了 T₁ 阶地, 黄河和湟水河等发育了 T₁ 阶地。

4 结论

门源盆地新生代以来经历了四个构造运动阶段。最早的构造运动始于约 30MaB. P., 古近纪门源盆地断陷形成, 接受白杨河组沉积。第二次构造运动始于 25MaB. P., 结束了古近纪盆地断陷沉降接受沉积的过程, 白杨河组褶皱变形。此后的中新世、上新世和早更新世, 门源盆地一直处于剥蚀状态。第三次构造运动发生在 460~30ka B. P., 盆地新的边界断裂形成, 盆地再次断陷接收堆积, 可进一步划分为三个次级阶段。最新构造运动发生在 30ka B. P. 以来, 盆岭间的相对差异升降运动转变为盆岭整体隆起运动, 可划分为晚更新世晚期和全新世早期两个次级阶段。门源盆地中白杨河组的堆积和褶皱变形表明, 在渐新世中期祁连山开始了强烈的构造活动。

致谢 参加野外工作的有中国地震局地壳应力研究所于慎谔副研究员、舒赛兵副研究员; 刘光勋研究员在论文的撰写过程中提出了修改意见, 在此对他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 李吉均, 方小敏, 马海州, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (4): 317~322.
- [2] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19 (1): 1~10.
- [3] 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化 [J]. 地理学报, 1999, 54 (1): 10~21.
- [4] 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈的演化及其与全球变化的关系 [J]. 冰川冻土, 1998, 20 (3): 197~208.
- [5] 李长安, 张玉芬. 一次重要的第四纪构造严寒及环境效应 [J]. 地质科技情报, 1999, 18 (4): 42~46.
- [6] 施炜, 马寅生, 吴满路, 等. 青藏高原东北缘共和盆地第四纪地层学研究 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (3): 317~323.
- [7] 鹿化煜, 安芷生, 王晓勇, 等. 最近 14Ma 青藏高原东北缘阶段性隆升的地貌证据 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (9): 855~864.
- [8] 方小敏, 赵志军, 李吉均, 等. 祁连山北缘老君庙背斜晚新生代磁性地层与高原北部隆升 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (2): 97~106.
- [9] 吴珍汉, 江万, 周继荣, 等. 青藏高原腹地典型岩体热历史与构造—地貌演化过程的热年代学分析 [J]. 地质学报, 2001, 75 (4): 468~476.

- [10] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 关于“昆仑—黄河”运动 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28 (1): 53~59.
- [11] 潘保田, 邬光剑, 王义祥, 等. 祁连山东段沙沟河阶地的年代与成因 [J]. 科学通报, 2000, 45 (24): 2669~2675.
- [12] 王成善, 朱利东, 刘志飞. 青藏高原北部盆地构造沉积演化与青藏高原向北生长过程 [J]. 地球科学进展, 2004, 19 (3): 373~381.
- [13] 朱利东, 王成善, 伊海生, 等. 青藏高原盆地系统演化与高原形成时间 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2004, 31 (3): 249~255.
- [14] 陆洁民, 郭召杰, 赵泽辉, 等. 新生代酒西盆地沉积特征及其与祁连山隆升关系的研究 [J]. 高校地质学报, 2004, 10 (1): 50~61.
- [15] 陈杰, 卢演侑, 丁国瑜. 祁连山西段酒西盆地区第四纪构造运动的阶段划分 [J]. 第四纪研究, 1996, 16 (3): 263~271.
- [16] 谭利华, 杨景春, 段锋军. 河西走廊新生代构造运动的阶段划分 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1998, 34 (4): 523~532.
- [17] 杨景春. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化 [J]. 第四纪研究, 1998, (3): 229~237.
- [18] 郑文涛, 杨景春, 段锋军. 武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造运动 [J]. 地震地质, 2000, 22 (3): 318~328.
- [19] 国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所. 祁连山—河西走廊活动断裂系 [M]. 北京: 地震出版社, 1993, 95~104.
- [20] 国家地震局兰州地震研究所. 昌马活动断裂带 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [21] 何文贵, 刘百麓, 袁道阳, 等. 冷龙岭活动断裂的滑动速率研究 [J]. 西北地震学报, 2000, 22 (1): 90~97.
- [22] 康建成, 朱俊杰, 陈宏凯. 祁连山冷龙岭南坡晚第四纪冰川演化序列 [J]. 冰川冻土, 1992, 14 (4): 352~359.
- [23] 郭宏伟, 陈晔, 李吉均. 祁连山冷龙岭南麓的冰川序列、黄土记录和阶地系列的初步研究 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1995, 31 (1): 102~110.
- [24] 史正涛, 张世强, 周尚哲, 等. 祁连山第四纪冰碛物的 ESR 测年 [J]. 冰川冻土, 2000, 22 (4): 353~357.
- [25] 赵井东, 周尚哲, 史正涛, 等. 祁连山东段冷龙岭南麓白水河冰碛物 ESR 测年研究 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2001, 37 (4): 110~117.
- [26] 赵井东, 周尚哲, 崔建新, 等. 摆浪河流域的 ESR 年代学与祁连山第四纪冰期新认识 [J]. 山地学报, 2001, 19 (6): 481~488.
- [27] 周尚哲, 李吉均, 张世强, 等. 祁连山摆浪河谷地的冰川地貌与冰期 [J]. 冰川冻土, 2001, 23 (2): 131~138.
- [28] 周尚哲, 李吉均. 第四纪冰川测年研究新进展 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (6): 660~666.
- [29] 侯元才, 许伟林, 俞建, 等. 青藏高原北缘 1.2MaB.P. 以来各阶段古气候演变 [J]. 青海地质, 2001, B12: 10~16.
- [30] 黄华芳, 彭作林, 卢伟, 等. 酒西盆地、酒东盆地第三系磁性地层的划分与对比 [J]. 甘肃地质学报, 1993, 2 (1): 6~16.
- [31] 尹泽生, 徐叔鹰. 祁连山区域地貌与制图研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1992, 32~38.
- [32] 陈柏林, 刘建生, 张永双, 等. 嘉峪关断裂晚第四纪新构造活动特征 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (1): 78~85.
- [33] 申旭辉, 汪一鹏. 川滇地区最新构造变形基本特征初步研究 [C]. 新构造与环境, 地震出版社, 2001, 430~439.

STAGES OF THE NEOTECTONIC MOVEMENT OF THE MENYUAN BASIN IN THE MIDDLE SEGMENT OF THE QILIAN MOUNTAINS

MA Bao-qi¹, LI De-wen²

(1. *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China;*

2. *China Earthquake Disaster Prevention Center, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*)

Abstract: The Menyuan Basin is an intermontane basin in the central segment of the Qilian Mountains, bounded by boundary faults on the north and south. The basin is filled with the Paleogene Baiyanghe Formation and Quaternary tills and glaciofluvial deposits. The differences in rock deformation, geomorphological evolution and fault movement phases show that the Menyuan Basin underwent four stages of tectonic movements since the Cenozoic. The earliest Cenozoic tectonic movement began in the middle Oligocene (30 Ma B. P.), when the I-order planation surface was disintegrated and basin was downfaulted and received sandy gravel deposits of the Baiyanghe Formation. The second stage occurred from the end of the Oligocene to the beginning of the Miocene (25 Ma to 460 ka B. P.) and was characterized by the end of the basin subsidence, termination of Tertiary deposition and folding of the Baiyanghe Formation. This process continued to the initial middle Pleistocene. The third stage started in the middle part of the middle Pleistocene (460 ka B. P.) and ended at 30 ka B. P. During the stage new boundary faults formed, the basin was again downfaulted and received > 400 m thick tills and glaciofluvial deposits, and boundary faults were very active. This process lasted till the late part of the late Pleistocene (30 ka B. P.). The latest stage began at 30 ka B. P., which was marked by the wholesale uplift of the basin and mountains at both sides of the basin and transition of the basin surface process from deposition to incision and erosion. The fault movement changed from thrusting with a strike-slip component to strike-slip movement, but the strike-slip rate decreased significantly.

Key words: Menyuan Basin; tectonic deformation; faulting period; neotectonic movement stage