

文章编号: 1006-6616 (2007) 04-0297-11

西藏错那一沃卡裂谷带中段邛多江地堑 晚新生代正断层作用

吴中海¹, 张永双¹, 胡道功¹, 赵希涛², 叶培盛¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 遥感解译和地表调查结果显示, 位于西藏曲松县境内的邛多江盆地构成了藏南近南北向裂谷带最东端的错那一沃卡裂谷的中段。它是在该区近东西向逆冲构造带停止活动之后, 上地壳沿 N108~115°E 方向发生引张作用所形成的第四纪半地堑式断陷盆地。控制晚第四纪盆地发育的主边界正断裂带位于盆地西缘, 总体呈 NNE 走向, 向东倾, 长 40 km 左右。断裂活动位移测量和年代学测试结果表明, 该边界正断层带在 5Ma 左右就已开始活动, 总累计垂直位移量至少为 2.6~2.8 km, 最小长期平均垂直活动速率约 0.5mm/a。末次冰期盛冰期以来, 该断裂平均活动速率的最合理的估计值为 1.2±0.6 mm/a。

关键词: 西藏; 第四纪; 错那一沃卡裂谷; 邛多江地堑; 正断层作用

中图分类号: P542⁺.32; P542⁺.31

文献标识码: A

西藏南部最显著的第四纪活动构造由众多近于平行分布的近南北向裂谷带或正断层组成^[1~4], 由于它们的活动时代和成因涉及到青藏高原隆升机制的问题, 因此有关正断层作用的研究一直是高原演化的重要研究内容之一^[5~13]。错那一沃卡裂谷带(或桑日—错那活动构造带)作为西藏南部一系列近南北向裂谷带中最东侧的一条(图 1a), 最早是通过遥感影像和航片解译识别的^[1~2, 14]。但长期以来, 由于缺乏地表调查工作, 关于其几何结构、特征、边界断裂带的分布与第四纪活动性等问题都不清楚。2006 年, 在遥感图像解译和地形图、地质图分析的基础上, 笔者对该裂谷带进行了初步的第四纪地质和活动断裂地表调查工作。结果发现, 该裂谷带包含了 3 个相互独立的、近南北向和北北东向的半地堑式、地堑式盆地, 从南到北分别是错那一拿日雍错地堑、邛多江地堑和沃卡地堑。这些地堑都代表了高原的最新构造变动形迹。由于最北端的地堑从桑日县的沃卡穿过, 本文将其称作“错那一沃卡裂谷带”, 并重点分析和讨论构成该裂谷带中段的邛多江地堑的第四纪活动特征(图 1a、b)。

收稿日期: 2007-04-15

基金项目: 中国地质调查局项目《滇藏铁路沿线地壳稳定性调查评价》(批准号: 1212010541404)、国家自然科学基金项目(批准号: 40501006)和科技部国际合作项目(编号: 2006DFA21320)共同资助。

作者简介: 吴中海(1974), 男, 博士, 副研究员, 主要从事第四纪地质与活动构造研究。E-mail: wzhlly@sina.com。

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

1 区域地质、地貌概况

在 ETM 遥感图像上可以清楚地观察到 (图 1b), 在曲松县南部的邛多江一带分布着一个总体呈 NNE 向展布的宽阔谷地, 其东、西两侧被醒目的、同样呈近 NNE 向延伸的雪山山脊所围限, 这一谷地就是邛多江地堑。其范围从雄曲北侧支流——容扎曲上游的桑佐附近一直向北延伸至海拔 5607m 的班尼峰东侧的尼雄—列荣一带, 全长 40 km 左右。该断陷谷地最宽处接近 20 km, 最窄处约 11 km, 谷底海拔 4400~4500m。盆地中发育南、北两个水系, 北部为雅鲁藏布江的支流——四曲哪妈河的上游水系, 南部为雄曲的支流容扎曲及其支流。在邛多江北部地区, 河流深切盆地基底, 切割深度达 200~300m, 形成峡谷地貌。在河流中上游及其之间的平缓台地上发育厚数十米至上百米不等的河湖相地层, 它们代表了该盆地早期沉积的记录; 在此套河湖相地层之上不整合覆盖了中更新世以来的冰水—冰碛砾石层。在上游地区, 堆积了一套上百米厚的冰碛—冰水砾石层。在盆地的南部主要分布中更新世以来形成的、数百米厚的冰碛物和冰水沉积物。据中国科学院青藏高原综合科学考察队的资料^[5], 该区构成低缓丘陵或台地的厚层河湖相地层属于早更新世的地层, 之后发育的冰碛物和冰水沉积物可划分为 4 套, 从老到新大致对应于喜马拉雅山北坡的聂聂雄拉冰期、基隆寺冰期、绒布寺冰期和全新世的新冰期、小冰期。

邛多江盆地的西侧耸立着海拔 6647m 的也拉香波倾日雪峰, 周缘主峰海拔在 6000 m 以上, 向南侧逐渐降低至 5500m 左右, 北侧降低至 5600m 左右。近南北向展布的哲古错湖盆坐落在该雪山的西南侧。盆地东侧山地相对低缓, 较高山峰的海拔集中在 5300~5500m 之间, 最高峰得玛日海拔 5648m。对比 1:25 万区域地质图^① 可以看出, 邛多江地堑受两条分别为近东西向和北西走向的逆冲活动断裂所限制——雅鲁藏布江断裂 (泽当—仁布断裂或大反向断裂^[19]) 和哲古错—隆子断裂带, 并且该地堑恰好横切了也拉香波片麻岩穹隆的东部 (图 1b、图 2)。沿盆地西侧可以观察到该麻岩穹隆主体的岩石组合序列, 其核部为 K-Ar 年龄为 20~11Ma 的二云二长花岗岩侵入体, 向外为由变粒岩、片岩、片麻岩和混合岩等组成的、具明显韧性变形的新元古代—寒武纪变质岩系, 最外侧是被低角度拆离正断层相隔的一套上三叠统沉积盖层。盆地东侧山地的岩石组合特征与西侧相似, 只是由于剥蚀程度不同, 该麻岩穹隆出露的范围和层次不如西侧显著 (图 2)。

2 主边界断裂带及其活动性

邛多江盆地两侧地势具有明显的不对称性 (图 1、图 2)。西侧山地明显高出东侧山地数百米, 而山脉主峰的高差则相差近千米。与盆地西侧相对规则和醒目的线状盆山边界相比, 东侧边界明显不规则 (图 1)。这些宏观地貌特征是典型的半地堑式裂隙盆地的地貌标志^[17], 并指示盆地主边界断裂位于其西侧, 这里将其称作邛多江盆地西缘断裂。地表调查结果表明, 沿盆地的西侧边界可以清楚地观察到线性分布的断层三角面、断层镜面、断层擦痕线理、错动晚第四纪地貌体的断层崖、古冰川悬谷等, 指示了以正断层活动为主的第四纪断裂活动证据 (图 3 至图 5)。

①. 云南省地质调查院矿产调查所, 西藏隆子县幅 1:25 万区域地质图, 2004.

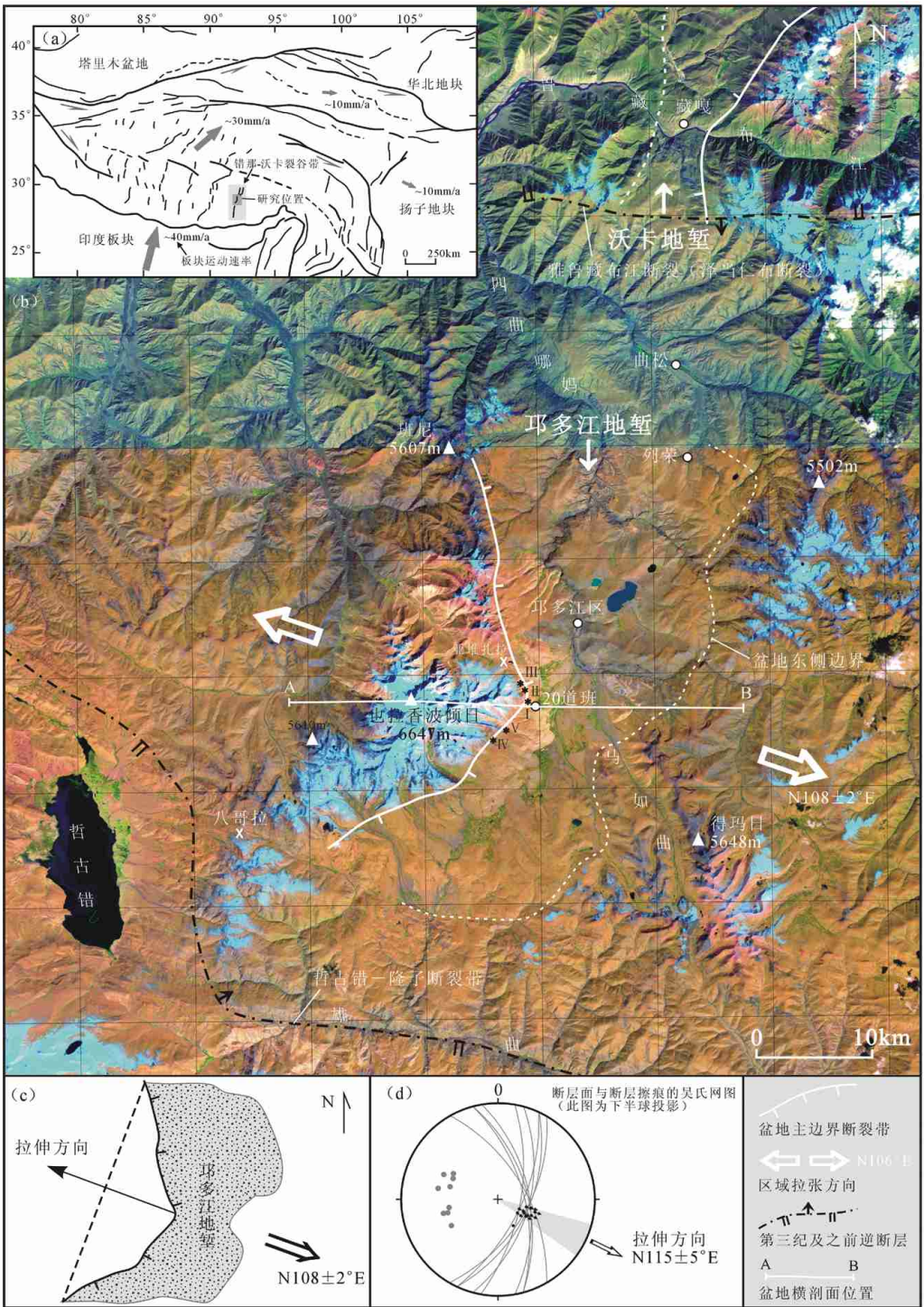


图 1 邛多江地堑及其邻区的 ETM 遥感影像、研究区位置和盆地拉伸方向判别图

Fig 1 ETM remote sensing image interpretation of the Qunglo'gyang graben and its adjacent areas location of the study area and extensional orientation of the graben

地形图和遥感图像解译发现, 该断裂带大致以邛多江盆地西侧的 20 道班为转折端, 整体以 $N 108 \pm 2^\circ E$ 方向线为对称轴, 向 SEE 方向凸出 (图 1), 北端可延伸至班尼雪峰的东侧, 西南端终止于八哥拉东侧山前附近, 全长约 40km。其中在 20 道班的南侧, 该断裂带大致沿基岩与山麓第四纪冰碛物的边界展布于海拔 5000m 及以上的山前地带, 走向为 $N 46^\circ E$, 全长 16~18km。沿该段断裂, 在遥感图像上局部可解读到断裂错动晚第四纪冰碛台地或侧碛垄所形成的线性影像。在 20 道班的北侧, 断裂走向转为 $N 14^\circ W$, 全长共 22km 左右。沿此段断裂发育显著的断层三角面, 在 20 道班一扎拉错之间, 断裂形迹出露于 4800~5000m 的高度, 向北西方向, 断裂带紧邻西侧的主山脊分布于海拔 5200m 左右的高度上, 切过基岩山地和其中的冰川谷, 线性特征非常显著。

沿 20 道班西北侧山前地带 (图 1 中的位置 I) 可观察到线性特征显著的断层三角面, 并在底部花岗片麻岩中发育断层摩擦镜面 (图 3、图 4)。该点恰好位于断裂走向变化的转折端 (图 3), 在其北侧, 断层摩擦面的产状为 $75^\circ / 56^\circ$, 其上擦痕的产状为 $120^\circ / 45 \sim 50^\circ$, 指示具右旋分量的正断层性质 (图 4)。向南, 发现断层面产状逐渐向西南方向偏转为 $115 \sim 120^\circ / 53 \sim 55^\circ$, 擦痕产状转变为 $105 \sim 125^\circ / 55^\circ$, 指示几乎纯倾向滑动的正断层性质。统计断层面及其上擦痕的产状发现, 该区的优势拉伸方向为 $N 115 \pm 5^\circ E$, 与该地堑主边界断裂带的主对称轴的方位基本一致 (图 1c、d), 共同指示了该地堑的区域性拉伸方向。此处的断层摩擦面发育在厚度为 2~3cm 的断层膜的表层, 断层膜显示断层滑动过程中花岗质片麻岩顺断层面部分熔融后再结晶的特征, 其中还隐约可见被隐晶质的硅质成分重新胶结的断层角砾。利用电子自旋共振法 (ESR) 对硅质断层膜进行年代学分析所获得的年龄值为 5.07Ma (表 1), 它代表了岩石因为断层摩擦重新熔融后再结晶的时代, 暗示此处的高角度正断层至

表 1 邛多江盆地晚第四纪沉积物、断层岩的年代学测试结果和断裂带垂直活动速率估算值

Table 1 TL dating of late Quaternary deposits and fault rock in the Qungdogyang basin and estimated vertical throw rates of the fault zone

编号	位置	测试对象	地貌部位	年龄/ka	断层/m	速率mm/a	校正值mm/a
1	II	距顶约 1.1m 中细砂	断层上升盘, 拔河约 1~2m 的洪积扇上部	16.9±1.4	>7.0±0.7	>0.4±0.1	1.5±0.4
2	II	距顶约 0.6m 中细砂	断层下降盘, 最新一期洪积扇上部	6.0±0.5	7.0±0.7	1.2±0.2	1.5±0.4
3	III	距顶约 1.1m 中细砂	断层上升盘, 拔河约 20~30m 冰川侧碛顶部	66.9±5.7	29.8±1.0	0.4~0.5	1.2~1.7
4	III	距顶约 0.7m 中细砂	断层上升盘, 拔河约 20~30m 冰川侧碛顶部	11.3±1.0	29.8±1.0	2.3~3.0	1.2~1.7
5	III	距顶约 1.3m 中粗砂	断层下降盘, 拔河约 20~30m 冰川侧碛顶部	20.8±1.8	29.8±1.0	1.3~1.6	1.2~1.7
6	III	距顶约 1.0m 中细砂	断层下降盘, 拔河约 20~30m 冰川侧碛顶部	19.3±1.6	29.8±1.0	1.4~1.7	1.2~1.7
7	IV	距顶约 0.6m 中粗砂	断层下降盘, 拔河约 10~15m 冰碛台地顶部	13.7±1.7	9.8±1.0	0.6~0.9	0.8±0.2
8	IV	距顶约 0.4m 中细砂	断层下降盘, 拔河约 2m 冰水扇顶部	6.9±0.6	4.6±0.4	0.7±0.1	1.0±0.3
9	IV	距顶约 0.8m 中细砂	断层上升盘, 拔河约 15m 冰碛台地顶部	12.7±1.1	12.0±0.5	0.8~1.1	0.8~1.1
10	IV	距顶约 0.5m 中粗砂	断层上升盘, 拔河约 15m 冰碛台地顶部	38.3±3.3	12.0±0.5	>0.3~0.4	0.8~1.1
11	I	断层膜	20 道班西北侧山前	5068 (ESR)	≥2.7±1.0km	≥0.5	

少在上新世初就已经出现。从 20 道班沿山前向北北西方向, 可以观察到一系列断裂垂直错动晚第四纪地貌体的现象。在 20 道班西北一小型冲沟的沟口 (图 1 中的位置 II), 山前正断层的垂直活动形成悬谷地貌, 断层下盘发育两期洪积物, 早期洪积物被冲沟切割了 1~2m, 顶部发育土壤层, 之下为中细砂层和磨圆、分选都较差的砾石层, 晚期的洪积物切割或覆盖

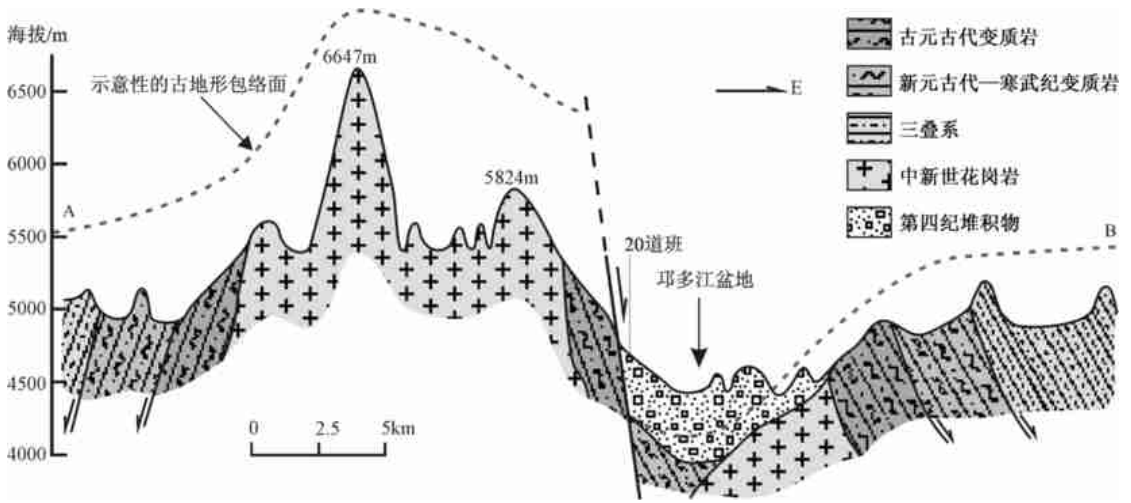


图 2 邛多江盆地地质—地形横剖面

Fig. 2 Geological-topographical cross-section of the Qingduojiang graben

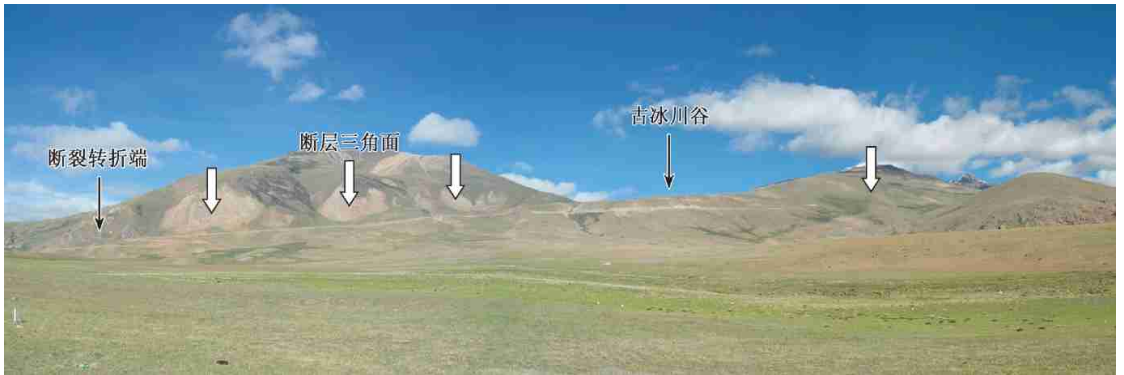


图 3 邛多江盆地 20 道班西北侧山前的断层三角面地貌 (镜向: 西南)

Fig. 3 Fault triangle facies along the front of a mountain NW of maintenance station 20 in the Qingduojiang graben (looking toward SW)



图 4 山前正断层上的断层摩擦面及其上的断层擦痕 (镜向: 西; 图 1 中的位置 I)

Fig. 4 Friction surface of a piedmont normal fault and striations on it

(looking toward W, locality I in Fig. 1)



图 5 山前正断层垂直错动末次盛冰期冰川侧碛 (镜向: 西南; 图 1 中的位置 III)

Fig. 5 Vertical offset of the glacial lateral moraine ridge formed in the last maximum glaciation by the piedmont normal fault

(looking toward SW, locality III in Fig. 1)

了早期的堆积物,大致沿现今冲沟的底部分布,显然属于冲沟中最近一期的沉积物,应形成于全新世中晚期。在断层的上盘,上述两期洪积物呈叠置关系。跨断层的测量结果表明,悬谷所代表的断层垂直位移量为 $7.0\text{m} \pm 0.7\text{m}$ (图 6B),代表了该断裂全新世的位移量。向西

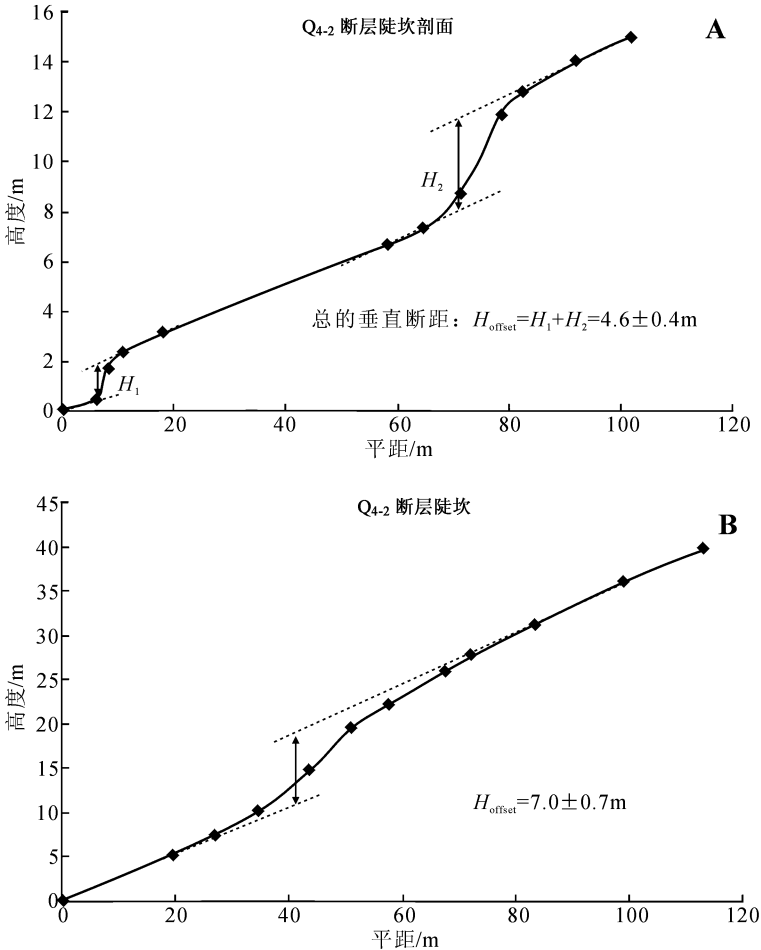


图 6 邛多江西侧山前错动全新世地貌体的断层崖剖面

Fig. 6 Topographic sections of Holocene fault scaps offset along the western side of the Qungdo gyang graben

北方向至一小型古冰川谷的谷口 (图 1 中的位置 III), 可见沟口两侧分布高 160m 左右的古冰川侵蚀台地, 在切割台地的冰川谷中形态保存较好的末次冰期的冰川侧碛垄被山前正断层垂直错动 (地表未见明显的走滑位移), 经地形恢复后的垂直断距为 $29.8\text{m} \pm 1.0\text{m}$ (图 5、图 7A)。在断裂的南段, 由于不规则的山谷冰碛地貌的干扰, 断裂在第四纪地貌体上的形迹比较难以辨认。在 20 道班西南侧山前两个相邻的中型冰川谷的基岩出山口附近, 可以观察到云母片岩中产状比较稳定的断层摩擦面和产状为 $110 \sim 130^\circ \angle 20 \sim 30^\circ$ 的云母片岩在靠近山前断裂带处发生牵引变形, 产状变陡为 $110 \sim 120^\circ \angle 40 \sim 50^\circ$ 的现象。其中在南侧的冰川谷中 (图 1 中的位置 IV), 可以观察到末次冰期的冰碛台地上发育有顺断裂分布的高 10~15m 的陡崖地貌, 陡崖延伸至河床上转变为高数米的悬谷地形, 笔者认为这可能是山前正断裂垂直错动晚第四纪地貌体的形迹。地表测量结果表明, 其中末次冰期冰碛台地的垂直断距为 $12.0\text{m} \pm 0.5\text{m}$ (图 7B), 全新世悬谷的断距为 $4.6\text{m} \pm 0.4\text{m}$ (图 6A)。

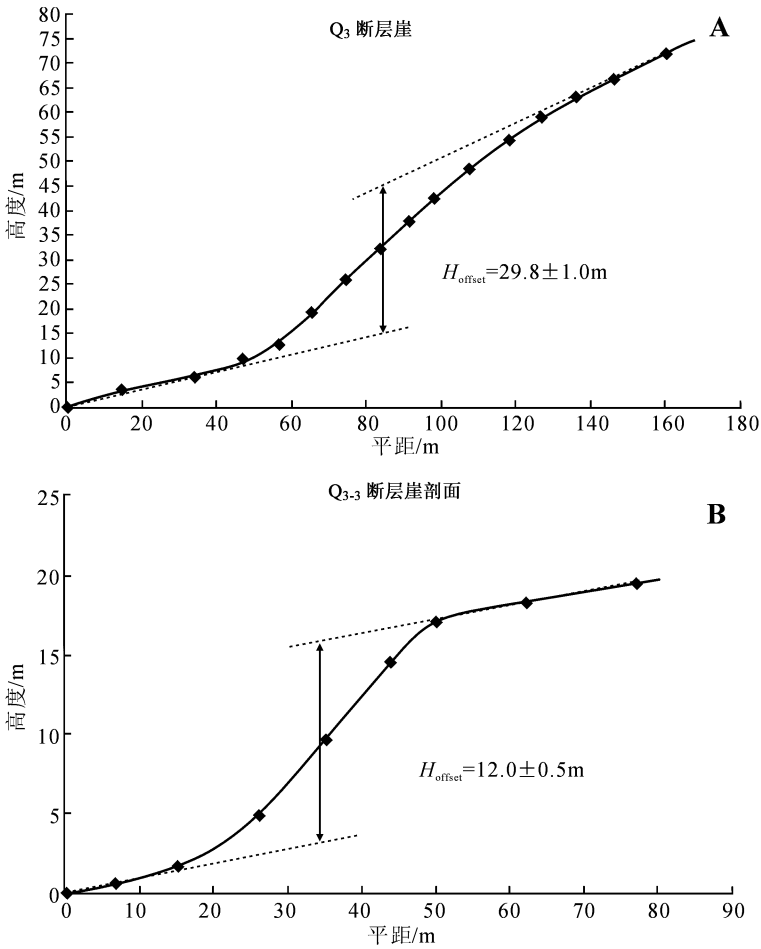


图 7 邛多江西侧山前错动晚更新世地貌体的断层崖剖面
 Fig. 7 Topographic section of late Pleistocene fault scarps offset along the western side of the Qungdo gyang graben

综合上述现象可知，邛多江盆地西缘断裂的正断层作用是在沿 N108 ~ 115°E 方向发生的拉伸变形作用下形成的，它不仅控制了该盆地的发育，而且是该区一条晚第四纪、甚至全新世的活动断裂带。

3 断裂活动速率分析

横跨盆地的地形剖面（图 2）显示，盆地地面与西侧隆升山地的主峰之间的地形高差至少为 2.2km，而根据第四纪不同时期堆积物的地表出露厚度估计，盆地中松散堆积物的总厚度在 400 ~ 600m 之间，考虑到西侧山地长期处于强烈剥蚀状态，因此跨过西侧主边界断裂带的总累计垂直位移量至少为 2.6 ~ 2.8km。如前所述，如果该边界断裂在约 5.07Ma 已经出现，则上新世以来的最小平均垂直活动速率约为 0.5mm/a。

在 20 道班西北侧山前的位置 II 处，在断层下盘的早期洪积物上部约 1.1m 深处的砾石层与中细砂层之间所采集的中细砂的热释光 TL 年龄为 16.9 ± 1.4ka BP（表 1），而在断层上盘

一侧, 从叠覆在早期洪积扇之上的晚期洪积扇的上部采集的灰黄色中细砂的 TL 年龄为 6.0 ± 0.5 ka BP (表 1), 表明早期洪积扇形成于晚更新世晚期, 而最新的洪积扇形成于全新世期间。由于最新洪积扇的垂直断距为 $7.0\text{m} \pm 0.7\text{m}$, 根据上述两期洪积扇的时代, 可以估算出断裂带全新世的最小活动速率大于 $0.4\text{m} \pm 0.1\text{mm/a}$, 平均垂直活动速率约 $1.2 \pm 0.2\text{mm/a}$ (表 1)。同样, 在位置 III 和 IV 处, 根据断

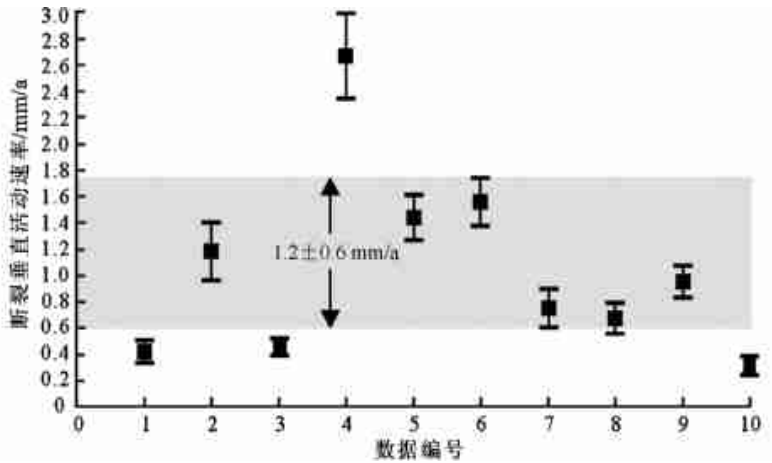


图 8 邛多江—沃卡盆地主边界断裂带晚第四纪垂直活动速率分布图

Fig. 8 Distribution of late Quaternary throw rates of the main boundary fault in the Qungdo gyang-Oiga basin

裂所错动的末次盛冰期 (MIS2) 以来不同时代地貌体的 TL 年代及其相对应的垂直断距, 对断裂带的晚第四纪活动速率进行估算 (表 1, 图 8), 发现断裂活动速率介于 $0.4 \sim 3.0\text{mm/a}$, 估算结果较为分散。但如果将估算结果在活动速率值分布图上进行统计, 除去个别明显过高的和过低的估算值, 则其余的大多数速率值都集中在 $0.6 \sim 1.8\text{mm/a}$ 之间, 平均值为 $1.2 \pm 0.6\text{mm/a}$ (图 8), 这可以合理地代表断裂的平均垂直活动速率值。

4 讨论

邛多江地堑总体走向 $15 \sim 20^\circ$, 并从也拉香波片麻岩穹隆偏东一侧横切而过, 该盆地西缘断裂在区域上明显错动了呈典型环状的片麻岩穹隆构造体, 反映片麻岩穹隆形成在前, 而邛多江地堑出现在后, 该地堑西缘的主边界断裂带凸向南东东方向的几何形态显然是受到先存的片麻岩穹隆构造体影响的结果。最近的年代学研究结果也支持上述关系。其中关于片麻岩穹隆的年代学研究表明^[18-19], 穹隆的变形和上隆主要发生在约 $16 \sim 11\text{Ma}$ 期间, 10Ma 左右停止活动; 而邛多江盆地西缘断裂带上断层膜的 ESR 年龄为 5Ma 左右, 与热年代学结果指示的高原南部近南北向正断层作用的开始时间 ($7 \sim 4\text{Ma}$)^[21] 基本一致, 表明高角度正断层的出现应该滞后于片麻岩穹隆构造。

邛多江地堑主边界断裂带的活动速率估算结果表明, 其晚第四纪期间的活动强度与相邻的亚东—谷露裂谷带的当雄—羊八井地堑西缘主边界断裂——念青唐古拉山东南麓断裂带相近或略小^[1, 21-22], 也与 Armijo 等 (1986) 所确定的羊八井—谷露一带盆地边界断裂的活动速率比较接近 (约为 $1.0 \pm 0.6\text{mm/a}$)^[8]。这反映藏南地区的拉张变形很可能是相对均匀的, 不存在显著的横向变化。同样的, 如果依据此速率来估算裂谷带的拉张应变率, 也应该与 Armijo 等所估算的第四纪期间跨过整个藏南地区的东西向伸展的速率 ($10.0 \pm 5.6\text{mm/a}$) 接近, 但这与利用地震记录和 GPS 观察所获得的藏南地区跨过近南北向裂谷带的东西向拉张的速率 (整体为 18mm/a ^[24], 其中亚东谷露裂谷带为约 6.5mm/a ^[25]) 相差较大^[23-25]。这可能

暗示, 在不同的时间尺度内断裂带的活动速率是有变化的。因为, 根据第四纪地层错动所估算的断裂活动速率代表的是万年—千年尺度的断裂长期活动速率, 而GPS测量和历史地震的估算结果只能反映断裂带或地块百年至十年尺度的活动状态。因此, 仅仅用某一时段的断裂活动速率来代表整个断裂的活动强度有时很可能是片面的。

5 结论

邛多江盆地是受其西侧边界正断裂带控制、晚第四纪活动明显的半地堑式断陷盆地, 区域伸展方向为 $N108 \sim 115^{\circ}E$ 。根据该地堑大致的初始裂陷时代和最小的垂直累计位移量推算, 该主边界断裂带上新世以来平均垂直活动速率最小约为 0.5mm/a , 而末次盛冰期以来的断裂垂直活动速率集中于 $1.2 \pm 0.6\text{mm/a}$ 。历史地震记录显示^[29], 与错那—沃卡裂谷带南、北段的错那—拿日雍错地堑和沃卡地堑(分别在1806年和1915年发生过M7.5和M7.0级地震)不同, 该区至少从公元1800年以来没有7.0级以上地震记录, 属于明显的地震空区。表明它是该裂谷带中近代地表应变积累时间最长的活动断裂, 因此在地震危险性评价时应引起注意。由于目前地表调查程度相对较低, 这里对邛多江地堑及其第四纪活动性的分析大多是框架性的, 对断裂活动速率的约束也是初步的。尽管这一研究结果对邛多江盆地西缘断裂晚第四纪期间的活动强度提供了重要的约束, 但如果要深入了解该断裂不同段落的活动性、不同时段的活动强度变化及其控震作用等细节问题, 则需要做更进一步的工作。

致谢: 文中的热释光和ESR年代测试工作分别由中国地震局地壳应力研究所热释光年代实验室王焕真、盛小青和地质力学研究所ESR实验室吴乃芬协助完成, 野外工作得到了西藏地矿厅地质培训中心的大力协助, 谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1978, 83: 5361~5375.
- [2] Amijo R, Tapponnier P, Mercier JL. Quaternary extension in southern Tibet: Field observations and tectonic implications [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91: 13803~13872.
- [3] Rothery DA and Druy SA. The neotectonics of the Tibetan plateau [J]. *Tectonics*, 1984, 3 (1), 19~26.
- [4] Ni J, York JE. Late Cenozoic tectonics of the Tibetan plateau [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1978, 83 (B11), 5377~5384.
- [5] Molnar P, England P, Martinod J. Mantle dynamics, uplift of the Tibet plateau, and the Indian monsoon [J]. *Review of Geophysics*, 1993, 31, 357~396.
- [6] Yin A. Mode of Cenozoic east-west extension in Tibet suggesting a common origin of rifts in Asia during the Indo-Asia collision [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105 (B9): 21745~21759.
- [7] Harrison TM, Copeland P, Kidd WS F et al. Raising Tibet [J]. *Science*, 1992, 225: 1663~1670.
- [8] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨 [J]. *中国科学 (D辑)*, 1996, 26 (4): 289~295.
- [9] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆升的时代、幅度和形式探讨 [J]. *中国科学 (B辑)*, 1979, 9 (6): 608~616.
- [10] Dewey JF, Shackleton RM, Chang Chengfa et al. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transaction of Royal Society of London*, 1988, Series A, 327: 379~413.
- [11] Mercier JL, Amijo R, Tapponnier P et al. Change from late Tertiary compression to Quaternary extension in southern Tibet during India-Asia collision [J]. *Tectonics*, 1987, 6 (3), 275~304.
- [12] England P, Houseman G. Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94: 17561~17569.
- [13] Royden LH, Burdfield C, King RW et al. Surface deformation and lower crustal flow in eastern Tibet [J]. *Science*, 1997, 276, 788~790.

- [14] 韩同林. 西藏活动构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [15] 中国科学院青藏高原综合科学考察队 (李炳元, 王富葆, 张青松, 等). 西藏第四纪地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [16] 尹安. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化 [J]. 地球学报, 2001, 22 (3): 193~230.
- [17] Masek, JG., Isacks BL, Fielding EJ, Browaeys J. Rift-flank uplift in Tibet: Evidence for a viscous lower crust [J]. *Tectonics*, 1994, 13, 659~667.
- [18] Lee J, Whitehouse M J. Onset of mid-crustal extensional flow in southern Tibet: Evidence from U/Pb zircon ages [J]. *Geology*, 2007, 35 (1), 45~48.
- [19] Thiede RC, Arrowsmith JR, Bookhagen B. Dome formation and extension in the Tethyan Himalaya, Leo Pargil, northwest India [J]. *GSA Bulletin*, 2006; 118 (5/6) 635~650.
- [20] Mahéo G, Leloup PH, Valli F et al. Post 4 Ma initiation of normal faulting in southern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 256, 233~243.
- [21] 吴中海, 吴珍汉, 胡道功, 等. 青藏铁路唐古拉山—拉萨段全新世控震断裂研究 [J]. 地质通报, 2006, 25 (12): 1387~1401.
- [22] 吴中海, 吴珍汉, 胡道功, 等. 西藏当雄—羊八井盆地的第四纪地质与断裂活动研究 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (3): 305~316.
- [23] Molnar P, Deng Q. Faulting associated with large earthquakes and the average rate of deformation in Asia [J]. *J Geophys Res*, 1984, 89: 6203~6228.
- [24] Wang Qi, Zheng Pei-zhen, Freymueller J et al. Present-day crustal deformation in China constrained by global positioning system measurements [J]. *Science*, 2001, 294, 574~577.
- [25] Chen, Q, Freymueller JI, Yang Z, et al. Spatially variable extension in southern Tibet based on GPS measurements [J]. *J. Geophys Res*, 2004, 109, B09401.
- [26] 西藏自治区科学技术委员会. 西藏地震史料汇编 [M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 1982.

LATE CENOZOIC NORMAL FAULTING OF THE QUNGDO GYANG GRABEN IN THE CENTRAL SEGMENT OF THE CONA-OIGA RIFT, SOUTHEASTERN TIBET

WU Zhong-hai¹, ZHANG Yong-shuang¹, HU Dao-gong¹, ZHAO Xi-tao², YE Pei-sheng¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)*

Abstract: The Qungdo'gyang graben in Qusum County, Tibet, belongs to the central segment of the NNE-trending Cona-Oiga (or Cona-Sangri) rift zone, which is the only rift located at the easternmost end of the nearly N-S-trending Yadong-Gulu rift zone in southern Tibet. It is a Quaternary semi-graben downfaulted basin formed by extension of the upper crust occurring in the N108—115°E direction after the nearly E-W-trending thrust zone in the study area ceased its activity. The main boundary normal fault controlling the development of the late Quaternary basin is located at the western margin of the basin. It generally strikes NNE and dips E with a length of ~40 km. Displacement measurements and isotopic dating indicate that: this boundary normal fault began activity at ~5 Ma BP; the total cumulative vertical displacement ranged from 2.6 to 2.8 km; and the minimum long-term average throw rate was ~0.5 mm/a. The most rational estimate of the average throw rate since the last maximum glaciation (MIS2) of the fault is 1.2 ± 0.6 mm/a.

Key words: Tibet; Quaternary; Cona-Oiga rift; Qungdo'gyang graben; normal faulting