

付俊东、任金卫、张军龙等,2011,东昆仑断裂东段下热尔断裂活动特征初步研究,中国地震,27(3),248~259。

东昆仑断裂东段下热尔断裂 活动特征初步研究

付俊东 任金卫 张军龙 陈长云 熊仁伟 胡朝忠 杨攀新

中国地震局地震预测研究所,北京市海淀区复兴路 63 号 100036

摘要 下热尔断裂位于巴颜喀拉块体东北边界变形带即东昆仑断裂带东段与迭部-白龙江断裂 2 条剪切断裂之间挤压变形带内,在空间上属于“玛曲空段”范围。经野外考察及遥感资料验证,确定下热尔断裂走向为 310° ,长度约为 20km,运动学特征表现为左旋走滑为主兼少量倾滑分量,沿断裂发育大量断错地貌,水平位移主要分布在 3.5 ~ 5m,而未发现垂向断错地貌;垂直断裂走向开挖 2 处探槽,揭示断层切穿晚第四纪地层,被地表沼泽相泥炭层覆盖,结合相关地层年龄资料,初步得出平均水平滑动速率约为 6.3mm/a。该断裂在几何学与运动学方面与东昆仑断裂带具有较好的一致性,推测两者之间存在一定相关性,属于东昆仑断裂带走滑断裂体系内的一条次级断裂或过渡性断裂。

关键词: 东昆仑断裂 巴颜喀拉块体 下热尔断裂 活动特征

[文章编号] 1001-4683(2011)03-0248-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

印度板块与欧亚板块的汇聚作用不仅形成了青藏高原,而且由于这一动力学过程的持续,青藏高原仍不断地向外扩展和隆升(Tapponnier et al, 1982、2001; Avouac et al, 1993; 青海省地震局, 1999)。昆仑山口西地震、汶川地震、玉树地震后,巴颜喀拉块体周缘大部分发生了破裂,很难判断巴颜喀拉块体北和东边界带内各自大震序列是否已经结束(闻学泽等, 2011)。结合相关资料,1879 ~ 2000 年期间,沿东昆仑断裂至少发生过 8 次 7 级左右强震,强震破裂排列显示存在 2 个空段:昆仑山空段和玛曲空段。其中昆仑山空段经闭锁、应力积累阶段后,于 2001 年在昆仑山口西发生了 $M_s 8.1$ 地震(Wen Xueze et al, 2007)。而玛曲空段尚无强震记录,具有一定危险性(Wen et al, 2007; 徐锡伟等, 2002; 李陈侠, 2009)。汶川地震后,经库仑应力计算,发现东昆仑断裂带玛曲段正处于应力加载阶段(邵志刚等, 2010)。下热尔断裂位于巴颜喀拉块体东北边界变形带即东昆仑断裂带东段与迭部-白龙江断裂之间的挤压变形带内,距离玛曲县城 100km 左右,在空间上属于“玛曲空段”范围。

[收稿日期] 2011-08-01

[项目类别] 岷江断裂北部活动性及危险性评价(02092437)、国家重点基础研究发展规划项目(2008CB425701)、系统性科考空段危险性鉴定(02106601)联合资助

[作者简介] 付俊东,男,1986 年生,2009 级在读硕士研究生,主要从事地震地质研究。E-mail: weiyu666@126.com

结合遥感、地质等资料,沿该断裂进行考察,获得了一些活动性方面的证据。沿断裂发育大量断错冲沟、阶地、水系、错动地层、植被异常带等断裂活动识别标志。该断裂在几何学与运动学方面与东昆仑断裂带玛曲段较为一致,推测是东昆仑走滑断裂体系内的一条次级断裂或过渡性断裂。目前有关东昆仑断裂带玛曲段以东的研究工作较少,而下热尔断裂方面的工作更是薄弱。

1 断裂活动证据

经野外考察及遥感资料验证,确定了 NW 向的下热尔断裂。该断裂位于巴颜喀拉块体北东边界变形带,即东昆仑断裂带东段与迭部—白龙江断裂之间的挤压变形带,若尔盖盆地北东缘,东昆仑断裂玛曲段东侧,玛曲县城东 100km。断裂横穿下热尔村(图 1),向西汇入山前陡坡带,向东与塔藏断裂小角度相交,地表出露长度 20km 左右,沿断裂发育大量断错冲沟、阶地、水系及线性植被异常带等构造地貌;两处探槽剖面揭示地层被错断。

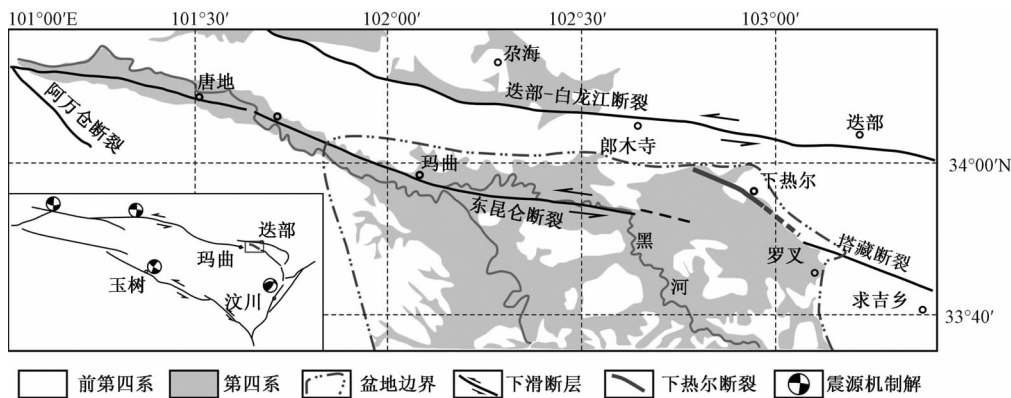


图 1 下热尔断裂构造背景图

结合差分 GPS 测量方法及探槽方法,本文对沿下热尔断裂发育的 4 处典型断错地貌、一处线性植被异常带及两处探槽剖面进行分析与探讨,认为下热尔断裂存在一定活动性。

1.1 典型断错地貌

断错地貌是指与第四纪断层作用有成因联系的地貌形态,存在多种形态(任金卫等,1989;杨攀新等,2010),是研究断层活动性的重要依据;差分 GPS 测量是一种小区域范围内精确测量的有效手段,前人曾用这种方法对不同时间尺度内的构造演化过程进行过相关研究(任金卫等,2005;张军龙等,2008)。

野外考察发现,沿下热尔断裂发育大量水平断错地貌——错动冲沟、河流、阶地、冲积扇等(图 2, No. 1~11);而断层陡坎、跌水、沟谷裂点等垂向断错地貌未见发育。利用差分 GPS 方法对 4 处典型断错地貌进行测量,相关断错地貌特征如下(图 3、4)。

典型断错地貌一位于下热尔村西北 3km 左右的一处季节性河流(图 3, No. 4),河流发育二级阶地,均发生左旋错动,结合差分 GPS 测量结果知:河漫滩 T_0 左旋位移为 3.5m, T_1/T_0 阶地陡坎高约 1.5m;一级阶地 T_1 左旋位移为 4.0m;推测断层通过位置如图所示,走向为 316° 。结合野外露头剖面,认为 T_0 、 T_1 均为河流相堆积阶地, T_2 为冲洪积相沉积; T_0 、

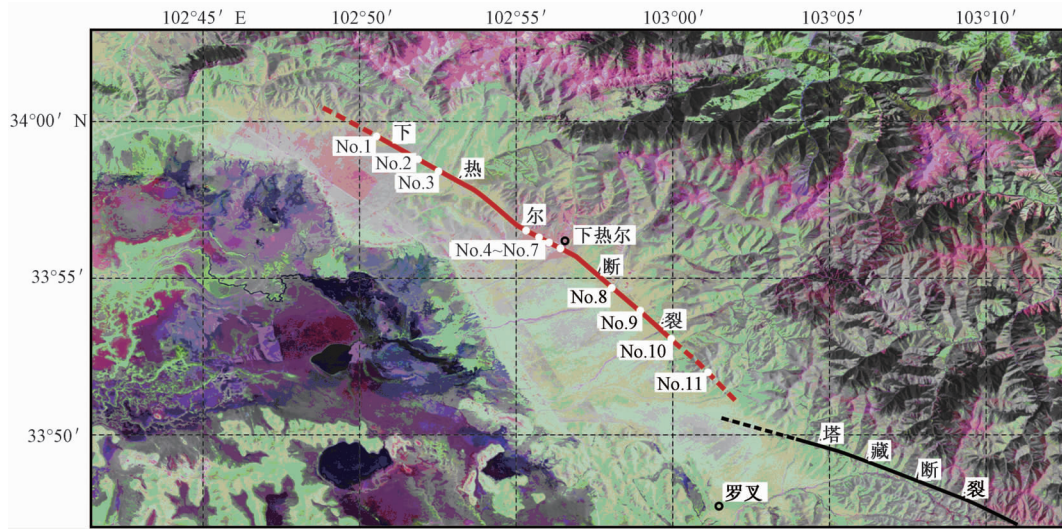


图2 下热尔断裂展布及考察点位置

T_1 表面分布少量沼泽相泥炭物质。

典型断错地貌二位于 No. 4 工作地点东南侧 0.5km 的一条季节性河流(图 3, No. 5), 河流发育二级阶地, 均发生左旋位错, T_0 、 T_1 。 T_0 为河流相堆积沉积, T_1 为冲洪积相沉积; 结合差分 GPS 测量结果可知, 河漫滩 T_0 左旋位移为 2.6m, T_1/T_0 阶地陡坎高约 1.8m; 一级阶地左旋位移为 4.1m; 推测断层通过位置如图所示, 走向为 320° 。该处河漫滩左旋位移偏小, 推测由河流的下切、侧蚀作用引起, 该地貌附近河流上游山谷宽阔, 汇水面积大, 侵蚀能力较强, 可能会造成部分左旋位移被吸收。

典型断错地貌三位于下热尔村西北 1.5km, 一条宽约 4m 深约 2m 的季节性冲沟(图 4, No. 6), 发生明显左旋错动, 遥感影像上该冲沟左旋特征亦十分明显, 结合差分 GPS 测量结果知: 对比冲沟西壁, 得出左旋位移为 5.1m; 推测断层通过位置如图所示, 走向为 310° 。野外露头显示该冲沟为冲洪积相沉积, 地表分布少量沼泽相泥炭物质。

典型断错地貌四位于下热尔村东西角(图 4, No. 7)。NE 向流向的桑曲河横穿下热尔村, 沿河发育两级阶地 T_0 、 T_1 。结合差分 GPS 测量结果知: 桑曲河漫滩左旋位移为 4.4m, T_1/T_0 阶地陡坎高约 2m; 一级阶地左旋位移为 5.0m; 推测断层通过位置如图所示, 走向为 310° 。

在 No. 7 工作地点附近垂直断层开挖两处探槽, 探槽剖面均显示 T_0 下部主要为河流相沉积的砂砾石混杂堆积上部覆盖厚约 40cm 的沼泽相泥炭层。

1.2 线性植被异常带

断裂活动可能会引起矿物质、有机质、气体及水分等土壤成分的变化、从而间接影响植被分布情况; 断层通过位置因裂隙发育含水性好, 常发育线性特征明显的植被异常带, 可以作为断裂活动识别的间接标志(张明华, 2006)。

沿 No. 4、5、6 工作地点附近分布一条宽约 5m 长约 2km 的线性植被异常带, 带内、带外草皮生长状况差异大, 带内为深绿色草皮, 两侧为浅绿色草皮, 异常带内外两侧附近地势平坦, 未见明显起伏(图 5(a))。为确定异常带展布, 沿异常带中心线进行差分 GPS 测量, 测量结

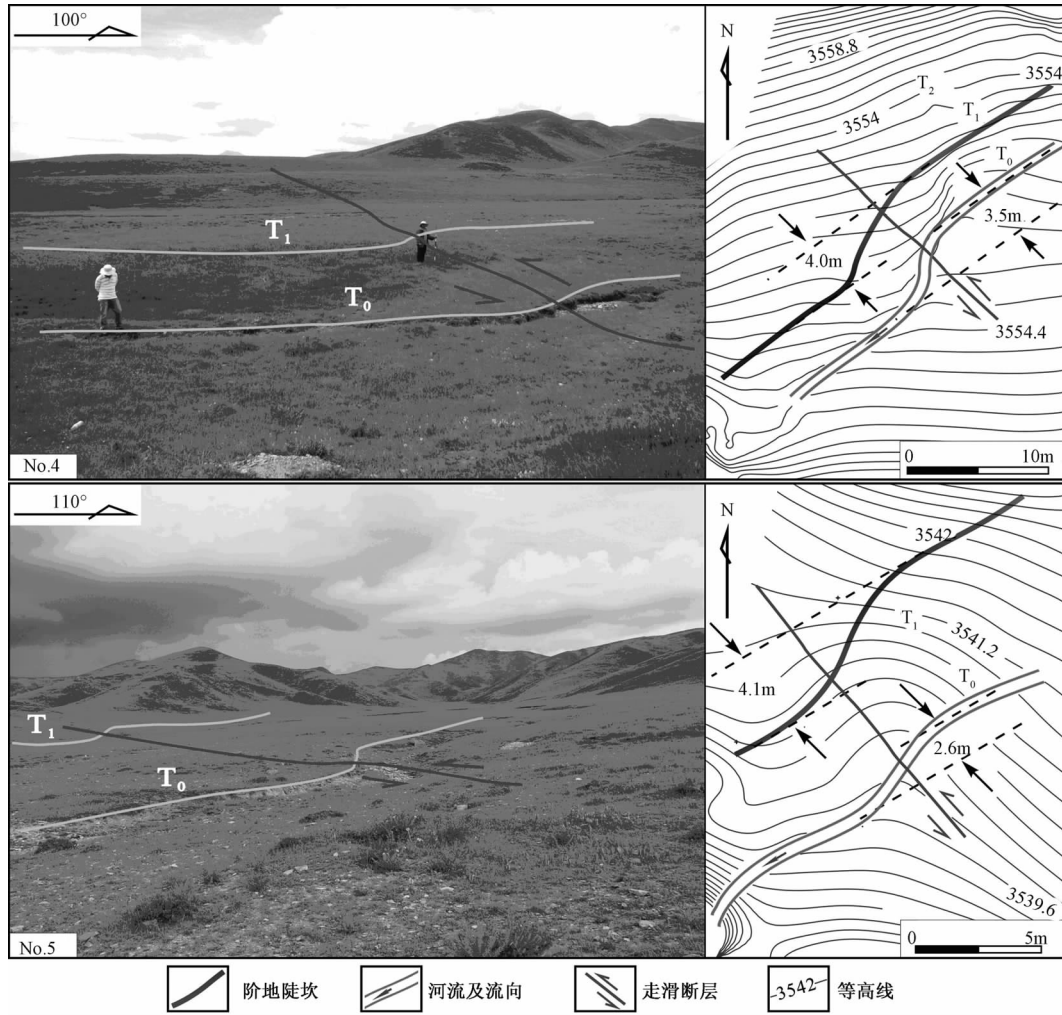


图3 No. 4、5 工作点断错地貌及差分 GPS 测量结果

果表明异常带走向为 313° ，地形起伏变化大，异常带中心线最高点、最低点海拔差为 10m。

沿异常带发育两条走向与之近垂直的季节性冲沟(图 5(c))，冲沟流水方向与异常带走向近 90° 相交，冲沟附近地下水沿冲沟方向优势分布，而异常带走向与地下水优势分布方向近垂直，由此可推测异常带的形成受附近冲沟水系的影响较小，而构造活动常引起土壤成分发生变化，大量裂隙发育，含水性好，从而造成植物沿构造展布位置发育，形成线性植被异常带。

综合野外考察及差分 GPS 测量结果，认为沿下热尔断裂发育的断错地貌左旋错动特征明显(表 1)，水平位移主要分布在 $3.5 \sim$

表 1 典型断错地貌位移分布情况

编号	T_0 左旋位移(m)	T_1/T_0 陡坎高度(m)	T_1 左旋位移(m)
No.4	3.5	1.5	4.0
No.5	2.6	1.8	4.1
No.6	—	—	5.1
No.7	4.4	2.0	5.0
均值	3.5	1.8	4.5

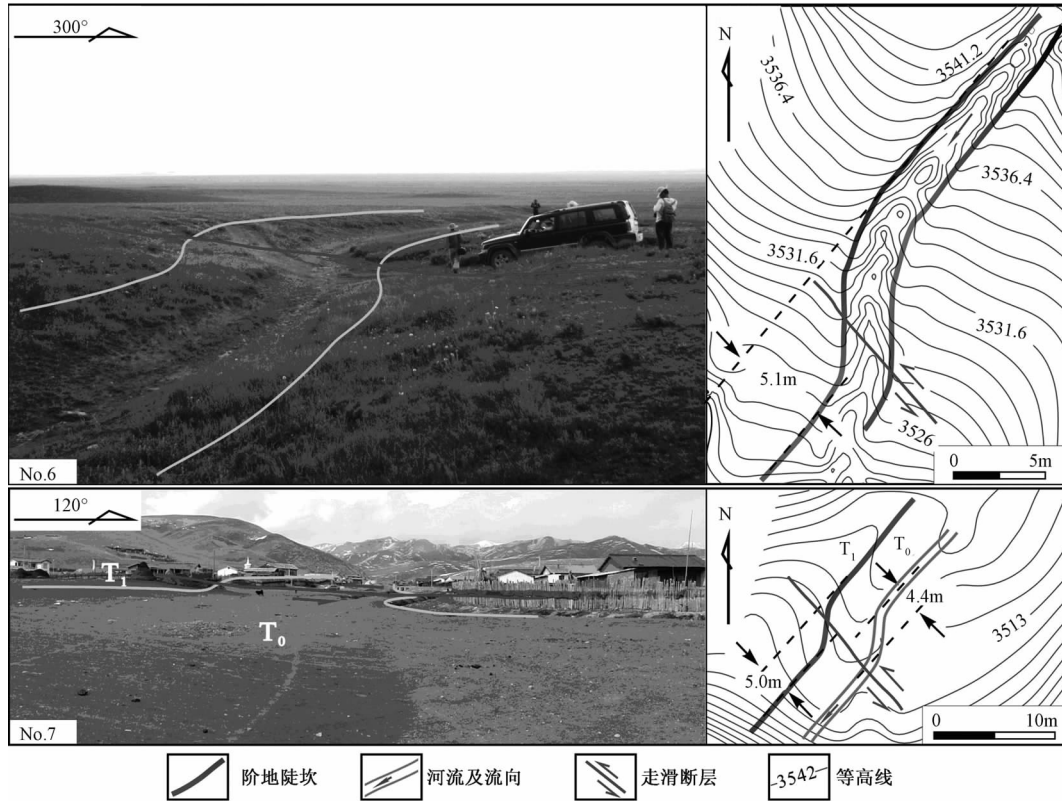


图4 No. 6、7 工作点断错地貌及差分 GPS 测量结果

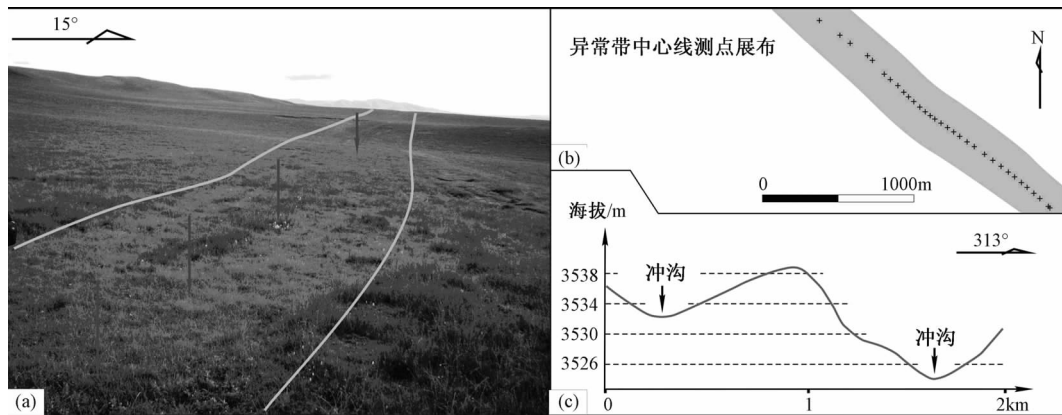


图5 线性植被分布及测量结果

(a) 线性植被异常带; (b) 异常带中心线测点展布; (c) 异常带剖面

4.5m, 而未发现垂向断错地貌。

1.3 探槽剖面分析

结合断错地貌调查及遥感解译, 认为下热尔断裂第四纪运动学特征主要表现为左旋走滑运动, 为研究断裂通过位置及垂向运动特征, 结合据 No. 4、5、6 工作点确定的断层走向,

在 No. 7 工作点附近左旋错动河流东岸 T_0 附近清理开挖两处 NE 向探槽: 探槽 I (图 6)、探槽 II (图 7); 探槽剖面揭示阶地晚第四纪地层被断错, 断裂活动较新。

No. 7 工作点位于桑曲河附近, 该河横穿下热尔村, 发育二级堆积阶地, 阶地面较为宽阔, 河流与阶地发生同步左旋错动, T_0 左旋位移为 4.4m, T_1 左旋位移为 5.1m (图 4, No. 7)。2 处探槽剖面揭示 T_0 下部河流相砾石层被断错, 上部覆盖厚约 40cm 的沼泽相泥炭层。

若尔盖盆地位于青藏高原东北部, 是青藏高原泥炭发育最典型地区, 盆地周缘被高山围限, 黄河水系在区内遗留大量古河道, 为沼泽发育提供了空间, 全新世泥炭分布整个盆地, 沉积厚度由 0.5~10m 不等 (孙广友等, 2001); No. 7 工作点位于若尔盖盆地北部边缘, 属于全新世泥炭沉积范围内, 附近分布一定规模沼泽相泥炭沉积层, 两处探槽上部均覆盖厚约 40cm 的沼泽相泥炭沉积; 探槽上覆沼泽相泥炭物质与盆地内部沼泽相泥炭物质是在相同沉积环境下形成的, 可以通过盆地全新世泥炭沉积年代谱来评价某一深度沼泽相泥炭物质的形成年龄 (孙广友等, 2001)。

1.3.1 探槽剖面 I

探槽 I 位于下热尔村东北角, 附近共发育两级阶地, T_0 左旋位移为 4.4m, T_1 左旋位移为 5.0m, T_1/T_0 陡坎高度为 2m; 于冲积阶地 T_0 上清理开挖探槽 I, 探槽附近地形比较平坦, 未见断层陡坎、鼓包等地貌, 地层特征自上而下描述如下 (图 6)。

探槽 I 共揭示 5 套晚第四纪地层, 1 条正断层: 剖面下部地层以砂、砾石堆积为主, 地层②、③、④、⑤均被错动, 经实际测量得地层垂向最大断距为 0.25m (层⑤), 正断层产状为 $318^\circ/\text{NE}/57^\circ$, 被地表沼泽相泥炭层覆盖, 未切穿至地表, 该层年龄可以约束断裂活动的最新年龄。

1.3.2 探槽剖面 II

探槽 II 与探槽 I 位于同一阶地面上, 走向与探槽 I 基本平行, 探槽 II 东侧 5m 处为 T_0/T_1 阶地陡坎, 陡坎高度为 2m, 于冲积阶地 T_0 上清理开挖探槽 II, 探槽附近地形比较平坦, 地层特征自上而下描述如下 (图 7)。

探槽 II 共揭示了 4 套晚第四纪地层, 1 条正断层: 剖面下部地层以砂、砾石堆积为主, 地层②、③、④均被错动, 经实际测量得地层垂向最大断距为 0.40m (层④), 正断层产状为 $318^\circ/\text{NE}/60^\circ$, 被地表沼泽相泥炭层覆盖, 未切穿至地表, 该层年龄可以约束断裂活动的最新年龄。

探槽 II 与探槽 I 之间距离较近, 均位于桑曲河河漫滩阶地, 对比两处探槽剖面揭示的地层可知, 层①与层②在地层厚度、沉积特征上具有较好一致性, 且表层均覆盖厚约 40cm 的沼泽相泥炭沉积; 其它地层在厚度、成分、粒径方面存在一定差异, 可能是由于与河流之间的距离不同造成相同阶地不同位置的沉积特征因物源不同而存在差异; 探槽 II 更靠近河流, 地层中砾石、粗砂的比例大于探槽 I 中的地层, 而细砂、粘土的比例小于探槽 I。

2 断裂平均滑动速率估算

滑动速率是断裂运动学特征的重要参数之一 (丁国瑜等, 1993; 徐锡伟等, 2005), 通过对构造地貌的测量和复原, 选择合适的地貌面年龄, 获得断裂的变形量与地貌开始变形的年龄, 从而获得断裂滑动速率, 反映断裂的位移特征、运动强度及活动方式等。位错量及对应

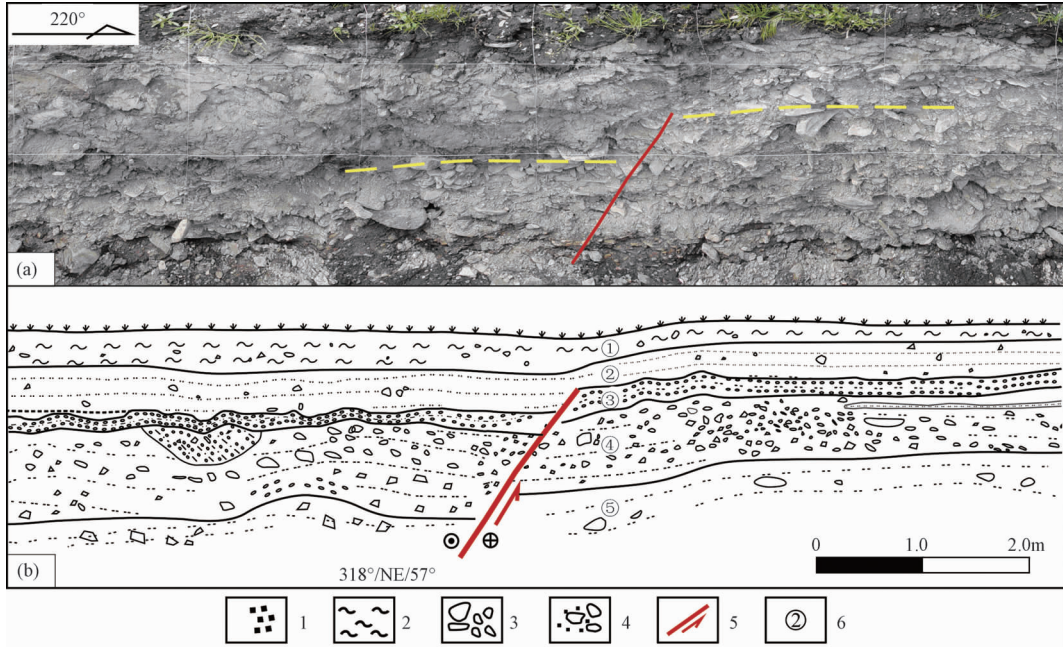


图6 探槽 I 东壁剖面 ((a)拼接照片;(b)解译图)

1. 腐殖土; 2. 细砂; 3. 砾石; 4. 砂砾; 5. 断层; 6. 地层编号

- ①青灰色沼泽相泥炭层:以粘土为主,现代植物根系较为发育,偶见砾石,粒径 $0.5 \sim 2\text{cm}$,厚 $20 \sim 40\text{cm}$;地层未被错断,覆盖断层之上,该层年龄为可以约束断层活动的最新年龄。
- ②灰白色砂砾石层:冲洪积相,砾石与粗砂有一定胶结,砾石占40%左右,粒径不均,大者 10cm ,小者 2mm ,磨圆度差,厚 $30 \sim 40\text{cm}$;沿垂向被错开 15cm 。
- ③黑褐色含砾黑土层:粘土为主,含30%左右粗砂,粒径较均匀,平均粒径 3cm ,磨圆度差,厚 $10 \sim 20\text{cm}$;地层被错开 17cm 。
- ④青灰色冲积砾石层:青灰色冲积成因大砾石层,含少量粗砂,砾石含量50%左右,粒径不均,一般粒径 4cm ,大者 20cm ,小者 2cm ,磨圆度差,厚 $60 \sim 80\text{cm}$;沿垂向被错开 25cm 。
- ⑤灰黑色含砾粗砂层:粗砂、细砾为主,含少量砾石,粒径不均,大者 25cm ,小者 1cm ,磨圆度差,厚度 40cm 未见底;沿垂向被错开 25cm 。

的形成年龄是影响滑动速率的关键因素。

2.1 断裂位错量的确定

综合野外考察及差分GPS测量结果,认为沿下热尔断裂发育的断错地貌左旋错动特征明显(表1),水平位错量为 $3.5 \sim 4.5\text{m}$;而未发现垂向断错地貌。

两处探槽剖面下部均以砂、砾石堆积为主,上部被沼泽相泥炭沉积层覆盖,共揭示9套地层,在沉积特征方面存在一定相似性;2条正断层,错动晚第四纪地层,地层错断垂直位移为 $0.15 \sim 0.4\text{m}$ (表2),远小于水平位移,表明下热尔断裂活动以左旋走滑为主,兼有少量倾滑。

No.4、5、7工作点所在的一级阶地 T_1 的左旋位移平均值为 4.5m ,河流侧蚀作用和下切作用影响较小,较接近断裂活动引起的实际位移。而3处工作点的 T_0 左旋位移存在差异,平均值为 3.5m ,小于 T_1 左旋位移,工作点No.4、5处的河流为季节性河流;工作点No.7位

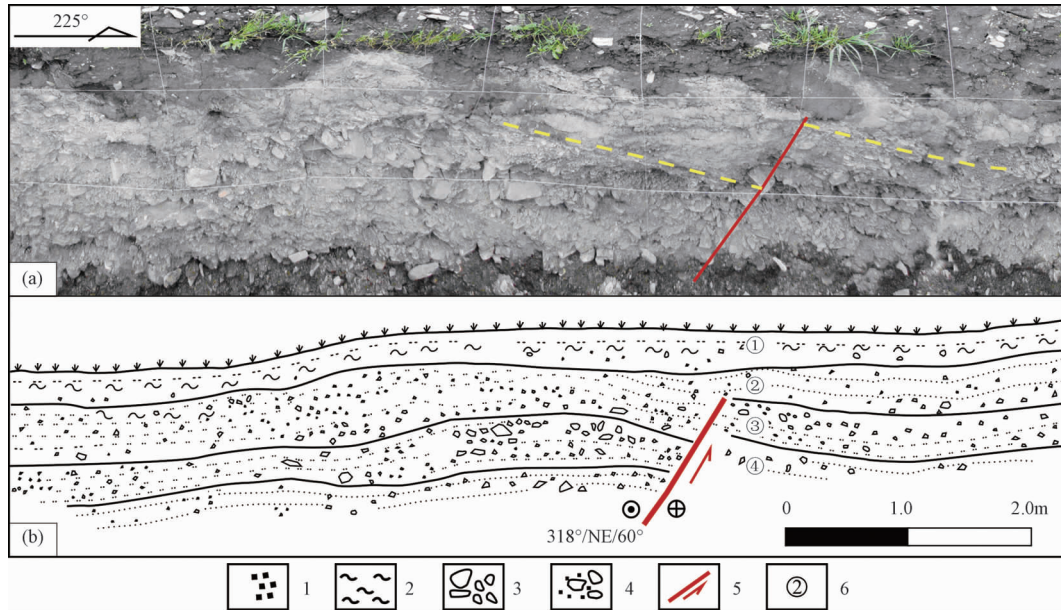


图7 探槽Ⅱ东壁剖面 ((a)拼接照片;(b)解译图)

1. 腐殖土; 2. 细砂; 3. 砾石; 4. 砂砾; 5. 断层; 6. 地层编号

- ①青灰色沼泽相泥炭层:以粘土成分为主,现代植物根系较为发育,偶见砾石,粒径0.5~2cm,厚35~40cm;地层未被错断,覆盖断层之上,该层年龄为可以约束断裂活动的最新年龄。
- ②灰白色粗砾层:冲洪积相,粒径相对均匀,一般为2cm,磨圆度差,偶见巨砾,厚度30~40cm;沿垂向被错开15cm。
- ③青灰色冲积砾石层:冲积成因砾石层,含少量粗砂,砾石含量50%左右,分选性差,分布不规则,粒径不均,大者20cm,小者2cm,磨圆度差,厚60~80cm;沿垂向被错开35cm。
- ④灰黑色含砾粗砂层:粗砂为主,粒径0.2cm,含少量砾石,粒径不均,大者25cm,小者1cm,磨圆度差,30cm未见底;沿垂向被错开40cm。

于河流附近,受河流侧蚀、下切作用影响,断裂活动引起的实际位移可能会被吸收一部分。

根据两处探槽剖面可以获得地层垂直位移(表2),不同地层的垂直位移差异较大,断裂活动后,由于重力、变形等作用,地层沿垂向的位移会发生调整,最后地层中保留的位移小于断裂活动引起的实际位移,两处探槽剖面所揭示的垂直位移最大为0.40m,较为接近断裂活动引起的实际垂直位移。

表2 地层垂直位移分布表

名称	探槽Ⅰ垂直位移(m)	探槽Ⅱ垂直位移(m)
层①	0.00	0.00
层②	0.15	0.15
层③	0.17	0.31
层④	0.23	0.40
层⑤	0.25	—
最大值	0.25	0.40
最小值	0.15	0.15
平均值	0.20	0.29

水平位移采用 T_1 左旋位移平均值4.5m,垂直位移采用探槽Ⅱ中层④的垂直位移0.40m,水平位移与垂直位移比值为11:1,运动学特征表现为左旋走滑为主,兼有少量正倾滑。

沿断裂发育的断错地貌水平位移较为集中,且不同等级阶地位错量非常相近,可能是在低级阶地形成后发生的构造事件或者蠕滑运动造成的。

2.2 断裂最新活动年龄约束

沼泽相泥炭层在若尔盖盆地内部及边缘广泛发育,泥炭层的形成年龄在一定空间范围较为接近,下热尔探槽上覆的泥炭层形成年龄可以参考盆地全新世泥炭沉积年代谱(孙广友等,2001)及探槽附近的测年资料。

若尔盖盆地四周被高山围限,青藏高原在第四纪中隆升强烈,本区抬升量相对较小,残留大量黄河水系古河道,排水不畅或闭流的盆地环境提供了沼泽发育的条件,全新世泥炭层覆盖整个盆地(孙广友等,2001)。沼泽相泥炭层在盆地内部与盆地边缘的发育程度不同,盆地内部分布范围更广、厚度更大;盆地边缘沼泽相泥炭只在山间宽谷、水源充足的地方局部发育,两者在年龄方面具有一定可比性。下热尔断裂附近主要分布黑河、达水曲、桑曲、阿细龙曲、热曲等水系(图8)。四处工作地点均位于若尔盖盆地东北缘, No. 4、5、6 工作地点附近沼泽相泥炭层发育较少,零星分布; No. 7 工作地点附近水系较为发育,沼泽相泥炭沉积范围广泛,在河漫滩阶地 T_0 及 1 级阶地 T_1 上均有发现,沉积特征与盆地内部的沼泽相泥炭层较为接近。

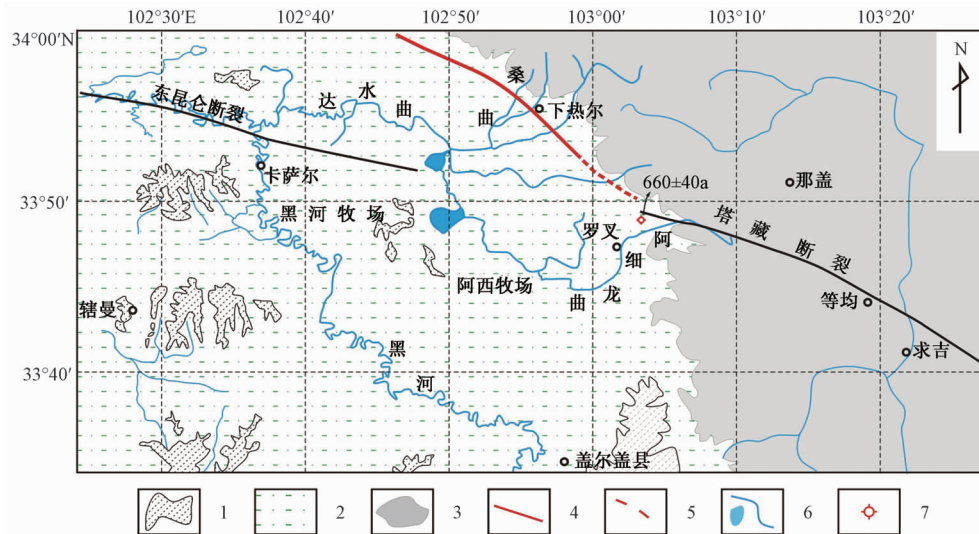


图8 下热尔断裂附近沉积环境(孙广友等,2001)

1. 残丘;2. 沼泽;3. 高山;4. 断层;5. 推测断层;6. 水系;7. 样品点

NE向桑曲河与阿细龙曲河最终汇入黑河,在罗叉村附近阿细龙曲河一级阶地上采集测年样品,光释光样品采集位置距离地表40cm,位于沼泽相泥炭层内,含粉砂,经中国地震局地壳应力研究所测年实验室测试校正,其形成年龄为 (660 ± 40) 年。

利用泥炭纹泥计年与 C^{14} 测年相结合的方法,可以建立全新世以来若尔盖盆地的泥炭沉积年代谱(孙广友等,2001),结合测年结果(表3)可知,若尔盖盆地全新世泥炭层距地表40cm范围内的年龄最大值为800年,年龄平均值为 (716 ± 40) 年。

No. 7 工作地点附近两处探槽揭示的两条断层均未切穿地表,被表层层厚约40cm的沼泽相泥炭层覆盖,该工作地点沼泽相泥炭层相对其他工作地点发育完整,面积大、连续性好,与盆地内

表 3 若尔盖地区地表泥炭层年龄分布

样品 序号	剖面地点	地貌类型	样品深度 (cm)	样品材料	年龄 (a)	资料来源
1	瓦切日干乔	沼泽宽谷	20~30	植物根系层	现代	孙广友等,2001
2	喀哈尔乔	沼泽宽谷	20~30	植物根系层	现代	孙广友等,2001
3	贾诺乡	河漫滩	30~45	泥炭	483 ± 65	孙广友等,2001
4	红原泥炭场	白河阶地	0~20	泥炭纹层	800	孙广友等,2001
5	红原泥炭场	白河阶地	20~40	泥炭纹层	741	孙广友等,2001
6	红原泥炭场	白河阶地	40	泥炭	615 ± 250	孙广友等,2001
7	红原泥炭场	白河阶地	27	泥炭	665 ± 135	孙广友等,2001
8	红原泥炭场	白河阶地	0~10	泥炭	360 ± 60	孙广友等,2001
9	罗叉村	河流阶地	40	粉砂	660 ± 40	本文

的沼泽相泥炭沉积在沉积环境、物质组成方面具有一定的相似性,推测两者同等深度泥炭的形成年龄较为接近。表层厚的沼泽相泥炭层底部的泥炭物质,其形成年龄可以初步约束断层活动的最新年龄,结合本文测年结果及孙广友等(2001)资料,取地表以下 40cm 处泥炭的形成平均年龄(716 ± 40) a,作为评价断裂最新活动的约束年龄。

断错地貌左旋位移主要分布在 4.5m, 工作点 No. 7 附近左旋位移分布在 4.4~5.0m, 两处探槽剖面揭示断层被表层泥炭层覆盖, 如果沿断裂分布的位错量是由多次构造活动累计造成, 可初步得到下热尔断裂平均水平滑动速率为 6.3mm/a。

3 结论与讨论

下热尔断裂是一条位于东昆仑断裂带东段与迭部—白龙江断裂这两条走滑断裂之间挤压变形带内的活动断裂。据野外考察及遥感资料, 获得了该断裂的一些新活动证据, 断裂整体走向 310° , 向西汇入山前陡坡带, 向东与塔藏断裂小角度相交, 地表出露长度 20km 左右, 沿断裂发育大量断错冲沟、阶地、水系、错动地层、植被异常带等可作为断裂活动识别的直接或间接标志。断错地貌左旋位移大多为 4.5m, 如果沿断裂分布的位错量由多次构造活动累计造成, 可初步得到平均水平滑动速率为 6.3mm/a。运动性质以左旋走滑为主, 兼有少量正倾滑。

东昆仑断裂带是青藏高原北部的一条巨型左旋走滑断裂系, 由多条首尾错列或遥相对应的地震破裂段及次级断裂组成(邓起东等, 1989)。在东昆仑断裂带东段与迭部—白龙江断裂这两条规模较大的左旋走滑断裂之间的挤压变形带内发育大量隆起、褶皱和断层, 而下热尔断裂正位于变形带内; 东昆仑断裂带玛曲段走向为 $285^\circ \sim 290^\circ$ (李陈侠, 2009), 下热尔断裂走向为 310° , 两断裂之间的交角小于 30° , 符合分支断裂与主断裂交角一般小于 30° 的规律(丁国瑜等, 1993); 东昆仑断裂主断裂的平均左旋滑动速率为 5~7 mm/a (李陈侠, 2009; Van Der Woerd et al, 2002), 下热尔断裂估算滑动速率为 6.3mm/a; 两者在几何学、运动学方面具有较好一致性, 推测该断裂属于东昆仑断裂带走滑断裂体系内的一条次级断裂或过渡性断裂。

探槽剖面 I、探槽剖面 II 揭示的地层整体上向 SW 轻微倾斜, 该区位于若尔盖盆地东北缘, 若尔盖盆地是新生代形成的构造盆地, 围限于构造高山区内(孙广友等, 2001), 盆地地

形由边缘到中心呈逐渐下降趋势。探槽剖面揭示的地层存在 SW 向倾斜特征,推测是对构造运动引起的盆山沉积环境的响应。

下热尔断裂出露的规模较小,地表可追踪断错地貌展布长度仅 20km 左右,初步得到的平均水平滑动速率为 6.3mm/a,较为接近东昆仑断裂带主断裂滑动速率,而东昆仑断裂带滑动速率由西向东呈递减趋势,下热尔断裂位于东昆仑断裂带东段,6.3mm/a 的平均滑动速率偏大。不排除该断裂是一条构造地裂缝的可能性。构造地裂缝的形成、发育和活动与区域构造应力场、地震和断层活动有关(刘科,2008)。受东昆仑断裂带东段区域应力场、盆地伸展变形和盆缘及盆内断裂活动的影响,存在地裂缝产生的可能性:下热尔断裂位于东昆仑断裂带东段的应力场环境中,既有水平剪切应力,也有水平挤压应力,且下热尔断裂与东昆仑断裂带走向基本一致,处于塔藏断裂向北西延伸的方向上,这样的构造环境中,断裂深部发生蠕动,可能会产生地裂缝,并出露地表;下热尔断裂位于若尔盖盆地北东缘,盆地内部断裂较为发育,形成了由 NW 向、NWW 向、NE 向等 3 类断裂体系组成的棋盘格式的断裂格架,NWW 向断裂系统是控制盆地形态的重要因素(盛海洋等,2008),下热尔断裂整体走向 NWW,与盆地伸展方向近平行,受盆地伸展变形和盆缘及盆内断裂活动的影响,也可能产生一些地裂缝,但盆地内部及边缘沼泽相沉积层广泛分布,草甸覆盖,植物根系交织,地裂缝不易出露地表,可能隐伏在浅部或深部。下热尔断裂位于盆地边缘,容易出露地表,因此,下热尔断裂也可能是一条构造地裂缝。

参考文献

- 丁国瑜、田勤俭、孔凡臣等,1993,活断层分段—原则、方法及应用,70~82,北京,地震出版社。
- 李陈侠,2009,东昆仑断裂带东段(玛沁—玛曲)晚第四纪长期滑动习性研究,博士论文,北京,中国地震局地震研究所。
- 刘科,2008,河北平原地区地震地裂缝活动的相关分析,华北地震科学,26(4),45~50。
- 青海省地震局,1999,中国地震局地壳应力研究所,东昆仑活动断裂带,北京,地震出版社。
- 任金卫、李珩,1989,则木河断裂带北段地震地貌及古地震研究,地震地质,11(1),27~34。
- 任金卫、王敏,2005,GPS 观测的 2001 年昆仑山口西 Ms8.1 级地震地壳变形,第四纪研究,25(1),34~44。
- 邵志刚、周龙泉、蒋长胜等,2010,2008 年汶川 Ms8.0 地震对周边断层地震活动的影响,地球物理学报,53(8),1784~1795。
- 盛海洋、王飞跃,2008,黄河上游若尔盖盆地构造特征及其演化,人民黄河,30(7),9~11。
- 孙广友、罗新正、R E Turner,2001,青藏高原东北部若尔盖高原全新世泥炭沉积年代学研究,沉积学报,19(2),177~181。
- 闻学泽、杜方、张培震等,2011,巴颜喀拉块体北和东边界大地震序列的关联性与 2008 年汶川地震,地球物理学报,54(3),706~716。
- 徐锡伟、陈文彬、于贵华等,2002,2001 年 11 月 14 日昆仑山库赛湖地震地表破裂带的基本特征,地震地质,24(1),1~17。
- 徐锡伟、闻学泽、于桂华等,2005,川西理塘断裂带平均滑动速率、地震破裂分段与复发特征,中国科学(D 辑),35(6),540~551。
- 杨攀新、任金卫、陈正位等,2010,西藏中部申扎—定结地堑系北段中新世以来构造地貌学研究,地震,30(3),81~89。
- 张军龙、田勤俭、张小龙等,2008,差分 GPS 测量(DGPS)方法在新构造研究中的应用探讨,地学前缘,15(4),290~297。
- 张明华,2006,西藏墨脱公路断裂构造遥感分析及信息提取,国土资源遥感,(1),56~60。
- Avouac J P, Tapponnier P, 1993, Kinematic model of active deformation in central Asia, Geophys Res Lett, 20, 895~898。
- Tapponnier P, Peltzer G, Dain A Y L, et al, 1982, Propagating extrusion tectonics in Asia; new insights from simple experiments with plasticine, Geology, 10(12), 611~616。
- Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, 2001, et al, Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau, Science, 294(5547), 1671

~ 1677.

Woerd J V D, Tapponnier P, Ryerson F J, 2002, et al, Uniform postglacial slip-rate along the central 600km of the Kunlun Fault (Tibet), from ^{26}Al , ^{10}Be , and ^{14}C dating of riser offsets, and climatic origin of the regional morphology, *Geophysical Journal International*, **148**(3), 356 ~ 388.

Wen X Z, Yi G X, Xu X W, Background and precursory seismicities along and surrounding the Kunlun fault before the Ms8.1, 2001, Kokoxili earthquake, China, *J Asian Earth Sci*, 2007, **30**(1), 63 ~ 72.

A preliminary study on the Xiareer fault of the east Kunlun active fault

*Fu Jundong Ren Jinwei Zhang Junlong Chen Changyun Xiong Renwei Hu Chaozhong
Yang Panxin*

Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

Abstract The Xiareer fault, located in the deformation bands of northern and eastern boundary of the Bayan Har block, is situated in the compressive zone between the east Kunlun active fault and Diebu-Bailongjiang fault, also known as the “Maqu seismic gap”. Based on the field investigation and remote sensing data validation, it is confirmed that the Xiareer fault is a left-lateral fault with slight dip-slip components trending 310° and extending about 20km. A large amount of horizontal offset landforms distribute along the fault, with a latest left-lateral strike-slip of 3.5 ~ 5m, free of vertical offsets. Two trenches excavated along the direction perpendicular to the fault reveal that the fault cuts through the Late Quaternary stratum, covered with palustrine peat-layer on the surface. The relevant data ageing study reveals that the horizontal left-lateral slip-rate is approximately to 7.1mm/a. The fault has a good coherence in the kinematics characteristics with the Maqu fault of East Kunlun Active Fault, and it is possible that the Xiareer fault is closely interrelated with the East Kunlun Active Fault, as a subsidiary fracture belonging to the east Kunlun active fault.

Key words: East Kunlun Active Fault Bayan Har block Active characteristics