

青海省湟水盆地全新世活动断裂分布 及其活动特征研究

涂德龙 王赞军 曾包红 高强
(青海省地震局, 西宁 810001)

摘要 在详细的航卫片解译、地震地质调查、古地震与历史地震研究的基础上, 向人们展示了湟水构造盆地全新世断层的活动图像, 对地震活动作出趋势性预测, 并且发现, 盆地东部为一地壳稳定性较差的活动构造块体, 应引起地震工作者的足够重视。

主题词 全新世断层 地震预报 青海 湟水盆地
中国图书分类号 P315.2; P315.5; P534.63

0 引言

在地质构造块体的地壳稳定性研究工作中, 活动断裂的研究已成为不可忽视的一个方面。目前, 一般定性的描述已不能满足现代城镇抗震设防的需要或大型工程项目的设计要求。

湟水构造盆地地处现今地震活动十分强烈的祁连山地震带内, 同时又处在青海人口比较集中及经济相对发达地区, 因而查明研究区范围内活动断裂的分布, 确定其几何学、运动学及动力学特征, 对盆地内各城镇的抗震设防和烈度鉴定、重大工程及生命线工程的地震安全性评价均具有十分重要的现实意义。

本文重点论述了湟水构造盆地晚更新世末至全新世活动断裂的展布及其活动特征, 从而对构造块体的稳定性作出评价。

1 活动断裂的分布及其活动特征

湟水构造盆地地处青藏高原东北边缘的祁连山褶皱带之中。由于其独特的构造环境使得活动断裂的时、空、强特征相当复杂。湟水盆地的边缘断裂带均为形成时间早、规模大的深大断裂构造带, 新构造运动以来重新复活, 控制了块体的形成和发展, 显示了较强的运动及变形特征, 反映了区域应力场统一作用方式。

湟水盆地发育在下元古界变质岩系的基础之上, 经长期地质隆升之后, 从中生代开始局部沉降接受陆相碎屑沉积, 第三纪时盆地形成。据物探资料, 盆地中新生界平均厚度3 000 m左右, 沉积最大厚度位于西宁东北的双树湾凹陷, 厚达4 000 m之多。

在喜马拉雅第三幕影响下, 盆地强烈抬升形成复向斜构造, 伴随盆地边缘断裂复合, 盆地

收稿日期: 1997-06-02

第一作者简介: 涂德龙, 男, 1951年10月生, 高级工程师, 现在主要从事地震地质研究工作。

与周围山麓间的相对差异升降运动明显,其高差在2 200 m左右.

早更新世时,第三系红层广泛遭受侵蚀,塑造了第Ⅱ级夷平面,中更新世在夷平面上形成5级以上阶地,晚更新世至今盆地间歇性抬升,造成4级以下阶地及现今盆地地貌景观.

现已查明湟水构造盆地第三纪以来活动断裂有28条,其中第三纪活动断裂4条,更新世活动断裂15条,晚更新世末至全新世活动断裂9条.下面仅就晚更新世末至全新世时期仍在活动的9条断裂(图1和表1)作些介绍.

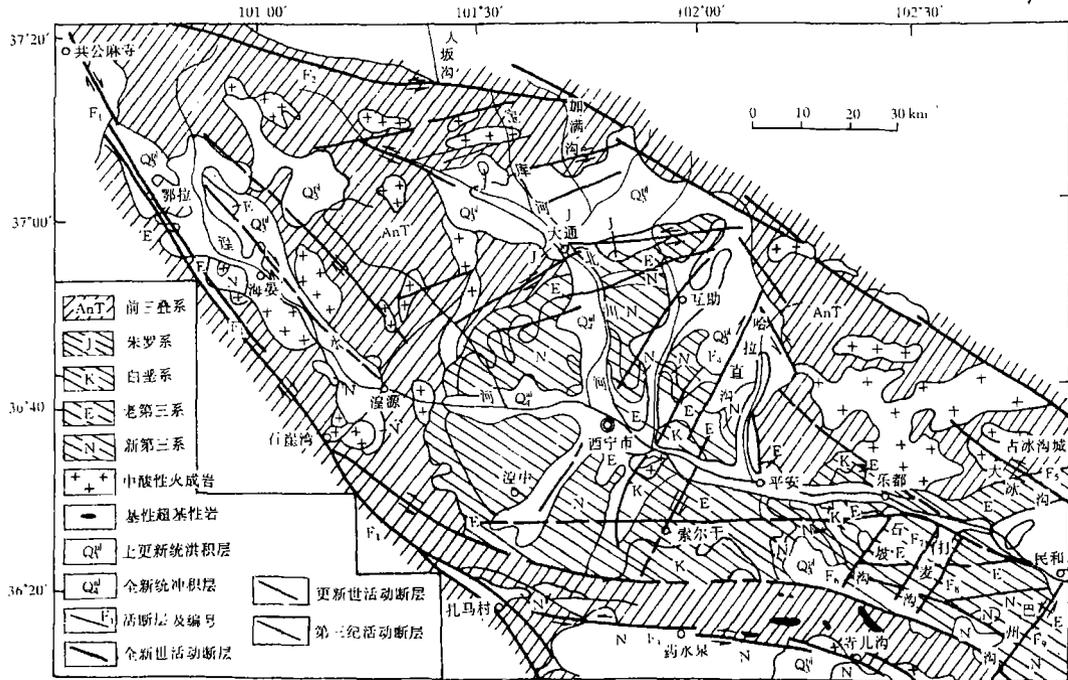


图1 湟水盆地活动断裂分布

Fig. 1 Distribution of the active faults in Huangshui basin.

1.1 日月山断裂带(F_1)

该断裂带位于湟水盆地西侧的大通山-日月山隆起带的边缘.在研究区内,断裂带北自公共麻寺,向东南经黄毛村至扎马山一带,全长172 km,其两端均延出图外.

该断裂带影像特征清楚醒目,由多条逆走滑断层组成,空间上呈左行雁列,断坎明显,构成两种不同色调的分界.断裂带总体走向 $N320^\circ W$,各段倾向不一致,剖面上具枢纽构造特征,但优势倾斜方向西南,倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$,具逆走滑断层特征.

实地调查研究结果表明,断裂地貌多表现为坡脊断错带、水系扭错带和长条状展布的断塞塘及地堑.航片影像显示,鄂拉一带断裂强烈右旋走滑造成山前坡脊连续平移断错,堵塞冲沟,在断槽内形成新的堰塞塘堆积(图2).

石崖湾一带,断裂带则多形成断裂谷地及断坎(图3).

擦那塘一带,断裂切割晚更新世末至全新世地层形成冲-洪积平原.跨断层甚低频电阻率测量结果表明,该处断裂破碎带宽度 $L > 260$ m,存在3条主破裂面,地电阻率异常值高出正常值2倍(图4).

该断裂带地表右旋断错地貌的距离大多为270~360 m.断裂错断的最新洪积扇形成于晚更新世时期.以此推算,该断裂晚更新世以来平均滑动速率为3.2 mm/a.

表1 湟水构造盆地晚更新世末至全新世活动断裂

序号	代号	断裂名称	图幅内断裂 长度(km)	产状			断裂新活动标志	活动性质
				走向	倾向	倾角		
1	F ₁	日月山断裂带	172	320°	SW	60°~70°	断错地层 E、N _{1x} 、Q ₄ ^{pl-pl} 和 Q ₄ ^{pl} , 断错地貌山坡脊、现代冲沟和 洪积扇面,并控制泉水分布 (坡脊右旋平移 135 m)	右旋走滑兼 具逆断层性质
2	F ₂	宝库河断裂	72	287° 近东西 282°	S	70°	断错地层 Q ₄ ^{pl-pl} 、Q ₃ ^{pl} , 控制 Q ₄ ^{pl} , 断错一系列山坡脊和冲沟, 形成沼泽分布带(堰寒塘)	左旋走滑
3	F ₃	拉脊山南 缘断裂带	82	近东西	N	60°~80°	断错地层 E、N _{1x} 、N _{2g} 、Q ₃ ^{pl-pl} 、Q ₄ ^{pl} , 断错地貌有断坡脊、断错水系和断 坎,坡脊断错水平位移 140 m 左右	左旋走滑兼具 逆断层性质
4	F ₄	哈拉直沟- 索尔干断裂	55	15°	SE	70°	三角面发育并控制了哈拉直沟的 展布,红层区形成一系列的土崖、 山垭口及冲沟肘状弯拐,沿断裂带 分布有多处大规模滑坡体,断错和 控制地层 E、N _{1x} 、Q ₃ ^{pl-pl} 、Q ₃ ^{pl} 和 Q ₄ ^{pl}	右旋走滑兼具 正断层性质
5	F ₅	大冰沟断裂	26	315°~ 300°	SW	65°	控制和断错地层 E、N _{1x} 、Q ₂ ^{pl-pl} 和 Q ₄ ^{pl-pl} ,并控制泉水的分布,裂谷 地貌发育,北盘抬升,南盘下降	左旋走滑兼具 正断层性质
6	F ₆	石坡沟断裂	18	25°	W	82°	断错地层 E、N _{1x} 、Q ₂ ^{pl-pl} 和 Q ₃ ^{pl} , 构 成大型沟谷的东岸边界,局部地 段明显断错了一系列坡脊和冲 沟,形成断裂平台及三角面	右旋走滑兼具 正断层性质
	F ₇	打麦沟断裂	13	25°	W		同上	同上
	F ₈	中坝沟断裂	10	25°	W		同上	同上
	F ₉	巴州沟断裂	25	30°	W	85°	最新地表裂缝带明显可见,断面 直立,东盘抬升,西盘下降	左旋走滑

沿断裂带多分布有古生代形成的花岗岩带.莫霍面等深度图显示,日月山断裂带构成地幔平稳区(西侧)与地幔变形区(东侧)的分界.在航磁 ΔT 平面等值线分布图上,断裂南段明显位于正负磁异常带之间的交替部位.断裂在地表呈现强烈的变形特征并构成湟水盆地西部边界.以上诸多现象表明,日月山断裂带为形成时代较早且切割地壳较深的地壳型断裂.

1.2 宝库河断裂带(F₂)

该断裂带位于盆地的北侧,为北祁连山南缘断裂带的组成部分,区域断裂长在 400 km 以上,研究区内自叶赫拉沟向东沿宝库河南侧延伸,终止于加满沟一带,长 70 km 以上,走向近东西,倾向南,倾角 70°,为高角度逆走滑断层.

该断裂带各段活动性差异十分显著,研究区范围内宝库河一段长约 50 km,新构造活动特征明显,断错了上覆更新统(Q₃^{pl-pl}、Q₃^{pl})及全新统(Q₄^{pl}),形成明显的断错地貌,表明在晚更新世至全新世时期仍在强烈活动.如在大坂沟一带,航片影像显示,两条平行断层构成的地堑控

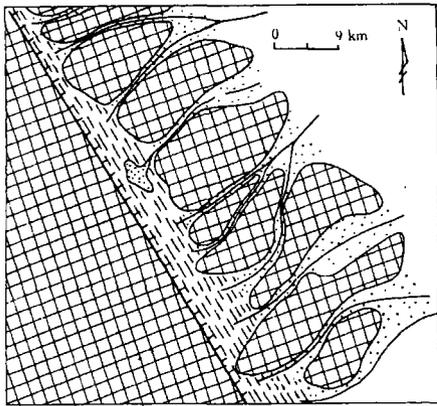


图2 日月山断裂带(F_1)坡脊断错及断槽平面图

Fig. 2 The plan of offset ridge and displaced troughs in Riyueshan fault zone (F_1).

- 1 基岩区; 2 静水沉积;
3 冲沟及冲沟堆积; 4 断坎

制了宝库河流向,沿断层诸多的山脊及冲沟水系均左旋平移形成断塞丘带和堰塞塘沉积带(图5)。

上述地貌及水系左旋平移断错的距离大多为400~700 m,最大平移距离可达1 200 m,反映了断裂带在中更新世、晚更新世和全新世不同时期的累积位错幅度,表明该断裂带自中更新世以来的平均滑动速率为3.8mm/a。

据记载,公元1925年5.3级地震和公元1929年5.5级地震均发生在宝库河段,表明该断裂带目前仍具有较强的活动特征。

物探资料分析研究结果表明,该断裂带位于宝库河至天祝地幔拗陷区的连线之上。其布格重力异常显示为异常曲线的转折部位,航磁异常则构成北侧正值磁异常区与盆地内平静磁异常区的分界,表明该断裂带为切割地壳较深的地壳型断裂。

1.3 拉脊山南缘断裂带(F_3)

该断裂带位于研究区的南侧,西起拉脊山南坡的千户村一带,向东南经药水泉、扎巴后,终止于循化北的长军山一带,图幅内断裂长82 km。

该断裂带由4条规模不等、走向有差异的活动断层组成,整体走向由近东西向逐渐转为北西向,断面北倾,倾角 $60^\circ\sim 80^\circ$ 。

航、卫片影像清晰地显示出断裂西段多构成槽状负地形,控制着第四系松散堆积,断裂东段则为直线状陡壁断崖。纵观断裂全貌,断裂以北为雄伟的拉脊山系,海拔在4 000 m以上,基岩裸露,沟谷深切,山势险峻,为强烈的上升区。断裂以南为低缓的化隆盆地,基岩深埋地下,上覆巨厚的红色岩层。

野外地质调查发现,现今断裂北侧的山岭上仍保留有第三系红层,高出南侧盆地边缘200~300 m,说明该断裂带强烈的垂直升降运动始于第三纪末或下更新世初,并破坏切割了第三纪前所有的构造层。晚第四纪以来,由于受青藏高原整体抬升运动的影响,断裂平移运动也得以加强。

野外调查还发现,在化隆县寺儿沟脑,断裂不仅断错了第三系,并切割了第四系中更新统(Q_2^1)、上更新统(Q_3^{al-pl})和全新统(Q_4^1)。沿断裂带方向,地貌上展现出一系列断隆、坡脊断错平台带和洪积扇断坎,显示了该断裂带在晚第四纪时期具有左旋逆走滑运动性质。

在药水泉一带,可见有宽约300 m的断裂挤压破碎带,早期冲沟和坡脊断错320 m,稍晚些的冲沟断错140 m,最新的纹沟断错10 m,反映了晚更新世末、全新世初以及全新世中期以来多期

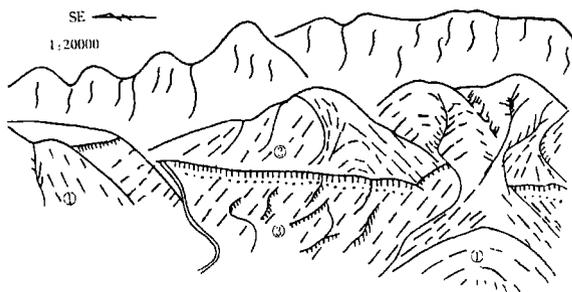


图3 日月山断裂带(F_1)在石崖湾地区的断裂地貌景观素描

Fig. 3 Geomorphological sketch along the Riyueshan fault (F_1) in Shiyawan area.

- ① 断错山坡脊; ② 断坎; ③ 静水沉积(Q_4^1)

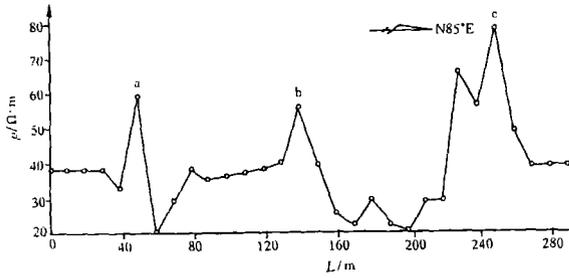


图4 擦那塘滩跨断层(F₁)甚低频电阻率测量结果

Fig. 4 Observations of ultra-low frequency resistivity across the Yiyueshan fault (F₁) in Canatangan area.

a、b、c表示3个断层破裂面

该断裂带为一条切割地壳很深的岩石圈—地壳型断裂,因为沿断裂带不仅有大量的中酸性岩浆侵入,而且超基性岩也极为发育,计有大、小岩体50个.从深部的地球物理场特征来看,拉脊山断裂带恰好处在地幔“舌”状隆起的幔坡带上,断裂延伸方向与布格重力负值异常梯级带重合,并控制了航磁ΔT平面等值线长轴状低值异常带的分布,构成湟水盆地南缘隆起的控制断层.

1.4 哈拉直沟-索尔干断裂(F₄)

该断裂带北起哈拉直沟沟脑的黄草沟,向南经小峡、索尔干村至石灰窑乡一带,全长55 km,总体走向N25°E,为一断面倾向东南、倾角70°左

活动的性质(图6).据此估计拉脊山南缘断裂带晚更新世末期以来年平均滑动速率为4.0 mm/a.

据历史地震调查研究,1819年化隆县北发生的一次烈度为Ⅸ度的地震与该断裂带活动有关.这次地震对拉脊山两侧的乐都县、化隆县及循化县所属部分地区均造成了相当严重的地震灾害及经济损失^①.

据现今地震记载^[1],1968年12月22日发生在该断裂带查铺附近的5.4级地震对50 km以外的西宁市产生了较强的影响.

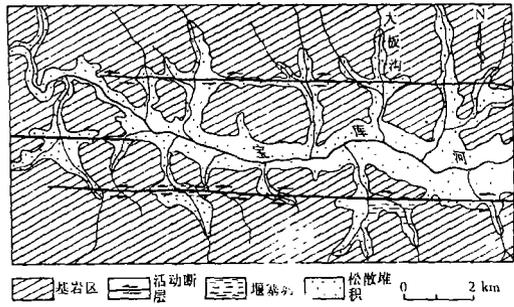


图5 大坂沟附近宝库河断裂带(F₂)水系扭错平面图

Fig. 5 Plan of water system contortion in the Baokuhe fault zone (F₂) near Dabangou.

右的线性清晰的张剪切断裂.

断裂北段沿哈拉直沟发育,控制了沟西侧边界,沿带分布的断坎、断层三角面清晰可辨,泉水呈线性分布.

断裂南段则发育于第三纪红色岩系之中,形成一系列的红土崖及断层垭口地形,并控制了大规模滑坡和崩塌的分布.虽然该地区为单一红色岩系,上覆较厚的风化壳粘土,断层的结构及运动学特征不易直接分辨,但从断裂带的线性特征及冲沟、土崖的弯拐现象来看,断层具西升东降及右旋平移性质.

根据历史地震记载和有关考察研究,认为发生在西宁地区的1890年5级地震及1893年5.5级地震均与该断裂带活动有关,尤其是1893年地震在黄树湾村至索尔干村一带造成较大范围

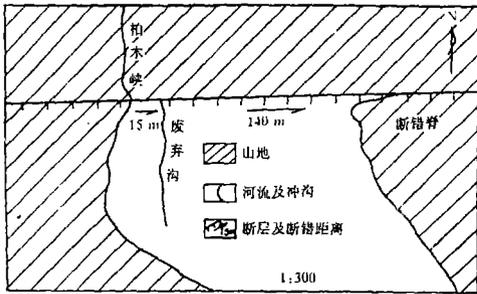


图6 药水泉以北拉脊山南缘断裂带(F₃)断错地貌平面图

Fig. 6 The offset land form plan along the south Mt. Lajishan margin fault zone (F₃) on the north of Yaoshuquan.

① 青海省地震局. 湟水(西宁)盆地活动构造调查及地壳稳定性研究. 1996.

的山体崩塌及滑坡, 压倒民房 500 余间, 死人甚多, 造成严重的地震次生灾害^[2].

1.5 大冰沟断裂(F_5)

该断裂西起大俄博一带, 向东南经马家湾进入大冰沟内, 终止于大通河鳌塔一带, 全长约 26 km, 走向由 $N315^\circ W$ 逐渐转变为 $N300^\circ W$, 倾向西南, 倾角 65° , 构成略向西南凸出的弧形.

该断裂带位于老雅隆起之中, 隐伏于黄土塬面之下, 地表以裂谷地貌为特征. 沿裂谷及其两侧出露地层为老第三系(N_{1x}), 而新第三系和第四系松散堆积物主要为中、上更新统黄土以及全新统冲积和坡积物等. 从裂谷两侧第三纪台面高度差异来看, 北盘抬升, 南盘下降, 垂直高差为 100 m 左右.

图 7 为古冰沟城遗址附近出露的断层剖面. 断层北盘新第三系强烈抬升, 断错了全新统砂砾石层而构成楔状堆积, 估计为古地震遗迹.

以上证据表明, 大冰沟断裂为晚更新世末至全新世活动断裂, 为晚近老雅隆起翼部的张性断裂.

据历史记载和经考察研究论证, 乐都县历史上发生的 1590 年 5 级地震与大冰沟断裂活动有关. 由于地震造成古冰沟城部分城墙坍塌而形成一定程度的地震灾害.

1.6 湟水盆地东部的北北东向断裂系(F_6 、 F_7 、 F_8 和 F_9)

该断裂系分布于乐都, 民和两县湟水河以南地区, 由石坡沟(F_6)、打麦沟(F_7)、中坝沟(F_8)和巴州沟(F_9)这 4 条 $N25^\circ \sim 30^\circ E$ 的平行断层组成. 其中巴州沟断裂最长, 地表可见长度达

50 km, 其余分别长 18 km、13 km 和 10 km, 均为张性平移断层. 该断裂系控制了盆地内北北东向的沟谷发育, 同时又断错了谷地中的晚第四系松散堆积以及一系列边坡和冲沟水系, 形成一系列断错坡脊平台、线崖及山体滑塌地貌, 属晚更新世末至全新世活动断裂. 图 8 为中坝沟断裂(F_8)在李家壕村附近出露的断层剖面, 断面产状: $N20^\circ E/W \angle 82^\circ$, 正断层, 导致中更新世冲积层与第三纪红色岩系直接接触, 地面变形清晰, 为全新世活动断层.

巴州沟断裂(F_9)在民和县城的打草沟一带, 跨断层发育多组北北东向裂缝带, 显示该断裂现今仍在持续活动, 野外调查结果显示, 第三系被断错, 剖面显示东盘抬升, 西盘下降, 垂直断距 10 m, 为断面近于垂直的张性断层.

据历史地震调查研究, 公元 138 年民和 6.8 级地震发生在巴州沟断裂带(F_9)的打草沟一带, 公元 1892 年乐都 4.8 级地震发生在石坡沟断裂(F_6)的瞿昊寺附近, 表明该断裂系中各条断裂现今地震活动仍然十分强烈.

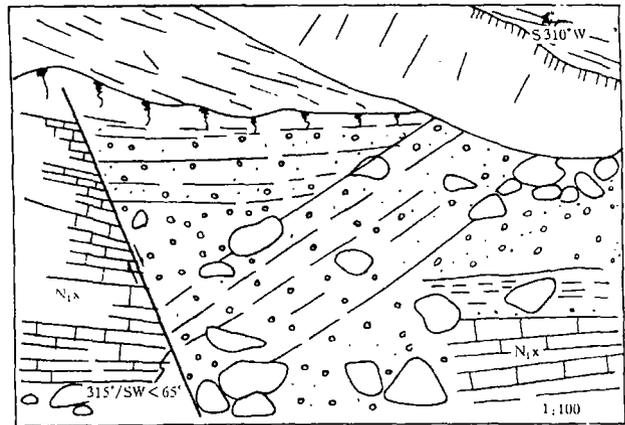


图 7 古冰沟城遗址处断层(F_5)地震楔剖面

Fig. 7 Profile of Fault (F_5) outcrop in ancient Binggou City.

2 活动断裂的综合评价及地壳稳定性

2.1 活动断裂的综合评价

众所周知, 地震与断层活动有关, 而断层则是地壳不连续形变——破裂的产物. 地壳自形

成以来,始终处在受力、形变和运动状态,因此不断产生着新的断裂和永久形变,从而使得新、老断裂和形变纵横交错而构成一幅复杂的大地构造图像.然而,新的断层和形变不断改造乃至消灭着业已形成的构造面貌,并以新的地貌型式展现出来.新、老断层构造势必按不同方位统一于新应力场的新运动方式而活动.

湟水构造盆地位于大坂山、拉脊山、日月山所夹持的断块内,经历了长期的构造演化过程,多组断裂纵横交错,断裂图像极其复杂.但新构造运动以来,大多数断裂处在逐渐衰亡的过程,而构造特定部位的断层在新的区域应力场作用下,重新复活,显示了较强的活力.例如,构成断块边界的日月山断裂带(F_1)、拉脊山南缘断裂带(F_3)和宝库河断裂带(F_2)均为控制盆地边界的深大断裂构造带,它们不仅是现今强震活动的发震断层,而且也是未来强震发生的潜在部位.

湟水盆地内部虽然分布着走向不一的诸多断裂,晚第四纪以来,大多处于衰亡过程,但北北东向断裂则显示了最新活动特征,并主要集中在盆地东部块体之内.这是由于该地块北部老雅新隆起构造的向南推移受到南部拉脊山断隆构造带的阻挡,导致盆地压陷作用强烈,加之第三纪红色岩系普遍褶皱变形,壳体强度减弱而形成一系列平行展布的剪切断裂带.如前所述,北北东向断裂系控制了盆地内中强地震的形成和发生.这对于该地区城镇建设及重大工程设施的安全具有较大的危害性,应引起有关部门的高度重视.

2.2 活动断裂与地震强度

前人研究表明,湟水盆地位于祁连山地震区的祁连山地震带内.该带地震活动以中强地震活动为主,频度高但强度低,区域背景最大震级为7级^①.本项研究工作所收集的历史及现今地震资料均已证实这一结论的正确性.根据对断裂的深度类型、长度、力学属性及地面变形强弱程度的综合分析结果,给出了晚更新世末至全新世各活动断裂带上的地震震级上限值(表2).

从表2中可以看出,湟水盆地边界活动断裂上的震级上限为6.5~7.0级,盆地内部活动断裂震级上限为5.0~6.0级.盆地内部的活动断裂均集中在盆地东部的平安至民和地壳单元区内,故该地壳区为今后中强地震活动的多发区.而以西宁盆地为主体的西部地壳区属于基底介质强度较高的构造稳定区,地震活动将主要发生在块体的边缘,而块体内部不会发生破坏性地震.但位于西部地壳区东缘的哈拉直沟-索尔干断裂带(F_4),距西宁市仅20 km,历史上曾发生过公元318、373、1890和1893年4次中强地震活动.该断裂带虽然地震频次高,但地震强度较低,综合判定其震级上限为6.0级.经烈度衰减关系验算,对西宁市的最大潜在影响烈度为Ⅵ度.这说明西宁市不存在直下型地震威胁,但存在近震影响,影响烈度在城市抗震设防标准(Ⅶ度)以内.

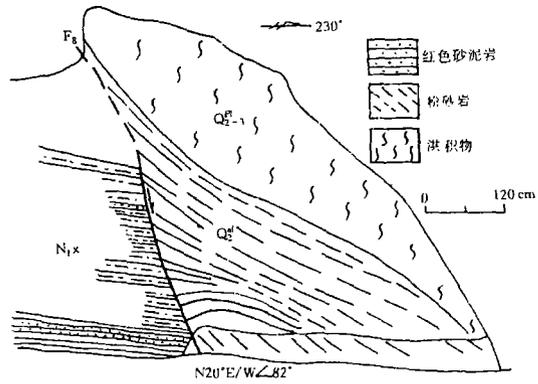


图8 中坝沟断裂(F_8)在李家壕村附近出露剖面

Fig.8 Outcrop profile of Zhongbagou fault (F_8) near Lijiahao village.

① 国家地震局地壳应力研究所.黄河李家峡水电工程地震基本烈度复核和地震危险性研究报告,1989.

表2 湟水盆地晚更新世末至全新世活动断裂最大震级

断裂名称	深度类型	图幅内断裂长度 (km)	力学属性	震级上限 (M_s)
拉脊山南缘断裂(F_3)	岩石圈—地壳	82	挤压-剪切	7.0
日月山断裂(F_1)	地壳	172	剪切-挤压	7.0
宝库河断裂(F_2)	地壳	72	挤压-剪切	6.5
巴州沟断裂(F_9)	基底	25	剪切	6.5
哈拉直沟- 索尔干断裂(F_4)	盖层	55	剪切	6.0
大冰沟断裂(F_5)	盖层	26	剪切	5.5
打麦沟断裂(F_7)	盖层	13	剪切	5.0
石坡沟断裂(F_6)	盖层	18	剪切	5.0
中坝沟断裂(F_8)	盖层	10	剪切	5.0

3 结束语

本文是根据省级研究课题“湟水(西宁)盆地活动构造调查及地壳稳定性研究”报告中有关活动断裂调查研究内容编写的.其意义在于首次揭示了湟水盆地及其边缘部位的活动断裂分布及其活动强度,为确定潜在震源区的分布及其对西宁市的影响进而制定防震减灾规划提供了可靠的依据.

在编写过程中曾得到西安地质学院张骏教授和中国地震局地壳应力研究所朱德喻研究员的悉心指导,在此深表谢意.

参考文献

- 1 国家地震局兰州地震研究所.陕甘宁青四省(区)强地震目录.西安:陕西科学技术出版社,1985.
- 2 王金涛,等,青海省历史地震概况.见:青藏高原地震文集.西宁:青海人民出版社,1985.177~181.

STUDY ON DISTRIBUTION AND ACTIVITY CHARACTERS OF THE HOLOCENE FAULTS IN THE HUANGSHUI BASIN, QINGHAI PROVINCE

Tu Delong Wang Zanjun Zeng Baohong Gao Qiang
(*Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining 810001*)

Abstract

On the basis of airphoto interpretation, seismogeology survey and palaeoearthquake and historical earthquake study, the activity patterns of the Holocene faults in Huangshui basin are shown and the trend of seismic activities is predicted. It is found that the eastern part of the basin is an active structure block.

Key words Holocene fault, Earthquake prediction, Qinghai, Huangshui basin