

青藏高原北部的第四纪断层运动^①

赵国光

(中国北京 100085 国家地震局地壳应力研究所)

摘要 近10年来,通过详细考察和填图工作,对青藏高原北部的第四纪活动构造及断层运动取得了大批新资料。在最近的中法合作研究中,对东昆仑活动断裂带及邻区又进行了较深入的调查。本文以上述新资料为基础,简要讨论了青藏高原北部第四纪活断层的运动学和动力学基本特征。本区重要的活动断裂可划分为下述3类:

(1) 大规模的弧形左旋走滑断裂带。其中包括青藏高原北部边缘的阿尔金活动断裂带、昌马活动断裂带及海原活动断裂带、中部的东昆仑活动断裂带、以及南部的甘孜-玉树活动断裂带和鲜水河活动断裂带等。它们的左旋走滑速率多在10—20mm/a范围内。

(2) 高原边缘逆冲断裂带。主要发育于祁连山、六盘山及龙门山等地区,其走向大致与高原边缘平行,因地而异。它们的垂直滑动速率可达1mm/a左右。

(3) 北北西走向的压扭性断裂,或称之为具有右旋走滑分量的逆冲断裂。它们主要发育于高原北部,约在东经98—104°之间,并控制着若干第三—第四纪盆地及对冲山的边缘。其中,部分断裂的水平走滑速率最大可达2—3mm/a。

自喜马拉雅运动以来,大型左旋走滑断裂运动及所挟持的断块东移,对中生代区域构造有很大的改造作用。同时,边缘逆冲作用在区域构造变形中也扮演了重要角色。诸如祁连山、六盘山等边缘山系,很大程度上是第四纪期间隆升形成的。北北西走向的右旋压扭断裂系(“河西系”),可能是喜山运动以来印度板块东部边界的差异推挤造成的。这组断裂运动同时也部分地容纳了本区断块的东移。这组断裂的作用是不可忽视的。

主题词: 青藏高原 第四纪 活动构造 断层运动 东昆仑活动断裂带 滑动速率 古地震

引言

本世纪80年代以来,我国国家地震局组织实施了对青藏高原北部活动构造的大量考察研究(丁国瑜等,1986;丁国瑜,1990),对大部分主要的活动断裂先后进行了大比例尺填图,其中包括海原活动断裂带(Deng, et al., 1986; 国家地震局地质研究所等,1990)、阿尔金活动断裂带(国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组,1992)、北祁连山活动断裂(陈志泰等,1993; 国家地震局地质研究所等,1993; Tapponnier, et al., 1990)、昌马活动断裂带(Peltzer, et al., 1988; 国家地震局兰州地震研究所,1992)以及鲜水河活动断裂带(Allen, et al., 1991; Zhao, et al., 1990)等。同时,由于本区的新构造对于国际地学界来说,也是最富吸引力的课题之一,因而先后进行了多项国际合作研究(Allen, et al., 1991; Armijo, et al., 1989; Avouac, et al., 1993; Kidd, et al., 1988; Peltzer, et al., 1988; 1989; Tapponnier, et al., 1990)。最近(1993—1994年),笔者参加了中国地质科学院中法合作研究项目的工作,对东昆仑及邻区进行了深入的考察。此外,笔者及其同事

① 1996年2月收到本文初稿,同年4月收到修改稿。

们近些年来因承担了若干重大工程项目的工程地震工作,因而在黄河上游及龙门山等地区也进行了活动构造的考察研究。

本文以上述工作所取得的新资料为基础,试图概括讨论青藏高原北部第四纪活断层的运动学特征及动力学问题。

1 概述

自喜马拉雅运动以来,在印度板块持续向亚洲板块插入的动力学条件下,青藏高原内的一系列大规模的断裂活动使区域构造活化,并受到很大改造。

青藏高原北部(这里指金沙江缝合线及鲜水河活动断裂带以北),新构造变形的特征主要表现为:①弧形的左旋走滑断层运动;②不同走向的边缘逆冲,包括祁连山、龙门山和六盘山等山体的隆起及前陆盆地的发育;③一组北北西走向的右旋走滑兼逆冲断裂,突出地发育于东经 98—104°之间。它们形成并控制着若干第三—第四纪盆地的边界及这些盆地之间的对冲山。这组断裂甚至还切割或扭曲了北西西向的区域性新构造,如河西走廊盆地及东昆仑活动断裂带等(图 1)。

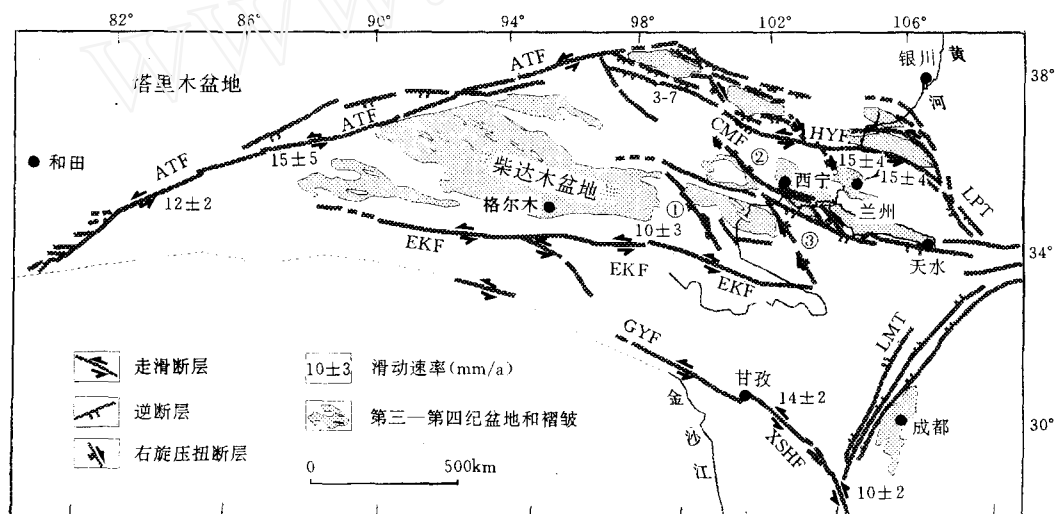


图 1 青藏高原北部第四纪活动断裂及其滑动速率

Fig. 1 The Quaternary active faulting and slip rate of the northern part of the Qinghai-Tibet Plateau
ATF—阿尔金活动断裂带; CMF—昌马活动断裂带; HYF—海原活动断裂带; EKF—东昆仑活动断裂带; XSHF—鲜水河活动断裂带; GYF—甘孜—玉树活动断裂带; LMT—龙门山冲断带; LPT—六盘山冲断带。北北西向右旋压扭断裂包括: ①—瓦洪山—鄂拉山断裂带; ②—日月山西麓断裂带; ③—贵德盆地东缘断裂带。虚线表示金沙江缝合线

2 弧形左旋走滑断裂系

青藏高原北部发育了 3 列活动的弧形走滑断裂系,目前,习惯上将它们划分为 5 个带,即:①环绕于高原北缘的第一列包括 3 条断裂带,自西往东分别为阿尔金活动断裂带(ATF)、昌马活动断裂带(CMF)及海原活动断裂带(HYF)等;②第二列为研究区中部

的东昆仑活动断裂带(EKF); ③第三列包括鲜水河活动断裂带(XSHF)及甘孜-玉树活动断裂带(GYF)。玉树以西, 沿金沙江缝合线, 在第四纪期间也有一定的左旋走滑, 但尚未详细调查(参看图1)。下面对前述5条左旋走滑断裂分别予以论述。

2.1 东昆仑活动断裂带

本带全长1000余公里, 由7条一级分段组成。各段长度为50—270km不等。它们可进一步划分为更多的二级和三级分段, 其间被拉分或推隆构造分隔。但这种多级分段性主要在断裂带的中段表现明显。该断裂带近代的左旋走滑特性, 早在本世纪70年代就已被大地震考察和卫星影像解释所发现。Kidd等(1988)在考察西大滩后首次提出该带的全新世滑动速率约在10—20mm/a之间, 很可能为13—15mm/a。他们还注意到, 西大滩和东大滩段曾有过大地震的迹象, 但由于其地理位置偏远, 在文献中没有记载。

我们于1993—1994年的中法合作考察中, 对该断裂带的位错地貌(大量的阶地、河谷及冲沟等被水平位错)作了仔细的测量, 并采集了20余件 ^{14}C 和热释光年代学样品。据此求得西大滩、东大滩、花石峡及玛沁等段的全新世走滑速率分别为11.5mm/a, 9.3mm/a, 11.5mm/a和7.0mm/a(表1)。

表1 东昆仑活动断裂带晚第四纪滑动速率

点号	分段	位错标志	位错量(m)	距今年代(a)	滑动速率(mm/a)	段平均值
01	西大滩	冲沟壁位错	151±10	12000	12.5	11.5
02		阶地位错	27±2	2370	11.5	
03		阶地位错	34±2	2950	11.5	
04		冲沟位错	23±2	2140	10.7	
05		阶地位错	152±10	12000	12.5	
06		阶地位错	69±5	6390	10.8	
07		阶地位错	25±2	2280	11.0	
08	弯折	阶地位错	8±1			
09		阶地位错	47±2	5580	8.4	
10		阶地位错	68±5			
11	东大滩	阶地位错	66±5			9.3
12		阶地位错	28±2	3020	9.3	
13		冲沟位错	65±5	6000	10.4	
14		冲沟位错	24.5±2	2670	9.2	
15		冲沟位错	55±5	6000	9.2	
16	花石峡	冲沟位错	34±3	2910	13.0	11.7
17		阶地位错	38±2	4045	9.4	
18		阶地位错	69±5	5780	11.9	
19		阶地位错	245±20	18210	13.7	
20		冲沟位错	43±5	4100	10.5	
21	玛沁	冲沟位错	78±5	10230	7.6	7.0
22		冲沟位错	75±5	10930	6.8	
23		阶地位错	44±2	6290	7.0	
24		阶地位错	90±5	13150	6.8	

鉴于断层滑动速率与强震复发间隔时间有密切关系,而后者却缺乏文献记载,我们在考察中特别留意到古地震的证据,以便与滑动速率进行比较和印证。遭受过多次形变的古地震地表形变带沿着本断裂带的地表形迹线分布,几乎在全带都可看到,而且保存得相当完好。一般来说,古地震地表破裂带所在的地貌面越老(如高阶地),则地表破裂变形的规模越大,结构也越复杂。这表明,那里经历的地震次数更多些。通过若干露头测量和探槽揭露,我们认证了近5000年来的至少12次古地震事件,并测定了它们的年代。其中,有7次发生于西大滩(图2)和东大滩(图3),3次在花石峡,另外3次发现于玛沁段,如图4所示。

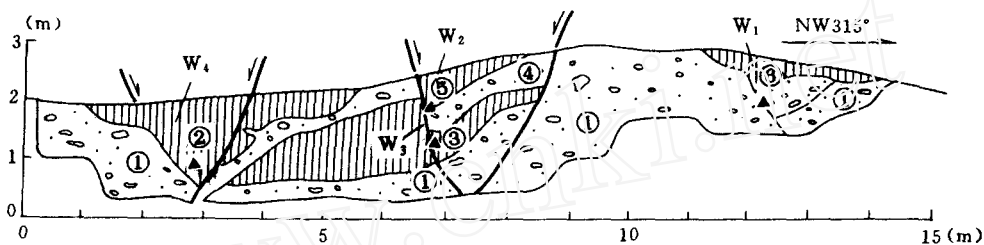


图2 西大滩61道班南侧的古地震探槽西壁素描剖面图

Fig. 2 The sketch profile of the west wall of palaeo-earthquake trench on southern side of 61st segment of the Xidatan highway

①为全新世中期的冰水堆积砂砾层;②,③,⑤,⑥为充填于不同期次地震裂隙中的黄色壤土;

④为再搬运之砂砾石层。 W_1, W_2, W_3, W_4 为古地震编号。黑三角为年代学采样位置

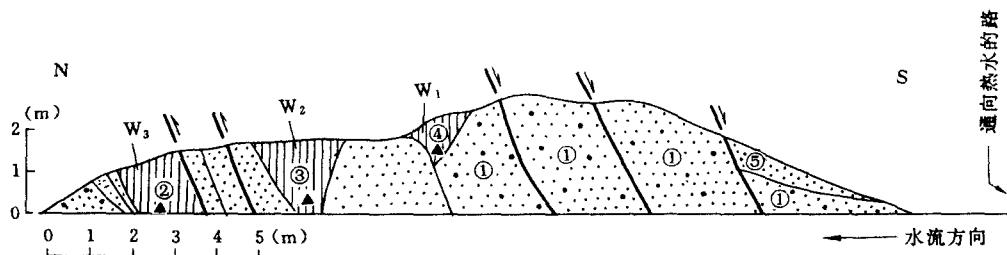


图3 东大滩地震断层上的挤压脊及不同期次的古地震裂隙充填楔(W_1, W_2, W_3)

Fig. 3 The pressure ridge and the gap fillings of different periods of palaeo-earthquakes on the seismic faults of the Dongdatan

黑三角为采样位置;①—⑤为全新世冰水碎砾堆积

将这些事件的规模与该带上已知的1937年花石峡7.5级地震的破裂带进行比较后,我们认为上述古地震事件的震级应该都在7级以上,其中最大者可能达8级^②。根据上述尚不十分完全的古地震及历史地震资料,初步估算了该带的平均大震复发间隔,结果与前面给

② Zhao Guoguang, He Qunlu, Li Chunfeng, P. Tapponnier, and Y. Gaudemer, 1996, Investigation on the Holocene paleo-earthquakes along the East Kunlun active fault zone (in preparation).

出的滑动速率值是匹配的。不过，由于考察的时间有限，难免有所遗漏。所以，这里给出的估计值，只能看作是下限值。

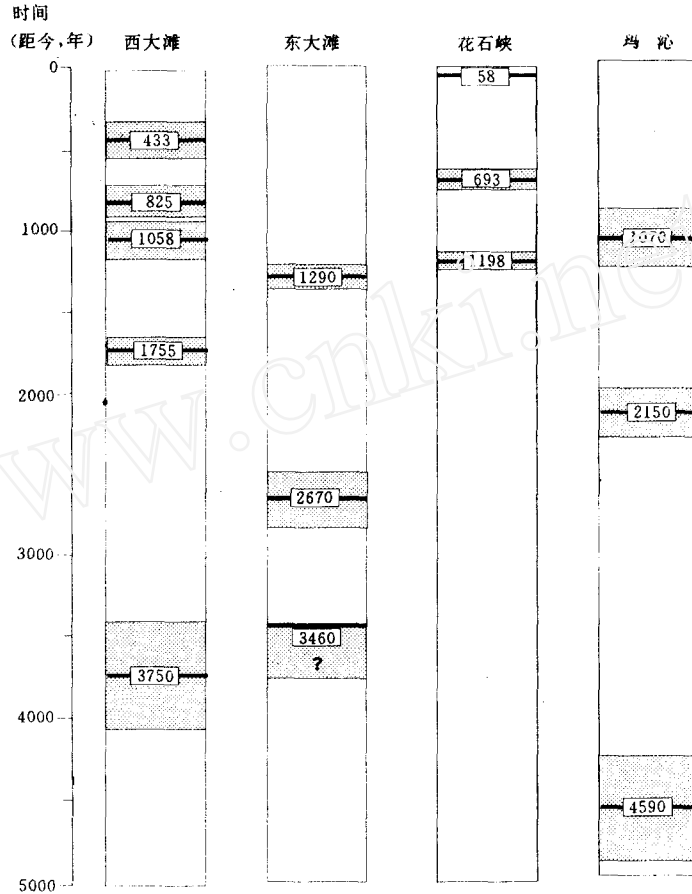


图 4 东昆仑活动断裂带上近 5 千年来的古地震事件及各段对比图 (影区表示测年误差范围)

Fig. 4 The palaeo events in last 5000 years along the active faults of the East Kunlun and their comparison of different segments

2.2 鲜水河活动断裂带

许志琴等 (1992) 的研究认为, 鲜水河断裂带原为一条初形平移剪切带, 其脆性形变约始于 2 千万年前, 至今, 累计左旋水平位移已达 60km 以上。根据我们的野外调查, 现代面貌的鲜水河活动断裂带的几何形态, 可以划分为 3 大段。北西段由炉霍、道孚及乾宁等 3 条断裂连接而成, 各段之间有 10—15° 的偏折, 形成向东北突出的弧形; 南东段进一步向南偏转, 由康定和磨西等两条断裂组成, 它们与北西段之间夹有约 20° 的偏转角, 两者之间是活化较晚的新破裂连接区, 由大致平行的折多塘断裂和色拉哈断裂等构成, 可称为中段; 南东段的南端与南北走向的安宁河活动断裂带相接, 而北西段的西端与北西西向的甘孜-玉树活动断裂带相连, 其间有一拉分区 (Zhao, et al., 1990)。

为研究该断裂带第四纪期间的活动性, 我们进行了第四纪地质和地貌剖面测量和大量的年代学采样。求得该带北西段、中段和南东段的晚第四纪平均滑动速率分别为 14mm/a , $2\text{—}5\text{mm/a}$ 和 10mm/a 。晚更新世以来速率略有变化 (见图 5) (Zhao, et al., 1990)。

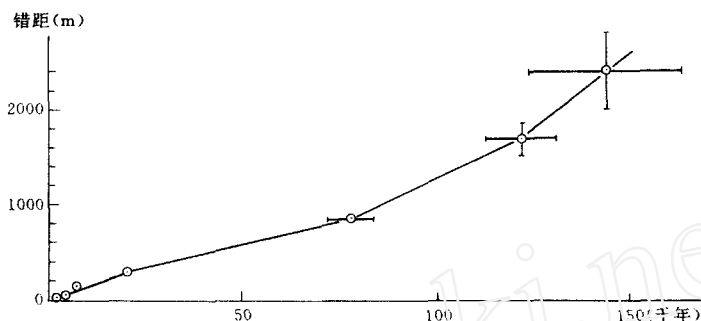


图 5 鲜水河活动断裂带北西段近 15 万年来的滑动速率变化曲线图

Fig. 5 The changing curves of slip rates in east 150000 years on the NW segment of the Xianshuihe fault

2.3 阿尔金活动断裂带

此带沿青藏高原的西北缘展布, 总体走向北东 $60^{\circ}\text{—}70^{\circ}$, 全长达 1600 余公里。近期对全带进行了大比例尺活断层填图, 对它的几何结构、分段、运动学特征及演化等有了较深入的认识 (国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组, 1992)。全带被划分为 9 大段, 每一大段又可划分出若干段长数十公里的基本单元。第四纪以来, 该带以左旋走滑为主, 兼具逆冲, 但后者一般情况下仅为前者的 $\frac{1}{10}$ 至 $\frac{1}{20}$ 。现今可辨认出的第四纪累计走滑位移至少达到 $40\text{—}50\text{km}$, 或许可达 70km 。按前者考虑, 取时间为 3 百万年, 则其平均水平滑动速率应为 $13\text{—}17\text{mm/a}$ 。根据 SPOT 卫星影象解译及调查, 该带中段和西段全新世平均水平滑动速率的下限值分别为 $12\pm 2\text{mm/a}$ 和 $15\pm 5\text{mm/a}$ (Peltzer, et al., 1989)。

自公元 1785 年以来, 沿带有记载的 6 级以上强震共有 10 次。在活动断层填图中, 又发现了 30 次以上的古地震遗迹, 其中, 有 28 次发生在近万年以内。

2.4 昌马活动断裂带

此带又称“昌马-俄博-毛毛山断裂带”, 是北祁连山主要的活动构造之一 (陈志泰等, 1993; 国家地震局兰州地震研究所, 1992; 国家地震局地质研究所等, 1993; Peltzer et al., 1988)。自 60 年代以来, 曾对该带发生的 1932 年昌马 7.6 级地震进行过多次现场考察。不过, 对这条长达 800km 的活动断裂的几何结构、滑动速率等特征, 只是在近期的一些研究中才逐步得以揭示。

该带由 7 条大断裂连接而成。与其他走滑断裂有所不同的是, 它的逆冲分量占有较大比例, 在平面几何形态上略呈波状。相应地, 其走滑速率也较小。晚第四纪以来, 西段的水平走滑速率约为 $2\text{—}4\text{mm/a}$, 向东有逐渐增大的趋势, 东段最大可达 $4\text{—}7\text{mm/a}$, 相应的垂直滑动速率变化在 $0.6\text{—}1.2\text{mm/a}$ 之间。

昌马活动断裂带的最东段与海原活动断裂带相连, 下面予以讨论。

2.5 海原活动断裂带

在青藏高原东北隅, 有 4 列向北东突出的弧形山系, 其高度自内向外依次降低, 由内列的海拔 3000m, 降至前锋海拔仅为 1800m 左右。这 4 列山系外侧, 各有一条弧形左旋走滑断裂带, 它们向南东收敛于六盘山区。海原活动断裂带是其中最内侧, 也是规模最大的一条, 长达 240km。该断裂上曾发生过 1920 年海原 M8.6 大地震, 并因此受到人们的关注。

据最近的调查和填图 (Deng, et al., 1986; 国家地震局地质研究所等, 1990), 海原活动断裂带由 11 个分段组成。在大量实测资料的基础上, 求出了该带第四纪平均走滑速率, 其中段可达到 11.7—19.2 mm/a。

现将前述各走滑断裂带的滑动速率值列于表 2。

表 2 青藏高原北部左旋走滑断裂带第四纪滑动速率对比表

断裂带名称	滑动速率 (mm/a)	年代范围	资料来源
阿尔金活动断裂带	(W) 12 ± 2	Q_4	Peltzer, et al., 1989
	(E) 15 ± 5	Q_3	Peltzer, et al., 1989
	13—17	Q	国家地震局《阿尔金活动断裂带课题组》, 1992
昌马活动断裂带	4—7	Q_{3-4}	国家地震局地质研究所等, 1992; 1993
海原活动断裂带	12—19	Q	国家地震局地质研究所等, 1990
	10	Q_4	Deng, et al., 1986
东昆仑活动断裂带	11.5 ± 5	Q_4	本文
鲜水河活动断裂带	(NW) 14 ± 2	Q_{3-4}	Zhao, et al., 1990
	(SE) 12 ± 2	Q_4	Zhao, et al., 1990

3 第四纪逆断层

青藏高原前缘第四纪逆冲断层作用及相关的褶皱广布于祁连山、河西走廊盆地、六盘山和龙门山区, 并控制了那里不同规模的许多盆地和山岭。近年来对这些构造盆地和山岭的调查研究, 为了解本区的新构造变形提供了重要信息。下面扼要予以论述。

3.1 祁连山第四纪逆冲断层

在宽达 300 多公里的祁连山加里东褶皱系中, 广泛发育了大规模的逆冲断裂带。其中, 有些在喜山运动中被活化和改造, 在北祁连山和南祁连山形成了第三—第四纪的挤压对冲山岭和若干盆地。

譬如, 在北祁连山的前缘, 发育了河西走廊前陆盆地, 其中接受了渐新一中新统、上新统、更新统和全新统等的碎屑堆积, 其总厚度可达 2500m 以上。早更新统的“玉门组”山麓磨拉石不整合在已褶皱的第三系之上, 而盆地南侧的中更新—全新统也因遭受南缘断裂逆冲而多期次变形。

据近些年的研究, 估计晚第四纪期间北祁连山的上升速率为 0.9—3.1mm/a (Tapponnier, et al., 1990; 国家地震局地质研究所等, 1993)。因而判定, 若这样的速率在早期也保持不变的话, 北祁连山脉应是在第四纪期间隆起的。

实际上, 在高原的东北缘, 因推挤造成的现代地壳的缩短和山脉的隆起, 是在一个更

宽的、约几百公里的范围中进行的。在南祁连山就有很多这样的证据。例如，在祁连加里东褶皱系的南缘，有一条重要的“深大断裂”，即“青海南山-北秦岭大断裂带”，它在青海省东北部控制着一系列第三—第四纪盆地的南缘，如青海湖盆地、化隆盆地及循化盆地等。在这些盆地的南缘，均可看到该断裂南盘的老岩层被向北推覆到上新统砂页岩之上(图6)。但是，沿断裂分布的晚更新—全新世沉积层并未受到断裂活动的影响。由此看来，南祁连中北北西走向的逆冲断裂活动，在第三纪至早更新世期间曾强烈活动，但在晚更新世以后就逐渐弱化了。

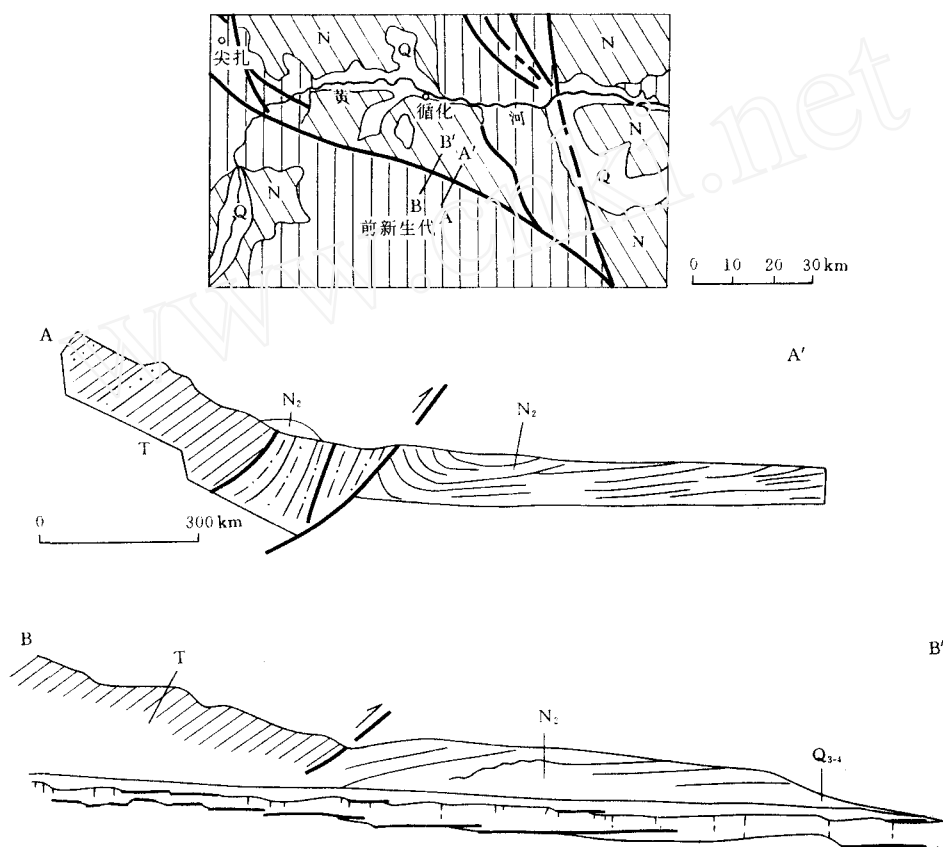


图6 循化盆地南缘的两条构造示意剖面(AA', BB')及剖面位置平面示意图

Fig. 6 The sketch profiles (AA', BB') of two tectonic structures and the plan showing their position on the southern fringe of the circulation basin

T 为三迭系砂质板岩; N₂ 为上新统砂页岩, 已遭受冲断; Q₃₋₄ 为冲积层, 未变形

3.2 龙门山第四纪活动逆断裂带

在松潘-甘孜造山带中, 龙门山前陆推覆构造宽达 60km, 其中几条重要的逆冲断裂在喜山运动中继续活动, 并延续至第四纪(许志琴等, 1992; 邓起东等, 1994)。它们的主要表现。可概述如下:

首先, 成都前陆盆地中的第四纪沉积厚度在盆地西北边缘增大, 其等厚线与北东走向

的江油-灌县前缘冲断裂平行。该断裂总体倾向北西。沿断裂迹线曾发现有高达 3—10m 的新断层崖。

其次,在汶川附近的一个二级阶地上,发现冲积层中发育了北东走向的逆断层(邓起东等,1994)。此外,在我们的考察中,还发现了龙门山南段早更新世高剥夷面上的、高达 30m 的逆断层。

最后,可作为旁证的是,此区历史上曾发生过多中强地震,最大震级达到 6.5 (1687 年汶川地震)。不过,晚第四纪断裂活动主要表现在龙门山中段。根据地质证据估计,汶川附近的垂直活动速率约为 1mm/a。近些年的重复水准测量结果为 0.9mm/a。

4 北北西向活动断裂带

第三纪以来,一组北北西走向的逆冲兼右旋走滑断裂显著地出现于青藏高原北部,其中有的至今仍活动着。它们在平面几何形态上呈线性,高倾角,规模略小于北西西向构造,但可断续延伸数百公里(见图 1)。

在研究区的最北部,这组断裂将河西走廊前陆盆地切割为数段。其中有的在晚第四纪仍有活动,如展布于嘉峪关附近、榆木山东缘以及武威-天祝一带等的北北西向活动断裂(陈志泰等,1993;国家地震局地质研究所等,1993)。

在青海省东北部,规模较大的北北西向第四纪活断层有:

(1) 瓦洪山-鄂拉山断裂带。该断裂的活动迹线及右旋特征在航空照片和卫星影像上都清晰可辨。自 70 年代该区建立地震台网以来,小震活动沿该断裂带密集呈带状分布,十分醒目。在该带东南端的外延线上,东昆仑活动断裂带的走向被右旋扭曲,因而导致阿尼玛卿山巨大的推隆(push-up)(参看图 1)。由此推测,瓦洪山-鄂拉山断裂带的深部为一条活动的韧性剪切带,并向南延伸得更远。

(2) 日月山断裂带(其北段有一“热水煤矿”,故又称“热水断裂”或“温泉断裂”)。它沿日月山西麓、青海湖盆地的东缘展布,倾向北东东,全长约 180km。该断裂的北段,从胜利村到热水煤矿,表现为高耸而平直的断层崖,长约 50km。从日月山流出的水系冲沟,皆被该断裂右旋位错,最大可达 200—300m。据此粗略估计,该断裂在晚第四纪期间的平均右旋滑动速率约为 2—3mm/a。日月山顶面与青海湖盆地面的高差在千米以上,是由早更新世以来该断裂的逆冲分量造成的。至今,在该断裂上尚未发现有强地震的证据。该断裂的南端与北西西向的拉脊山构造归并。但在拉脊山南侧又出现了北北西向的贵德盆地东缘断裂。

(3) 贵德盆地东缘断裂长度大于 150km,倾向北东东,高倾角。其东盘的三迭系砂质板岩层逆冲于西盘的上新统砂页岩之上。后者在贵德盆地内呈舒缓向斜,总厚度为 300—1300m。黄河经过盆地东流穿越该断裂处,其两岸发育得很好的晚更新—全新世阶地及其沉积层并未曾变形,而是呈不整合覆盖关系。此断裂东南端的外延线上,黄河上游流向发生了 180°急转而掉头西流。这大概是该断裂深部早期活动的影响所致。

据我们的野外调查,从龙羊峡,李家峡,公伯峡,到积石峡,发育有一系列规模不等的北北西向逆冲兼右旋走滑断裂,控制着这些峡谷及其间大小盆地的形成。它们的右旋分量可以从断面上的擦痕及断裂次级构造上得到证实。这种旋性,与人们提出的本区大小块体均呈顺时针或逆时针旋转的模型(向宏发等,1993)是矛盾的。有关本区的运动学模式

问题,值得进一步加以研究。

5 结论与讨论

综上所述,青藏高原北部第四纪断层运动的基本特征可概括如下:

1 在整个第四纪期间,本区重要的活动断裂有以下3类(组):①弧形左旋走滑断裂带;②高原边缘逆冲断裂带;③北北西走向的右旋压扭性断裂。

2 高原北部的块体运动及地壳形变主要受3条巨大的弧形走滑断裂带的控制,即阿尔金-昌马-海原活动断裂带、东昆仑活动断裂带、及甘孜-玉树-鲜水河活动断裂带等。它们的平均走滑速率较大,均在10—20mm/a之间。被它们夹持的条块则向东挤出,各条块东移的速度依次向北减小。物质向东挤出是印度板块推挤的结果,而条块的顺时针旋转则可能与西藏高原中部的热隆活动有关(Xu, et al., 1995)。

3 新近的研究表明,东昆仑活动断裂带中段晚第四纪走滑速率为 11.5 ± 2 mm/a。近5千年来沿带至少发生过13次7级以上大地震。

4 高原边缘的逆冲断裂活动在新构造形变中有重要作用,其影响范围可达数百公里。祁连山等山系,大部分是第四纪期间隆升起来的。

5 北北西向右旋压扭性断裂的活动,可能反映了印度板块东部边界条件造成的右旋剪切,同时,也部分地容纳了北部块体的东移。这组断裂在高原东北部的广泛发育表明,本区次级小块体作顺时针旋转的推测,是与事实不符的。因为这些次级小断块的发育,正是受到这组北北西向右旋逆冲断裂的控制。值得注意的是,这组断裂的发育范围,向北已超出了河西走廊。

本项工作得到中国地质科学院中法合作《东昆仑及邻区岩石圈缩短机制》研究项目的部分资助,特此致谢。

参考文献

- 陈志泰、魏顺民、戴华光, 1993, 河西—祁连山地区断层活动及其动力作用,《中法合作活断层对比研究》, 29—50, 地震出版社, 北京。
- 邓起东、陈社发、赵小麟, 1994, 龙门山及其邻区的构造和地震及动力学, 地震地质, Vol. 16, No. 4, 389—403。
- 丁国瑜、卢演传, 1986, 中国现代板内运动状态的初步研究, 科学通报, No. 18, 1412—1415。
- 丁国瑜, 1990, 全新世断层活动的不均匀性, 中国地震, Vol. 6, No. 1, 1—9。
- 国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组, 1992, 阿尔金活动断裂带, 319, 地震出版社, 北京。
- 国家地震局地质研究所、宁夏回族自治区地震局, 1990, 海原活动断裂带, 289, 地震出版社, 北京。
- 国家地震局地质研究所、兰州地震研究所, 1993, 祁连山—河西走廊活动断裂系, 340, 地震出版社。
- 国家地震局兰州地震研究所, 1992, 昌马活动断裂带, 206, 地震出版社, 北京。
- 魏顺民、P. Tapponnier, 陈志泰, 1993, 中法合作活断层对比研究, 253, 地震出版社, 北京。
- 向宏发等, 1993, 祁连山块体的旋转运动与区域地震活动的时空分布,《中法合作活断层对比研究》, 地震出版社, 北京。
- 许志琴、侯立伟、王宗秀, 1992, 中国松潘—甘孜造山带的造山过程, 190, 地质出版社, 北京。
- Allen, C. R., et al., 1991, Field study of a highly active fault zone: the Xianshuihe fault of Southwest China, Bull. Geol. Soc. Am., 103, 1178—1199。
- Armijo, R., P. Tapponnier and Han Tonglin, 1989, Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting across south Tibet, J. Geophys. Res., 94, 2787—2838。
- Avouac, J. —P. and P. Tapponnier, 1993, Kinematic model of active deformation in central Asia, Geophys. Res.

- Lett., 20, 895—898.
- Deng Qidong, Chen Shefa, Song Fangmin, Zhu Shilong, Wang Yipeng, Zhang Weiqi, Jiao Decheng, B. C. Burchfiel, P. Molnar, L. Royden and Zhang Peizheng, 1986, Variations in the geometry and amount of slip on the Haiyuan fault zone, and the surface rupture of the 1920 Haiyuan earthquake, In: Maurice Ewing Series 6, Am. Geophys. Un., Wash., 160—182.
- Kidd, W. S. F. and P. Molnar, 1988, Quaternary and active faulting observed on the 1985 Academia Sinica-Royal Society Geotraverse of Tibet, In: The Geological Evolution of Tibet-Report of the 1985 Royal Society-Academia Sinica Geotraverse of the Qinghai-Xizang Plateau, 337—363.
- Peltzer, G., P. Tapponnier, Y. Gaudemer, B. Meyer, S. Guo, K. Yin, Z. Chen, and H. Dai, 1988, Offsets of late Quaternary morphology, rate of slip and recurrence of large earthquakes on the Changma Fault, J. Geophys. Res., 93, 7793—7812.
- Peltzer, G., P. Tapponnier, and R. Armijo, 1989, Magnitude of late Quaternary left-lateral displacements along the north edge of Tibet, Science, 246, 1285—1289.
- Tapponnier, P., B. Meyer, J. P. Avouac, G. Peltzer, Y. Gaudemer, S. Guo, H. Xiang, K. Yin, Z. Chen, S. Cai, and H. Dai, 1990, Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet, Earth Planet Sci. Lett., 97, 382—403.
- Xu Zhiqin, Jiang Mei, Zhao Guoguang, Lin Baoyu, Ji Qiang, Xu Qiang, Qian Fang, Zhang Wenzhi, Yang Jingsui, Qu Jinchuan, Zhao Rongli, Li Haibin, Chen Wen, Guo Zhengfu, He Qunlu, Shi Danian, Xue Guangqi, Lu Qingtian, Ma Kaiyi, Su Heping, and Wang Yinsheng, 1995, Tectonic evolution and lithospheric shortening mechanism in the East Kunlun Mountains and adjacent area (abstract), Symp. on Uplift, Deformation and Deep Structure of Northern Tibet, la Grande Motte-France, September, 21—23.
- Zhao Guoguang, Liu Dequan, Wei Wei, He Qunlu, Su Gang, et al., 1990, Late Quaternary slip rate and segmentation of the Xianshuihe Active Fault Zone, In: Proc. PRC—USA Symp. on Xianshuihe Active Fault Zone, held in Chengdu, China, Oct., 1990, Seismological Press, 41—57.

Quaternary Faulting in North Qinghai-Tibet Plateau

Zhao Guoguang

(Institute of Crustal Dynamics, SSB, Beijing 100085, China)

Abstract Quaternary faulting in the northern Qinghai-Tibet Plateau is discussed in this paper with their slip rate data obtained by many field investigations and mapping in recent years, including that newly obtained during the Sino-France cooperation on the East Kunlun in 1993—1994. Significant Quaternary active faults in this region can be classified into three categories:

(1) Large-scale, arcuate left-lateral strike-slip fault zones, which include the Altyn Tagh, the Changma, and the Haiyuan fault zones following the northwest and northeast edges of the plateau; the East Kunlun Active Fault Zone in the middle; and the Garze-Yushu and the Xianshuihe active fault zones across the south of the area, their slip rates have been estimated as in the range of 10—20mm/a.

(2) Marginal thrusts, including those developed in Mts. Qilian of about 300 km in width, and in Mts. Liupan Shan and Mts. Longmen Shan. Their slip rates have been sug-

gested as around 1mm/a.

(3) NNW - trending transcompressional faults , or , thrusts with right - lateral strike - slip components that developed longitudinally between 98—104°E. They have controlled the borders of some Tertiary-Quaternary basins and ranges. The horizontal slip rate of some of the faults have reached 2—3mm/a.

Since the Himalayan Movement, the regional tectonics have been largely reformed by faulting. Recent studies demonstrate that the late Quaternary crustal deformation mainly involves left-lateral strike-slip along the three arcuate fault belts, and the consequently eastward motion of the two blocks in between. Marginal thrusting has also played an important role, especially in the early stage. Mts. Qilian and Mts. Liupan might have built mostly in Quaternary. Finally, the NNW-trending transcompressional faults may have accommodated northeastward differential compression caused by the boundary condition of the Indian plate , and absorbed a fraction of the eastward motion of the two faulted blocks mentioned above.

Key word: The Qinghai-tibet Plateau, Quaternary, Active tectonics, Faulting movement, Active faults of the East Kunlun, Slip-rate, Palaeo-earthquake