1986年 3 月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL March, 1986

阿尔金北缘断裂带东北段第四纪构 造活动与地震*

吕 太 乙

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文概述了阿尔金北缘断裂带东北段(甘肃境内)的地质背景和新构造运动,讨论了断层特性、断层几何学、形变图象及一些特殊走 潸 运动 地貌等问题。根据第四纪后期不同时代的地貌单元被水平左旋错移的幅度,结合C¹⁴ 年代测定,求出5个不同时代至今的平均滑动速率,并分析了断层活动的一些时空 特点。文章还探讨了古地震现象,现代地震活动与断裂的关系及地震危险性, 较详细地研究了新发现的芦草沟古地震形变带。

前言

阿尔金断裂带是我国一条重要的大型活动断裂带。近年来通过卫星照片的研究发现,该 断裂带具有明显的左旋水平活动特征。P.Mollnar和P.Tapponier自1975年以来先后在多 篇文章中论述了它的第四纪构造活动,并认为这是一条类似于美国圣安德列斯断层的大陆内 部走滑断层系^[1,10,11]。国内冯先岳(1980)和侯珍清(1982)也分别对该断裂 带 进行了 专门讨论^[2,3]。但目前的研究程度还较低,尚缺乏系统的调查和全面研究。本文在野外实 地调查的基础上重点探讨该断裂带中较重要的北缘断裂带东北段(甘肃境内)的断层特征、 新构造活动及其水平滑动速率、古地震及现代地震活动等方面的问题。

一、基本概况

阿尔金北绿断裂带东北段自甘、新交界处起,到玉门市以北的宽滩山,全长420多公里,走向北东75°左右(图1)。断裂以北属塔里木地台区,在前震旦系敦煌群变质岩基底上 覆盖着新生代沉积。在地貌上基本属于由山前倾斜洪积平原过渡到沉降盆地,局部有断层隆

^{*}本文是作者1984年研究生硕士学位论文的一部分

起带分布。断裂以南为隆起山脉,党河以西属于阿尔金北东东向构造,由以晚元古代地层为 主的复向斜和平行的断裂组成。党河以东属北祁连构造带,自西向东依次为定旦系到志留系 的褶皱带。



图 1 阿尔金北缘断裂带东北段分布图 ①阿尔金北缘断裂带②阿尔金南缘断裂带

Fig. 1 Distribution of the northeastern sector of the north fringe fault zone of Aerjin mountains.

显然北缘断裂在晚元古代就已存在,成为前震旦系与震旦亚界和早占生代地槽沉积的分 界,在早古生代,在秦祁昆古海板块向北东推挤俯冲 的过 程中 起着转 换断层的 作 用[4], 沿断裂大规模左旋平移运动造成丁北祁连褶皱轴长达100多公里的拖曳[8]。 在印支运动中断 裂全 面形 成并 迅速 扩展,控制了许 多中生代山间盆地的沉积。在燕 山运动 中断 裂继续活 动。

晚第三纪以来的新构造运动在北缘断裂带上表现十分强烈。在喜马拉雅运动第二幕中, 阿尔金山发生断块隆起,山前拗陷接受了巨厚的沉积。喜山期第三幕使老地层沿断层逆冲在 山前第三系上,并使后者普遍强烈褶皱。早更新世末的山体抬升造成了山前下更新统玉门砾 岩被掀斜,倾角可达30°以上。中更新世早期为稳定期,形成本区第三级夷平面。晚期的隆 起使山前中更新统成为高台洪积扇。晚更新世洪积物堆积成现代洪积平原面,由于断裂活动 使发育其上的大小冲沟在跨断层处多发生左旋位移,断头、断尾沟很常见。行些地段的洪积 戈壁上形成十几~二十多米高的断层陡坎。在剖面上常见 Q₃砾石层被断层错切(图 2)。 此外全新世形成的一些小纹沟和一级阶地被错动现象也很普遍,说明断层至今仍在活动。



图 2 俄利阿斯 沟剖面 ① 磁旦系线变质岩 ② 断层改碎带 ③砂岩、粉砂岩、泥岩夹砾岩④砂砾石层⑤黄土状亚矿土夹砾石 Fig. 2 Cross section of the fault in Eliasi valley

根据第三系褶皱轴向、断层新活动方式、节理统计资料及震源机制解得到新构造应力场 主压应力为北北东向,动力来源于南南西,与印度板块向欧亚板块的推挤力一致。 二、断裂带特性与形变特征

1. 断层面性质和特点

北缘断裂带的早期挤压性质很明显,断面两侧第三纪以前的地层多为紧闭褶皱并伴有逆 冲断层。其分支断裂与主断层的关系及断面平直等特点还反映出断裂同时具 有 左 旋 剪切性 质。在新构造运动中断裂仍保持挤压剪切性质,但中更新世以后明显以走滑为主。

沿断裂可见很宽的破碎带和巨厚的断层泥。如长草沟断层南盘老岩层内发育有宽达1000 多米的断层带,从南到北可分为揉皱带、破裂带、碎裂岩带和糜棱岩化带。断层泥在党河以两 一般宽几十厘米,多为 青 灰、咖啡、紫红等色。在党河以东多为黑色,厚度从1米到几十 米。在照壁山前断层泥大量出露地表而形成一条断续相连的黑线。

2. 几何分布特征

在平面上按断层的不同组合形式可分为三段。西段(党河以西)成为左行左阶羽列型 式,单个断层长11~18公里,间距一般在300~500米间,羽列角5°~7°。当断层控制的山 缘线从前一条断层退到后一条上时,前者延伸入山前洪积扇常形成陡坎。中段(党河到石包 城)断裂切入野马山中,形成了宽几十米到200米的断层谷,很多地段为主断层与平行于主 断层的次级断层形成的对冲地堑,主断层连通好并有明显水平滑动,次级断层则间断存在且 无明显水平活动迹象。东段(石包城到疏勒河东)断层呈左行左阶斜接,交角10°-20°。

北北东向的阿尔金断裂切截了几乎所有其他方向的断裂构造,表现出最新活动性。

3. 形变特征

邓起东(1984)曾把走滑断层系中随介质和边界条件变化而复杂化的形变图案归纳为两 种运动学模式^[5]。在阿尔金断裂带东段这两种模式同时存在且表现得十分 典 型(图3)。



图 3 北缘断裂带的形变图案

Fig. 3 Deformation pattern on the north fringe fault zone.

在断裂中段,南北缘断裂之间的地块在水平推挤下发生枢纽运动,形成了长轴平行断面的野 马山隆起和石包城盆地。盆地北缘为高达200多米的断层崖,顶上为夷平面。靠断面处为盆 地最低的汇水沼泽。隆起与沉降间为过渡关系。称之为主滑型模式。石包城以东有许多北西 向断层与北缘断裂近于垂直相交,水平推挤力碰到这些横向断层后转化为倾向滑动,形成了 一系列断块隆起山地和地堑盆地相间排列的现象,称为横断型模式。

4.走滑运动的地貌特征

对活动断层的水平运动引起的一般地貌标志前人早有论述,本文仅列举一些特殊的地貌

现象。

(1)高台洪积扇:阿尔金山山前有许多形成于中更新世的高出现代洪积平原面几十米的 老洪积台地。它们在不断向沟口西侧移动并抬升的过程中形成了许多阶梯状台面,分布其上的废弃古河床到沟口的距离就是断层在不同时代的错距。

(2)单侧河口阶地:由于从山中流出的水系在断层处被向西不断平移的结果,在多数大 沟口东岸只发育一到两级阶地,西岸发育的阶地不但级数多而且阶地面开阔。阶地到沟口的 距离即为断层错距。

(3)冲沟错扭形态:当冲沟在山坡的不同位置及山坡的坡度不同时被断层水平错移后的 形态也不同。在断层位于山脚时,冲沟被错呈近于直角的弯转,如断层在山坡上,坡度较缓 时,冲沟被错后由于流水对错入沟岸的冲蚀而呈弧形弯转,如果坡度较陡,则整个拐角被切 蚀掉,这时只有联系周围地貌方能辨别是经过水平错移的。

(4)三角形侵蚀盆地:较大水系出山切入老洪积扇后,在水平错入的河岸被冲蚀后常形成 三角形的小盆地,大的十几平方公里,小的几百平方米。盆地靠断层的底边长度即为该河床 形成以后的断层错距。

三、水平错距与滑动速率研究

本文主要根据被水平错移的各种地貌单元的形成时代对中更新世以来不同时期至今的断 层平均滑动速率及断层活动的时空变化特征进行了初步研究。第四纪分期采用240万年方案, 其中早、中更新世界线为100万年左右,中、晚更新世界线为20万年,全新世开始于1万年前。

1. 中更新世以来的水平错距和速率

北缘断裂带东北段目前保存在地貌上的一组最大错动值为5800~6000米(青崖子沟、阿 克赛沟、红柳峡沟)。在野马山中大多数河流在断裂处被错移一千多米,如果把断裂两侧右旋 回错5800米,那么多数水系都对应有一个下游河谷,说明这组错距存在较普遍。在青崖子沟 对应这个错距的古河床座落在早更新世冰水(?)堆积高台上,在低一级的台面上即覆盖有 Q₂洪积物,因而它约形成于Q₁末期。由此计算断层自Q₂以来平均滑动速率为5.8毫米/年。

在错动地貌保存较好的地段,多数季节性大河沟都有1700~2000米的错距。这些河床大小相似,基本同期形成。在山前Q₂洪积高台上一般表现为切割较深、规模较大的古河道,反映当时水量较大,推测古河道形成于Q₂间冰期。若按50万年计,则断层平均滑动速率为3.4~4.0毫米/年。

2. 晚更新世以来的水平错距和速率

晚更新世以来形成了现代山前洪积平原面,其上发育的大小冲沟在跨越新层时都有左旋 错移。在此期间形成的较大水系的三、四级阶地以及中小河沟的二、三级阶地也都被错移到 离河口较远的位置。许多大沟还形成多条断尾沟(图 4)。经对这些错距进行大量统计后发 现,最大一组错距为800—900米。若以此作为Q₃开始以来的错距,则平均滑动速率为4.0— 4.5毫米/年。

3 全新世以来的水平错距和速率

Q₃末期形成一些低于洪积平原面的洪积扇,相当于二、三级阶地。其上发育的冲沟及



图 4 鹰咀山前水系错动示意图 Fig. 4 The offsets of water system in piedmont of Yinzuei mountain.

的形成及这些阶地被断层错动应在全新世。以最大一组80—85米错距作为 Q,开 始以 来的错动,平均滑动速率达8.0毫米/年。

在阿克赛沟,一级阶地被错动了18米,阶地上部土层的C¹⁴绝对年龄为距今5070±80 年,得Q₄后期平均滑动速率为3.6毫米/年。考虑到取样点以上还有1.8米厚的覆盖层,实际 速率应大于该值。由于同样原因在其他地点所采样品经C¹⁴年代测定后,所得出的速率均偏 小。

4. 断层活动的一些特点

(1)水平错动幅度远远超过了垂直错动幅度,并且水平错动幅度与垂直错动幅度之比有 越米越大的趋势。如在Q₈洪积扇上发育的台坎高十几到三十米,而同期水平错距达几百

米。Q₃晚期的低洪积扇及二、三级阶地上 陡坎一般高2~3.5米,同期水平错距达80 多米。全新世形成的一级阶地很少有陡坎存 在,仅个别地方有几十厘米起伏,同期水平 错距几十米,比例就更大了。

(2)水平错距有明显的分组现象。笔者 所测的上千个错动值明显地存在向几个数值 组集中的现象,特别在几十公里距离内数值 很接近,并非随机分布。如Q。以来的错动, 在西段有800—900米,400—500米,240— 300米,140—160米,90—120米等5组;在 中段以140—160米最多,其他还有240米, 100米左右,480—520米几组。东段有800— 900米,600米左右,180—240米,90—120 米等几组。全新世的错动值仍有明显的分组 。这种现象说明断层活动具有阶段性。

(3)水平活动具有分段变化特点。如上 所述,断裂水平错移值的分组在各段有所变 化。在对比同期错距时也发现并非简单地由



Fig. 5 Comparison of the new displacement distance of microtonography (within 20 metres). 西向东递减,而是大递减中有小波动,或无递减波动。图 5 是将断裂按三段分别统计其20米 以内的最新错动值,可以看出各段峰值有很大差异。

四、古地震与现代地震活动

1.古地震

由于本断裂地处人烟稀少的少数民族地区,几乎没有历史地震资料。但在考察中发现了 一些古地震的遗迹,其中芦草沟存在一条保存比较完整的古地震形变带。

这条形变带位于肃北县城以东的野马山中,西起一碗泉,东到大冰沟口,长约75公里。中部芦草沟形变最强烈,因此,定为这次古地震的宏观震中。沿整个形变带分布有断层 崖、小型滑坡、洪积扇鼓包,大面积山坡开裂并呈阶梯状下滑、断层泥冒出地表等现象。其 中芦草沟一带断层崖形成连续的右行羽列带,走向与北缘断裂一致,为北东72°,沿断层分 布。单个断层崖长50~250米,高1.5米到3米。断崖物质组分为黄土状亚粘土。崖脊、自由 面、碎屑坡、冲刷坡保存良好,界线清楚。自由面高40—70厘米,坡角大于70°,碎屑坡角 25°—35°,冲刷坡角16°,主坡角30°—34°。在断崖下几条纹沟分别被左旋 借动了3米、5 米、1.6米,取中间值3米作为水平错距。震中烈度约9度^[6]。



图 6 芦草沟古地震形变带分布图 1.地 照 断 层 影 2. 坡 面 跨場 3. 滑坡体 4. 皷包

Fig. 6 Distribution of the Lucaogou paleoseismic deformation belt.



图7 芦草沟地震断层崖示意图

Fig. 7 Sketch of the Lucaogou paleoseismic fault scarp.

参考R.E.Wallace(1977)关于断层崖剖面变化和年龄关系的统计结果 167,利用主坡

角与年龄关系求出这次古地震年龄为100~300年,利用坡度控制作用比例与年龄关系求出为 200~300年。由于本区比内华达州更加干旱,年降水量仅几十毫米,这个年龄可能偏小。震 级用下列公式估计:

(1)据我国历史地震震级与烈度经验关系:

 $M = 0.66 I_0 + 0.98 = 6.92$ $(I_0 = 9)^{-1}$

(2)据Hikonov,A.A.(1975)中亚地区公式[7]

 $M = 7.65 + 0.831g l_{max} = 7.15$ $(1_{max} = 0.25 \text{ KM})$ $M = 6.30 + 0.971 g L_{max} = 7.15$ $(L_{max} = 7.5 \text{ KM})$

 $(D_{max} = 300 \text{ cm})^{-1}$

 $M = 5.43 + 0.901 g D_{max} = 7.66$

式中1为单条破裂长度, L为破裂总长度, D为平移距离。

据此得出震级约为7~7支级。

此外在西段阿克赛一带的天然剖面上有许多发生在晚更新世到全新世沉积物中的快速破 裂及具有楔状充填的破裂面。另在石包城西北的哈日哈德一 带 沿断裂 所有 纹 沟 和 梁 脊皆 被错移8一9米,山坡上基岩露出,遍布滚石,为其他地段所罕见。整个形变带长13公里, 可能为另一次古地震事件。

2. 现代地震活动与断裂的关系

在甘肃境内的阿尔金断裂带上地震活动明显地集中在两个地段,一个在石包城以西的野 马山中,一个在昌马盆地北侧的照壁山前,其他地段相对少得多。而这两个地段恰好是阿尔 金断裂与北、中祁连断裂的交汇处。这种断裂交汇处控震的特点在阿尔金断裂系的中、西段 上也很明显[2]。



1. 断裂 2. M = 4. 0 - 4.9 3. M = 5. 0 - 5. 9 4. M = 6. 0 - 6. 9 5. M = 7. 0 - 7. 9 Fig. 8 Location of the great earthquakes in the eastern Aerjin area.

3. 地震危险性和大震重复周期探讨

北缘断裂带东段的现代地震活动频度和强度都较低,与它巨大的走滑位移量和较高的滑 动速率不相称。较宽的破碎带和厚断层泥显然有利于断裂的蠕滑运动,因而有人认为这是一 条以蠕滑为主的断层。但笔者认为不能排除在该断裂上发生大震的可能性。理由之一是存在古 地震遗迹; 二是构造上存在应力集中点, 如断裂带的雁行错列部位、走向拐点、断裂交汇点

and the second second

等;三是许多地段存在与具有厚断层泥带的老断层平行的新断面,新活动多发生在这些新断面上;第四是目前还没有断层蠕滑的直接证据。例如阿克赛县城就座落在北缘断裂上,但其上一些二、三十年的房屋未发现有开裂或错动现象,说明断层目前处在平静期,地震活动频度低与此有关,并非蠕滑造成。

未来可能发生的大震震级可按单条断层长度估计。北缘断裂东段单个断层长8~27公里,用D.B.Slemmons(1982)所得出的世界范围的公式有⁽¹⁴⁾:

 $M_s = 2.062 + 1.068 lgL = 6.2 \sim 6.8$

若用中亚地区公式则有[7]:

 $M = 6.30 + 0.97 \lg L = 7.1 \sim 7.68$

而发生一次7级地震的重复周期一般按公式 $R_x = \frac{D}{S}^{(12)}$ 计算(D为位移量,S为滑动速率,R_x为间隔年代)。由于没有现代地震的位移数据,只能参考芦草 沟占地 震的位移。已知全新世平均滑动速率为8毫米/年,后期大于3.6毫米/年,按5毫米/年计,得出7级地震的原地复发间隔为600年。考虑到还存在蠕滑,上式应改为 $R_x = \frac{D}{S-C}^{(12)}$ 式中C为蠕滑 速率。

由于没有这方面资料,因此把上述600年作为一个下限来考虑。

本文是在李玉龙付研 究 员 的 指导下完成的。陈庆宣、马宗晋、时抵梁审阅了全文并提 出宝贵意见。本所刘建生参加了野外工作,刘百篪、周俊喜及兰州大学张林源付教授给予了 多方面指导与帮助。在此谨表示衷心的感谢。 (本文1985年1)月30日收到)

参考文献

 Tapponnier, P.and Molnar, P.,中国的活动断层与构造, 地层地质 译丛, №1, 1979.

〔2〕冯先岳,阿尔金断裂带,中国活动断裂,地震出版社,1980.

〔3〕侯珍清等,阿尔金北缘断裂带东北段基本特征及其与地震的关系,西北地震学报,Vol. 4,№3,1982.

〔4〕李春昱等,秦岭及祁连山构造发展史,国际交流地质论文集(1),地质出版社,1978. 〔5〕邓起东,断层性状、盆地类型及其形成机制,地震科学研究,№1--4,1984.

〔6〕黄秀铭,关于古地震地质研究,地震地质译丛,№4,1979...

- [7]Hikonov, A.A.,中亚山区现代地震构造断裂活动及其与震级的关系,活断层研究, 地震出版社, 1983.
- 〔8〕索洛年科等,根据古地震错动确定地震年龄和烈度,地震地质译丛,№1,1982.
- 〔9〕Wallace.R.E.,断层崖和断层迹线的时间—历史分析, 地震地质译丛, №1,1980.
- (10)Molnar, P.et al., Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision, Science, Vol.189, No4201, 1975.

[11]Molna, P.et al., Active tectonics of Tibet, J.G.R., Vol 83, No B11, 1978.

[12] Wallace, R.E., Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault, California, Geo. Soc. Amer. Bull., Vol. 81, No 1, 1970.

[13] Buckman, R.C. et al., Estimation of fault scarp ages from a scarp-heighs

-slope-angle relationship, Geologe, Vol. 7, № 1, 1979.

- [14]Slemmon, D.B., Determination of design earthquake magnitudes for microzonation, Third Intern. Earthq. Microzonation Conf. Proceedings, Vol. 1, P.119--130,1982.
- [15]Sier, K.E., Prehistoric large earthquakes produced by slip on the Sau Andreas Fault at Pallett Creek, California.J.G.R., Vol.83, №B3,1978.
- [16] Wallace, R.E., Profiles and age of young faults scarps, north-central Nevada.Geol.Soc.Amer.Bull., Vol.88, No. 9, 1977.

THE QUATERNARY STRUCTURAL ACTIVITIES AND SEISMICITY ON THE NORTHEASTERN SECTOR OF THE NORTH FRINGE FAULT ZONE OF AERJIN MOUNTAINS

Lu Taiyi

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Abstract

The north fringe fault zone of Aerjin mountains is an important fault in Aerjin fault system (Altyn Tagh fault system). It might have existed in Late Proterozoic and became the boundary fault between Talimu Plateform and paleo-ocean plate in Paleozoic. In the neotectonic movement it has had very intense activities particularly left-lateral strike-slip movement. In this paper its notheastern sector is studied.

On this sector of the fault zone a thick fault gouge belt and a wide cataclastic rock belt were observed. The plane distribution of the fault zone often exhibits an echlon or oblique connexion pattern. The deformation and some specific geomorphic features caused by strike-slip movement of fault are given.

According to a great deal of data of the displacement distance on water system and other geomorphic unit we obtained four average slip rates from diffirent times in late Quaternary to today. They are 5.8mm/yr.from Middle Pleistocene, 3.4-4.0mm/yr.from the Intersadial of middle Pleistocene, 4.0-4.5mm/yr.from Late Pleistocene, and 8.0mm/yr.from Holocene. Based on C¹⁴ dating, the rate is more than 3.6mm/yr.from late Holocene.

In the northeastern sector we found some paleoseismic traces and a fresh paleoearthquake deformation belt in Lucaogo, where we estimated that the earthquake occurred about 300 years ago and M=7.0--7.5 according to the slope of fault scarps and length of fracture belt. The relationship between recent seismicity and the fault zone, the seismic risk and great earthquake recurrence are discussed.