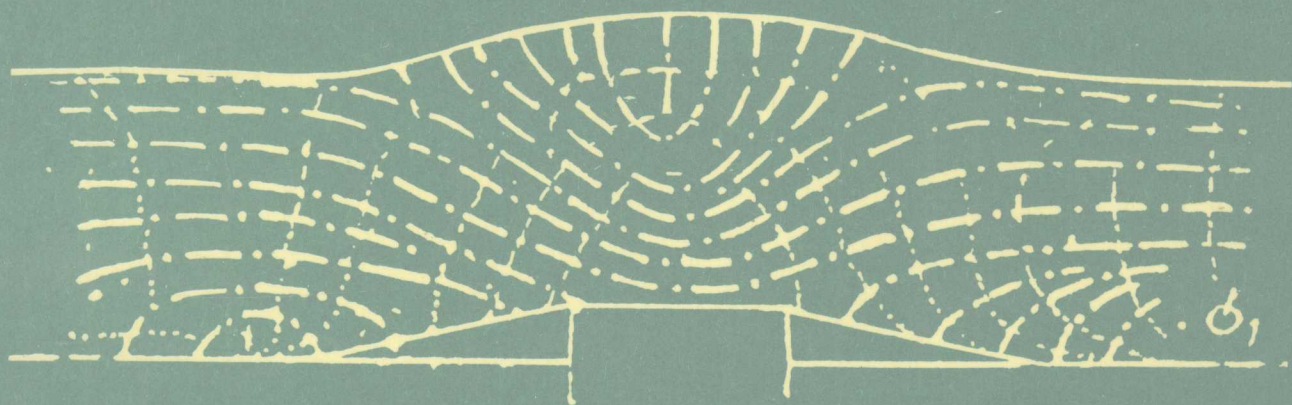


8

地壳构造与地壳应力文集

国家地震局地壳应力研究所



地震出版社



地壳构造与地壳应力文集

(八)

国家地震局地壳应力研究所 编

地震出版社

1996

内 容 提 要

本书是国家地震局地壳应力研究所编辑的《地壳构造与地壳应力文集》的第八集,介绍了本所近几年在地震观测、预报、实验和理论研究方面的部分新成果。含论文 21 篇,涉及的主要内容有:活动构造的活动特征、运动特征及其地震危险性,地壳应力变化的观测及方法理论的实验研究,地震预测预报成果及观测技术研究等。

本书可供从事地质、地震、减灾、工程地质工作者及有关院校师生参考。

地壳构造与地壳应力文集

(八)

国家地震局地壳应力研究所 编

责任编辑:朱向军

责任校对:李 珏

*

地 震 学 社 出 版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 10.375 印张 265 千字

1996 年 3 月第一版 1996 年 3 月第一次印刷

印数: 601~1600

ISBN 7-5028-1316-0/P·802

(1710) 定价: 20.00 元

《地壳构造与地壳应力文集》编委会

主 编：赵国光

副主编：刘光勋 苏恺之 陈宏德

编 委：(按姓氏笔划排列)

勾 波 王继存 傅子忠 刘光勋

安 欧 李方全 苏恺之 张伯崇

欧阳祖熙 陈学波 陈宏德 赵国光

聂宗笙 黄福明 游丽兰 杨承先

董立本

编 辑：郭世凤 王文清

目 录

大青山山前断裂带晚第四纪活动速率研究

..... 吴卫民 李 克 马保起 盛小青 杨 发 郭文生 何福利 (1)

井陘—晋城断裂带的活动特征及其地震危险性

..... 许桂林 朱秀岗 (11)

鲜水河活动断裂带乾宁断层的构造地貌特征及全新世滑动速率

..... 贺群禄 刘德权 苏 刚 (18)

鲜水河活动断裂带几何结构和分段特征及成因分析

..... 张景发 刘德权 贺群禄 苏 刚 (25)

地震活动图象的细胞自动机模型分析 吕悦军 陆远忠 郑月君 (36)

各类型构造带的地震活动随地球角速度的变化

..... 戴梁焕 杨修信 黄佩玉 后凤鸣 周俊萍 (46)

大同盆地第四纪火山与盆地内地震活动的关系

..... 窦素芹 张世民 (52)

用残余应力场和现今应力场重叠法预测鲜水河断裂带的大震危险时区

..... 安 欧 (59)

黄海地震带中强地震危险趋势的混合极值理论研究 陈 虹 (67)

首都圈地温观测曲线的变化与地震 姚宝树 陈沅俊 赵京梅 (72)

龙门山断裂带测区古构造残余应力场对大地震的控制 安 欧 高国宝 (77)

中国地壳应力图简述

..... 丁建民 梁国平 高建理 孙世忠 李 明 孟宪美 张彦山 卓 越 (85)

西南地区水系格局与构造应力场的关系 侯治华 王宝杰 (96)

浅谈水压致裂应力测量资料的解释与分析

..... 郭启良 安其美 赵仕广 王海中 (103)

广西全州天湖水电站水压致裂三维地应力测量及其应用

..... 安其美 赵仕广 郭启良 王海中 (114)

关于隐伏活断层横跨断层形变测量中的问题..... 杨承先 (124)

首都圈钻孔应变资料信息合成..... 易志刚 刘冬英 龚复华 (129)

地球动力学研究中的地壳深部原地应力测量..... 李方全 (138)

钻孔式地震前兆观测技术的进展 苏恺之 (143)

跨断层形变测量的观测技术系统..... 游丽兰 (150)

CONTENTS

Study on the Late Quaternary Slip Rate of the Piedmont Fault of Mt. Daqingshan	Wu Weimin Li Ke Yang Fa et al. (1)
Active Character of the Jingjing—Jincheng Fault Zone and Its Seismic Risk	Xu Guilin Zhu Xiugang (11)
The Morphotectonic Features and the Quaternary Slip Rate Along the Qianning Segment of the Xianshuihe Fault Zone.....	He Qunlu Liu Dequan Su Gang (18)
The Geometric Structure, Segment Character and Movement Analysis of the Xianshuihe Active Fault Zone	Zhang Jingfa Liu Dequan et al. (25)
Interpretation of Some Characteristics of Seismicity by Cellular Automation Model	Lu Yuejun Lu Yuanzhong Zheng Yuejun (36)
Variety of Earthquake Activity in Various Tectonic Zone with Angular Velocity of the Earth Rotation	Dai Lianghuan Yang Xiuxin Huang Peiyu et al. (46)
The Relation Between Quaternary Volcano and Earthquake Activity in the Datong Basin	Dou Suqin Zhang Shimin (52)
Forecast Method for Risk Area and Risk Time of Large Earthquake in the Xianshuihe Fault Zone by Superimposing the Residual and Present Stress Field	An Ou (59)
Application of Gumbel Mixture Theory to Estimate the Seismic Risk of the Yellow Sea	Chen Hong (67)
Geotemperature Variation of Monitoring Curve and Earthquake in the Capital Area	Yao Baoshu Chen Yuanjun Zhao Jingmei (72)
Measurement of Paleotectonic Residual Stress Field in Area Along Longmenshan Fault Zone and Its Control on Large Earthquakes	Ao Ou Gao Guobao (77)
Briefing on Recent Crustal Stress Map of China	Ding Jianmin Liang Guoping Gao Jianli et al. (85)
Relationship Between the Drainage System and Tectonic Stress Field in the Southwest of China	Hou Zhihua Wang Baojie (96)
The Analysis and Interpretation of the Data of Hydraulic Fracturing Stress Measurement	Guo Qiliang An Qimai Zhao Shiguang (103)

In-Situ 3-Dimensional Stress Measurements by Hydrofracture and its Application in the Design of Tianhu Hydropower Project, Guangxi Zhuang Autonomous Region	An Qimei Zhao Shiguang Guo Qiliang (114)
The Problem of the Deformation Measurement Across Fault in Hidden Active Fault.....	Yang Chengxian (124)
A Technique of Information Compound for Borehole Strain Measurements in the Capital and Nearby Region ...	Yi Zhigang Liu Dongying Gong Fuhua (129)
In-situ Stress Measurement in the Deep Borehole for Geodynamics Study	Li Fangquan (138)
The Development of Borehole Observation Technique for Seismic Precursor	Su Kaizhi (143)
Observing Technology System for the Across-fault Deformation Measurement	You Lilan (150)

大青山山前断裂带晚第四纪活动速率研究^①

吴卫民 李 克 马保起 盛小青

(国家地震局地壳应力研究所)

杨 发 郭文生 何福利

(内蒙古自治区地震局)

一、引 言

活动速率是评价断裂活动强度的一个重要标志,也是确定断裂平均大震重复间隔必不可少的基本参数。因此,活动速率是活断层研究中的一个重要方面。笔者近年进行了大青山山前断裂1:5万地质填图工作,对该断裂晚第四纪活动速率作了专题研究。

二、大青山山前断裂带晚第四纪活动概述

大青山山前断裂是河套断陷的主要活动断裂之一,它西起包头市黄河南的昭君坟,向东沿大青山南麓延伸,至呼和浩特市以东的奎素一带,全长约 200km,总体呈北东东走向,构成了呼和断陷的北界(图 1)。该断裂具有典型的正断层活动特点,表现为一组阶状正断层,主断面均向呼和盆地一侧倾斜,倾角为 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 左右。断裂自新生代开

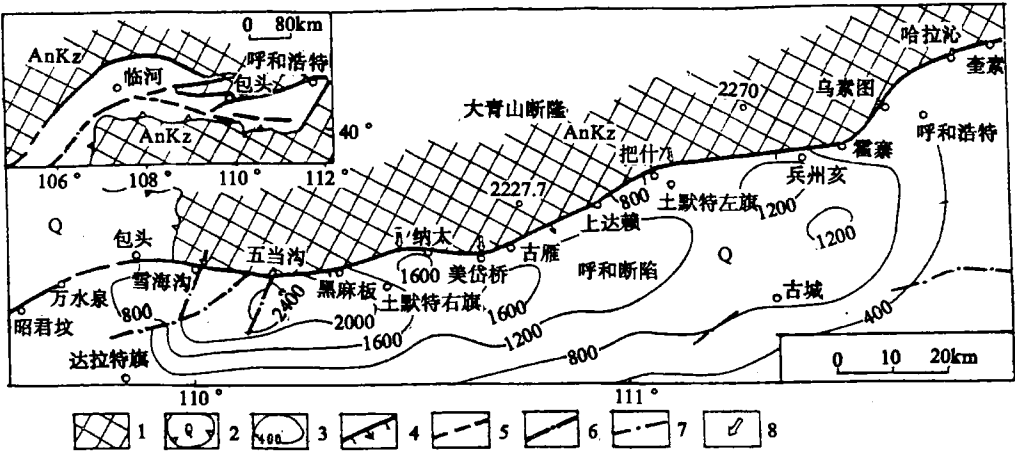


图 1 大青山山前断裂平面展布图

- 1.基岩隆起区; 2.第四纪盆地; 3.地震勘探推测的第四系等厚线(单位: m);
4.活动正断裂; 5.推测活动断裂; 6.隐伏活动断裂; 7.隐伏断裂; 8.断裂分段界点

① 本文为国家地震局“八五”重点项目“大青山山前断裂1:5万地质填图与综合研究”中的部分内容。

始，以南降北升的垂直差异运动为主。断裂北侧的大青山地区受断裂的控制，山体间歇性抬升，遭受剥蚀作用，形成夷平面、剥蚀山地、深切沟谷、河流阶地与山前台地；南侧的呼和断陷连续沉降，接受巨厚的新生界沉积，形成广阔的山前盆地与山麓洪积裙。断裂活动的这一特点一直持续至现代。

断裂在晚第四纪时期活动十分强烈，地貌反映明显，沿断裂带北侧形成了两级山前基座台地与基岩断崖及断层陡坎。山前台地沿山麓基本连续展布，宽 50~100m 左右。其基座由前新生界组成。盖层为一套冲湖积沉积，下部以黄绿色粉细砂、砂粘土层为主，间夹砂砾石层；上部以杂色粗砾石层为主，夹粉细砂层。根据地层中的哺乳类化石与大量测年数据，可确定这套地层的时代为晚更新世晚期，时间距今 4 万~2 万 a^[1, 2]。高台地面海拔高度为 1100~1170m，其相对抬升高度最大为 120m。基岩断崖主要分布于断裂西段的古城湾、东园一带，最高达 40~50m，形成于晚更新世晚期。断层陡坎沿断裂北侧断续分布，高 2.7~17m 不等，由全新世冲积、冲洪积、坡洪积地层组成。

大量天然断裂露头与探槽剖面同样揭示该断裂在晚第四纪时期具有强烈的活动性。沿断裂带普遍可见断裂错断晚更新世与全新世地层，并发生过多期古地震事件^[3]。断裂具有分段活动特征，在断裂的不同区段，探槽揭露出的古地震期次、时间分布及最新事件的时代均互不相同。依据断裂破裂分段原则^[4~6]，结合断裂的几何特征、构造地貌形迹等，将大青山山前断裂划分为五段^[7]，各断层段的名称及活动特征见表 1。

表1 大青山山前断裂带分段及活动特征简表

断层段 活动特征	昭君坟— 雪海沟	雪海沟— 土默特右旗	土默特右旗— 美岱桥	美岱桥— 土默特左旗	土默特左旗— 奎素
长度 / km	35	35	15	41	72
断层走向	NE50°~EW	105°~NE85°	105°	NE60°~75°	NE50°~85°
下降盘沉积 厚度 / m	Kz: 5400 Q: 1000	Kz: 6900 Q: 2400	Kz: 4000 Q: 1400	Kz: 5400 Q: 1600	Kz: 3600 Q: 1200
高台地面相 对高度 / m	20~30	60~100	90~100	80~120	20~70
断层陡坎 高度 / m	2.7~4	7~14	6~13	9~17	5~6
洪 积 扇	不 发 育	三期洪积扇， 以上叠扇为主	三期洪积扇， 以上叠扇为主	三期洪积扇， 以上叠扇为主	三期洪积扇， 以内叠扇或串 珠状扇为主
全新世古 地震次数	>1	5	3	5	>1
最新破裂 事件时代	距今 5330±1060 a 之前	公元 849 年	距今 4000a 左右	距今 2000a 左右	距今 7000a 左右

三、晚更新世以来位移幅度和活动速率

1. 位移标志的选择与位移幅度计算方法

确定晚更新世以来的位移幅度，必须通过断裂两盘晚更新世地层的对比才能求得。前已述及，在断裂北侧的山前基座台地上出露一套晚更新世冲积层，该套地层在断裂南侧的呼包盆地中已被断层错断深埋于地表数十米之下。因此，野外无法直接测量这套地层的错距，但可以依据断裂南侧已有的大量钻孔所揭示的晚更新世地层层序，与山前台地的地层对比，而获得较准确的位移量。

钻孔剖面与台地地层剖面对比必须首先选择对比标志层。标志层应符合以下条件：①具有特殊岩性或特殊沉积构造岩层，或是特殊的层间界面；②纵向上不出现或极少出现类似的层或界面；③层或界面在横向上分布稳定，岩性和厚度变化小；④特征明显，容易识别。我们通过大量台地地层剖面测量发现，这套地层明显包含了上、下两个岩性段，下岩性段以灰黄、黄绿色粉细砂、砂粘土为主，间夹砂砾石层，常发育细微的水平层理，为静水湖相沉积；上岩性段以杂色砾石层为主，夹粉细砂层，为冲洪积沉积^[1]。在这两个岩性段之间存在一个明显的沉积间断——假整合面。它作为湖相地层的顶界面，特征十分明显，在台地剖面和钻孔剖面中都极易识别，因此，可作为对比标志层。

当标志层为水平层时，断裂两侧标志层的高差（假定为 H ）即代表了断裂的位移幅度。 H 值不难获得，因为钻孔的孔面标高与标志层埋深均为已知，二者之差即为钻孔中标志层的海拔高程；断裂北侧山前台地上的标志层高程则需要通过野外地形剖面测量来获取。

但是，上述 H 值是在假设标志层处于水平状态下获得的。实际上，野外所见到的山前台地上的晚更新世地层，大都向盆地一侧缓倾，倾角介于 $1^\circ \sim 5^\circ$ 之间。而我们所测台地地层剖面的位置以及盆地中钻孔的位置都不可能紧靠山前断裂带，而是存在一定的间距。这样，即使标志层的倾角极小，如果所测台地剖面位置或钻孔位置与断裂带的距离较大，都可能使 H 值与断裂的真实位移之间产生很大误差。因此，为求得断裂的真实位移量，必须在取得 H 值的基础上加以校正。校正方法如图 2。

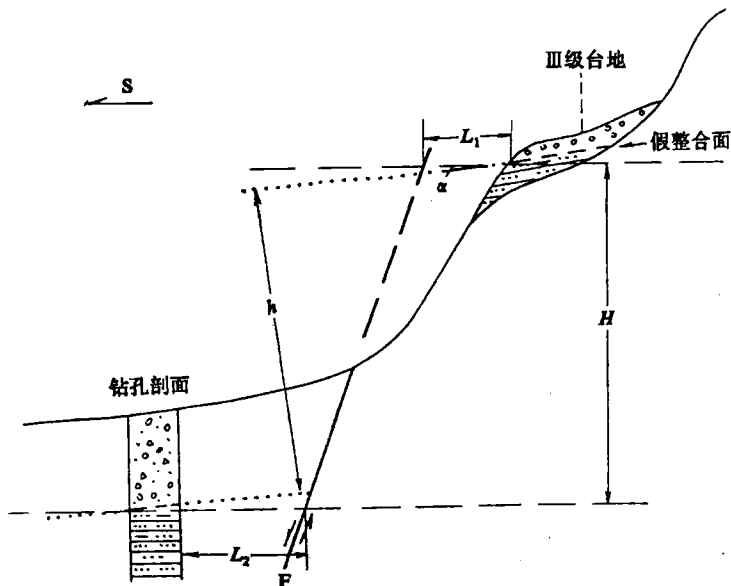


图 2 晚更新世晚期以来垂直位移幅度计算与误差校正图
 H . 断裂两侧标志层的高差； L_1 . 台地上标志层高程测点到断裂带的水平距离； L_2 . 钻孔位置到断裂带的水平距离； α . 标志层的倾角（假定断裂两侧标志层倾角一致）； h . 校正后的断裂真实位移量

图 2 中, L_1 与 L_2 均在野外量出或在大比例尺地形图上读出, α 可在野外测量得到。依据三角函数关系, 可得到断裂带的真实位移量 h :

$$h = H - \operatorname{tg} \alpha (L_1 + L_2) \tag{1}$$

2. 位移幅度及其分布

依据以上思路, 我们进行了细致的野外测量工作。沿断裂带北侧的山前台地自西向东实测近 70 条地形剖面, 以获取台地标志层的高程数据。同时, 收集、分析了近 60 个盆地钻孔资料, 对钻孔剖面上的标志层进行了鉴别并与台地剖面作了对比, 取得了一批 H 值数据。之后, 根据各个测点实测得到的地层倾角 α , 以及从 1:10000 或 1:50000 地形图上读出的 L_1 与 L_2 值, 依式(1)对取得的 H 值逐个进行校正与计算, 得到大青山山前断裂带晚更新世以来的垂直位移幅度, 结果如表 2。

表2 大青山山前断裂带晚更新世以来垂直位移幅度表

序号	位移测点	选用的钻孔	断裂带两侧标志层高差 H/m	真实位移幅度 h/m	序号	位移测点	选用的钻孔	断裂带两侧标志层高差 H/m	真实位移幅度 h/m
1	西壕口	XH-1	66.5	55.3	12	庙沟	TK ₆	141.6	133.4
2	万水泉	HJP-1	63.0	58.6	13	沙尔沁	TK ₈	140.9	123.4
3	壕赖沟	CK-1	80.1	78.2	14	把什	TK ₁₃	148.9	136.7
4	包头铝厂	铝1	114.5	109.3	15	水磨	TK ₂₃	121.6	117.5
5	五当沟	萨1	168.0	133.1	16	兵州亥	TK ₃₀	131.5	114.0
6	黑麻板	萨2	139.4	121.9	17	霍寨	TS ₆₇	99.0	90.7
7	马留	萨3	148.5	126.5	18	西乌素图	SH ₆	89.8	81.5
8	哈子盖	萨4	161.6	135.6	19	红山口	SH ₁₀	88.7	80.4
9	美岱沟	萨10	174.8	148.8	20	哈拉沁	CKB ₁₁	90.2	74.5
10	圪力更	TK ₁	155.0	146.7	21	姚家湾	II-1	63.4	56.1
11	白石头沟	TK ₃	155.4	146.5					

* 钻孔资料来源于内蒙古自治区地质局水文地质队和包头市钢铁公司工程地质勘察队。

表 2 给出了自西向东 21 个测点的位移幅度值。需要说明的是, 该值并非断裂带整个晚更新世以来的位移量值, 而是晚更新世晚期台地冲湖相地层形成以来的位移量值。从表 2 看出, 晚更新世晚期以来最大位移分布在断裂中部的美岱沟至白石沟一带, 均达 140m 以上; 自中部向两端位移幅度逐渐减小, 西端的西壕口一带为 55.3m, 东端的姚家湾一带为 56.1m。

3. 晚更新世晚期以来的平均活动速率

表 2 中已列出了大青山山前断裂带晚更新世晚期以来的位移幅度, 为求得断裂的平均活动速率, 还需要确定断裂位移所经历的地质时间。

用地层的顶面年龄代表断裂错断这套地层的时间, 来计算断裂带的平均活动速率。但断层起始活动的真正年代无疑要小于我们以地层顶面年龄来代表的计算年代, 因此, 这样求得的断层活动速率要小于实际的断层活动速率。

为了确定山前台地上冲湖积地层顶面的年龄, 我们对台地顶部地层的不同地点进行了

测年, 测年结果如表 3。

表3

大青山山前 III 级台地顶部地层测年数据表*

序 号	实验样品编号	取样地点	样品成分	测试手段	测年结果 / a
1	DY-0020	包头万水泉	纳玛象牙	^{14}C	22486 ± 1256
2	R850	包头永富	黄色粉细砂	TL	31900 ± 2870
3	R648	土默特右旗五当沟	黄色细砂	TL	29620 ± 3850
4	R844	土默特左旗把什	黄色粉细砂	TL	32020 ± 2580
5	R849	土默特左旗兵州亥	黄色粉细砂	TL	34580 ± 3110
6	R615	呼和浩特乌素图	黄色粉细砂	TL	28530 ± 2850
7	R619	呼和浩特哈拉沁	黄色粉细砂	TL	25500 ± 3820

* 样品均由国家地震局地壳应力研究所热释光 ^{14}C 实验室测试。

表 2 给出了万水泉、五当沟、把什、兵州亥、乌素图和哈拉沁六个测点的断裂位移幅度, 分别为 58.6、133.1、136.7、114.0、81.5 与 74.5m。依据表 3, 上述测点晚更新世晚期以来的平均滑动速率为: 万水泉 2.61mm/a , 五当沟 4.49mm/a , 把什 4.26mm/a , 兵州亥 3.29mm/a , 乌素图 2.85mm/a , 哈拉沁 2.90mm/a 。

虽然所取得的位移数据与年代数据有限, 但上述结果至少反映大青山山前断裂带晚更新世晚期以来具有如下活动特征:

1) 断裂带最大平均活动速率在 4.0mm/a 以上, 如五当沟高达 4.49mm/a , 说明它是一条活动性极强的断裂带。

2) 断裂带中部活动速率最大; 如五当沟、把什均达 4.0mm/a 以上; 而断裂带两端部分较小, 如西乌素图为 2.85mm/a , 哈拉沁为 2.90mm/a , 万水泉为 2.61mm/a , 反映了断裂活动在空间上的不均一性。

四、全新世位移幅度和活动速率

1. 位移幅度的测量方法

由于全新世地层成因类型复杂, 岩性和厚度变化大, 无论在天然断层露头还是探槽剖面上都很难将断裂两盘的地层作准确的对比。因此我们在求取全新世位移幅度时, 无法像求晚更新世以来的位移幅度那样, 采用位错地层的对比方法。但可以采用被断层错断的、而今尚保存较完整的地貌面的对比来确定全新世断层位移幅度。

大青山山前断裂带全新世活动在地貌上最明显的表现是形成了沿断裂带断续分布的断层陡坎。陡坎发育的地貌位置一般在沟口的 I、II 级阶地、冲洪积扇及山麓坡洪积裙等年青地貌面上。断层的活动, 错断这些地貌面, 使上升盘相对抬升形成陡坎, 断错的地貌面则构成陡坎的上、下原始面^[8]。因此, 通过陡坎上、下原始面的对比, 可以近似求得断裂全新世 (即陡坎形成以来) 的垂直位移幅度。陡坎上、下原始面的距离, 也就是陡坎的高度, 可以通过野外地形剖面测量来获取。用 H 表示野外实测得到的陡坎高度。

但是, 由于组成陡坎的物质大多数是固结程度很差的冲洪积物、坡洪积物等, 陡坎形

成之后，很快就会受到自然侵蚀或人工改造而发生变化。一般说来，陡坎上部遭受剥蚀逐渐降低，而在坎下接受的堆积逐渐升高，陡坎坡角逐渐变缓。至使陡坎附近的上、下原始面遭受破坏，由地形剖面测量得到的陡坎高度 H 不能真正代表断裂的上、下原始面之间的距离。因此，必须对陡坎的地形剖面进行分析，根据各种类型陡坎的具体情况对实测得到的 H 值进行校正以确定真实位移量。大青山山麓地区断层陡坎主要有 4 种类型：①坎上剥蚀，坎下堆积；②坎上的人工堆积；③坎下人工或侵蚀形成的凹槽地形；④两级或多级陡坎。对上述类型，我们采用图 3 中的 4 种具体校正方法。其原则是将陡坎较远处保存较好的上、下原始面按其坡角分别向陡坎方向作延伸线，恢复陡坎附近被破坏的上、下原始面。两延伸线之间的距离 h 为校正后的位移量。

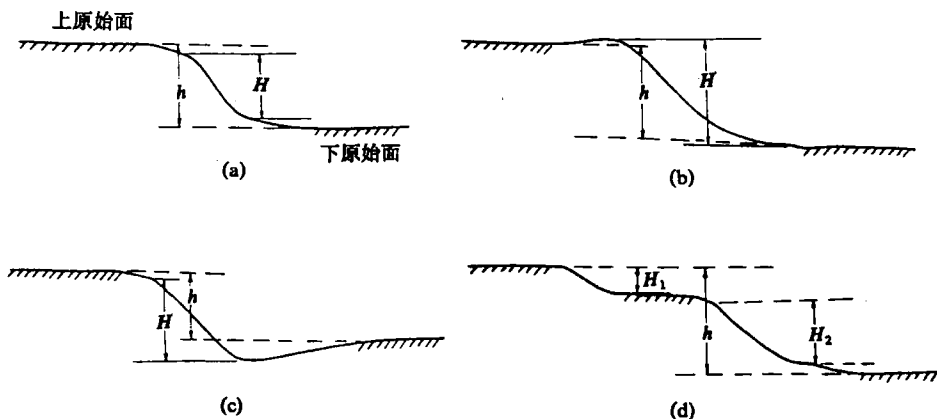


图 3 大青山山麓全新世断层陡坎高度校正图 (据文献[9], 略有修改)

H . 实测的陡坎高度; h . 校正后的陡坎高度

从野外观察和测量结果看，大青山山麓地区的全新世断层陡坎，虽则陡坎本身大都遭受了不同程度的侵蚀和改造，但其上、下原始面在距陡坎较远处一般都得到了较好的保存。这些面大多平缓开阔，坡度不超过 5° ，同一陡坎上、下原始面坡角差不超过 2° ，说明它们原来为同一地貌面。这样，我们按上述方法测量和校正得到的陡坎高度 h 基本上可代表断裂的垂直位移幅度。

2. 位移幅度及其分布

按上述思路和方法，我们在野外选取了一些保存较好、遭受自然或人工破坏较小的断层陡坎进行了地形剖面测量。测点间距在离陡坎稍远处为 20~30m，在陡坎附近加密为 1~5m 一个测点。共测得地形剖面 30 条，经校正后得到大青山山前断裂全新世位移幅度如表 4。

从表 4 可见，陡坎高度所反映的垂直位移幅度在断裂带的不同部位相差很大。总体看，断裂带中部位移大，而往两端逐渐减小。最大位移出现在中部的古雁一带，为 17.1m，而断裂东段的朱尔沟至奎素一带为 4.8~5.7m，西段的雪海沟一带仅为 2.7m。雪海沟以西则未发育全新世断层陡坎。

3. 全新世平均活动速率

为求取断裂的全新世活动速率，首先需要确定断层陡坎的形成年代。为此，我们对陡

表 4

大青山山麓全新世断层陡坎高度表

序号	地 点	陡坎的地貌位置	最大坡角	上、下原始面倾角		实测高度 H/m	校正高度 h/m
				上	下		
1	雪海沟	坡洪积台地	20.5°	4°	4°	2.6	2.7
2	雪海沟	坡洪积台地	23°	4°	4°	2.6	2.6
3	古城湾	坡洪积台地	18°	2°	2°	6.2	6.5
4	铝厂北	坡洪积台地	24°	2°	1°	12.6	13.2
5	阿善沟门东	坡洪积台地	22.5°	4°	4°	13.7	13.7
6	阿善遗址	坡洪积台地	20°	3°	2°	11.5	12.1
7	永富	坡洪积台地	23°	4°	3°	11.0	11.4
8	阿都赖	坡洪积台地	25°	3°	2°	10.0	11.6
9	沙木佳	I级阶地	18°	4°	4°	13.7	14.7
10	黑麻板	坡洪积台地	207°	5°	3°	13.3	13.5
11	枣沟西	I级阶地	28°	2°	2°	5.1	5.6
12	枣沟南	坡洪积台地	35°	2°	2°	7.1	7.8
13	纳太(I)	坡洪积台地	30°	3°	1°	12.1	12.7
14	纳太(II)	坡洪积台地	27°	3°	2°	11.2	12.0
15	沙兵崖	洪积扇上	21°	2°	2°	4.6	5.5
16	美岱沟	坡洪积台地	23°	3°	2°	12.5	12.7
17	古雁	坡洪积台地	25°	4°	4°	17.1	17.1
18	白石头沟	I级阶地	26°	2°	2°	11.4	11.4
19	道试西	坡洪积台地	30°	2°	1°	7.8	8.5
20	上达赖西	I级阶地	21°	4°	2°	12.2	12.7
21	上达赖东(I)	坡洪积台地	22°	4°	2°	9.7	12.5
22	上达赖东(II)	坡洪积台地	22°	4°	2°	10.2	12.1
23	小万家沟西	坡洪积台地	29°	4°	4°	10.2	11.5
24	窑子湾(I)	洪积扇上	23°	3°	2°	9.3	10.3
25	窑子湾(II)	洪积扇上	25°	2°	2°	9.6	10.1
26	朱尔沟东	I级阶地	17°	2°	2°	4.8	5.5
27	小沟门	坡洪积台地	26°	3°	2°	5.0	5.3
28	霍寨(I)	II级阶地	22°	2°	1°	3.9	4.8
29	霍寨(II)	II级阶地	23°	2°	1°	5.2	4.7
30	奎素村	坡洪积台地	23.5°	4°	3°	5.6	5.7

坎进行了热释光和 ^{14}C 测年。取样层位均选定陡坎顶部地层（接近上原始面）或是跨陡坎探槽中相当于陡坎顶部的地层（接近下原始面），使其所得年龄结果尽量贴近断层陡坎的形成年代。测年结果如表 5。

依据表 4 给出的位移幅度值和表 5 的陡坎年龄资料，求得以下各测点的全新世断裂平均活动速率为：雪海沟 0.37mm/a ，黑麻板 1.42mm/a ，沙木佳 1.50mm/a ，纳太 1.24mm/a ，古雁 1.72mm/a ，上达赖 1.20mm/a ，霍寨 0.64mm/a ，奎素 0.43mm/a 。

表 5

大青山山麓全新世断层陡坎测年数据表*

序 号	实验样品编号	取样地点与层位	样 品 成 分	测试手段	测年结果 / a
1	R845	雪海沟距下原始面约 0.5m	灰黄色砂粘土	TL	7200 ± 570
2	DY0072	黑麻板陡坎顶部地层	黑色古土壤	^{14}C	9632 ± 105
3	DY0012	沙木佳最早一期崩积楔下的古土壤层	黑色古土壤	^{14}C	9318 ± 78
4	R848	纳太距陡坎顶部约 0.6m	土黄色砂粘土	TL	10010 ± 1600
5	R701	古雁陡坎顶部地层	土黄色粉细砂	TL	9580 ± 1530
6	R899	上达赖东探槽最早一期崩积楔之上的坡洪积层	黄色砂层	TL	10790 ± 750
7	R847	霍寨陡坎顶部地层	黄色砂粘土	TL	7560 ± 980
8	R842	奎素陡坎顶部地层	灰色粉细砂	TL	13040 ± 230

* 样品均由国家地震地壳应力研究所热释光与 ^{14}C 实验室测试。

从以上 8 个测点获得的全新世断裂平均活动速率值看, 断裂中部的速率较大, 如黑麻板至上达赖均在 1.2mm/a 以上, 最大值在古雁一带, 达 1.72mm/a 。而在断裂两端部速率较小, 西段的雪海沟仅为 0.37mm/a , 东段霍寨为 0.64mm/a , 奎素为 0.43mm/a 。说明断裂两端部的全新世活动强度明显弱于断裂中部, 这一点继承了晚更新世时期的特点。

五、结论与认识

(1) 以上研究结果表明, 大青山山前断裂带晚更新世晚期以来的平均活动速率最大为 4.0mm/a 以上, 全新世平均活动速率最大为 1.72mm/a 。说明它是一条晚第四纪活动性极强的断裂带。

(2) 活动速率的研究结果反映了大青山山前断裂带的活动在时间上和空间上具有明显的不均匀性。空间上的不均匀性表现在最大位移与最大速率分布均在断裂带中部, 而向断裂两端逐渐减小; 时间上的不均匀性表现在晚更新世晚期以来的活动速率明显高于全新世活动速率, 说明断裂带晚第四纪活动最强烈的时期应在晚更新世晚期, 而全新世相对较弱。

(3) 晚更新世晚期以来断裂的活动速率明显高于全新世活动速率, 其原因除断裂活动在时间上具有不均匀性外, 还可能与我们采用的断裂位移计算方法有较大的关联。我们采用位错地层对比方法计算晚更新世以来位移幅度, 它较准确地反映了整个断裂带的实际位移; 全新世位移幅度的计算采用的是位错地貌面对比的方法, 所得位移值无疑要略小于断裂的实际位移, 这一方法反映的仅是断裂带中最新活动的一条断层的位移, 而无法将断裂带中全新世早、中期活动及在地貌上无明显反应的断层的位移反映出来。因而得到的位移幅度可能要明显小于整个断裂带的全新世实际位移幅度。目前, 我们还无法将这类断层的位移量较准确的计算出来。因此, 我们以上得到的全新世活动速率可能只是一个最小速率值。

(4) 我们求得的上述活动速率值既包含了断裂带的震时粘滑速率, 也包含了断层长期的非震蠕滑速率, 是这两种速率的综合平均值。近年跨大青山山断裂带的短水准测量结果表明, 整个断裂带, 包括晚第四纪古地震活动强烈的断层段如雪海沟—土默特右旗段, 都有明显的蠕滑活动。但就目前的研究水平来说, 我们还难以确定出上述获得的平均活动速率中蠕滑所占的比重。

参 考 文 献

- [1] 聂宗笙、李克, 内蒙古包头地区萨拉乌苏组的发现及其意义, 科学通报, No.21, 1988.
- [2] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组, 鄂尔多斯周缘活动断裂系, 地震出版社, 1988.
- [3] 吴卫民、李克等, 大青山山前活动断裂带大型组合探槽的全新世古地震研究, 活动断裂研究 (4), 地震出版社, 1995.
- [4] Aki, K., Characterization of barriers on an earthquake fault, Jour. Geophys. Research, Vol.84, 6140~6148, 1979.
- [5] 丁国瑜, 有关活断层分段的一些问题, 中国地震, Vol.8, No.2, 1992.
- [6] A.J.Crone and K.M.Haller, Segmentation and the coseismic behavior of Basin and Range normal faults: examples from east-central Idaho and southwestern Montana, U.S.A., Jour. Struct. Geol., Vol.13, No.2, 150~164, 1991.
- [7] 李克、吴卫民等, 大青山山前活动断裂分段性研究, 中国活动断层研究, 地震出版社, 1994.
- [8] Wallace, R.E., Profiles and ages of young fault scarps, northcentral Nevada, Bull. Geol. Soc. Am., Vol.88, 1267~1281, 1977.
- [9] 申屠炳明、宋方敏等, 秦岭北麓晚第四纪断层陡坎的初步研究, 地震地质, Vol.13, No.1, 1991.

Study on the Late Quaternary Slip Rate of the Piedmont Fault of Mt. Daqingshan

Wu Weimin Li Ke Ma Baoqi Sheng Xiaoqing

(Institute of Crustal Dynamics, SSB, Beijing 100085)

Yang Fa Guo Wensheng He Fuli

(Seismological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051)

Abstract

The piedmont fault of Mt. Daqingshan is one of the main northern boundary faults of the Hetao basin in Inner Mongolia. It has a total length of 200km and general strikes of NEE. On the basis of geological mapping (scale: 1 : 50000) along the fault, the authors

have studied in detail the displacement and average vertical slip rate of the fault in Late Quaternary. It has shown that the maximum average slip rate since Late Pleistocene is more than 4.0mm/a , and the maximum average Holocene slip rate is 1.72mm/a at least. Also, it is found that the fault has obvious inhomogeneity in spatial and time distributions of faulting in Late Quaternary.