1985年3月

西北地震学报

NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL March, 1985

断层崖研究与地震危险性估计 ——以贺兰山东麓断层崖为例

邓起东 尤惠川

(国家地震局地质研究所)

摘 要

本文研究了斷层崖的形成条件及演化过程,提出了必须对斷层崖同时进行 几何学和沉积学的研究,并根据我们对贺兰山山前断裂带的断层崖的研究结 果,初步总结了断层崖崩积楔的若干特征及其在大地震重复性研究中的意义。 根据对宁夏红果子沟和苏峪口断层崖几何学和沉积学的研究结果,确定了 贺兰山山前断裂自全新世以来曾发生过4次快速错动事件.从老至新分别命名 为A、B、C、D事件。由于第二期崩积楔下部物质的C¹⁴年龄为距今5745±90 年,所以,B事件大约发生在距今约6000年左右。第四次事件(D)发生在距 今400年以内,以致使明代长城发生错动,西错断点的垂直断距为0.35米,东 错断点为0.95米。由此估计4次断层错动事件的重复间隔约为2000-2500年。 根据三期古崩积楔高度估计三次古错动的垂直位移幅度分别为:红果子沟西部 断层崖为0.25--0.5米,东部断层崖为0.9--1.2米,苏峪口为0.8-1.6米,它 们均与事件 D相当。若假定事件D与1739年平罗地震相关,则上述4次断层错 动的重复间隔即为7--7½级以上地震的重复间隔。此数据与根据相同地段断 层滑动速率计算的大地震平均重复间隔相当。

宁夏北部賀兰山东麓断层为右旋走滑正断层,全新世以来垂直滑动速率北段为0.2—0.25毫米/年,中段为0.5—0.63毫米/年。而宁夏南部南、西华山断裂第四纪以来为左旋走滑断裂,20000年以来的走滑速率最大可达28.65毫米/年。这是因为二者分属于华北和青藏两个不同的构造区,因而具有不同的构造活动性及地震重复率。

断层崖是由于断层活动引起的地形突然变化。关于断层崖本身的研究由来已久。近年来,断层崖应用于地震危险性研究取得了长足的进展。其中以R.E.Wallace等人在美国盆

•本文是前一作者在1983年5月26—30日于西安召开的"鄂尔多斯地块周缘地震趋势讨论会"上发盲的主要内容。

地山脉省进行的断层崖几何学研究工作最为突出^[1-4]。我国也已开始了这方面的研究工作,对贺兰山东麓断层崖的研究就是其中的一部份^[5-6]。本文试图以贺兰山东麓断层崖为例,把断层崖几何学和相关堆积物的研究结合起来,对地震重复性问题进行综合估计。

一、断层崖的形成和演化过程

1. 断层崖的形成条件

断层崖形成的基本条件是断层的倾向位移幅度必须足够大,且倾向位移速率比外营力侵 蚀速率大数倍,甚至几个数量级。与一次倾滑型断层活动相伴随的大地震,往往可以产生高 达1米以上的快速垂直位移,并在一定时期内保持断层崖地貌。显然不管是逆断层或正断层 都可以形成断层崖。前者崖的坡向与断层倾向相反,可谓之反向断层崖,后者崖的坡向与断 层倾向相同,可称为正向断层崖。断层崖的这种不同的类型主要取决于一定区域应力场中控 制断层崖的构造之属性。此外,无论哪一种断层崖,在某种条件下,都可能转变为挠曲崖。 韩嘉康等曾指出了汤阴地堑西支断裂的北段即由正断层逐渐转变为挠曲^[7]。

R.E.Wallace曾描述了断层崖的几何要素,包括上、下原始面、顶行、自由面、碎屑 坡和冲刷坡^[1],本文将应用这些概念。

2. 断层崖的演化

当断层错动形成断层崖以后,在外营力作用下,开始了断层崖的侵蚀和堆积过程,从而 决定了断层崖不同发育阶段具有不同的几何形态并在崖麓形成相应的堆积物。根据坡地演化 过程⁽⁸⁾,若组成物质比较均匀、构造活动和外营力均基本稳定,断层崖的发展模式如图 1 所示。此时,自由面将平行后退(图1a)或呈斜板状后退(图1b),被剥落的物质在崖 麓堆积起来,形成碎屑坡,断层崖剖面将由SF演化成ΙΙ'、ΙΙ'、……,直至RR'。图 中α角是该坡地的稳定角,它与坡地的物质组成有关。



图 1 断层崖演化模式 a.模式 1 b.模式 Ⅱ

显然,不管何种模式,随着断层崖的演化,θ角越来越小,断层崖越来越缓,直至达到物质的休止角。因此,在一定的时间范围内,断层崖的坡角可以反映断层崖的 形 成 年 代。 R. C. Bucknam等曾经认为美国内华达地区,当崖高为3米时,坡角与年龄的对 数 负 相关,统计经验关系为^[4]:

 $\theta = -8.5\log T + 52.5\cdots$ (1)

式中**θ**为坡角(度), T为断层崖年龄(年)。

随着断层崖的发展,自由面逐渐被剥蚀,碎屑坡和冲刷玻越来越发育,R.E.Wallace 等曾在内华达州进行统计,得出自由面在几千年内完全消失;碎屑坡的发育时期为几十至几 万年,冲刷坡所占比例随年龄越来越大。根据R.E.Wallace所提供的图件和数据⁽¹⁾,我们 可以得到该地区冲刷坡所占比例P与年龄T之间的关系:

 $\log T = 5.8P + 1.4....(2)$ $rac{d}{d}T = 26.7 \times 10^{5:8P}...(3)$

图 1 所示的只是断层崖一次错动的两种模式。若断层再次错动,其演化如图 2 所示的模 式 I 。此时,形成新的断层崖A'A。这一新的断层崖将再次遭受类似图 1 所示的发育过程。 整个复合断层崖R'A'F'R将形成坡角不同的折线状。因此,不同坡角的折线状断层崖可能 反映断层多次错动事件,而每次断层崖的崖高则反映了该事件的错动幅度。在地震与断层快 速错动相关的假定前提下,则错动的幅度和次数可能与地震震级及次数相对应。而利用不同 坡角的断层崖的年龄,就可能大致估算一定震级地震的重复率。



图 2 两次错动的断层崖模式 a.第一次错动, b.第二次错动

以上主要是关于断层崖的形态学或几何学研究。从已得到的一些统计结果来看,计算数 据具有很大的地区性和变动范围,只能判定断层崖演化的大致阶段和年龄。实际上,应该特别 注意研究与断层崖演化相关的堆积物。近两年来,我们在宁夏贺兰山山 前 断 层 崖 和 D.P. Schwartz等在美国犹他州Wasatch断层崖的研究中,都在这一方面取得了新的结果。

如图1所示,在断层崖演化过程中,自由面不断后退,自由面上的物质崩落于崖麓,与 此同时,断层崖上升盘上的地表水片流作用带来的物质亦部份堆积于崖下,形成碎屑坡和冲刷 坡堆积,D.P.Schwartz等人1982年把这些堆积物构成的地质体称为断层崖崩积楔⁽⁹⁾。可 以设想,一次断层错动后,若断层活动基本稳定,崩积物不断堆积,就会形成一个三角形楔 状体,最后覆盖了整个断层崖。因此,崩积楔近断层一侧的高度大致与断层崖或自由面的高 度相近或略小。此时,若断层再次发生错动,又形成如图2所示的新的断层崖,并再遭受剥 蚀,于是,在第一期崩积楔(A)之上又形成第二期崩积楔(B),如图3所示。这样,在 断层崖附近的地层剖面中崩积楔的个数即可代表断层错动事件的次数。同样,若假定断层的 快速错动与大地震的形成相关,则崩积楔的个数即代表大地震的次数,崩积楔的高度即大致 相近或略小于断层垂直错动的幅度。若已知研究区内一定震级地震伴随的地震断层的垂直错 动幅度,则利用崩积楔的高度即可大致估计古地震的震级。若能测定崩积物的年龄,则可估 算断层多次错动事件的年龄或地震的重复间隔。

根据对贺兰山山前断层崖的探槽研究结果,断层崖崩积楔具有如下特征:

(1)分布于断层崖下,向断层崖坡向倾斜,剖面形态为一不等边的三角形,其近断层一侧的高度大致近于或略大于断层崖自由面的高度,另一端逐渐尖灭。

(2)古崩积楔的一端可见断层面,近代崩积楔下部可见断层面,上部常为弯曲的崖面,断层可能不清晰。

(3)崩积物有时不具层理,有时可具有与断层崖坡向或崩积楔倾向相同的倾斜层理。

(4)断层崖下的崩积层不能与断层崖上升盘地层相对比,不同期崩积楔的物质成分常 有较大的区别。

(5)如断层快速错动后有较长的稳定时间,则崩积楔的上表面可能有某种程度的土壤 化或风化面。



图 3 断层崖崩积楔形成模式

a、第一次错动 b.正在发育中的第一期崩积楔 c.第一期崩积楔(A) d.第二次错动 e.写二期崩积楔(B)

二、贺兰山东麓断层崖特征及地震重复性估计

宁夏银川盆地西侧的贺兰山东麓洪积裙上发育了十分清楚的断层崖。目前仅对其中的红 果子沟和苏峪口断层崖进行了一些研究工作。其他地段的断层崖,如小口子以南的断层崖等 均研究较少,急待开展工作。红果子沟和苏峪口洪积扇陡坎由西北地震工作队于1965年发





现⁽⁵⁾,70年代,许多学者前往观察,但有 不同认识。本文的前一作者曾推测这是由断 层控制的断层崖,并认为不是断层蠕动的结 果,疑与1739年平罗8级地震相关⁽¹⁰⁾。1980 —1981年宁夏自治区地震局在上述断层崖上 开挖了四个探槽(图4),均发现了清楚的 走滑正断层,从而肯定了它们均受断层作用 的控制^(5、6)。

1. 石咀山红果子沟断层崖

石咀山市西南红果子沟洪积扇上发育了 两个断层崖,走向均为北北东,向东倾斜, 崖高约2米,坡度角约26°,延长约2公里。

西侧断层崖错动了建于约400年前的长城,右旋水平错距1.45米,长城墙基垂直错动0.35米;

东侧断层崖使长城发生0.95米的垂直错动。探槽揭露的断层走向为北 25°—35°东,倾向南东,倾角65°—80°;西部错断点地层垂直错距>1.95米,为长城墙基垂直错距的 5.6 倍;东部错断点大于2.00米,为长城垂直错距的2.1倍以上^[5]。廖玉华等曾指出它们可能是断层多次活动的结果^[5]。若假定长城错动是一次断层快速错动的产物,则上述数据说明它们可能分别是 2 — 5 次类似长城错动事件累计的结果。

红果子沟断层崖坡角较大,达26°,且以碎屑坡为主,冲刷坡所占比例 很 小。(1)-(3)式是美国盆地一山脉区的统计结果,不能直接应用于本区,但粗略进行比较似乎是可 能的。参照该式,此断层崖最近一次错动事件的年龄似乎不致很老。尤其是经查证,此段长 城建于大约400年前的明代,已遭受断层错断,发生明显的位移。从宁夏地震局近5年 来 跨 断层崖进行的水准测量没有发现观测精度以上的变化来看,说明断层崖垂直错动基本上不具 备明显的s编滑特点。因此,似乎可以推测这两个断层崖最近一次快速错动事件应发生在距今 大约400年以内。

关于被错断的洪积物的年龄,目前尚无足够的直接数据,但从岩性特征及地貌部位来 看,当属全新世。1982年汪一鹏等在东部错断点探槽Tc-3北壁断层上盘的砾石层以上的 地层中获得C¹⁴年龄为距今5745±90年(汪一鹏面告,1982),因此,估计其下的砾石层可能 属全新世早期。结合前述地层错距,若以10,000年计算,则断层崖垂直运动速率大致为0.2 毫米/年,若以8,000年计算则为0.25毫米/年。东部断层崖速率可能稍大。

利用断层崖的平均垂直位移速率[▼]v和一次地震事件形成的断层崖位移幅度(高度)H 可以估算与该震级地震相应的大地震的重复率R或重复间隔ΔT:

$$R = \frac{\overline{V}_{V}}{H}$$

$$\Delta T = \frac{H}{\overline{V}_{V}}$$
(4)
(5)

由于前已述及的原因,不考虑从其中扣除断层的蠕动量。

为了应用上式计算地震重复率,必须知道一次地震事件的错动量。1739年平罗地震是本 区一次较大的地震。但关于1739年平罗地震的震级及该地震与红果子沟断层崖的关系均有争 论。中国地震目录认为平罗地震震级达 8 级^[11],近年来有人提出质疑,认为震级 偏 高。但 根据已有的历史记载,其震级至少不会低于 7 — 7 ½级。根据历史资料勾画的等震线图,红 果子沟断层崖不在极震区范围之内。看来,由于历史资料的限制,目前还很难解决 这 一 问 题。但据上述资料,大约在过去400年内断层崖曾有过一次快速错动。我们无意肯定这次 错 动与1739年大地震的关系,但若暂时假定二者是相关事件,则似乎可以把西部断层崖0.35米 和东部断层崖0.95米作为一次 7 — 7 ½级以上地震的垂直错动量。在这一假定前提下,根据 (5)式可以得到与1739年平罗地震震级类似的地震的重复间隔约为:

西部断层崖: $\Delta T_1 = \frac{H}{V_{\bullet}} \approx \frac{350 毫 \%}{0.2 毫 \% / 4} \approx 1750$ 年。

东部断层崖: ΔT₂≈950毫米/0.25毫米/年≈3800年。

红果子沟两个断层崖上挖有三个探槽。Tc-1和Tc-2分布在西部断层崖的长城南北两侧,其中长城北侧的T。2条槽较浅,仅揭露长城墙基垂直错动量为0.35米。东部断层崖的长城北侧为T。2条槽。我们在T。2条槽剂面上均发现了三期古崩积楔,分别命名为

第7卷



图 5 红果子沟探槽剖面 a.Tc-1探槽北壁剖面: 1.砾石层2.近代堆积,黄土 状土夹砾石 b.Tc-s探槽南壁剖面: 1.砾石层2.Fa断层崖的古崩 积物3.近代堆积、黄土状土夹小砾石

在Tc-1剖面(图5a)上, A1组为褐 红色粗砾层,砾石粗大,层理不清,与下部 地堑中具有同样特征的砾石层无 明 显 的 界 线,崩积楔上界面清楚,其倾向与断层崖倾 向相同,楔体于地堑以东很快尖灭,若把崩 积楔东段的底面投影到断层面上,即可得到 崩积楔的高度。B,组为灰褐色小砾石 夹 黄 土状土,有小砾石成层分布,略具向断层崖 坡向倾斜的层理,楔延伸长度大于 A1。C1 为灰褐色砾石层,有粗大砾石,层理不明, 复于B₁之上,但其楔体较短,其东端较早 尖灭于B₁之上。其上为厚约20-30 厘米的 近代堆积,由黄土状土夹砾石组成,有微细 倾斜层理,复于B1、C1两个楔体及断层崖 上盘地层之上。A1、B1和C1三期崩积楔高 度见表1。

表 1

断层崖崩积楔及断层错动事件统计简表

崩积楔高 探槽 度(米) 编 崩积楔号	Tc-1	T c - 3	T C - 4 N	T c - 4 s	距今年龄(年)) 断层错动事件
D (长城垂直错距)	0.35	0.95			400	
X(?)		1.2				- D
С	0.25	0.9	0.5	0.8	ļ	- ?
В	0.35	0.9	0.95	1.5-1.6	Bs5746 ± 90	Ec
A	0.5	1.00	1.07	1.1		EB F

在T。-,剖面上(图5),A。为粗大砾石层,无层理,上下边界清楚。上表面向断层 崖坡向倾斜,楔体长4米左右。B。楔体以黄土状土为主,夹有砾石,上表面清楚,楔体长 度比A。略长,复于A。之上。C。底部为薄层砾石层,上部为黄土状土夹砾石,它们复于B。 之上,其东端尚未被探槽揭露,未见其尖灭,所以也可能为断层崖形成后的洪积物,有待进 一步工作。在B。和C。近断层一端,紧靠断层发育有另一楔状体X,主要由黄土状土组成, 夹有个别粗大砾石,它切断C。和B。等两期崩积物,其上被略具层理的近代堆积所覆盖,目 前尚不清楚此楔状体是否是重近一次断层错动的产物,值得进一步工作。此外,在探槽东端 F2的上盘也发育有规模较小的崩积楔,它是F2形成的另一个断层崖的产物,被Cs所复盖, 可见,F2在C。堆积后已不再活动。Tc-s中三期古崩积楔高度亦见表1。由表可知,东部几 期断层崖崩积楔的高度均大于西部断层崖,这一点与前述两断层崖上长城垂直断距东大西小 是一致的。它们似乎说明全新世以来两条断层的活动特点没有重大的改变。

关于上述断层错动和崩积物形成的年龄,目前还未获得足够的资料。但前已述及,此段 长城建于大约400年前的明代,事件D当发生于其后。汪一鹏等1982年在B₃下部得到 C¹⁴ 年 龄为距今5745±90年,可见事件B的年龄将略早于此,约为6000年左右。事件C发生于二者 之间。根据这一年龄资料,结合沉积物的特点和地貌部位来看,推测组成断层崖上下原始面 的砾石层(地层1)应为全新世初期的产物。因此,似可推测事件A的可能年龄约为8,000 年左右。若按上述资料和假定进行分析,则全新世早期以后,即大约8000年以来,断层曾发 生过4次错动事件,四次事件的平均重复间隔约2,000-2500年。这一认识与前述根据断层 崖儿何学特征及断层倾向滑动速率估算的大地震重复间隔大体相近。

2. 银川苏峪口断层崖

发育于银川西北的贺兰山中段山前洪积裙上,断层崖切割晚更新世至全新世的苏峪口、 贺兰口和插旗口等几个巨大的洪积扇,长达15公里以上,崖高一般为5~6米,最大可达10 米,自由面有时可高达2~3米,倾角一般为70°~80°,自由面下的碎屑坡坡角一般在26° 以上⁽⁶⁾。有时可见到数级断层崖错落,具有两种错落形式:一种是多级断层崖的上原始面 保持水平,说明它们受阶梯状正断层控制,断层两侧块体未发生旋转;另一种是上原始面向 高一级断层崖倾斜,因此推测此类多级断层崖受块体旋转的正断层或铲形断层的控制。

探槽Tc-4分布在苏峪口洪积扇上,垂直于断层崖。探槽所在处断层崖崖高6.7米,坡角 26°。探槽揭露的断层走向为北40°东,倾向南东,倾角70°(图6),在断层崖崖麓有一小 型地堑⁽⁶⁾。经过较正,断层崖上下盘顶部全新世黄土状土底面错距达5米,砾石层中断层 面附近的砾石陡立,黄土状土中的断层面上见向南西倾斜,倾角为65°的斜向擦痕。上述资 料说明此断层亦为右旋走滑正断层⁽⁶⁾。



图 6 苏峪口断层崖探槽Tc-4 剖面 a.北壁剖面 b.南壁剖面

1.黄土状土夹砾石 2.砾石层 3.黄土状土夹砾石层。
 4.砾石层夹黄土状土透镜体 5.砾石层 6.黄土状土夹砾石层 7.近代堆积具有层理的土层,含砾石

根据以上资料, 苏峪口断层崖垂直滑动 分量较大, 这一特点类似于红果子沟东部断 层崖, 但垂直滑动量更大。由于对这一套全 新世地层尚未获得准确的年龄数据, 只能根 据岩性对比, 参照红果子沟的地层剖面, 假 定黄土状土之下的砾石层亦为全新世初期的 产物。这样, 根据上述探槽揭露的地层垂直 断距, 以10,000年或8,000年计, 其平 均滑 动速率为0.5~0.63毫米/年。由于断层崖自 由面清楚, 自由面下以碎屑坡为主, 坡角较 大, 冲刷坡不发育, 估计最近一次错动年龄 近一次错动量计算, 根据(5)式可大致估 算出断层快速错动或大地震重复间隔为:

$$\Delta T = -\frac{950毫米}{0.5毫米/年} = 1900年$$
 或

这个数值较红果子沟断层崖小,是由于贺兰山中段断层平均滑动速率大于北段的缘故。 由图 6 可知,苏峪口断层崖亦发育有三期古崩积楔。其中最早的一期A4在南壁表 现为 清楚的三角形楔状体,但仅局限在地堑的内部,由黄土状土夹砾石组成,具倾斜层理,其下 部有薄层砾石层;其上覆有砾石层A'4,并填满了整个小地堑。A4楔状体和A'4 可能 是一 次断层错动后先后于不同阶段的堆积物。在探槽北壁没有清楚的楔状体,由砾石层充满了整 个地堑(A4)。第二期崩积物B4覆于地堑之上,其东端最远可以越过小地堑。在北壁可见 F2中止于B4的底部。B4下部由砾石层夹少量黄土状土组成,其中夹有粗大的砾石。值得 注 意的是在B4近断层一端的上部又有一较小的由砾石组成的三角体,规模较小,我们 暂时 将 二者归并在一个崩积楔B4之中。第三期崩积楔C4由含土砾石层组成,略具向东倾斜的层理, 覆盖于B4之上,其东端为含细粒砾石的土层,层理微微倾斜。探槽Tc-4两壁各期崩积 楔的 高度亦见表1。

遗憾的是目前在探槽T_{c-},中尚未获得各期崩积物的绝对年龄资料,无法与红果子 沟断 层崖的崩积物一一进行对比。但二地均存在三期崩积物,且苏峪口断层崖崩积楔的高度均较 大,大致近于或略大于红果子沟东部断层崖,这很可能不是一种偶然的现象,故暂将它们所 反应三次古错动事件同列于表1中,待日后进一步工作,再加以修正。

三、讨 论

断层崖对于研究活动的倾向滑动断层而言是很重要的。应该从几何学和沉积学两方面来 进行断层崖研究工作,几何学的研究近年来的进展较大,而对断层崖崩积物的研究才刚刚开 始,但宁夏贺兰山东麓断层崖崩积物的初步研究说明,断层崖活动的相关堆积能为断层崖的 演化历史提供清楚而重要的信息。目前获得的一些认识还只是初步研究结果,有待在更多的 地点进一步开展研究工作。

通过贺兰山东麓断层崖的几何学和沉积学研究,恢复了该断层全新世以来的活动历史, 10,000年以来断层一直作右旋走滑正断层活动,红果子沟西部断层崖以走滑分量为主,四次 错动的垂直分量均较小,最近一次错动中水平错动量和垂直错动量之比约为4.1,红果子沟 东部断层崖的苏峪口断层崖四次错动的垂直分量均稍大,而且后者大于前者,即贺兰山东麓 断层崖中段垂直错动量大于北段。从前述资料来看,初步认为该断层崖自全新世初期以来经 历了四次错动。其中最近一次错动发生在明代长城建成以后,其年龄为距今400年以内,较 早的第二次错动发生在距今6000年左右。四次快速错动及伴随的7~7½级以上大地震事件 的平均重复间隔约2,000~2,500年左右。

从区域构造活动特征来看,大体上以牛首山东北麓断裂为界,其南属于青藏高原北部边 缘构造带,自第四纪以来,北北西和北西向断裂表现为强烈的逆冲,北西至东西向断裂具有 强烈的左旋走滑特征⁽¹²⁾,牛首山北的银川一吉兰泰盆地受北北东向右旋走滑正断层 控制, 从构造属性来看,属于华北断块区。从已有的资料分析,宁夏南部南、西华山断裂晚更新世 晚期(约20,000年)和全新世晚期(约2,500年)以来的断层走向滑动速率分别高达28.65毫 米/年和27.72毫米/年⁽¹²⁾,而贺兰山东麓断层的垂直滑动速率仅0.2~0.5 毫米/年,二者 相 差两个数量级,即使按贺兰山东麓断层水平和垂直滑动速率之比,考虑其水平滑动量,也比 南部南、西华山断裂带要小得多。银川盆地断层活动的这种特点与华北断块区断层 活动 桐 近,这又为银川盆地应属于华北断块区提供了新的证据,因此,贺兰山东麓断层大地震重复 间隔较长,大大低于青藏高原北缘构造带的地震重复率是有一定代表性的。

关于贺兰山东麓断层崖的研究还有待深入,前述认识仅是根据现有资料进行初步估算的 结果,有待今后工作的验证和修改。

参考文献

- [1]R.E.Wallace, Profiles and ages of young fault scarps, north-central Nevada, Bull.Geol.Soc.Am., Vol.88, P1267-1281,1977.
- [2]R.E.Wallace, Time—history analysis of fault Scarps and fault—traces —a longer view of seismicity, Sixth World Conference on Earthquake Engineering, 1976.

[3]R.E.Wallace, Patterns of faulting and Seismic gaps in the Great Basin Province, U.S.Geol.Surv., Open-File Rept., 78-943, 857-868, 1978.

[4]R.C.Bucknam and R. E. Anderson, Estimation of fault-scarp ages from a scarp-height-slope-angle relationship, Geology, Vol. 7, P11-14, 1979.

〔5〕廖玉华等,宁夏红果子沟长城错动新知,地震地质,№2,1982.

〔6〕张维岐等,初论贺兰山前洪积扇断层陡坎,地震地质, Vol.№2, 1982.

〔7〕韩慕康等,河南汤阴地堑的地震地质特征与地震危险性,地震地质,Vol.2,№4,1980.

[8]A.E.Scheidegger, Theoretical Geomorphology, Verlag. OGH., 1961.

[9]D.P.Schwartz et al., Implications to fault behavior of Paleoseismological investigations along the southern Wasatch fault zone, utah(abs.),

EOS transactions, American Geophysical Union, Vol.63, №18, 1982. [10]邓起东,中国的活动断裂,地震出版社, 1982.

〔11〕国家地震局,中国地震简目,地震出版社,1977.

〔12〕邓起东等,南、西华山断裂活动特征和1920年海原大地震, 1983.

5

1

FAULT SCARPS RESEARCH AND EARTHQUAKE RISK ESTIMATION --EXAMPLE IN EASTERN HOLANSHAN FAULT SCARPS

Deng Qidong You Hueichuan (Institute of Geology, State Bureau of Seismology)

Abstract

This paper deals with the formation and evoluting processes of fault scarps, and proposes that research on fault scarps should be not only on geometry but also on sedimentology. On the basis of research on the eastern Holanshan frontal fault scarps, we realized several characters of fault colluvial wedge and the important sense in studying earthquake occurrence.

According to geometry and sedimentary research on fault scarps in Hogguozi valley and Suyukou, four times rapid dislocation events have been indicated in eastern Holan Shan frontal fault since Holocene These four events can be named as A.B.C.D from the oldest to the youngest. The C_1' age of material beneath the second colluvial wedge (B) ls adout 5745 ± 90 from now, so event B may occur 6000 years ago. The last event (D) occured within 400 years from now, it displaced the Great Walwhich built 400 years ago. There are two places where Great wall have been displaced, the vertical displacement is 0.35 meter in weastern place and 0.95 meter in eastern place. The occurrence interval of four offset events is estimated as 2000 to 2500 years. According to the hight of ancient colluvial wedge, we estimate the amplitude of vertical displacement as 0.52 to 0.5 meter in western scarp and 0.9 to 1.2 meter in eastern scarp of Hong guozi valley, 0.8 to 1.6 meter in Suyukou.obviously they coincide with the event D.If we suppose that event D is associated with Pingluo earthquake in1739, the occurrence interval of the four fault offsets can be seen as the acurrence interval of earthquake with magnitude 7¹/₂. This occurrence interval coincides with the one which can be calculated by using fault slip rate in same segment of the fault.

The eastern Holanshan fault in northern Ninxia is a right lateral strike slip to normal fault. Since Holocene its vertical slip rate is 0.2--0.25 mm/year in northern segment, and 0.5--0.6mm/year in middle segment. How ever in south of Ninxia, the Southern Huashan to Western Huashan fault is a left lateral strike-slip fault, the horizontal strike-slip rate can be as large as 28.65mm/year since 20000 years. That is because these two faults belong to North China and Qinzang tectonic regions respectively, so they have different active tectonics and earthquake occurrence.