

鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层泥粒度分布与断层活动特征^①

邵顺妹 邹谨敞 滕瑞增 荣代潞

(国家地震局兰州地震研究所)

摘要 本文研究断层泥的粒度分布与断层活动特征的关系。断层泥取自西秦岭北缘断裂带的鸳鸯镇—凤凰山断裂。根据分析结果得出该断裂的运动方式以粘滑为主,兼有蠕滑。文中还对该断裂的活动度进行了探讨。

关键词 断层泥 粒度分布 粘滑 断层活动度 鸳鸯镇—凤凰山断裂

0 引言

断层泥的形成是一个复杂的物理化学过程,它是由断层活动时两侧岩石相对摩擦滑动和碎裂作用而形成的。断层活动产生的断层泥被称作碎裂流^[1,2]。碎裂流是一种微结构变形,在低温低压下脆性物质的破裂和流动,也可能产生在较高温压下的深处。当断层面相互滑动时,断面上的岩石颗粒经受大的剪切变形,小的碎片常被剥离。颗粒粒径在连续的剪切作用下,由于破裂而进一步减小,在这个过程中微粒大小是相当均匀的,几乎所有的残存颗粒都被压碎的细粒基质包裹,以致在此后的活动中可以自由滑动或产生旋转,主要变形机制不再产生破裂而形成断层泥。断层泥主要来自断层两侧的岩块,但是在长期的地质演化过程中,其它物质可能通过断裂带的活动或其它途径由流体运动加入。断裂两盘岩块的多次相对滑动,导致碎裂岩石颗粒的粒径变得更小。对此,我们可以设想,断层泥的粒度分布将趋于一定的比率,这个比率标志着两盘岩石滑动进入稳定摩擦过程。宏观观察,第一步由破裂作用形成断层角砾岩,经继续滑动逐渐进入到第二步的稳定滑动。

在摩擦实验中已知:若断层泥完全由碎屑颗粒组成,则出现强烈的粘滑,若断层泥中含有大量的粘土成分,则粘土支配着滑动方式,变形是稳定滑动^[3]。从断层泥的岩石力学试验研究和一些断层的断层泥粒度分析得到:断层活动的性质不同,断层泥粒度组成也不同^[4]。

本文以西秦岭北缘断裂带东段的鸳鸯镇—凤凰山断裂的天然断层泥为研究实体,探讨断层泥粒度分布与断层活动特征的关系,并结合有关研究结果对断裂的活动度进行判定。

1 断层泥粒度分布与断层活动特征

鸳鸯镇—凤凰山断裂位于西秦岭北缘断裂带的东段,长约 70 余公里,走向 N 70°—80°W,

^① 地震科学联合基金资助课题

据 1:5 万活断层填图结果,为晚更新世至全新世以来的活动断裂,断层线性地貌清晰,断崖陡坎及断层槽地发育,横跨断层走向不同时期形成的黄土山脊和河流冲沟被左旋平移,断错拐折;在断层西段的渭河堡,断错三级阶地中见有清楚的地震崩积楔,据宏观研究结果,认为是公元 143 年甘谷 7 级地震形成的地裂缝被充填而成^[5]。沿断裂走向,断层面上断层泥比较多见,断层泥带厚 0.4—2m 不等。野外工作中作者分别在断层的西、中、东部,即在渭河堡,三十里铺和凤凰山等地,采集了 10 多个断层泥样品,断层泥样品的采集位置和断层剖面特征如图 1 所示。由图 1 可见,断层切割的最新地层均为上第三系红层,并在第四系黄土层中亦显示了断层最新活动。断层泥样品大多磨制了光学薄片,并在显微镜下进行了显微构造观察,部分样品进行了扫描电镜分析;其中 6 个断层泥样品使用筛选法和悬浮法相结合的粒度组分百分含

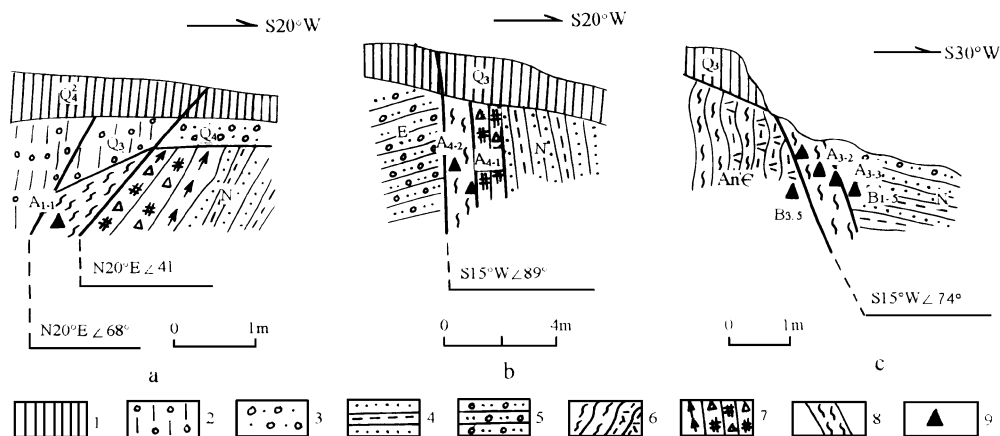


图 1 部分断层泥采样剖面图

Fig. 1 Cross section of sampling locations

1. 黄土及次生黄土; 2. 含砾亚砂土; 3. 砾石层; 4. 砂岩与泥岩; 5. 砂砾岩; 6. 混合岩、角闪片麻岩;
7. 断层破碎带; 8. 断层泥带; 9. 断层泥采样点及编号; a. 渭河堡; b. 三十里铺; c. 凤凰山

量的分析测定,同时还作了 x 射线衍射分析。

1.1 断层泥粒度分析结果

表 1 列出了鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层泥粒度分析结果,样品是由甘肃省水利水电勘探设计院试验室分析的。分析时将粒径分为 11 个等级,粒径 γ 与粒级 O 的关系式为 $O = -3.322 \log \gamma$ 。粒径 $\gamma = 0.05\text{mm}$ 相当于 $O = 4$, $O < 4$ 代表粗粒级, $O > 4$ 代表细粒级,为了从粘土中分出粉砂,用 O_8 代表粘粒级。

将表 1 中不同粒级 (O) 的重量百分比含量 (wt%) 作直方图 (图 2)。由图 2 显示的形态可将鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层泥粒度分布大致划分为两种类型:

- (1) 单峰形态,峰值位置在粗粒区。
- (2) 双峰(或多峰)形态,峰值位置不定,但主峰多位于粗粒区。

将表 1 中断层泥粒度组分的重量按粗粒级、粉粒级、粘粒级的百分含量作图 3a,图中显示所有断层泥样品都以粗粒级 ($O < 4$) 组分的含量高 ($> 60\%$),而粉粒级 ($O = 4 - 8$) 和粘粒级 (O_8) 的含量低 ($< 30\%$) 为特征。

表 1 断层泥粒度组分分析 (重量百分比)

Table1 Data of grain size distribution of the gouges(w %))

粒径 γ (mm)	粒级 (ϕ)	样品编号					
		A1-1	A1-3	A3-1	A3-2	A3-3	A4-2
> 5	< - 2			2.4	6.5	4.5	1.0
5- 2	- 2- - 1	0.5	4.5	11.15	11.24	10.5	16.9
2- 1	- 1- 0	3.26	13.52	19.7	19.62	1.42	6.95
1- 0.5	0- 1	7.49	6.8	20.75	18.14	5.38	3.8
0.5- 0.25	1- 2	26.0	15.5	11.9	7.5	3.0	7.6
0.25- 0.15	2- 3	15.7	26.4	9.4	7.0	13.1	12.4
0.15- 0.075	3- 4	14.3	12.56	8.9	6.94	20.7	17.06
0.075- 0.0375	4- 5	9.18	7.96	5.12	6.33	12.03	19.61
0.0375- 0.005	5- 8	2.77	3.06	4.98	6.03	5.97	6.28
0.005- 0.002	8- 9	13.8	3.7	2.7	5.7	5.4	3.4
< 0.002	> 9	7.0	6.0	3.0	5.0	18.0	5.0

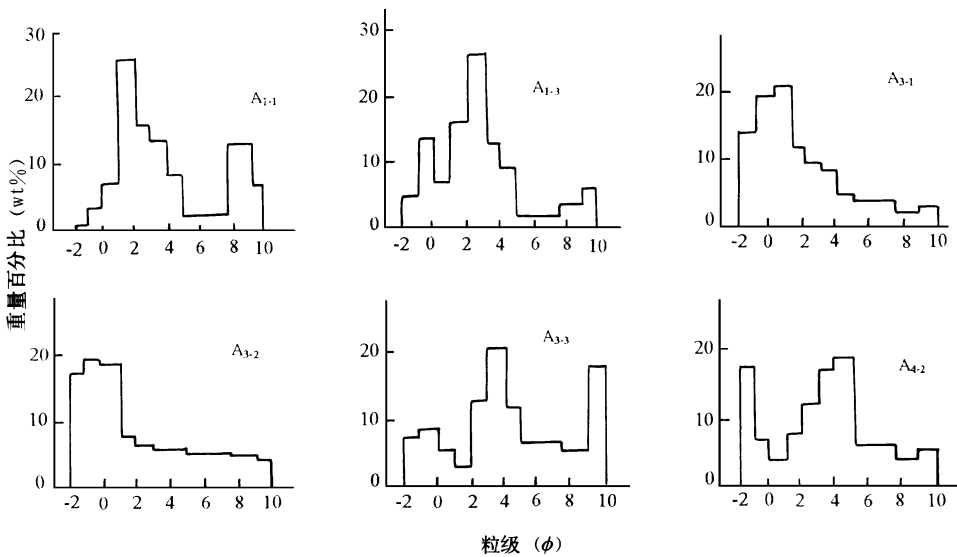


图 2 断层泥粒度分布直方图

Fig. 2 Histogram of grain size distribution of the gouges

1.2 断层活动特征

由以上断层泥的粒度分析结果,我们可以对鸳鸯镇-凤凰山断裂的活动特征进行分析,并与其它断裂的研究结果相对比。王仁等(1993)^[2]在研究了郯庐断裂沂沭段、红河断裂及中国其它地区的断裂的断层泥粒度分布,并与美国圣安德烈斯断裂进行对比后,认为断层泥的粒度分布与断层活动特征有以下关系:单峰型粒度分布可能意味着断层最新的一次强烈活动,表明具

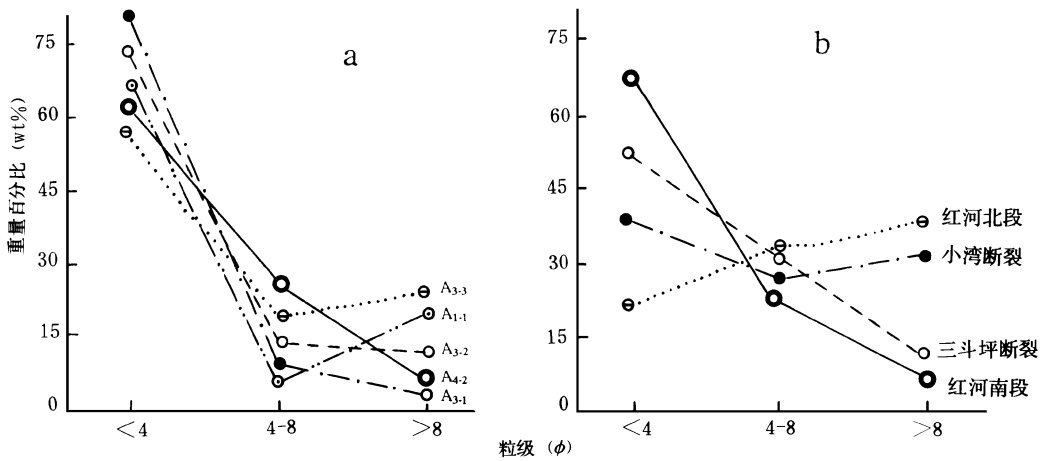


图 3 不同断裂带断层泥粒度分布特征

Fig. 3 Feature of grain size distribution of gouges from some fault belts

a. 鸳鸯镇—凤凰山断裂; b. 文献 [4 6] 中的断裂

有较低频率的强烈地震的位置;双峰型粒度分布的强峰在泥质区,弱峰在粗粒区,这可能与断层的蠕滑相对应。另外,据红河断裂、三斗坪断裂、小湾断裂等断层泥的粒度分布与断层泥的岩石力学试验结果认为:断层活动性质不同,断层泥粒度组成也不同;快速运动形成的断层泥粒度组成不均匀,且粗粒级含量高,而缓慢运动形成的断层泥,则细粒级含量高。

鸳鸯镇—凤凰山断裂断层泥的粒度分布与以上研究结果相比较,图 3a 显示了该断裂断层泥的粒度组成以粗粒级为主,含量大于 60%。文献 [4 6] 中(图 3b)的红河断裂北段、三斗坪断裂等的断层泥中粗粒级含量大于 50%,断层的运动以粘滑为主;而红河断裂南段的断层泥中粗粒级含量低 (<30%),粘粒级含量高 (>40%),则断层运动以蠕滑为主;另外,小湾断裂的断层泥粒度分布是粗粒级和粘粒级的含量近于相等,因而断层运动则是粘滑和蠕滑基本相当^[4]。由此可见,鸳鸯镇—凤凰山断裂的运动是以粘滑为主,兼有蠕滑。

从断层泥的粒度分布形态分析,鸳鸯镇—凤凰山断裂断层泥粒度分布有呈强烈的单峰型(图 2 中 A₃₋₁、A₃₋₂),表明该断层最新的一次强烈运动,公元 143 年甘谷 7 级强震是其佐证之一;该断裂显示了强烈的快速粘滑运动。双峰型且有部分峰值位于细粒区(图 2 中 A₃₋₃),表明该断裂也存在长期缓慢的蠕滑运动。这一分析与前述野外调查结果一致,也与断层泥显微构造研究结果一致,即:在显微镜下既可观察到快速(粘滑)运动的显微构造,如棱角状碎砾,放射状裂纹,不规则微破裂和碎砾表面的楔形坑等;也可观察到蠕滑研磨作用产生的显微构造,如研磨挤压带,发育的叶理,碎砾定向排列,夹于粘土矿物间的球形碎砾等。

综上所述,鸳鸯镇—凤凰山断裂的活动特征以粘滑为主,兼有蠕滑。

2 断层活动度的判定

断层的活动程度或强度可简称为断层活动度。为了定量评定断层活动度,必须使用一些综合的定量指标。

众所周知,断层泥是断层长期活动、多次错动形成的,断层泥的粒度变化往往从源岩(母岩)的碎裂开始,随着位错和频率的增加,其粒度逐渐变小。因此,断层活动时间越长,断层泥中粘土含量越高,断层泥的成熟度也越高。据对沂沐断裂带的研究,断层泥的成熟度与断层目前的活动度呈反比^[7],计算出断层泥的成熟度即可进行断层活动度的判定。

断层泥的成熟度计算公式^[7]:

$$D_f = \frac{1}{D_g} \quad (1)$$

式中 D_f 为断层的活动度, D_g 为断层泥的成熟度,它与粘土矿物含量 c 成正比,与粒度百分比峰值 p 成反比,即

$$D_g = \frac{U \cdot c}{p} \quad (2)$$

其中 U 为系数,这是一个与岩性、气候及地下流体化学有关的参数,在岩性气候相同的地区,可以认为 $U=1$ 。

根据断层泥 X 衍射分析结果(表 2),鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层泥样品的粘土矿物含量都较低。为便于对比,表 2 中所列断层泥样品的源岩均为上第三系红色砂泥岩。该断裂所在地区的气候亦相同,因此,计算时可视 $U=1$ 。利用(2)式和(1)式求得的该断裂带各断层泥样品的断层泥成熟度和断层活动度列于表 2。

表 2 鸳鸯镇—凤凰山断裂断层活动度

Table 2 Degree of fault activity of Yuanyangzhen—Fenghuangshan fault

样品号	采样位置	粘土矿物含量 (c) ^①	粒度百分比峰值 (p) ^②	断层泥成熟度 (D_g)	断层活动度 (D_f)
A ₁₋₁	渭河堡(西段)	22.8	26.4	0.864	1.157
A ₁₋₂	三十里铺(中段)	15.46	19.6	0.788	1.269
A ₁₋₃	凤凰山(东段)	18.2	20.7	0.879	1.138

① 粘土矿物含量由中国科学院兰州地质研究所分析测定。

② 粒度百分比峰值见表 1。

由表 2 可知,鸳鸯镇—凤凰山断裂断层泥样品的断层泥成熟度都小于 1,且断层的不同部位断层泥成熟度不等,表明该断裂的活动度大于 1,且不同部位的断层活动度存在差异。按活动度高低排列则:中段最高,西段次之,东段更次。这一结果与该断裂带的地震活动的空间分布较为吻合。图 4 是该断裂带自公元 128 年—1993 年的地震震中分布图。由图可知,断裂带中段地震活动较多,公元 143 年 9 月甘谷 7 级强震就位于三里铺附近;而断裂带西段地震活动相对要少,且震级也小;东段地震更少。

此外,还可以根据断层长期平均滑动速率、地震最大震级及复发周期等因素对断层活动度进行综合判定。将断层活动度分为:超强活动度(I)、强活动度(II)、中强活动度(III)和弱活动度(IV)4 个等级,对应的最大震级分别为 8、7、6、5 级^[9]。鸳鸯镇—凤凰山断裂全新世以来的水平滑动速率为 1.89mm/a,垂直滑动速率为 0.32mm/a^①,西秦岭北缘断裂带的地震复发周期约 5000 年^[5],最大震级为 7 级^[8]。根据这些资料与文献[9]中断层活动度评定标准和方法判

① 滕瑞增等,西秦岭北缘断裂带 1:5 万活动断裂带地质图说明书,1991

定,该断裂活动度应属I—II类

综上所述,根据求出的断层泥成熟度判定的断层活动度和据野外调查断层滑动速率及地震复发周期等因素综合判定断层活动度所得结果是一致的,即鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层活动度高(I—II级),且中段最高,西段次之,东段更次。

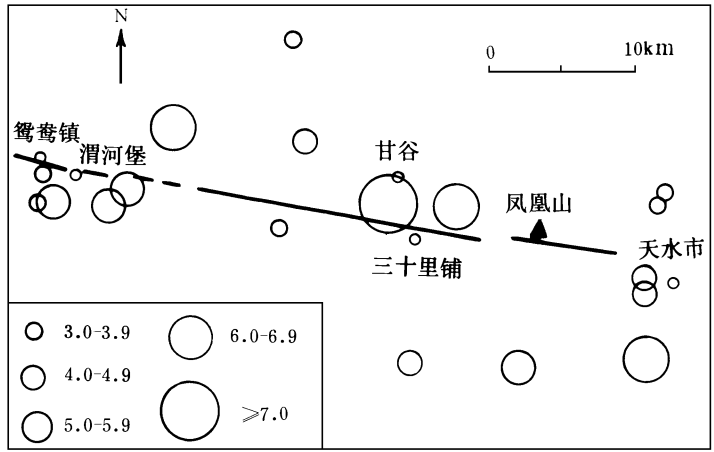


图4 鸳鸯镇—凤凰山断裂地震分布图

Fig. 4 Distribution of earthquakes in Yuanyangzhen—Fenghuangshan fault

1982年前大于4.75级地震据文献[8], 1982—1993年的地震据甘肃省地震目录。

3 结语

上述对鸳鸯镇—凤凰山断裂的断层泥粒度分布和断层活动度的分析研究,可得到如下认识:

(1)该断裂的断层泥粒度分布以粗粒级含量高(>60%),且单峰和双峰形态同时存在,认为该断裂运动以粘滑为主,兼有蠕滑。

(2)由断层泥成熟度判定的断层活动度与据野外调查断层滑动速率等多因素评定的断层活动度结果相吻合,得到该断裂的活动度为I—II级,且活动度高低排列顺序为中段最高,西段次之,东段更次。

(3)根据断层泥粒度组分分析结果,计算出该断裂的活动度与野外调查得出的结果相一致,表明根据断层泥粒度分析结果研究断层的活动特征是行之有效的方法之一。这个研究方法还可对断层的不同段落的活动性作出定量的评估,因此,该方法对于出露在缺乏新地层的基岩区的活断层,野外又难以收集断层活动数据时,是值得推广的研究手段。

参 考 文 献

- 1 马瑾,马胜利,介质在断层运动中的作用及其地震地质意义。第一届高温高压岩石力学学术讨论会论文集,北京:学术期刊出版社,1988,22—33
- 2 Wang Ren, Liu Xida, Jin Fenying et al., Grain size distribution of gouge and fault activity, Selected papers of II CCE, Beijing, 1993, 362—368.
- 3 王宝生,许秀琴,马瑾等,颗粒成分对断层泥力学性质的影响。现代地壳运动研究(5),北京:地震出版社,1991,180—197
- 4 魏顺民,向宏发,计凤桔等,云南小湾坝区断裂活动性与位移量研究。北京:地震出版社,1992,60—65
- 5 滕瑞增,金瑶泉,李西候等,西秦岭北缘断裂带新活动特征。西北地震学报,1994,16(2),85—90
- 6 李建国,王绳祖,石柱梅,高温高压下红河断裂带断层泥力学性质的研究。地震地质,1987,9(1),61—71
- 7 黄伟师,从地质地貌标志看沂沭断裂带的新构造活动特性。中国地震,1988,4(3),143—150
- 8 国家地震局兰州地震研究所,陕甘宁青四省(区)强地震目录。陕西:陕西科学技术出版社,1985
- 9 李起彤,活断层及其工程评价。北京:地震出版社,1991,106—108

GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF THE GOUGE FROM THE YUANYANGZHEN- FENGHUANGSHAN FAULT AND ITS ACTIVITY

Shao Shunmei Zou Jinchang Teng Ruizeng Rong Dailu
(Lanzhou Institute of Seismology, SSB)

Abstract An investigation is made of the relation between the grain size distribution of gouge and fault activity. The gouge was taken from the Yuanyangzhen-Fenghuangshan fault of the northern marginal fault zone of the Western Qinling Mountain. The results show that the fault is characterized essentially by stick slip, with some steady-state creep. The activity of the fault is also discussed.

Key words gouge, grain size distribution, stick slip, fault activity, Yuanyangzhen-Fenghuangshan fault

第 一 作 者 简 介

邵顺妹,女,1941年生,1965年大学毕业,现任国家地震局兰州地震研究所高级工程师。从事岩矿定,岩石力学实验,非线性研究等工作。通讯地址:甘肃省兰州市盘旋路国家地震局兰州地震研究所。邮政编码:730000