

西秦岭北缘断裂带东段断层泥的粒度分布和显微构造特征*

邵顺妹 邹谨敞 滕瑞增

(国家地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

摘要 根据采集的天然断层泥样品,对西秦岭北缘活动断裂带东段的断层泥首次进行了粒度分布和显微构造特征的实验研究。研究结果表明,该断裂带以粘滑运动为主,兼有蠕滑活动,并具张性扭动特征。

关键词: 断层泥 断裂带 显微构造 秦岭 粒度分布

1 前言

西秦岭北缘断裂带是一条位于我国西秦岭北侧的区域性大断裂,它既是大地构造和区域地貌单元的分界线,也是地壳结构的重要界线。该断裂带成生历史悠久,经历了多期构造运动。据1:5万活断层填图和研究,该断裂带是晚更新世至全新世以来的主要活动断裂带,根据断裂的不连续性特征,大致可划分为西、中、东3段,各段的运动特点和活动方式基本相似^[1]。本文以断裂带上断层泥分布比较多见的西秦岭北缘活动断裂带的东段,即鸳鸯镇—凤凰山断裂为研究实体,对断层泥的粒度分布和显微构造特征进行了实验研究。

第四纪以来,鸳鸯镇—凤凰山断裂与西秦岭北缘断裂的活动方式和性质一致,以左旋水平运动为主,兼有少量垂直活动特征,断裂的粘滑作用明显,兼有蠕滑活动特征^[2]。该断裂的断层线性地貌清晰,断崖、陡坎及断层槽地发育,并见有古地裂缝、地震崩积楔等。在渭河堡(参见图1)断裂断错Ⅲ级阶地,并见有清晰的地震崩积楔,可能是公元143年甘谷7级地震时造成的地裂缝被充填所致^[3]。断裂上不同时期形成的黄土山脊和规模不等的河流或冲沟被平移断错现象亦多见,如位于断裂中段的武家河一带,河床被左旋平移位错呈“S”形弯曲达2 km,显示断层蠕滑的宏观标志。由此可见,对该断裂的断层泥进行微观研究,并与宏观调查的结果进行对比,对该断裂以至西秦岭北缘断裂带的活动特征的认识及其地震危险性分析和工程地质评价都有重要的参考价值。

2 断层泥的粒度分布

2.1 断层泥的采集及其特征

野外工作中,在鸳鸯镇—凤凰山断裂的不同部位分别采集了10多个天然断层泥样品和少量的断层上、下盘的断层岩样品。断裂的展布特征、断层泥的产状及其样品采集位置如图1所示。断层泥主要采自位于该断裂上的渭河堡、三十里铺和凤凰山附近。现将各采集地点的断层

* 地震科学联合基金资助课题(93116)

产状、断层泥的特征分别介绍如下：

渭河堡：断层泥为紫红色，断层切割上第三系砂岩和泥岩，断面清晰，断层泥带厚约 2 m，呈鳞片状定向排列，排列方向与断面一致，样品采自断层泥带内(图 1)。

三十里铺：断层泥呈浅紫红色，断面发育于下第三系紫红色砂砾岩与上第三系砂泥岩接触面。断面产状近于直立。断层泥带厚约 40 cm，野外按断层泥色调，可分为各厚 20 cm 的条带，显示断层泥源岩的差异(见图 1)。

凤凰山南麓断层泥：断面位于前古生代变质岩系(混合岩、角闪片岩、片麻岩等)与上第三系砖红色砂岩、粉砂岩接触界面，在断层两盘的新老地层中可见断层角砾岩和破碎带。断层泥带厚约 60 cm，并根据断层泥带色调变化可划分为 3 个条带，各条带厚约 20 cm。在断层剖面上采集了从围岩到断层泥的断层岩系列样品(见图 1)。

从采集到的断层泥样品中选择了具有代表性的样品进行了粒度分析，并磨制了断层泥原态样品薄片进行显微构造观察分析。

2.2 断层泥粒度分析

对采集的断层泥样品由甘肃省水利水電勘探设计院试验室用筛选法和悬浮法进行了粒度组分的重量百分比分析，结果见表 1。表中粒级 $\varphi = -3.322 \log d$ (d 为粒径)。粒径 0.05 mm 相当于粒级 $\varphi = 4$ ， $\varphi < 4$ 代表粗颗粒， $\varphi > 4$ 代表细颗粒^[2]。

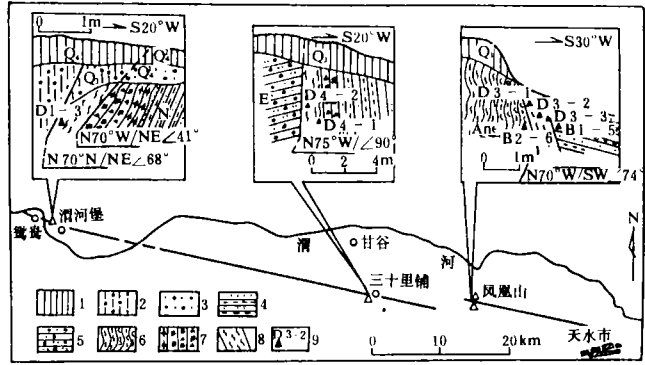


图 1 鸳鸯镇—凤凰山断裂的空间分布

1 黄土及次生黄土；2 含砾亚砂土；3 砾石层；4 砂岩及泥岩；5 砂砾岩；6 混合岩、角闪片麻岩；7 破碎带；8 断层泥带；9 断层泥采样点及编号

Fig. 1 Distribution of the Yuanyangzhen—Fenghuangshan fault.

表 1 断层泥粒度组分(重量百分比)

粒径 (mm)	粒级 (φ)	样品及其源岩重量百分比(%)					
		D ₁₋₁ 砂泥岩	D ₁₋₃ 砂泥岩	D ₄₋₂ 砂砾岩	D ₃₋₁ 片麻岩	D ₃₋₂ 混合岩	D ₃₋₃ 砂岩
大于 5	小于 -2			1.00	2.40	6.50	4.50
5~2	-2~-1	0.50	4.50	16.90	11.15	11.24	3.33
2~1	-1~0	3.26	3.52	6.95	19.70	19.62	8.59
1~0.5	0~1	7.49	26.80	3.80	20.75	18.14	5.38
0.5~0.25	1~2	26.00	12.50	7.60	11.90	7.50	3.00
0.25~0.075	2~3	15.70	36.40	12.40	9.40	7.00	13.10
0.15~0.075	3~4	14.30	2.56	17.06	3.90	6.94	20.70
0.075~0.0375	4~5	9.18	2.96	19.61	5.12	6.33	12.03
0.0375~0.005	5~8	2.77	1.58	6.28	4.98	6.03	5.97
0.005~0.002	8~9	13.80	3.70	3.40	2.70	5.70	5.40
小于 0.002	大于 9	7.00	6.00	5.00	3.00	5.00	18.00

将表 1 中各样品不同粒级(φ)的重量百分含量比(%W)作成曲线(图 2)。

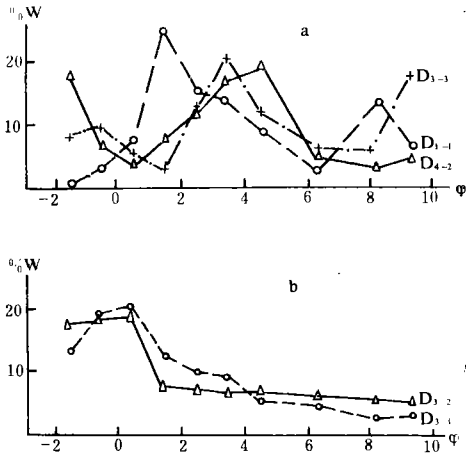


图 2 断层泥粒度分布

a 双峰态; b 单峰态

Fig. 2 Grain size distribution curves of fault gouges.

由图 2 可见,其曲线形态大致可以划分为两种类型:(1)双峰态分布,峰值位置不固定且多分布在粗粒区;(2)单峰形态,峰值位置都在粗粒区。

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方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,强烈的单峰型可能意味着断层的最新一次活动;双峰型的强峰在泥质区,弱峰在粗粒区,可能与断层蠕滑活动相对应。同时指出断层泥粒径的分布可能与围岩(源岩)的粒径有关,但在长期地质作用下,其它物质可能通过另外途径,如化学作用、流体运动等加入到断裂带内。张秉良根据对红河、雾都河、小湾断裂等断层泥的粒度分析和岩石力学实验结果认为,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;而缓慢运动由于经历时间长,经反复研磨,因而断层泥粒度组成趋于均匀,且细粒级含量高^[3]。

以上研究结果与鸳鸯镇—凤凰山断裂上断层泥的粒度分布(表 1、图 2)相比较,不难看出,多数断层泥样品的粒度分布峰值位于粗粒区($\varphi < 4$)。强烈单峰型位于粗粒区(图 2b),显示了断裂最近发生过强烈快速粘滑运动。双峰型的存在,且部分峰值位于细粒区($\varphi > 4$),说明该断裂存在长期缓慢的蠕滑运动。这一分析结果与野外宏观调查结果相吻合。

2.3 断层泥粒度组分的分维

在分形集中,若某一集合关于标度 ϵ 具有自相似性,且在标度 ϵ 度量下的个数为 N ,按照分形的定义,则有

$$N = \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^D = \epsilon^{-D} \quad (1)$$

式中 D 为分维值。

对断层泥粒度成分而言,其分形是建立在一种统计分布上,即对象的数目按尺度的幂次增加,这个幂指数就是粒度成分的分维。

设 r 为断层泥颗粒的粒径, $N(>r)$ 为粒径大于 r 的颗粒数,则

$$N(>r) = \int_r^{\infty} P(r') dr' \propto r^{-D} \quad (2)$$

式中 $P(r')$ 为粒径 r 的分布密度函数, r' 为粒径自变量, D 为断层泥粒度成分的分维值。设 $M(r)$ 为粒径小于 r 的颗粒累计质量, M 为样品总质量,如果

$$\frac{M(r)}{M} \propto r^{-D} \quad (3)$$

则有

$$dM \propto r^{D-1} dr \quad (4)$$

对式(2)求导得

$$dN \propto r^{-D-1}dr \tag{5}$$

由于粒径的增加是与质量的增加相对应的,所以

$$dM \propto r^3dN \tag{6}$$

联立式(4)、(5)及(6)可得

$$D = 3 - b \tag{7}$$

这表明幂律质量分布等价于分形分布^[4,5]。

实际上, $\frac{M(r)}{M}$ 就是粒径小于 r 的颗粒的累积百分含量。这样,我们只要在 $\frac{M(r)}{M}$ 与 r 的双对数坐标图上找出直线段的斜率 b 值,就可以按式(7)求得断层泥粒度成分的分维值。

根据上述理论和方法,我们按最小二乘法拟合计算了鸳鸯镇—凤凰山断裂带内断层泥粒度组分(表 1)的分维值(表 2)。

表 2 断层泥粒度组分分维值

样品编号	D1-1	D1-3	D4-2	D3-1	D3-2	D3-3
斜率(b)	0.367	0.427	0.404	0.460	-.356	0.232
分维值(D)	2.633	2.573	2.596	2.540	2.644	2.768

计算结果表明,断层泥粒度组分的分形结构是客观存在的。断层泥粒度组分累积百分含量与粒径关系的典型曲线如图 3 所示(图中字母的意义同表 2)。

断层泥是断层运动的直接产物,它保留了许多断层活动的信息。岩石力学模拟实验结果表明,在源岩确定的情况下,断层泥粒径主要受断层运动频度及运动方式的影响。若断层运动频率高,那么经过长期反复的活动之后,断层泥粒度则趋向均一和变小。从源岩破裂开始,因破裂次数增加和断层位移量加大,断层泥粒度逐渐变细而导致分维值增加。此外,不同方式的断层运动产生的断层泥粒度特征及其分维值也存在差异。

根据易顺民等对我国雾都河、红河、小湾、三斗坪等断裂的断层泥粒度分布资料进行的断层泥分维研究和断层运动方式的统计结果,以粘滑为主的断裂(兼有少量蠕滑),分维值小于 2.7,以蠕滑为主的断裂,分维值大于 2.8,若分维值在 2.7 与 2.8 之间,则认为断层的粘滑与蠕滑相当^[4]。表 2 的断层泥分维值与上述结果对比表明,西秦岭北缘断裂带东段的断层泥分维值大多小于 2.7,推测其运动方式以粘滑为主,兼有少量蠕滑。

3 断层泥的显微构造特征

断层深部的粘滑和蠕滑运动往往会引起浅部相应的断层活动,在地壳浅部形成未胶结的断层泥,它记录了断层活动的各种信息,其中包括断层运动性质和运动方式的信息。这里对野

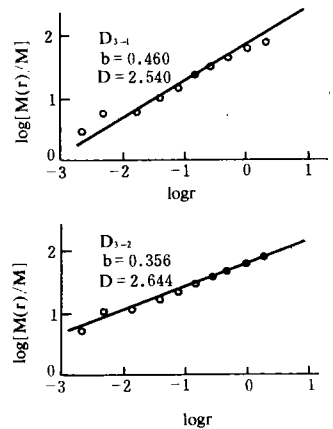


图 3 断层泥组分累积百分含量与粒径的关系及分维值

Fig. 3 Fractal dimension and relationship between grain sizes and cumulative percent contents of components in fault gouge.

外采集的断层泥原样及断层两盘的断层岩样品进行了固化以保持其原始结构,将其中8个样品磨制成光学薄片并在偏光显微镜下进行了显微构造特征的观察与研究。所见显微构造归纳如下:

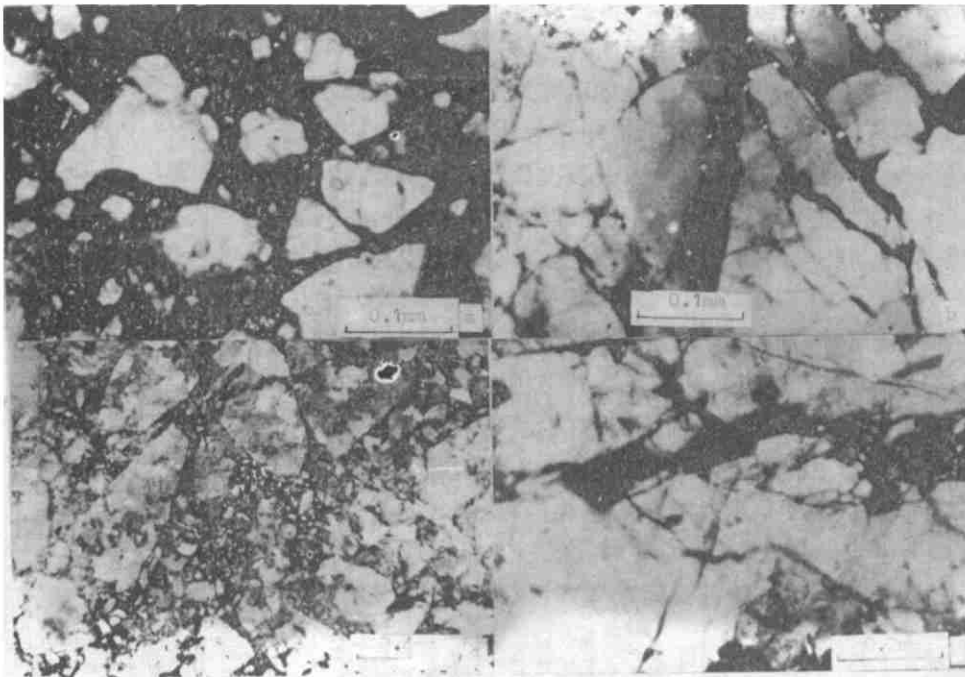
(1)碎砾形态 断层泥中石英、长石碎砾以不规则棱角状、次棱角状为多,圆形、次圆形者较少(照 1a、b、c)。不规则棱角状碎砾显示脆性破裂的特征,而圆形碎砾则显示遭受研磨圆化作用⁽⁶⁾。局部还可见微断裂的端部由于研磨蠕滑作用而形成的细小圆粒(照 1b 左上角)。有的样品(B3-1)中见有碎砾呈放射状分布(照 1c),这种破裂特征是由撞击作用产生的,为断裂粘滑运动的标志⁽⁶⁻¹⁰⁾。

(2)切砾微断裂 在一些样品中常可见到多组不同方向的微断裂(照 1b),有的样品见有斜长石双晶被切错的现象,且切面平直,显示高速穿切或撞击过程⁽⁷⁾。有的样品(如 A3-1),在断层泥基质中见有不同方向的微裂纹,这是断层泥形成后断层有新活动的证据。

(3)撞击坑 断层泥中石英碎砾见有圆形、V形、半月形等凹形坑,部分坑中见有残留被撞击或楔入的物质,坑的深度大小不同(照 1a)。这些撞击凹形坑可能是快速剪切运动的产物⁽⁹⁾。

(4)显微张性微断裂 较宽大的追踪性显微张裂隙(微断裂)显示左旋运动方式(照 1d)。

据有关研究⁽⁶⁻¹⁰⁾,断层粘滑和蠕滑运动产生的显微构造特征是不同的,据此可以推断断层运动的性质。即显示快速破裂和运动(粘滑)的显微构造有放射状裂纹、石英底面变形纹、不规则微断裂、变形局部化、平直切砾微断裂、线状擦痕、碎砾表面楔形坑、原位碎裂化等。显示蠕滑和研磨作用的显微构造有研磨挤压带、碎砾定向排列、磨圆度良好的球砾、所夹粗磨砾的定向组构等。



照 1 断层泥显微构造

a 碎砾形态, B3-5, 单偏光; b 平直切砾微断裂, A3-1, 正交偏光;
c 碎砾呈放射状分布, B3-2, 单偏光; d 张性微断裂, B3-2, 正交偏光

Phot. 1 Microstructures of fault gouge.

根据以上判断层运动的综合微观标志并对照上述薄片观察到的显微构造特征可以推断,西秦岭北缘断裂带东段的运动方式以粘滑为主,兼有蠕滑运动,且具张性扭动性质。

4 结语

(1)本文对西秦岭北缘断裂带东段的断层泥进行了粒度分布、粒度组分分形的研究和显微构造特征的观察分析。不同的研究方式,其结果是一致的。都说明该段断裂的活动以粘滑运动为主,蠕滑作用亦存在,且显示断裂存在张性左旋滑动的微观标志。研究结果与活断层填图的宏观结果也非常吻合^[1],说明运用断层泥粒度分布、分形及显微构造的研究方法来分析断层活动特点和运动方式是可行的。

(2)断层泥研究的内容非常广泛,且越来越深入^[11]。本文对断层泥的粒度分布和显微构造特征的研究结果表明,此方法能为断裂带的粘滑或蠕滑特征、不同断层段的运动方式的划分以及宏观块体运动学和动力学的分析提供微观依据。在缺乏新地层的基岩区,用常规方法难于完成活断层工程安全性评价,因此断层物质的研究可能是更有效的方法,其中当然也包括断层泥粒度分布和显微构造特征的研究,该法确有重要的意义和广阔的应用前景。

(本文 1995 年 8 月 11 日收到)

参考文献

- 1 滕瑞增,金瑶泉,李西候,苏向州.西秦岭北缘断裂带新活动特征.西北地震学报,1994,16(2):85~90.
- 2 Wang Ren,Liu Xida,et al. Grain size distribution of gouge and fault activity. Selected papers of I ICCE. Beijing: Seismological Press, 1993. 362~368.
- 3 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. 60~62.
- 4 易顺民,唐辉明.断层泥粒度成分的分形研究.地震地质,1995,17(2):185~191.
- 5 D L 特科特著(陈颢,郑捷,季颖译).分形与混沌——在地质学和地球物理学中的应用.地震出版社,1993. 21~23.
- 6 何永年,林传勇,史兰斌.构造岩石学基础.地质出版社,1988. 15~22,129~147.
- 7 姚大全,刘加灿,汤有标,李杰,鲍斯发,高玉峰.则木河断裂带变形产物中微观粘滑与蠕滑标志的鉴别.地震学刊,1994,(2):1~8.
- 8 杨主恩,胡碧茹,杨继武.红河和曲江断裂带断层泥的特征及其地震地质意义.地震地质,1985,7(1):25~31.
- 9 杨主恩,胡碧茹,洪汉净.活断层中断层泥的石英碎砾的显微特征及其意义.科学通报,1984,29(8):484~486.
- 10 何永年,杨主恩.古地震的微观标志研究及其意义.中国地震,1985,1(3):76~81.
- 11 邵顺妹.断层泥研究的现状和进展.高原地震,1994,6(3):51~55.

GRAIN SIZE DISTRIBUTION AND MICROSTRUCTURE CHARACTERS OF THE FAULT UGE IN THE EAST SECTION OF NORTHERN EDGE OF WESTERN QINLING MOUNTAIN

Shao Shunmei Zou Jinchang Teng Ruizeng

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)

Abstract

The grain size distribution and microstructure characters of fault gouge in the east section of northern edge of western Mt. Qinling are studied for the first time based on the collected samples of natural fault gouge. The results show that the fracture zone takes stick-slip movement as the dominant factor and has creep-slip and extend-shear features at the same time.

Key Words: Mt. Qinling, Fracture zone, Fault gouge, Microstructure, Grain size distribution