

小湾坝区F₇断层物质的特征及意义

张秉良 刘桂芬

(国家地震局地质研究所)

摘要 本文通过对断层泥的粒度、粘土矿物成份的分析, 石英碎砾的 SEM 显微构造和断层泥原岩的 SEM 观察研究, 探讨坝区 F₇ 断层的活动性质。

关键词 断层泥 粘土矿物 显微构造 粒度

一、断层物质研究的意义

断层物质是断层活动的产物, 它记载着断层活动的历史, 保留着断层运动的遗迹。它的组成和结构对断层活动将产生重要影响, 许多学者曾对此进行了深入细致的岩石力学试验与探索^(1,2,3)。近年来国内外学者对断层物质的研究十分重视, Summers 和 Byerlee (1977) 对断层泥的成份在稳定摩擦方面的作用进行了系统的实验研究, 他们指出, 含水层状硅酸盐矿物是一种固体润滑剂, 它不能积累能量, 对断层的稳定滑动起着重要作用。Morrow 等 (1982) 指出, 断层物质中碎屑物质的含量、分布, 粘土矿物的种类、含量等与断层物质的性质有关。kanaori (1980) 指出, 因断层活动而形成的石英碎砾, 随着时间的流失, 不断受到地下水的风化溶蚀作用, 其溶蚀度在一般地质环境中是不变的, 因而溶蚀程度的差异和结构的复杂性, 表明了石英碎砾形成时间的长短, 记录了断层活动的历史⁽⁴⁾。同时模拟断层活动的压力实验表明, 不同的运动方式在实验产物中留下了不同的显微特征, 这种特征与天然断层物质的显微特征相对比, 可以推断断层的活动性质。因此, 详细研究断层物质的粒度分布、物质成份、显微结构特征等, 对研究断层的活动历史将起着重要作用。

二、坝区 F₇ 断层的地质特征

小湾水电站坝区岩石主要由花岗岩片麻岩、云母片岩、角闪斜长片麻岩和变质砂岩等组成。构造形态主要表现为走向与片麻理一致的东西向断层〔图 1〕。我们对 F₇ 断层的断层泥进行了详细观察和采样见表 1。

F₇ 断层总体走向北东东到近东西向, 全长约 5 公里。该断层发育于时代不明的花岗岩片麻岩、角闪片岩中。断层两侧的片麻岩具明显混合岩化作用, 其线理清晰, 暗色矿物呈定向排列, 长英质矿物明显拉长、透镜体化。从构造岩类型和断面擦线侧伏角分析, 早期活动以逆冲为主, 晚期以水平位移为主。地表露头和平洞揭示, F₇ 断层构造带以强烈挤压的扁豆体劈理带为主, 次为碎裂岩化破碎带和断层泥带。在断层泥中常有透镜状磨砾和不规则的岩块岩屑。前者胶结较好, 它们的产状平行于原岩的片理, 可能是断层早期作用的产物, 后者未胶结, 显然是断层后期作用所形成。

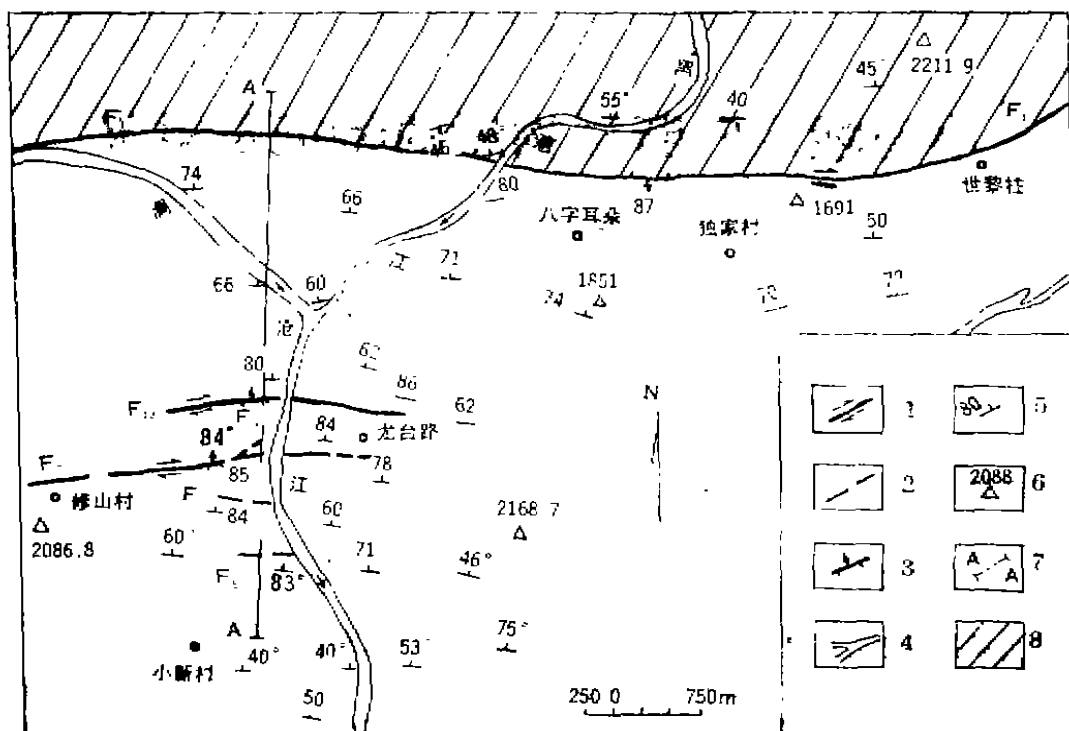


图1 小湾坝区断裂分布与地层产状图
Fig. 1 Fault distribution and stratigraphic occurrence
in Xiaowan dam area

1. 主要断裂及其水平位移方式; 2. 次要断层; 3. 逆断层; 4. 河流; 5. 地层产状;
6. 山峰及其海拔高度(m); 7. 综合剖面位置; 8. 无量山变质岩

F₇断层的断层泥有灰白、灰绿、黄绿等几种颜色,其厚度0.5—24cm不等,粗细程度也不同。西端断层泥累计总厚度达52cm,向东逐渐减少到10cm,断层逐渐分叉而尖灭。

三、F₇断层物质分析测试结果

1. 断层泥的粒度分析

影响断层泥粒度组成的因素很多,例如原岩性质,风化时间的长短,断层活动的性质等。根据近几年我们对红河、雾都河断裂等断层泥的粒度分析与断层泥的岩石力学试验研究,我们认为,在原岩性质基本相似的情况下,断层泥的粒度组成主要取决于断层的活动性质,而风化时间的长短对断层泥的粒度组成影响不大。断层活动的性质不同,断层泥的粒度组成也不同。

小湾坝区F₇断层的断层泥粒度分析结果见表2。

根据图2可以看出,断层泥的粒度分布特征与沉积类型的黄土粒度分布特征有显著区别。断层泥的粒度以>10 ϕ 含量高为特征,而黄土则以4—8 ϕ 含量高为特征。这些粒度分布特征的区别可能是由于成因不同而造成。沉积类型的粒度分布特征与搬运距离、时间等有关,而断层泥的粒度分布特征与断层活动性质有关。

表1 断层泥采样一览表
Tab. 1 Sampling of fault gouge

断裂名称	样号	采样位置	颜色	厚度 (cm)	产状	泥性描述
F ₇ 断裂	6-F ₇ -1	6号洞支洞53m处	黄绿色	0.5-1	72/SW \angle 83°	砂感性强
	6-F ₇ -3	6号洞支洞47m处	灰白色	0.8	310/NE \angle 45°	砂感性强
	6-F ₇ -5	6号洞支洞36.7m处	灰白色	2.3-3	95/NE \angle 75°	细腻感
	D-F ₇ -1	5号洞上地表	灰绿色	2.5	90/S \angle 83°	砂感性强
	63-F ₇ -0(2)	63号洞支洞24m处	灰绿色	0.5	95/NW \angle 50°	细腻但有小碎砾
	63-F ₇ -1(1)	63号洞支洞23m处	灰绿色	2	90/N \angle 65°	细腻但有小碎砾
	63-F ₇ -1(2)	63号洞支洞23m处	灰白色	4.5	90/N \angle 65°	泥沙夹有碎裂物质
	63-F ₇ -7	63号洞支洞0m处	灰白色	2.5	340/NE \angle 60°	砂感
	5-F ₇ -2(2)	5号洞支洞30.5m处	灰白色	4	86/SE \angle 81°	碎裂岩中夹片麻岩透镜体
	5-F ₇ -4(1)	5号洞支洞28.5m处	灰白色	7	45/SE \angle 81°	细腻有小砂粒
	5-F ₇ -4(2)	5号洞支洞28.5m处	灰白/ 灰黄	24	45/SE \angle 81°	砂感性强
	5-F ₇ -4(3)	5号洞支洞28.5m处	灰白色	8	45/SE \angle 81°	细腻有小砂粒
	X-F ₇ -1	秀山村剖面	灰白色	4.3		细腻有小砂石
	X-F ₇ -2	秀山村剖面	灰绿色	2.5		砂感性强

表2 断层泥的粒度分析
Tab. 2 Analysis of grain size from fault gouge

粒径 (ϕ)	<-1	-1-0	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	>10
样号													
6-F ₇ -5		3.13	3.53	3.93	5.00	5.96	10.69	10.37	3.90	7.33	6.69	8.11	31.39
63-F ₇ -1		10.63	9.01	6.93	6.13	6.62	6.96	6.98	5.82	8.08	5.57	6.08	21.12
5-F ₇ -4	3.20	8.67	10.47	8.30	7.50	7.27	10.16	6.11	4.77	4.72	3.12	2.19	23.52
D-F ₇ -1	5.53	11.03	10.60	8.47	7.80	7.72	8.72	5.01	4.53	5.23	4.15	3.58	17.63

我们将F₇断层的断层泥粒度分析结果分为砂粒、粉砂和粘粒三个粒级见表3(图3)。断层泥的粒度组成以砂粒和粉砂为主,4个样品的砂粒和粉砂总量均大于50%,但不同部位的断层泥其粒度组成也不同,6-F₇-5砂粒含量最少,仅占21.55%;粘粒含量最高为41.16%,断层泥细而较均匀。而D-F₇-1断层泥砂粒含量高达51.15%,而粘粒含量仅有25.36%,该样粒度粗细悬殊较大。

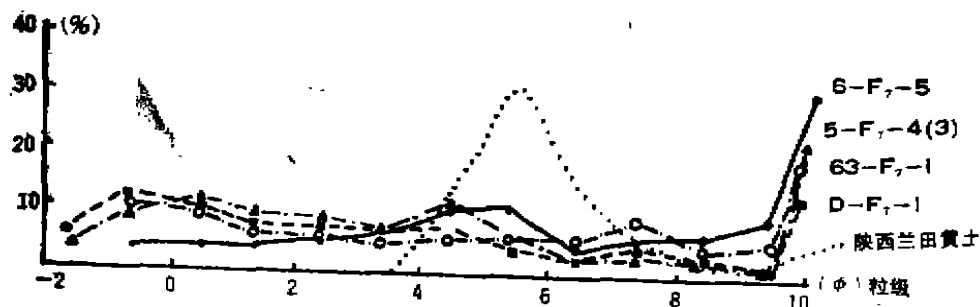


图2 断层泥粒度与沉积类型粒度分布对比图

Fig. 2 Comparison of grain size distribution between fault gouge and sedimentary system

表3 断层泥中砂粒、粉砂和粘粒含量

Tab. 3 Composition of sand grain, powder grain and clay fraction from fault gouge

含 量 样 号	粒 级	砂粒 $< 4\phi$	粉砂 $4 - 8\phi$	粘粒 $> 8\phi$
6-F ₇ -5		21.55	32.29	46.16
63-F ₇ -1		39.38	27.84	32.77
5-F ₇ -4		45.41	25.76	28.83
D-F ₇ -1		51.15	23.49	25.36

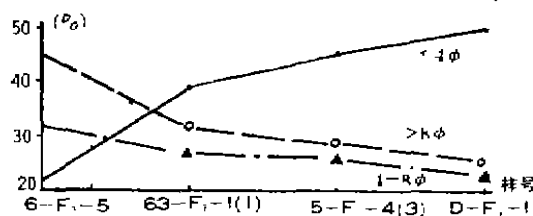


图3 F₇断层各剖面断层泥粒度含量对比图

Fig. 3 Comparison between grain sizes of fault gouge in different cross section fault of F₇

2. 断层泥的粘土矿物成份

粘土矿物是一种层状硅酸盐。它含有大量的层间水和层间可交换的阳离子，这对断层的运动性质将产生重要影响。实验研究表明，当粘土矿物含量减少时，断层滑动方式则由稳定滑动变为粘滑，高岭石含量高达75%，仍可发生强烈粘滑；断层泥中伊利石含量达到50%，粘滑就要受到抑制；蒙脱石仅含15%时，粘滑就不可能发生^[5]；粘土矿物顺断层面定向排列有利于降低断层运动的阻力。

F₇断层的断层泥粘土矿物经过分离、提纯、做定向薄片，再经乙二醇饱和、加热处理，最后使用X射线衍射仪进行分析。在分析中使用铜靶，用1°/分的速度扫描，2θ范围从3°—35°〔图4〕。样品中所含各种粘土矿物的种类、含量以及伊利石的结晶度见表4。它反

表4 断层泥中粘土矿物百分含量

Tab. 4 The relative content of clay minerals from fault gouge

矿物 含量 样号	蒙脱石	伊利石	高岭石	绿泥石	伊利石结晶度
6—L ₇ —5		100			6.5
63—F ₇ —1		93	7		5.5
5—F ₇ —4		100			5.0
10—F ₇ —1	2	78		20	5.5

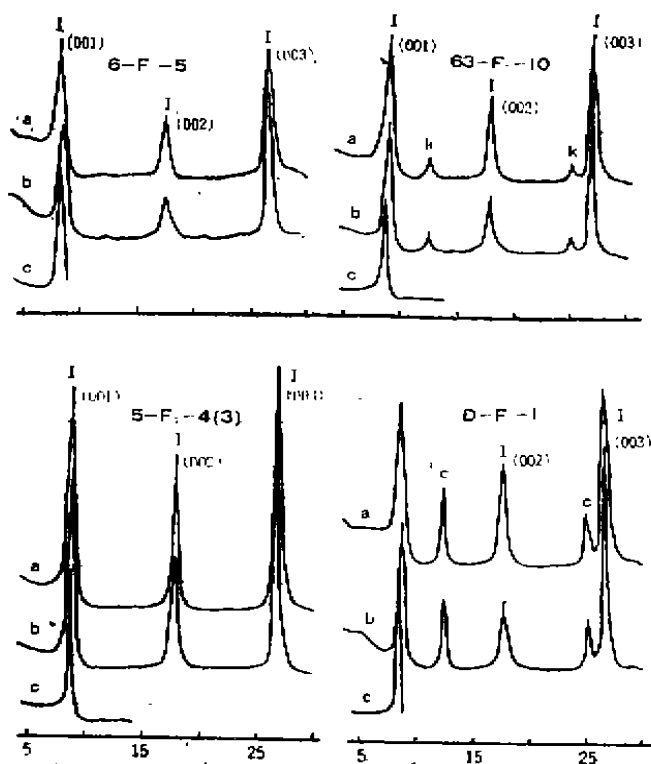


图4 断层泥中粘土矿物射线衍射图

a. 原样 b. 乙二醇处理 c. 加热550℃

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of clay minerals from fault gouge

映了不同剖面粘土矿物含量基本上以伊利石为主, 结晶度也基本相似。这是由于F₇断层围岩性质相同, 而断层活动性质也基本相似的结果。

3. 断层泥原岩及石英碎砾扫描电镜显微构造特征

断层的运动性质一般分为两类, 即蠕滑和粘滑。蠕滑是指断层活动是缓慢的, 宏观上难以识辨, 只有通过精密仪器的观测才能发现其变化。粘滑是一种快速运动, 它持续的时间比较短, 而且很明显, 大多数情况下不动或缓慢运动。对于断层过去是什么样的运动性质, 这也是地质学家比较关心的问题, 直至目前还没有比较确切的判别方法。近年来一些研究者试图从断层产物的显微构造特征来判断断层活动的性质^[6]。其原理是: 断层活动必然在断层产物中留下各种遗迹, 利用合适的方法来揭示这些信息, 可以用来推断断层的活动历史。如断层快速运动在断层物质上

遗留下的特征有撞击坑、放射状断口、阶步状断口等。断层泥原岩结构上则显示片理平直, 微构造面粗糙不平, 粘土矿物具有定向性等。而断层缓慢运动则使断层物质产生弯曲擦痕, 研磨坑等。断层泥原岩结构上表现出粘土矿物包裹砾石, 粘土矿物弯曲呈缎带状, 无方向性^[7]。同时断层活动的强弱也必定要在断层物质上留下深浅不同的痕迹。

F₇断层的断层泥原岩扫描电镜研究我们仅选择3个样品,石英碎砾的扫描电镜我们选用了14个样品。这些样品取自F₇断层的不同剖面。经在扫描电镜下观察,共同特征为断层快速运动所形成的撞击楔入现象(照1),撞击三角坑(照2、3、4),平直擦痕(照5),丁字坑(照6)、楔形坑(照7)、阶步状断口(照8)。缓慢运动所产生的裂而不破现象(照9、10),研磨坑(照11、12)。断层泥原岩扫描电镜下的特征为片状伊利面包裹磨圆度较好的砾石(照13),有的砾石具有不太锐的棱角(照14),砾石成份经能谱分析为长石和石英两种,大小约10×5μm—30×40μm不等。伊利石有的呈缎带状小揉皱(照15),有的无方向性,杂乱无章(照16),显示出断层反复缓慢运动的特征。也有个别断层泥中粘土矿物具有方向性,构造面粗糙不平这可能是断层快速运动的结果。

不同断层活动时能量不同,而同一断层不同部位,不同时期活动时能量也可能不同,因此断层活动时在断层物质上所造成的各种撞坑、擦痕深浅也有很大差别。经在电镜下观察测量,F₇断层断层泥中石英碎砾表面构造坑深5—15μm的居多数。

四、F₇断层活动特征的探讨

1. 由断层泥的粒度组成探讨断层的活动特征

我们将F₇断层泥的粒度组成与已经研究过的几条其他断裂的断层泥粒度相对比⁽¹⁾⁽²⁾,如表5,并作图5。

表5 不同断层的粒度分布与活动特征对比
Tab. 5 Comparison between the distribution grain sizes and their active characters in different faults

序 号	断 层	砂 粒 <4φ	粉 砂 4—8φ	粘 粒 >8φ	围 岩	活 动 特 征
1	雾都河	33.21	44.17	22.62	片麻岩	粘滑为主,少量蠕滑
2	三斗坪	56.18	31.63	12.20	片麻岩	粘滑为主,少量蠕滑
3	红河南段	22.75	32.22	40.04	片麻岩	蠕滑为主,少量粘滑
4	F ₇	39.38	27.35	33.28	片麻岩	粘滑兼有蠕滑

由图可明显看出,以粘滑活动为主的断层,其断层泥粒度组成特征为随着粒径减小,含量有逐渐降低的趋势;以蠕滑活动为主的断层,其粒度组成特征为随着粒径减小,含量有增高的趋势。F₇断层泥的粒度分布粗粒级(<4φ)和细粒级(>8φ)的含量均介于雾都河三斗坪断层和红河断层南段粒度之间,而中粒级(4—8φ)含量均比它们的含量低。由于这几条断层围岩性质基本相似,所以由此推断F₇断层的活动特征可能以粘滑为主兼有蠕滑。

2. 由断层泥的粘土矿物探讨断层的活动性

粘土矿物是一种层状硅酸盐,结构层之间充填有大半径的阳离子,联结力弱,摩擦强度

1) 冯锦江、张秉良,1987,根据断裂运动产物特征,研究粘滑与蠕滑运动,地震基金报告

2) 冯锦江等,1989,三峡库首附近地区主要断裂带断层泥成份与结构特征研究报告

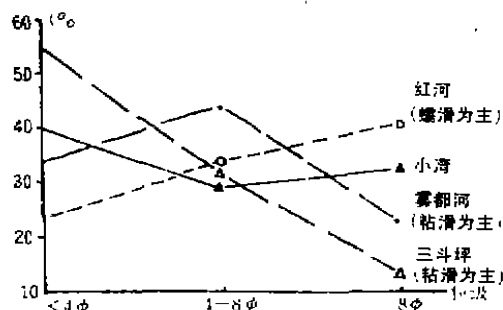


图5 不同活动特征的断层断层泥的粒度分布
Fig. 5 Grain size distribution of fault gouge in the faults of different active characters

低，在断裂带中水的作用下，摩擦系数就会变得更低。我们将断层泥中粘土矿物相对含量换算为绝对含量见表6，F₇断层断层泥中伊利石含量在20—40%之间，断层泥的总厚度累计达52cm之多。该断层中伊利石的含量虽然不能完全抑制断层的粘滑活动，但在断层活动中起到固体润滑剂的作用，再加上地下水的介入，更有利于蠕滑活动的产生。

3. 由断层泥中石英碎砾显微构造和断层泥原岩结构探讨断层的活动特征

F₇断层不同部位石英碎砾的显微构造特征稍有区别表7。6号平洞石英碎砾表面主要以撞击楔入现象为主，构造深坑(10—15μm)平均12μm。其余

部位以裂而不破现象为主，砾石磨圆度较好，构造深坑(5—15μm)平均8μm。断层泥原岩扫描电镜下观察，结构特征基本相似，为卷心菜状结构，砾石磨圆度好，伊利石受构造运动作用呈缎带状小揉皱。这些特征表明F₇断层的活活既有粘滑又有蠕滑。而且在断层的尖灭部6号洞，粘滑时的能量比其余部位高。

表6 断层泥中粘土矿物绝对含量
Tab. 6 Content of clay minerals from gouge

样号	矿物含量	矿物				
		蒙脱石	伊利石	绿泥石	高岭石	伊利石结晶度
6—F ₇ —5			46.16			6.5
63—F ₇ —1			30.47		2.3	5.5
6—F ₇ —4			28.83			5.0
0—F ₇ —1		0.52	19.78	5.17		5.6

F₇断层泥的粒度组成、粘土矿物成份、含量、石英碎砾的显微构造和断层泥的原岩扫描电镜下的特征均表明F₇断层的活动性可能以粘滑为主，兼有蠕滑、且尖灭部位粘滑时的能量比其他部位高。

本项工作得到魏顺民、向宏发、计凤桔三位副研究员的指导和帮助，在此表示感谢。

表7 断层泥及石英砾砾显微构造特征

Tab. 7 Some micro-texture of quartzite fragment and fault gouge

断层名称	采样剖面	样号	SEM显微构造特征	构造坑深 (μm , 平均)
F ₇ 断裂	6号平洞	6-F ₇ -1	撞击楔入现象, 撞击三角坑裂而不破现象	10
		6-F ₇ -3		10
		6-F ₇ -5	卷心菜状结构, 粘土矿物成级带状	15
		6-F ₇ -5*		
	5号平洞	5-F ₇ -2(2)	裂而不破现象, 勺形坑, 脆性破裂	7
		5-F ₇ -4(1)		7
		5-F ₇ -4(2)		5
		5-F ₇ -4(3)		
		5-F ₇ -2*	卷心菜状结构, 砾石磨圆, 伊利石无方向性	
	63号平洞	63-F ₇ -0(2)	裂而不破现象, 撞击坑, 脆性破裂	
		63-F ₇ -1(1)		5
		63-F ₇ -1(2)		10
		63-F ₇ -7		5
		63-F ₇ -0*	卷心菜状结构, 椭圆砾石长轴平行片理	
	5号洞上地表	D-F ₇ -1		19
		X-F ₇ -1	撞击坑, 勺形坑, 裂而不破现象	15
		X-F ₇ -2		8

参 考 文 献

- [1] Summers, R. A Note on the effect of fault gouge composition on the stability of frictional sliding, *Int. J. Rock, Mech. Min. Sci. geomech. abstr.*, Vol. 14 No. 3 PP 155-160, 1977.
- [2] Morrow C. R. et al, Strain Hardening and strength of clay-rich fault gouges, *J. G. R.*, Vol. 87 num. B8 PP. 6771-6780, 1982.
- [3] 李建国等, 高温高压下红河断裂带断层泥力学性质研究, *地震地质*, 1987, 19, (1)
- [4] Kanaori, Y. et al, Dating fault activity by surface textures of Quartz grains from fault gouges, *Eng Geol* 16, 1980.
- [5] 吕广廷等, 断层泥在粘滑机制中的作用, *国际地震动态*, 1988, (2)

[6] 杨主恩等, 粘滑和蠕滑条件下石英岩某些显微特征及其地震地质意义 探讨, 地震地质, 1986, 8

(2)

[7] 张秉良等, 红河断裂带中断层泥粘土矿物特征及其地震地质意义, 地震地质, 1989, 11, (3)

THE CHARACTERISTICS OF F₇ FAULT MINERALS AND THEIR IMPLICATION IN XIAOWAN DAM AREA

Zhang Bingliang and Liu Guifeng

(Institute of Geology, State Seismological Bureau)

[Abstract] Based on the analysis of grain size in the fault gouge and the composition of clay minerals, the study and the observation of SEM micro-structure of quartz fragment and the SEM of fault gouge, the characteristics of F₇ fault activity in the dam area are explored in this paper.

[Key words] Fault gouge, Clay mineral, Micro-structure, Grain size