

## 华山北麓断裂断层泥的基本力学性质

### 引言

华山北麓断裂是渭河盆地内一条典型的活断层。著名的1556年华县八级大地震就发生在该断裂带上〔1、2〕。

断裂的动力变质带宽数十至数百米，构造角砾岩和糜棱岩发育，在数米至数十米厚的构造角砾岩层内，局部夹有几十厘米厚的薄层状断层泥。为了配合全国活断层研究计划的实施，笔者对华山北麓断裂的断层泥力学性质进行了测定。为进行比较，本文采用地球物理研究所三室提出的规范和实验方法，实验是在地球物理研究所三室进行的。

#### 1. 取样位置及实验方法

在华山北麓断裂及其西支——骊山南缘断裂上选择三个点，共采集10个样品（图1），其中在断裂东段华山车站处采集2个样品，在中段华县太平峪采集4个样品，在西段骊山南缘程家沟采集4个样品，以便比较断裂不同地段、距主断层面不同部位以及在断裂不同深度处断层泥力学参数的差异。

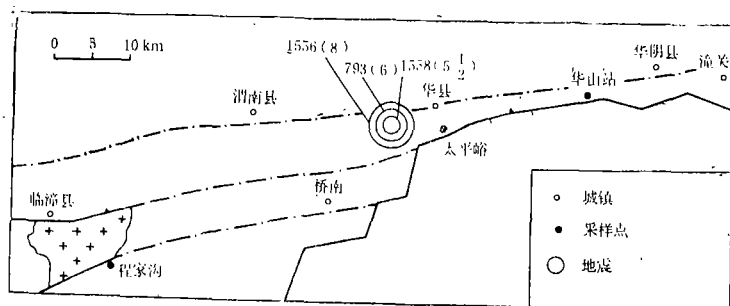


图1 华山北麓断裂带断层泥取样点位置

取样深度在地表1米以下。试样均用塑料袋包装，以便保持原始水分。

将断层泥做成直径为2.5cm、长5cm、重60g左右的试件，在单轴压缩下测量断层泥的各项力学性质。

#### 2. 实验结果及分析

图2为由实验得到的断层泥样品的体应变随应力变化曲线。由图2可以看出，断裂中、西段华县南和骊山两处的样品，在压缩的开始阶段随着压力的增加其体应变变化较大，随后变化逐渐减小，当压力达到500巴以上时体应变随压力的变化近似于一条直线。卸载时断层泥样品的体应变曲线偏离加载曲线。当应力完全解除后断层泥仍保持一定的残余应变。断裂

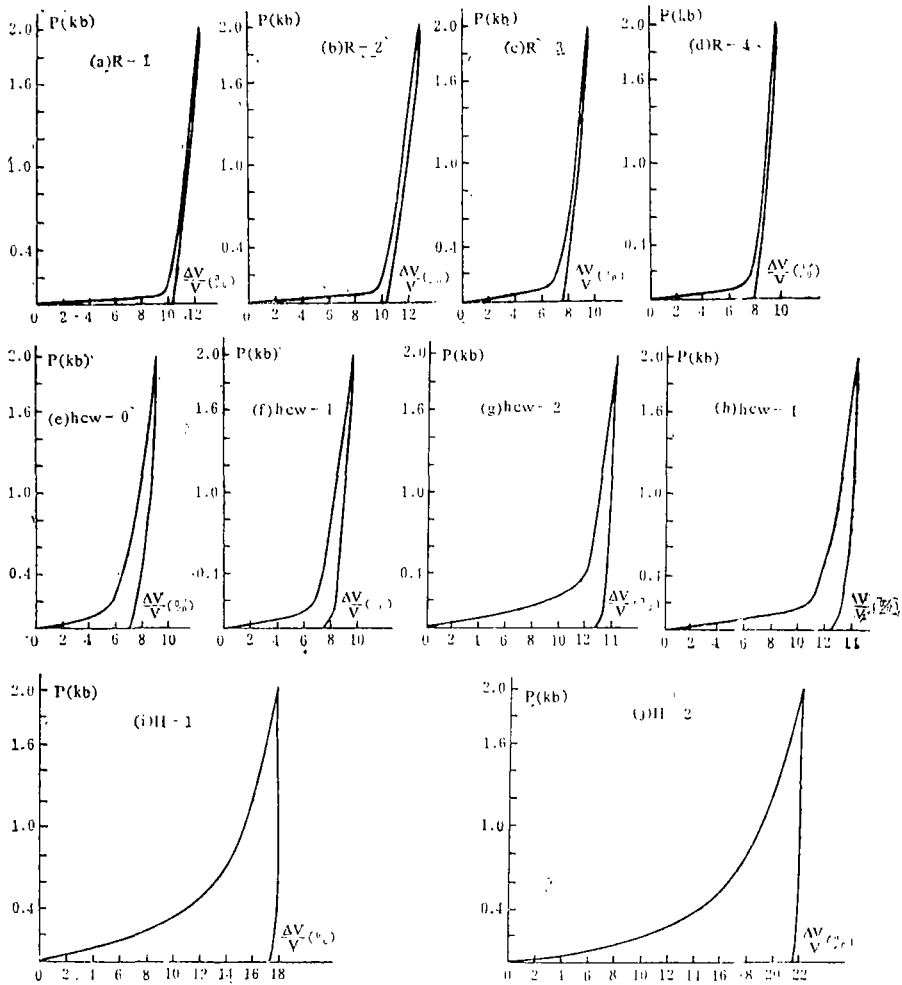


图2 华山北麓断裂断层泥的压缩曲线

东段华山车站处的断层泥样品，在加压开始阶段随着压力增加其体积压缩变化较慢，当压力达到1000巴时，压缩曲线才近似于一条直线，另外其卸载曲线与加载曲线相差更大。表1的数据表明，断裂东段压缩模量较小，西段较大，中段介于二者之间。

从三个点的断层泥样品的密度随压力的变化曲线（图3）可见，东段断层泥的密度最小，其次是中部及西部。

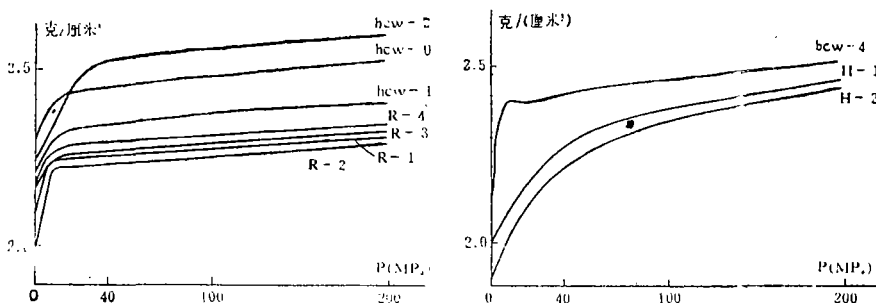


图3 华山北麓断裂断层泥密度随压力的变化曲线

表 1 华山北麓断裂断层泥的基本力学参数

力学量		取样地点			华山车站南					华县太平峪					骊山南程家沟				
		误差	H-1	H-2	平均值	Hcw-0	Hcw-1	Hcw-2	Hcw-4	平均值	R-1	R-2	R-3	R-4	平均值				
含水量 (%)			1.7	3.3	2.5	9.2	9.2	6.7	8.7	8.45	12.5	11.7	8.3	9.8	10.6				
粘土含量 (%)			40	58	49	74	74	48.3	65	65.3	79	82.7	88.3	81.7	82.9				
初始密度 $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )		1%	2.01	1.89	1.95	2.29	2.17	2.22	2.14	2.21	2.02	2.0	2.09	2.11	2.06				
体积模量 $k$ (10 <sup>4</sup> b)		2%	4.05	3.73	3.89	8.0	7.79	10	7.14	8.23	9.15	7.94	9.66	10.75	9.38				
杨氏模量 $E$ (10 <sup>4</sup> b)		2%	2.4	2	2.2	0.72	1.14	2.22	1.71	1.45	0.5	1.33	1.14	0.8	0.94				
抗压强度 $S_c$ (b)		2%	16	14	15	10	12	18	13	10	4	16	16	11	11.75				
抗剪强度 $S_s$ (b)		8%	19.18	15.5	17.34	13.87	11.02	21.22	10.6	14.03	14.29	22.86	23.27	8.16	17.15				
粘滞系数 (10 <sup>10</sup> Pa·S)		2%	1.00	1.50	1.25	1.25	0.19	0.94	1.50	0.97	0.14	0.35	0.54	0.30	0.33				
摩擦系数			0.47	0.40	0.44	0.32	0.47	0.33	0.27	0.35	0.45	0.48	0.18	0.16	0.32				
(km/s)	波速 横波 (Vs)	8%	1.17	1.24	1.21	1.09	0.94	1.24	1.10	1.09	1.13	0.09	0.93	0.98	1.03				
	纵波 (Vp)		1.46	1.72	1.59	1.86	1.82	1.87	1.85	1.85	1.76	1.88	1.74	1.78	1.79				
破坏角 (°)			34°	32°	33°	25°	20°	33°	23°	25.3°	37°	35°	30°	28°	32.5°				

\* 从 H<sub>2</sub>→H<sub>1</sub>、R<sub>1</sub>→R<sub>4</sub> 距主断面由远及近，从 Hcw-0→Hcw-4 采样深度由浅到深。

断层泥的应力—应变曲线 (图 4) 表明，在加载的最初阶段， $\xi_1$  (轴向应变) 随  $\sigma_1$  (轴向应力) 的变化接近于直线， $\sigma_1$  进一步增加时，应力—应变曲线明显地向下弯曲，当  $\sigma_1$  增加到某一值时曲线再无明显变化。根据实验数据推算出断层泥杨氏模量  $E$ ，实验结果表明，东段断层泥杨氏模量高于中段和西段。抗压强度的平均值东段略高，中段次之，西段最低，但就最大值而言，差别不大。

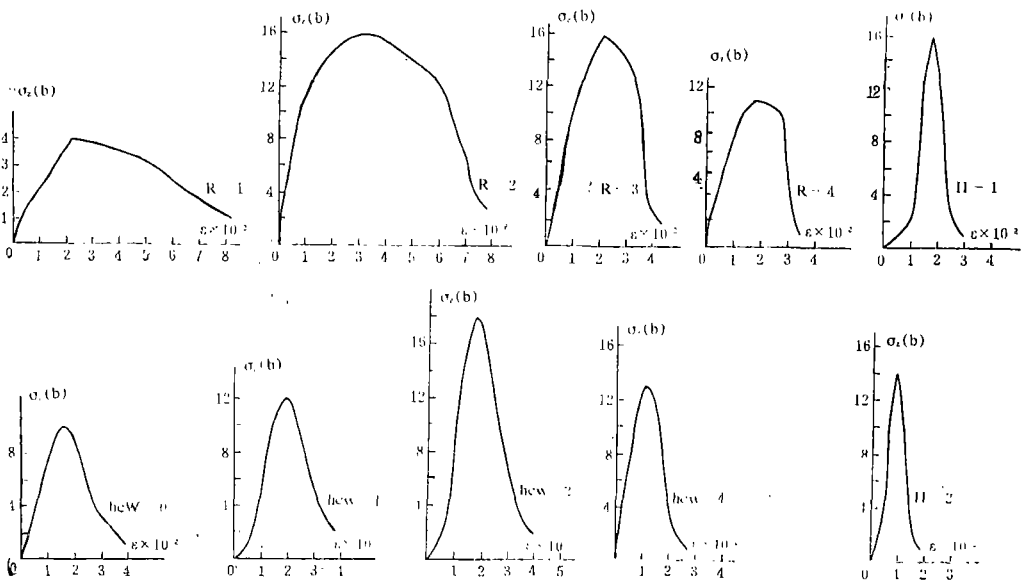


图 4 华山北麓断裂断层泥的应力—应变曲线

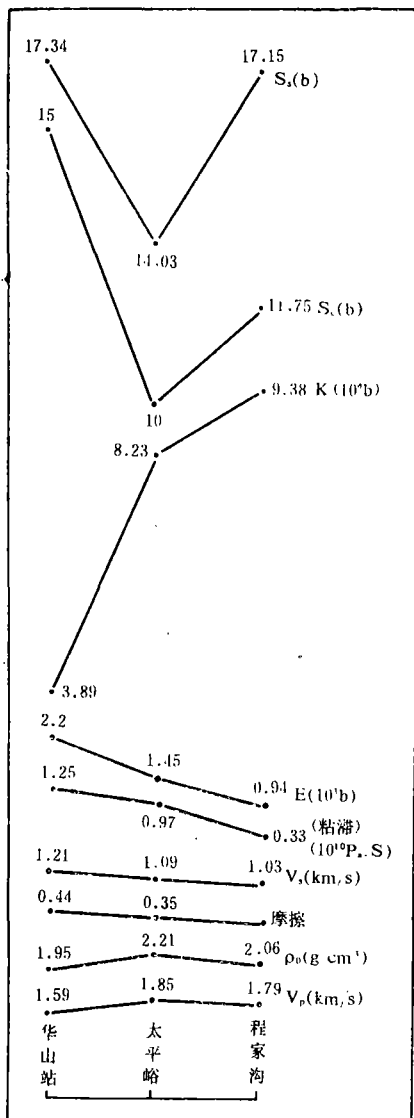


图5 华山北麓断裂断层泥力学参数变化

当轴压增加达到样品的抗压强度后,开始降低轴压,此时圆柱形样品中出现剪切面并开始错动。由图4可见,在此过程中,样品的承载能力逐渐下降,断裂东段断层泥样品承载能力下降较快,其次是中段,西段承载能力下降最慢。

断层泥抗剪强度东、西、中三段变化不大;粘滞系数东段大,西段小,中段介于二者之间。东段断层泥的横波速度 ( $V_s$ ) 较大,依次为中段、西段;纵波速度 ( $V_p$ ) 东段最小,中段最大,西段介于其间。断层泥摩擦系数的平均值分别是:华山车站0.435,华县太平峪0.348,骊山程家沟0.3175。比较这些摩擦系数可以看出,断裂西段活动较弱,中段活动较强,东段活动最强,亦即华山北麓断裂从东到西,其活动性逐渐减弱。这一结论,与笔者根据断错水系等地貌学证据得出的结果相符合。

断裂不同段断层泥力学参数的变化如表1和图5所示。由表1和图5可以看出,越接近主断层面,断层泥的初始密度  $\rho_0$ 、体积模量  $K$ 、扬氏模量  $E$ 、抗压强度及抗剪强度越大,但横波速度减小。纵波速度及粘滞系数、摩擦系数的变化无明显规律。从华县太平峪的样品来看,同一层断层泥力学参数在不同深度处差别不大,这可能是取样深度间隔较小的缘故。

断裂断层泥的力学参数基本上属于同一量级<sup>[3]</sup>,说明同类断裂其力学参数也具有类似特征。

本文是在宫同伦研究员的悉心指导下完成的。实验过程中,国家地震局地球物理研究所耿乃光、郝晋升给予了多方面的指导和帮助,刘晓红、蔡林、方亚如帮助做了实验。在野外采样中,得到唐山工程技术学院王景明付教授的指导,西安地质学院肖荣久付教授也给予了帮助。笔者在此一并表示衷心的感谢。

(本文1988年4月29日收到)

(西安地质学院 程谦恭)

## 参 考 文 献

- [1] 王景明, 1556年华县大地震的地面破裂及地震机制的探讨, 地震学报, Vol. 2, No. 4, 1980.  
[2] 侯建军, 1556年陕西省华县大地震的地震地质条件, 西北地震学报, Vol. 7, No. 1, 1985.  
[3] 耿乃光、姚孝新、陈颀, 中国五条断裂断层泥力学性质的初步研究, 中国地震, Vol. 4, No. 1, 1985.

THE ELEMENTAL MECHANICAL PROPERTIES OF GOUGE ON THE  
NORTH HUASHAN MOUNTAIN FRONT FAULT

Cheng Qiangong  
(Xi'an College of Geology)