

海原断裂带断层泥摩擦特性的研究

刘晓红 方亚如 蔡戴恩

李纪汉 郝晋升 耿乃光

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

用双剪法对海原断裂带5个点的13种断层泥的摩擦滑动特征进行的实验研究表明,海原断裂带的断层泥的存在有助于消除粘滑与增大摩擦强度,五个点断层泥的摩擦系数平均值分别是0.760(景泰),0.728(哈思山),0.669(大沟门),0.644(刺儿沟),0.684(蔡祥堡)。

一、引 言

断层泥在断层的动力学过程中起着十分重要的作用,从七十年代起,人们开始对断层泥的力学性质进行广泛的实验研究。研究的对象既有天然断层泥,又有与天然断层泥性质相近的人造断层泥。人们在实验室中测定了断层泥的基本力学参数,研究了夹断层泥岩块的摩擦滑动特征,并通过这些研究,阐明各种条件下各类断层泥所起的作用。

在我国,对断层泥力学性质研究在八十年代初还是空白。近两年来国家地震局地质研究所和地球物理研究所等单位开始研究这一问题,并取得了一些结果。在我国的重要活动断裂带上,许多地方都有断层泥的分布。为了深入研究这些断裂带与地震的关系,测定这些断裂带上的天然断层泥的力学参数是非常必要的。过去已有人对我国五大断裂的断层泥的基本力学性质进行了初步研究,取得了首批较系统的断层泥力学性质参数,但是对断层泥的一项重要性质——摩擦滑动特性尚未进行研究,因此,近年来,我们开始着手对我国主要活动断裂断层泥摩擦特性进行研究。本文报导的是我们最近对海原断裂带断层泥所进行的实验研究的主要结果。

海原断裂是我国西北地区的一条重要断裂带,全长200多公里,是控制西海固地震带的主要断裂〔1〕,1920年海原8.5级大地震就发生在这条断裂带上。图1给出了断层泥取样点的位置。在蔡祥堡、哈思山两点各采集一种断层泥,在景泰采集了相邻的两种断层泥,一种呈黑色,一种呈红色。在刺儿沟和大沟门,断层呈断束状多束分布(图2)。在刺儿沟采集到四种断层泥,其中3号样品是否是断层泥难以确定,未采用。在大沟门采集到六种断层泥。断层泥的现场分布厚度、颜色、粘土含量、含水量、密度和一些基本力学性质见文献

(2)。

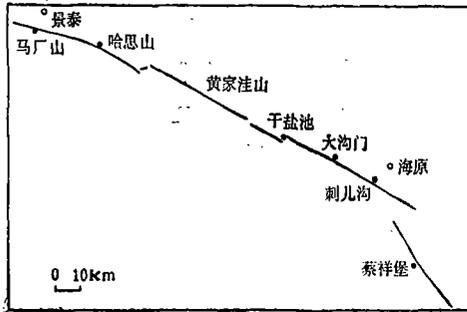


图1 海原断裂带断层泥的取样点位置
 Fig.1 The sampling positions of gouge on Haiyuan fault

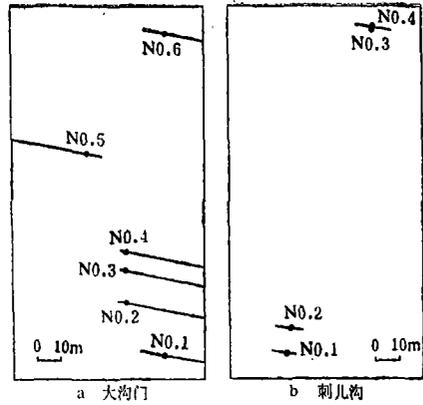


图2 大沟门(a)、刺儿沟(b)断层泥的多束分布
 Fig.2 The multiple distribution of gouge in Dagoumen and Ci'ergou

二、实验方法及结果

为了比较准确地测定断层泥的摩擦特征参数，以便对全国各断层带断层泥的实验结果进行对比，我们采用了双剪摩擦实验法，并统一用济南辉长岩作为夹断层泥的岩块。试件系统由三块岩石组成，中央岩块的尺寸为 $2 \times 3 \times 10\text{cm}$ ，两侧岩块的尺寸为 $2 \times 2 \times 6\text{cm}$ 。岩石样品经磨床精磨，相对面的不平行度小于 0.02mm 。岩块间的摩擦面面积 $S = 12\text{cm}^2$ 。摩擦面间夹有 0.2mm 厚的断层泥。样品系统置于双轴加载系统上加压，加载系统结构图见文献 [3]。如果加载系统加到样品系统上的水平载荷为 F_1 ，垂直载荷为 F_2 ，摩擦面上的正应力 σ 和剪应力 τ 分别由下式计算：

$$\sigma = F_1 / S \tag{1}$$

$$\tau = F_2 / 2S \tag{2}$$

在实验中，我们用应变式测力器测量水平和垂直载荷，用差动变压器式位移计测量摩擦滑动的位移，测量力和位移的相对误差为 1%。实验的加载位移率为 0.01mm/Sec. 。

三、主要结果

图3给出了海原断裂带13种断层泥双剪摩擦实验中剪应力与位移的关系。实验的正应力范围由 10Mpa 至 25Mpa 。由图可见，当辉长岩岩块夹有海原断裂带的断层泥时，摩擦滑动以稳滑的方式进行，没有粘滑现象。在实验中，大多数断层泥在稳滑过程中的摩擦强度随位移的增加而增加，表现出位移强化现象。一部分样品（大沟门1、2、4号样品和刺儿沟1号样品）当正应力为 10Mpa 时出现位移弱化现象，即摩擦强度随位移增加而减小。当正应力超过 15Mpa 时，摩擦滑动特征由位移弱化转变为位移强化。刺儿沟2号样品的实验和其它样品都不同，当正应力由 10Mpa 增至 25Mpa 时，均表现出位移弱化现象。

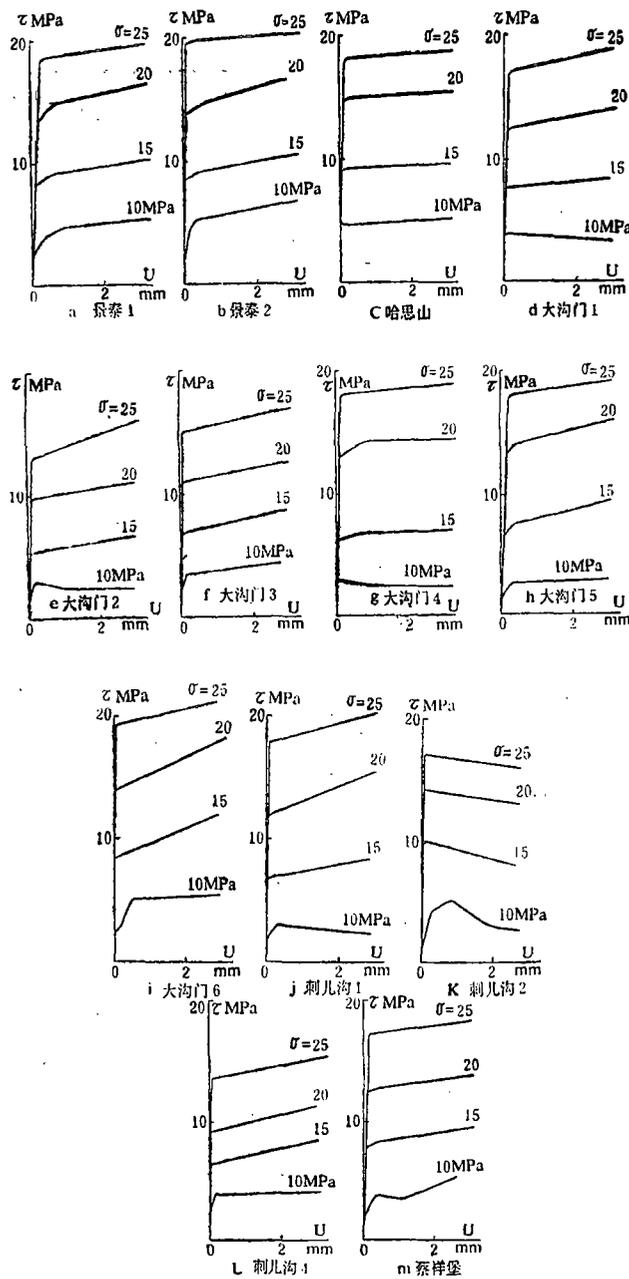


图3 海原断裂带断层泥的摩擦滑动特性曲线

Fig. 3 The frictional sliding characteristics of gouge of Haiyuan fault

图4给出了海原断裂带断层泥的摩擦强度与正应力的关系。由图可见，当辉长岩岩块间夹入海原断裂带的断层泥之后，其摩擦强度比辉长岩岩块干摩擦强度提高了。当正应力超过20Mpa时，摩擦强度提高到辉长岩干摩擦强度的2至3倍，但仍低于Byerlee定律^[4]给定的值。

图5给出了海原断裂带断层泥的摩擦系数与正应力的关系。由图可见，海原断裂带断层泥的摩擦系数随正应力增加而增加。当正应力为10Mpa时，摩擦系数为0.4左右，当正应力

增加到25Mpa时，摩擦系数趋于稳定值，约为0.7左右。表1给出了海原断裂带13种断裂泥在正应力为25Mpa时的摩擦系数。

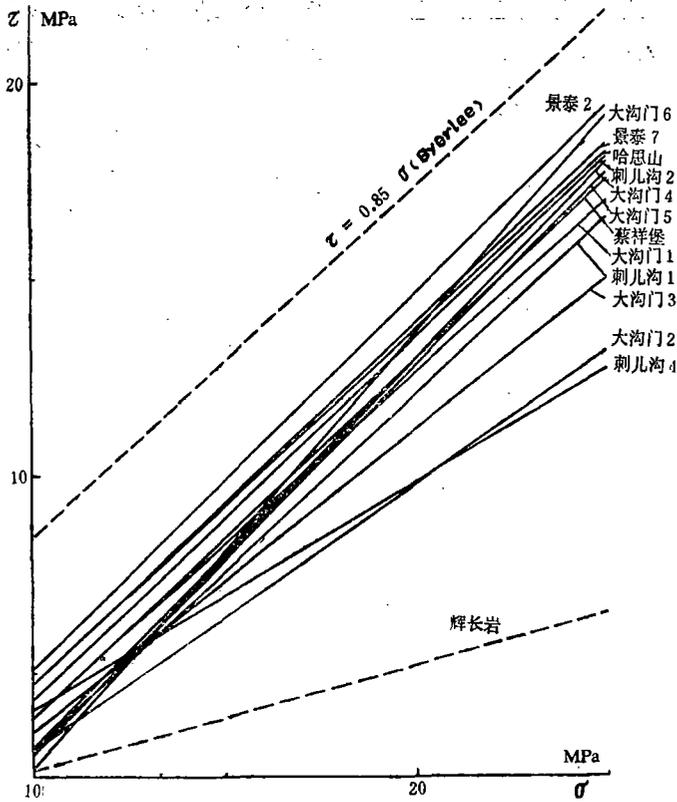


图4 海原断裂带断层泥的摩擦强度

Fig. 4 The frictional strength of gouge of Haiyuan fault

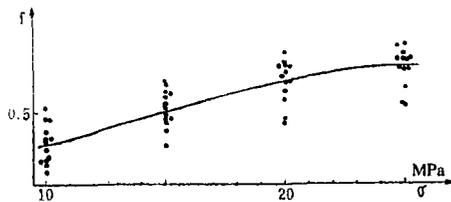


图5 海原断裂带断层泥的摩擦系数

Fig. 5 The frictional coefficient of gouge of Haiyuan fault

四、讨 论

过去的研究表明，沂沭断裂带断层泥在双剪实验中的摩擦强度大于辉长岩岩块的干摩擦强度，并消除了粘滑〔8〕。此次对海原断裂带断层泥的实验得到了类似的结果。我们把断层泥的介入使摩擦强度提高的原因解释为分子的吸附作用。辉长岩干摩擦实验表明，导致位移弱化向位移强化转变的正应力为40Mpa左右，沂沭断裂带断层泥的介入使这个正应力降低到15Mpa左右。本实验表明，海原断层泥的介入，使正应力降低到10Mpa左右。我们也可将此正应力的降低归因于分子的吸附作用。实验表明，海原断裂带的断层泥的摩擦系数的平均

海原断裂带断层泥的摩擦系数 表1

样品	景泰 1	景泰 2	哈思山	大沟门 1	大沟门 2	大沟门 3	大沟门 4
摩擦系数	0.736	0.784	0.728	0.680	0.520	0.600	0.720
样品	大沟门 5	大沟门 6	刺儿沟 1	刺儿沟 2	刺儿沟 4	蔡祥堡	平均
摩擦系数	0.708	0.786	0.716	0.676	0.540	0.684	0.688

值高于沂沭断裂的断层泥。

实验表明,当岩块完全由断层泥隔开时,不发生粘滑。当断层两盘间出现断层泥的局部缺失,岩石直接摩擦时,出现粘滑。在自然界,由于断层面不是理想的平面,而且断层泥分布薄厚不均,局部地方岩石的直接接触可能是造成粘滑引起地震的原因。断层泥消除粘滑与提高摩擦强度的作用,均有利

利于断层的稳定性。

海原断裂带五个采样点断层泥摩擦系数的平均值分别是:景泰:0.760,哈思山:0.728,大沟门:0.669,刺儿沟:0.644,蔡祥堡:0.684。比较这些摩擦系数可以看出,海原断裂的中段活动较弱,东段较强,西段最强。这些数据可供研究本断裂带的断层动力学特征时参考,也有助于对这条断裂的地震地质问题的深入研究。

本研究是地震学联合基金资助的课题。国家地震局地震学校明亮同志参加了实验。

(本文1985年7月20日收到)

参 考 文 献

- [1] 国家地震局,中国地震烈度区划工作报告,地震出版社,1981.
- [2] 耿乃光、姚孝新、陈颀,中国五大断裂断层泥力学性质的初步研究,中国地震,(待发表).
- [3] 耿乃光、刘晓红、郝晋升、李纪汉、方亚如、蔡戴恩,沂沭断裂带断层泥的摩擦滑动特征,地球物理学报(待发表).
- [4] Byerlee, J.D., Friction of rocks, *Rure.Appl.Geophys.*, 116—615, 1978.

THE STUDY ON FRICTIONAL SLIDING CHARACTERISTICS OF GOUGE OF HAIYUAN FAULT

Liu Xiaohong Fang Yaru Cai Daien Li Jihan

Hao Jinshen Geng Naiguang

(*Institute of Geophysics, State Seisniological Bureau*)

Abstract

The experimental study on frictional sliding characteristics of 13 kinds of gouge in 5 points of Haiyuan fault was made by double shear test method. The experiments show that the existence of Haiyuan fault gouge is helpful to remove the stick-slip and to increase the frictional strength. Here are the average of friction coefficient of gouge in 5 points: Jingtai-0.760, Hasishan-0.728, Dagoumen-0.669, Ciergou-0.644, Caixiangbao-0.684.