

# SHL-1型砂浆流变仪在蒋家沟 泥石流流变实验中的应用\*

章书成 陈精日 叶明富

(中国科学院成都地理研究所)

泥石流流体中含有从粘粒到砾石的各种粒径的颗粒成份,其级配之宽是任何挟沙水流、高含沙水流所不能比拟的。目前用于泥石流流变研究的各种流变仪,从理论上讲均不可用于非均质流体。但为了实用,在此以前所做的实验多为剔除 $>2-3$ 毫米的样品,但由于泥石流级配中粗颗粒甚多,其流变数值与实际情况相差很大,为此,寻求能够容纳更粗颗粒的流变仪,已成为泥石流科研工作者孜孜以求之事,苏联于70年代末期曾研制成大型卧式粘滞计,并应用于阿尔玛杰克河泥石流样品试验,国内西安冶金建筑学院亦于同期研制成功混凝土砂浆流变仪,并在冶金部金川有色金属公司矿井回填课题研究应用中。其改进后的SHL-1型实验样机为我们所引进,并于1984年7月—1985年8月在蒋家沟泥石流观测实验中使用,共取29个泥石流样品,并将其制备成91个实验样品,试验次数182次,得到一批含粒径 $<20$ 毫米颗粒的泥石流流体流变资料,并且明显地得出粗大颗粒对流变特性的影响。现分述如下。

## 一、SHL-1型砂浆流变仪的性能

该仪器为同轴旋转式,内筒连接扭力弹簧,外筒旋转,转速由可控硅式调速装置直接控制直流电机实现无极调速,其范围为5—200转/分,内筒直径为50毫米。外筒有两种可供选择,一为直径150毫米,另一为直径90毫米,从而可以容纳颗粒 $<20$ 毫米的样品进行实验。为了避免打滑,内、外筒均开制斜槽。该仪器为交直流供电,消耗功率为210瓦。仪器常规采用静态标定,并辅以标准油(如甲基硅油等)进行校准,该流变仪适用于粘度 $<200$ 泊的浆体。

流变数值的确定和流变方程的建立均采用MDR-Z80微机实现,并编制专用程序进行分析处理,因而能方便地得到实验结果。由于不均质流体的特点,在含有粗颗粒后,对同一样品的各次试验中,粗颗粒影响颇大,其相对误差最大可达40%左右,因而需要多次试验进行平均(至少2次以上)。

\*本项工作得到西安冶金建筑学院任新民、丁兆福、刘惠民等同志的帮助;朱平一、刁惠芳、吴积善、王裕宜、罗贵生等同志参加部份实验,并提供筛分资料,统志于此。

## 二、流变实验简介

在泥石流浆体流变实验中,我们采用方法如下:

- 1.一般分析 剔除样品中 $>20$ 毫米粒径者进行实验,即告完成。
- 2.全样分析 把 $<20$ 毫米粒径的样品分成6级进行实验,以求得每个样品中的颗粒大小、数量对泥石流流变特性的影响。
- 3.比较实验 同一样品中当其含水量不同时,求其对流变特性的影响。

## 三、影响泥石流浆体流变特征值的因素

1.同一次泥石流浆体样品,在逐级剔除粗颗粒后,其流变值将大幅度的减少。图1—3分别为查箐沟、蒋家沟、大凹子沟泥石流样品在逐级剔除粗颗粒后的流变值( $\tau_B$ ,  $\eta$ )与其浆体所含次级粗颗粒的关系,并可以看出其粗颗粒存在的重大影响。由图1可以看出,当浆体含有粒径 $>10$ 毫米者, $\tau_B$ 和 $\eta$ 值随粒径的增加同步地线性上升,而 $<10$ 毫米者则为非线性,呈不同步的下降。而图2和图3则表明 $\eta$ ,  $\tau_B$ 不是同步地的增减,而 $\tau_B$ 总

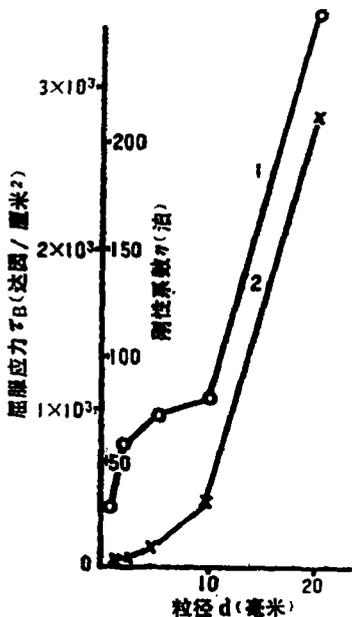


图1 查箐沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与粒径( $d$ )关系图

Fig. 1 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $d$  (the sample of Chajing Ravine)



图2 大凹子沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与粒径 $d$ 关系图

Fig. 2 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $d$  (the sample of Da Wazi Ravine)

是比 $\eta$ 迟后到小于5毫米以后才开始下降。这可用其颗粒组成来予以解释,查臂沟泥石流粗颗粒成份较多,占的比重较大,因而其粗颗粒的多少对流变值 $\tau_B$ 和 $\eta$ 起重大作用,相比之下,大四子沟和蒋家沟其粗颗粒少些,因而其细粒的多少又对流变值 $\tau_B$ 和 $\eta$ 起左右的作用。从图1、2和3中所标之容重值及相应的小于某一颗粒粒径数亦可以粗略地估算出其每一组颗粒之含量。如图2中 $<5$ 毫米和 $<2$ 毫米两者相应的容重分别为1.850

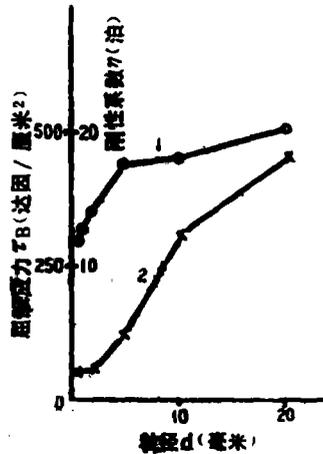


图3 蒋家沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与粒径( $d$ )关系图  
Fig. 3 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $d$  (the sample of Jiangjia Ravine)

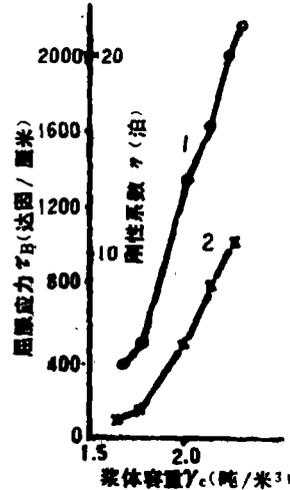


图4 蒋家沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与浆体容重( $\gamma_c$ )关系图  
Fig. 4 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $\gamma_c$  (the sample of Jiangjia Ravine)

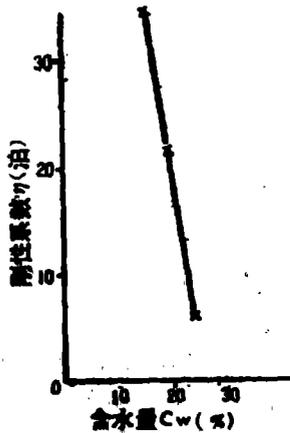


图5 苏联阿尔玛杰克河泥石流刚性系数( $\eta$ )与固体重量百分比浓度( $C_w$ )关系图  
Fig. 5 Relation of  $\eta$  and  $C_w$  (Anermajek River, Russia)

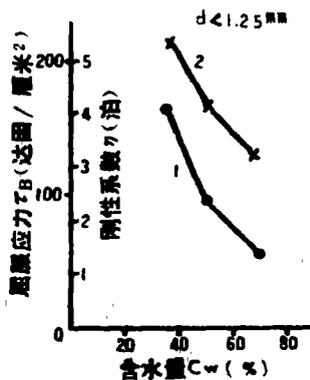


图6 查臂沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与固体重量百分比浓度( $C_w$ )关系图  
Fig. 6 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $C_w$  (Chajing Ravine)

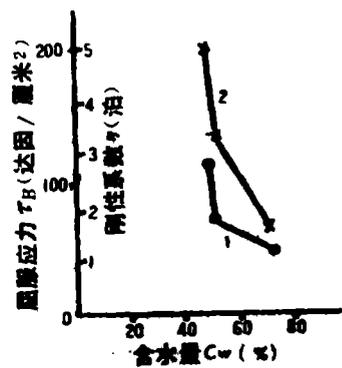


图7 大四子沟泥石流屈服应力( $\tau_B$ ), 刚性系数( $\eta$ )与固体重量百分比浓度( $C_w$ )关系图  
Fig. 7 Relation of  $\tau_B$ ,  $\eta$  and  $C_w$  (Da Wazi Ravine)

吨/立方米和1.047吨/立方米, 则此区间颗粒含量甚少, 因而在图上其 $\tau_B$ 和 $\eta$ 值都几乎为一水平线。

2. 同一条沟的样品, 当级配变化不大, 作容重与流变值关系图时, 其流变值将随容重增加而增加, 在容重1.70吨/立方米左右时, 增加尤巨。如图4所示。另外, 我们将一些级配相同的同一样品作加水试验以改变其含水量(亦即减少容重值), 随含水量的增加, 其流变值急剧地下降。图5为苏联阿尔玛杰克河资料<sup>[1]</sup>, 图6, 图7分别为查箐沟和大凹子沟资料。从图5, 6和7可以看出, 含水量稍增加一些, 则流变值成比例地下降。这种现象不仅在认识泥石流, 而且在泥石流工程防治上, 都有着重大的实际意义。

3. 颗粒级配对流变值的影响, 图8为蒋家沟等6组样品, 其中1, 2两组容重相同, 均为1.956吨/立方米, 其时都是在剔除了 $>20$ 毫米的颗粒后, 从级配图上可以看到样品1\*的粗颗粒成份, 即2—20毫米者约为75%, 而样品2\*者则为35%,  $\tau_B$ 和 $\eta$ 值前者约为后者之2倍。由此可以看到粗颗粒成份对流变值的影响。图8的3和4两组为查箐沟和蒋家沟的样品。查箐沟之粗颗粒含量多于蒋家沟之样品, 而细颗粒成份, 蒋家沟样品又多于查箐沟样品, 因而在较高容重时(如为2.229吨/立方米), 粗颗粒的作用十分显著, 它将会使 $\eta$ 值成10倍的增长, 其查箐沟 $\eta$ 值为207.06泊; 而蒋家沟 $\eta$ 值为15.95泊。相比之下,  $\tau_B$ 的反应远不如 $\eta$ 值这样灵敏。图8的5和6两组样品为达德沟和蒋家沟的对比样品, 达德沟样品中的粗颗粒虽不及蒋家沟样品粗颗粒的多, 但其 $<2$ 毫米成份多于蒋家沟的成份, 因而虽其容重相接近, 但粘度值和屈服值均大于蒋家沟的样品数值。由此, 我们在认识到粗颗粒影响时, 也不可以笼统地把粗颗粒作用绝对化, 而应需要把样品的全部级配来进行分析和研究。

通过实验研究, 我们认识到:

1. 一般地说来, 泥石流样品的流变特征值随样品中颗粒粒径的增加而呈非线性的增加(如图1—3所示)。

2. 同一级配样品, 容重增加时(亦即含水量减少时), 流变特征值亦呈非线性增加(如图4和7所示)。反之, 含水量增加其流变值亦急剧地减少。

3. 在容重相等时, 其流变值有较大的差别, 可以从颗粒级配上综合地估计其粗颗粒和含水量的影响(如图8所示)。

通过SHL-1型砂浆流变仪对含有 $<20$ 毫米泥石流浆体的实验, 使我们对泥石流流体流变特性有了更进一步的认识, 显然用其它类型流变仪只能作细颗粒(或以粘粒成份为主)的流变实验, 而得到的流变值在进行诸如阻力之计算时会带来较大的误差。当然, 由于泥石流组份十分复杂, 我们只能逐步地接近去认识其流变性质, 除了进行测试分析外, 尚应从理论上去探讨这种极不均质体的阻力特征。

此类流变仪用于泥石流粗颗粒实验在国内尚属首次, 经使用结果表明, 该仪器完全可以用于泥石流观测实验中。该仪器读数为直读式, 由于浆体的极不均匀, 读数时脉动甚大, 给读数带来困难, 尚有待改进。

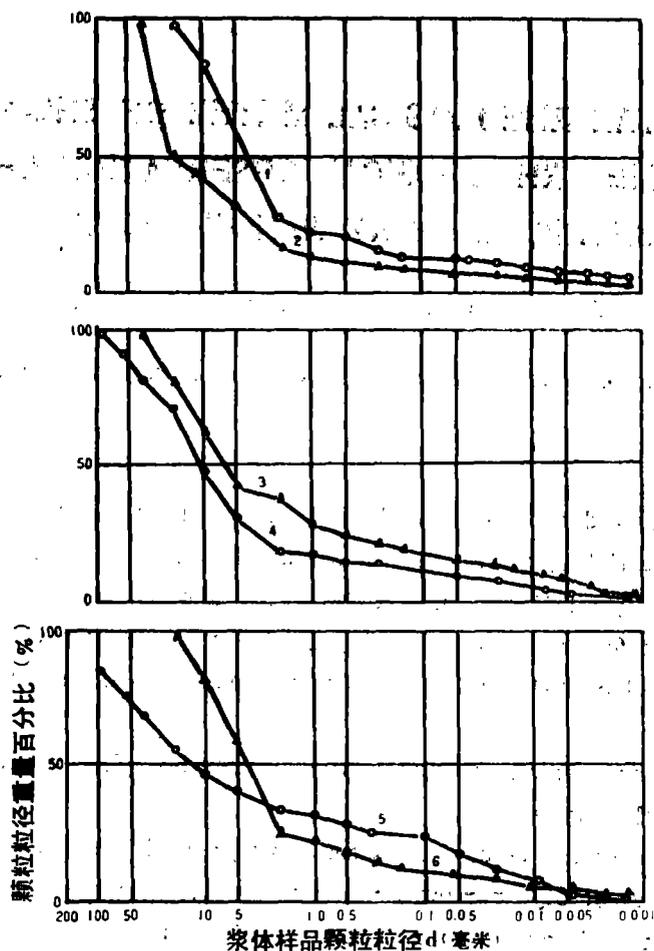


图 8 颗粒级配图及流变值

Fig. 8 Size distribution of debris flow and its rheological Value

1. 蒋家沟样品 ( $\gamma_c=1.956$  吨/立方米,  $\tau_B=400.3$  达因/平方厘米,  $\eta=19.55$  泊);
2. 蒋家沟样品 ( $\gamma_c=1.956$  吨/立方米,  $\tau_B=267.2$  达因/平方厘米,  $\eta=12.8$  泊);
3. 蒋家沟样品 ( $\gamma_c=2.224$  吨/立方米,  $\tau_B=908.7$  达因/平方厘米,  $\eta=15.9$  泊);
4. 查菁沟样品 ( $\gamma_c=2.229$  吨/立方米,  $\tau_B=3245.6$  达因/平方厘米,  $\eta=207.1$  泊);
5. 达德沟样品 ( $\gamma_c=1.93$  吨/立方米,  $\tau_B=2676$  达因/平方厘米,  $\eta=26.8$  泊);
6. 蒋家沟样品 ( $\gamma_c=1.956$  吨/立方米,  $\tau_B=400.3$  达因/平方厘米,  $\eta=19.5$  泊)

## 参 考 文 献

- [1] В. С. Степанов, 1982, Основные характеристики Селевых потоков и массы методы Измерения, с. 82.3.

## THE MORTAR RHEOLOGICAL METER OF SHL-1 MODEL IS APPLIED RHEOLOGICAL OBSERVATION OF DEBRIS FLOW AT JIANGJIA RAVINE

Zhang Shucheng Chen Jingri Ye Mingfu

(Chengdu Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

This paper introduced some rheological properties of slurry of containing the sand of bigger particles. SHL-1 model mortar rheological meter is developed by XiAn college of Metallurgy and Architecture and is type of rotating coaxial cylinder. The viscometer has a space of 45mm between the two cylinders, operating at a turning speed of 5-200 r. p. m. The biggest grain diameter is smaller than 20mm.

Since 1984, we performed twenty-nine of samples. The results of our experiments tell us the fact that:

1). The rheological value of the same samples will be greatly decreased as the grain diameter of big particles that have been piked off is reduced (Fig. 1-3). Fig. 4 may discover that rheological value greatly increased with increment of unit weight of debris flow.

2). The same sample will greatly reduce in its rheological value of containing water is increased (Fig. 5-7).

3). For different samples with the same unit weight, but different composition or different coarse-silt content, there will be quite an important difference between the value of  $\tau_0$  and  $n$ , as shown Fig 8-10.

4). The rheological characteristics of debris flow is subjected to the influence of content of coarse particles. It will be possible and necessary that explaining fluid properties of debris flow with approaches both rheological and mechanical.