

# 泥石流源地土抗剪强度指标 $\phi$ 、 $C$ 值 同含水量 $Q$ 的关系\*

刘雷激 朱平一 张 军

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

**提 要** 源地土抗剪强度指标  $\phi$ 、 $C$  值对泥石流的发生具有重要意义,为探索源地土抗剪强度与土体含水量关系而做的土体  $\phi$ 、 $C$  值随含水量变化的试验表明,在源地土含水量达到塑限以前, $\phi$  值随含水量的变化不是线性的,而是主要呈上凸和下凹两种曲线形式; $C$  值随含水量的变化基本上是单调上升的。

**关键词** 抗剪强度指标 含水量 内摩擦角 内聚力 塑限

泥石流是由地貌、降水以及固体物质补给等多种因素共同作用的结果。理论分析和野外观测表明,流域内斜坡上的土体在重力及水的作用下平衡遭到破坏,是泥石流形成的内在原因。其力学机理为,源地土受到剪切力和自身抗剪力的作用,当剪切力小于等于抗剪力时,源地土处于平衡状态;反之,当剪切力大于抗剪力时,源地土遭到破坏。剪切力的产生,主要是由于重力沿斜面的分力以及水的渗透压力的作用,抗剪力则是由土体自身的特性所决定的。而源地土自身的特性,主要由源地土抗剪强度的两个力学指标  $\phi$ 、 $C$  值所决定。 $\phi$ 、 $C$  值同土体含水量  $Q$  值具有非常密切的关系,对它们进行研究,可为泥石流发生力学模型的建立提供基础。

## 1 土体的破坏理论<sup>[1]</sup>

一般认为,源地土破坏遵循莫尔-库伦理论,即在源地土极限状态下,法线为  $n$  的面上的最大剪应力  $\tau_n$  与该面上的法向应力  $\sigma_n$  成某一确定的函数关系

$$\tau_n = f(\sigma_n) \quad (1)$$

上式的线性形式即是通常所说的库伦方程

$$\tau_n = \sigma_n \tan \phi + C \quad (2)$$

式中  $C$  和  $\phi$  分别为源地土内聚力和内摩擦角。

式(2)右边两项分别代表了源地土的摩擦强度分量和凝聚分量。源地土的内摩擦力包含两部分,一部分是由于土颗粒粗糙产生的表面摩擦力,另一部分是粗颗粒之间互相镶嵌、联锁作用产生的咬合力。而内聚力主要来源于土颗粒之间的电分子吸引力和土中天然胶结物质(如硅、铁物质和碳酸盐等)对土粒的胶结作用。

\* 中国科学院“泥石流-滑坡特别支持基金”资助项目的部分成果(项目编号:961202)。

收稿日期:1997-12-10。

## 2 含水量 $Q$ 与内摩擦角 $\phi$ 和内聚力 $C$ 的关系

根据直观经验和理论分析<sup>[2]</sup>,源地土的内摩擦角  $\phi$  和内聚力  $C$  同多种因素有关. 从单因子研究出发,我们仅仅考虑  $\phi$ 、 $C$  值同  $Q$  的关系. 为此我们在云南东川蒋家沟地区、雅安陆王沟、甘溪沟以及都江堰二王庙附近采集了共七份土样,进行含水量  $Q$  同  $\phi$ 、 $C$  的值比较研究(表 1). 源地土样品采自不同区域,皆为原状土,其天然含水量各不相同. 进行土工试验时,人工配制了三种不同的含水量,采用快剪方式进行  $\phi$ 、 $C$  值的测定. 根据理论分析,当源地土含水量增加时,水分在土粒表面形成润滑剂,使  $\phi$  值减小,同时使薄膜水变厚,甚至增加自由水,则粒间电分子力减弱,内聚力  $C$  降低. 但根据试验,源地土的  $\phi$ 、 $C$  值在含水量达到塑限以前,其变化不是简单的(图 1,2).

表 1 土工试验结果

Table 1 Geotechnical Test Results of Samples

土样	含水量(%)	塑限(%)	液限(%)	$\phi(^{\circ})$	$C(\text{KPa})$	粘粒含量(%)	图例符号
蒋家沟 1	18.9			29.2	13		
	13.9	18.9	31.2	27.1	12	10	●
	8.9			29.6	10		
蒋家沟 2	14.3			30.3	8		
	11.2	19.3	30.7	32.7	9	7	△
	9.3			30.5	8		
蒋家沟 3	10.1			33.8	4		
	9.7	14.7	18.1	35.7	2	2.5	×
	4.7			35.2	3		
雅安陆王沟	16.5			13.3	43		
	15.3	20.3	34.4	15.4	38	29	○
	10.3			16.6	25		
雅安甘溪沟	15.6			25.5	12		
	13.5	18.5	28.6	23.2	13	18	+
	8.5			26.7	7		
二王庙 1	18.9			13.1	54		
	13.2	18.2	33.2	14.9	42	32	□
	8.2			16.3	30		
二王庙 2	18.8			11.7	51		
	12.9	17.9	30.8	14.2	35	33	▽
	7.9			15.8	28		

从图中可以看出,  $\phi$  值在源地土含水量达到塑限以前(二王庙的土样有两个点过了塑限), 它随  $Q$  值的变化不是线性的, 而是呈现出多样性, 主要有上凸和下凹两种形态, 可用二次曲线  $\phi = k(aQ^2 + bQ + c)$  来表示,  $k, a, b, c$  为待定系数, 它们的确定, 需要根据土体本身的特性如土的结构、颗粒形状及级配、细粒含量、矿物成分、孔隙比等因素确定. 因试验条件所限, 没有对此进行具体研究. 从图表中可以看出, 同样是蒋家沟土样, 粘粒含量相对较多的 1 号样呈下凹形而粘粒含量相对较少的 2、3 号样呈上凸形; 而对于雅安样则相反, 粘粒含量相对较多的陆王沟样呈上凸形, 粘粒含量相对较少的甘溪沟样却呈下凹形, 可见

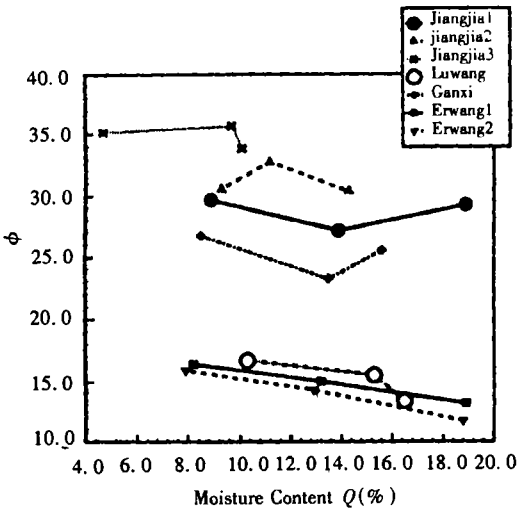


图 1 内摩擦角  $\phi$  随含水量  $Q$  的变化曲线

Fig. 1 Curve of  $\phi$ - $Q$

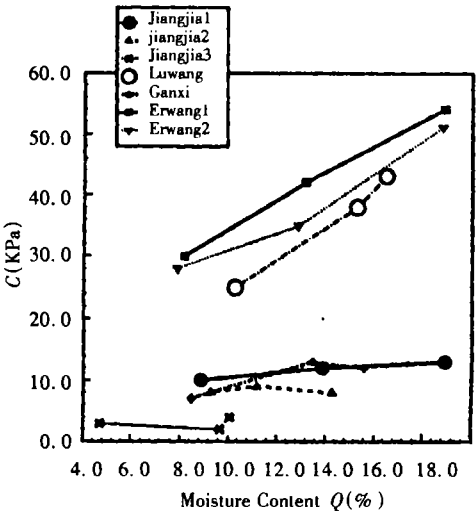


图 2 内聚力  $C$  随含水量  $Q$  的变化曲线

Fig. 2 Curve of  $C-Q$

粘粒含量不决定曲线的凹凸. 由于二次曲线  $\phi=k(aQ^2+bQ+c)$  的开口方向由  $a$  值确定(即  $a>0$  时开口向上, 下凹曲线;  $a<0$  时开口向下, 上凸曲线), 因此  $a$  值不由粘粒含量所决定. 参数  $b$  和  $c$  确定了曲线的顶点位置, 它们的取值, 需要更多的试验才能确定.

内聚力  $C$  值在含水量达到塑限以前, 它随  $Q$  值的变化基本上是单调上升的, 即  $C$  值随  $Q$  值的增加而增加, 可用直线方程  $C=kQ+b$  来表示, 但曲线的初始值  $b$  及曲线变化的快慢即曲线的斜率  $k$  的大小仍是受多种因素的影响. 因试验条件所限, 没有对次进行具体分析. 从图表中可以看出, 粘粒含量同内聚力  $C$  的关系非常密切. 粘粒含量高的二王庙样比粘粒含量较低的雅安样具有较大的  $C$  值, 而雅安样又比粘粒含量更低的蒋家沟样具有较大的  $C$  值, 并且  $C$  值基本上是随着粘粒含量的增加而增加的. 因而  $k$ 、 $b$  值都同粘粒含量有密切的关系.

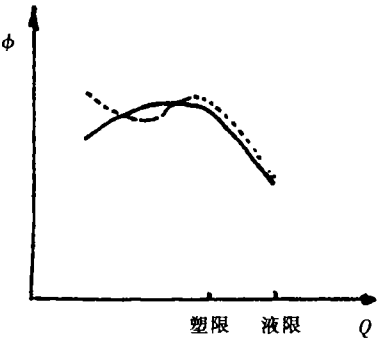


图 3  $\phi$ - $Q$  曲线概图

Fig. 3 Sketch Curve of  $\phi-Q$

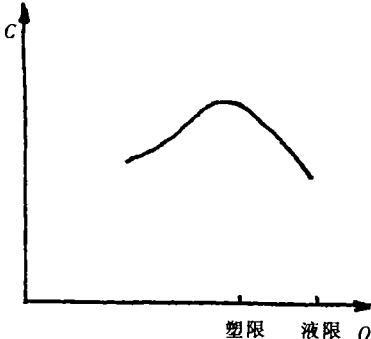


图 4  $C-Q$  曲线概图

Fig. 4 Sketch Curve of  $C-Q$

### 3 结 论

理论分析和试验数据分析表明,  $\phi$ 、 $C$  值与  $Q$  值的关系如图 3、4 所示. 需要说明的是, 所得出的关系仅是概略的、定性的, 精确的定量关系尚待进一步研究.

由于土体的抗剪强度受多种因素的影响, 仅对含水量的研究显然是不够的, 希望能够抛砖引玉, 对此问题进行更深一步的研究.

### 参 考 文 献

- [1] 黄文熙. 土的工程性质. 北京: 水利电力出版社, 1983. 242~244.
- [2] 陈希哲. 土力学地基基础. 北京: 清华大学出版社, 1982. 86~87.

**第一作者简介** 刘雷激, 男, 31 岁, 自然地理硕士, 中国科学院成都山地灾害与环境研究所助理研究员. 主要从事泥石流发生、动力学、冲击力等领域的研究, 已发表论文 12 篇.

## RELATIONSHIP BETWEEN THE SHEAR STRENGTH INDICES OF $\phi$ AND $C$ AND THE MOISTURE CONTENT $Q$

Liu Leiji Zhu Pingyi Zhan Jun

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences  
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

### Abstract

It is important for debris flow initiation research to study the shear strength indices of  $\phi$  and  $C$ . In order to determine the relation between the shear strength indices of  $\phi$  and  $C$  and the moisture content  $Q$ , some geotechnical tests are made. The results show that before the  $Q$  value reaches the plasticity index, the  $\phi$  value varies with convex and concave shapes as the  $Q$  value increases;  $C$  value increases as the  $Q$  value increases.

**Key words** shear strength indices, moisture content, internal friction angle, internal cohesive stress, plasticity index