

## 泥石流流体表面积浓度计算

陈英燕 赵惠林

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

**提 要** 表面积浓度  $C_a$  是一种新的表征泥石流流体特性的参数, 它定义为单位体积泥石流流体中固体颗粒表面积总和与下余的水的体积之比。它的量纲是  $1/\text{长度}$ 。  $C_a$  可根据泥石流流体容重及固体颗粒粒径分布曲线积分求得。应用这个参数可对泥石流加以分类, 也便于对地区、组成及浓度皆不同的泥石流流体进行比较等。

**关键词** 泥石流流体 表面积浓度 粒径分布 容重

泥石流工作者常用容重来表征泥石流体的特性。但由于泥石流流体中固体颗粒的组成千差万别, 因而同一容重的泥石流流体性质可能迥然不同, 容重无法表达固体颗粒的组成。再则泥沙统计参数, 如平均粒径、均方差及颗分曲线<sup>[1]</sup>, 虽能表达固体颗粒的粒径组成及分布, 但不能表示出泥石流流体中固体含量的多少。由此亟需寻求某些综合参数, 以表征泥石流流体中固体物质含量, 又能在一定程度上反映颗粒组成的总体特征。

通过多次试验、野外调查及反复探索, 提出了一种新的参数——表面积浓度  $C_a$ 。  $C_a$  的含义为: 在单位体积泥石流流体中, 固体颗粒表面积总和与下余的水的体积之比。它的量纲是  $1/\text{长度}$ 。这个参数既能在一定程度上表示出固体物质的浓度, 又能表示出固体颗粒粒径分布的某些综合特征。

探讨是从细颗粒开始的。从美国、日本、新西兰、中国等的实测资料看来, 粘性泥石流流体细颗粒含量: 粉砂级以下的占 10.0—18.6%, 粘土级以下的仅占 4.0—8.6%<sup>[1-4]</sup>, 但相应的泥石流流体却呈现非常粘稠的状态。更令人不解的是, 云南东川蒋家沟泥石流流体, 无论是稀性、过渡性还是粘性的, 粘粒绝对含量几乎都在 170—190 公斤/立方米范围内变动; 若以相对含量而论, 则粘性是最小的。细颗粒含量虽小, 但对泥石流流体作用却非常之大。

容重仅以重量来表征固体物质的作用。由于细颗粒含量小, 故容重往往易忽视细颗粒的作用。但若以表面积而论, 则细颗粒的表面积却非常之大, 同重量的 0.001 毫米的固体颗粒的表面积总和是 1 米直径的砾石表面积的  $10^6$  倍, 从而选择了表面积这个物理量来表达细颗粒的作用。颗粒的表面积作用在土壤学中研究得较多。有些泥石流学者也认识到表面积的重要作用, 但仅用来表述固体颗粒的特征, 而未与流体发生联系。

近 200 个泥石流样品的计算结果得知, 若以固体颗粒粒径  $D=1$  毫米作为粗细颗粒的分界值, 则所有样品的细颗粒表面积占固体颗粒表面积总和的 99% 以上, 细颗粒显然是固体颗粒表面积的决定性因素。那末选用什么指标来表达粗颗粒的作用呢? 研究结果表明, 粗颗粒对体积浓度有重要贡献<sup>[5]</sup>。因此便选用泥石流流体中水的体积作  $C_a$  的分母, 它的大小因总体积一定而能反映固体颗粒体积的大小, 间接地表达了粗颗粒的作用。

本文收稿日期: 1992-05-26.

需要强调的是,  $C_m$  没有沿袭传统概念, 即没有单纯采纳“单位体积泥石流流体中固体颗粒表面积总和”的概念, 由此才使  $C_m$  获得了生命力. 若沿袭传统概念就无法解释云南东川蒋家沟各类泥石流的差异, 因为各类泥石流流体固体颗粒表面积总和均约 2000/厘米.

表面积浓度对粗颗粒、细颗粒、水含量的变化是敏感的, 此已另文<sup>[6]</sup>叙述, 不再赘言.

## 一、表面积浓度的计算

泥石流流体表面积浓度  $C_m$  是根据泥石流流体容重  $\gamma_c$  (克重/立方厘米)、固体物质比重  $\gamma_s$ 、固体颗粒粒径分布曲线 (以下简称颗分曲线), 采用积分的办法求取的. 计算步骤如下.

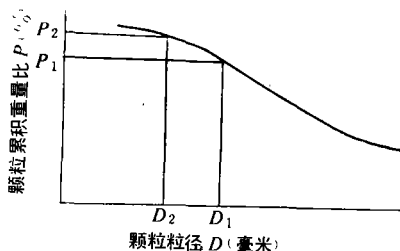
### (一) 求 100 克固体颗粒表面积总和 $A_{100}$

设固体颗粒都是球体, 由此固体颗粒粒径 (以下简称粒径) 即为球体直径  $D$ . 于是

#### 1. 求各粒径组的表面积总和 $\Delta S$

##### 1) 求各粒径组的平均粒径 $D_m$

在颗分曲线上取尽量近的两点, 粒径从  $D_1$  到  $D_2$ , 颗粒累积重量比从  $P_1$  到  $P_2$ , 就以平均粒径  $D_m = (D_1 + D_2)/2$  作为  $\Delta P = P_2 - P_1$  重量组的代表粒径 (附图).



附图 表面积积分示意图

Figure Sketch of surface area integra

##### 2) 求各粒径组的颗粒个数 $n$

由  $\gamma_s$  及球体体积  $(1/6)\pi D_m^3$ , 得

$$n = \Delta P / [(1/6)\pi D_m^3 \gamma_s]. \quad (1)$$

#### 3) 求 $\Delta S$

由球体表面积  $S = \pi D^2$  及  $n$ , 得

$$\Delta S = \pi D_m^2 n = (6 \Delta P) / (D_m \gamma_s). \quad (2)$$

#### 2. 求 $A_{100}$

当  $\Delta P \rightarrow 0$  时, 将  $\Delta S$  沿整个颗分曲线积分, 即可得

$$A_{100} = \int_{\Delta P=0} \Delta S = \int_0^{100} 6 / (D \gamma_s) dP. \quad (3)$$

设固体颗粒均为球体, 会给计算带来误差. 为消除误差可引入形状修正系数  $K$ . 鉴于球体是同体积固体颗粒中表面积最小的几何体, 故  $K \geq 1$ .  $K$  以实测各种颗粒的表面积来求得. 在粗略情况下, 可设  $K=1$ . 100 克固体颗粒表面积总和就为  $K A_{100}$ .

### (二) 由 $\gamma_c$ 及 $K A_{100}$ 求 $C_m$

#### 1. 由 $\gamma_c, \gamma_s$ 得固体颗粒体积浓度

$$C_v = (\gamma_c - 1) / (\gamma_s - 1). \quad (4)$$

#### 2. 求单位体积泥石流流体中水的体积

$$C_w = 1 - C_v = (\gamma_s - \gamma_c) / (\gamma_s - 1). \quad (5)$$

#### 3. 求单位体积泥石流流体中固体颗粒含量

$$S = C_v \gamma_s = (\gamma_c - 1) \gamma_s / (\gamma_s - 1). \quad (6)$$

#### 4. 求单位体积泥石流流体中固体颗粒表面积总和

$$A = (K A_{100}/100) S = [K A_{100} \gamma_s(\gamma_c - 1)]/[100(\gamma_s - 1)]. \quad (7)$$

5. 求  $C_m$

其是  $A$  与  $C_v$  之比, 即

$$C_m = A/C_v = [K A_{100} \gamma_s(\gamma_c - 1)]/[100(\gamma_s - \gamma_c)]. \quad (8)$$

据此编制了计算程序, 进行了各种泥石流流体表面积浓度计算.

## 二、表面积浓度的应用

表面积浓度用于泥石流研究中, 获得的效果较为满意, 并便于解释某些泥石流现象.

### (一) 作为泥石流分类的一个依据

如对云南东川蒋家沟泥石流, 可初步划分:  $C_m > 3500$ /厘米为粘性泥石流,  $2500 - 3500$ /厘米为过渡性泥石流,  $< 2500$ /厘米为稀性泥石流.

### (二) 便于对比不同的泥石流流体

$C_m$  在这方面优于容重. 如云南东川蒋家沟泥石流流体及大盈江泥石流流体同是容重  $\gamma_c = 2.2$  克/立方厘米, 前者则是明显的粘性泥石流运动状态<sup>[1]</sup>, 后者则呈紊动剧烈无阵流及层流的流态. 经计算, 此种情况下的蒋家沟泥石流流体  $C_m$  为  $5000 - 7000$ /厘米, 大盈江为  $2800 - 3000$ /厘米. 又如甘肃庆阳南小河沟泥石流流体  $\gamma_c = 1.69$  克/立方厘米, 及天水吕二沟为  $1.77$  克/立方厘米<sup>[7]</sup>, 这虽比大盈江泥石流流体  $\gamma_c$  要小得多, 但却呈塑性移动, 属典型的粘性泥石流运动状态; 据计算, 两者的  $C_m$  分别为  $6920$ /厘米及  $9000$ /厘米.

### (三) 可解释泥石流试验中出现的某些现象

在泥石流浆体流变试验中, 发现粘性浆体具有时间效应, 且样品时间效应的临界体积浓度  $C_v$  不同. 如成昆铁路北段普雄车站坡面泥石流浆体的  $C_v = 0.3$ <sup>[8]</sup>, 四川西昌蒋家沟为  $0.4$ . 这是因为前者  $C_v$  虽低, 但  $C_m = 5151$ /厘米; 后者  $C_v$  虽高,  $C_m$  仅  $3031$ /厘米.

又如西蒙斯所做的三种不同的泥沙在膨润土及高岭土的浑水中的沉降试验<sup>[9]</sup> 结果表明, 在膨润土中的沉速要小得多, 膨润土浑水粘滞性要大得多. 这原因在于: 同体积浓度时, 膨润土  $C_m$  是高岭土  $C_m$  的  $10$  多倍.

在汉普顿所做的细颗粒的流变试验中<sup>[10]</sup>, 流变参数除随浓度不同而异外, 还与所含粘土矿物成分有很大关系. 事实上除与化学组成有关外, 还与表面积浓度有很大关系, 因同浓度蒙脱土浆体的  $C_m$  比高岭土浆体的  $C_m$  要大  $1 - 2$  个数量级.

此外用  $C_m$  来解释其他一些泥石流现象, 也都获得了较好的效果. 这个参数不仅可用在泥石流中, 还可用于水利、固体颗粒的管道输送、石油钻井泥浆及地质部门等.

## 参 考 文 献

- [1] 吴积善等, 1990, 云南蒋家沟泥石流观测研究, 科学出版社, 第99—118页.
- [2] Santi, P. M., Mathewson, C. C., 1981, What happens between the scar and the fan? The behavior of a debris flow in motion. In: 24th Annual Symposium on Engineer Geology and Solid Engineering, Idaho, Department of Transportation, Boise ID, 1—16.
- [3] Pierson, T. C., 1981, Dominant particle support mechanisms in debris flows at Mt. Thomas, New Zealand, and implications for flow mobility. *Sedimentology*, 28(1), 49—60.
- [4] Takahashi, T., 1981, Estimation of potential debris flows and their hazardous, soft countermeasures for a disaster.

- Journal of Natural Disaster Science*, 3(1), 57—89.
- [5] 陈英燕、赵惠林, 1990, 粗颗粒对粘性泥石流流变特性的影响, 第三届全国多相流、非牛顿流、物理化学流学术会议论文摘要选集, 杭州大学出版社, 第265—266页.
- [6] Chen Yingyan, Zhao Huilin, 1992, A synthetic parameter expressing characteristics of debris flow. International Symposium of Interpraevent on Protection of Habitat against Floods, Debris Flows and Avalanches, Bern, Tagungspublikation, Band 2, 297—307.
- [7] 中国科学院兰州冰川冻土研究所、甘肃省交通科学研究所, 1982, 甘肃泥石流, 人民交通出版社, 第52页.
- [8] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 1989, 泥石流研究与防治, 四川科学技术出版社, 第186页.
- [9] 钱宁、万兆惠, 1983, 泥沙运动力学, 科学出版社, 第66, 20页.
- [10] Hampton, M. A., 1975, Competence of fine grained debris flow. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45(4), 834—844.

## CALCULATION ON SURFACE AREA CONCENTRATION OF DEBRIS FLOW BODY

Chen Yingyan Zhao Huilin

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

### Abstract

Surface area concentration  $C_{sa}$  is a new parameter for indicating the characteristics of debris flow. It is defined the ratio of the total surface area of solid grains in a unit volume of debris flow to water volume contained in this unit volume. Its dimension is  $1/L$ . This parameter can comprehensively reflect the concentration and solid grain composition in debris flow.

$C_{sa}$  can be obtained by integral method with the unit weight  $\gamma_s$  of debris flow and particle size distribution curve. Whole calculation may be done on two steps. At first,  $A_{100}$ , the sum total of surface area of all solid particles in weight of 100g, is calculated by integral along whole particle size distribution curve, i. e.  $A_{100} = \int_0^{100} 6/(D\gamma_s) dP$ , where  $D$  is grain diameter,  $P$  is weight accumulated percent,  $\gamma_s$  is the special gravity of solid particle. Secondly, surface area concentration  $C_{sa} = K A_{100} \gamma_s (\gamma_s - 1) / [100(\gamma_s - \gamma_w)]$ , here  $K$  is the coefficient of shape correction.

$C_{sa}$  is able to be applied in classification of debris flow. For example at Jiangjia Ravine, Dongchuan, Yunnan, China, when  $C_{sa} < 2,500/\text{cm}$ , the debris flow is non-viscous,  $C_{sa} = 2,500 - 3,500/\text{cm}$  is transitional and  $C_{sa} > 3,500/\text{cm}$  is viscous. And using this parameter, debris flows with different concentrations, compositions or in diverse regions can be conveniently compared. For instance, debris flows in three regions, their  $\gamma_s$  were correspondently 2.20, 2.20, 1.69 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), the first and the third appeared very viscous, but the second almost wasn't viscous, because the first and the third  $C_{sa}$  are about 7,000/cm, and the second  $C_{sa}$  is near 3,000/cm. Some experimental phenomena are also able to be explained by adopting  $C_{sa}$ , and explanation for those phenomena is difficult if applying  $\gamma_s$ . Such as, the difference of setting velocity of sediment in bentonite and kaolin slurry with the same volume concentration; the change of critical volume concentration  $C_v$  in rheological experiment. This  $C_v$  means that slurry rheological behaviour appears time-dependent effect when slurry concentration exceeds this  $C_v$ , and so on.

**Key words** debris flow body, surface area concentration, particle size distribution, unit weight