

泥石流颗粒级配倒置浅释*

朱 鵬 程

(水利水电科学研究院)

提 要 泥石流固体颗粒级配倒置,影响流速垂线分布、流态与冲击力,是一个十分重要的问题。本文根据力学及流变学对泥石流固体颗粒级配倒置进行了解释,对于泥石流运动机理的认识是有裨益的。

关键词 泥石流 级配倒置 流变

泥石流的前锋(俗称龙头),不仅聚集有大量漂石,上层石块多于下层,且粒径亦大于下层,即所谓“颗粒级配倒置”或称“反粒径”现象。颗粒级配的倒置,不仅影响到泥石流的冲击力,也影响到地声、垂线流速分布,以至泥石流的运动状态(塞流或颗粒流),故而对泥石流固体颗粒倒置现象的内在机理,应有充分的认识。

一、概 述

所谓颗粒级配倒置,一般表现为:1. 岩屑成分由底向上增加;2. 岩屑的平均粒径、最大粒径和代表粒径由底向上增大。任何颗粒级配倒置形成的解释,都不应违背泥石流运动的理论。

在泥石流运动过程中,泥石流的作用力 τ 必须克服基质的粘性力 C ,颗粒内摩阻力 $\delta_n \tan \varphi$ 及粘性阻力 $\eta(du/dy)$ (动力粘性及滑流粘性)三种阻力,即

$$\tau = C + \delta_n \tan \varphi + \eta(du/dy), \quad (1)$$

在恒定流的条件下, $C + \delta_n \tan \varphi$ 可作为常数,故 $\tau = K + du/dy$, K 为屈服切应力,主要是含水量、泥石流基质的矿物性质和固体颗粒组成的函数。当 $C < K$,泥石流会形成没有相对运动的塞流,或称核流。

M. A. Hampton(1975)推导得到泥石流能承载的粒径 D 的近似关系

$$D = 8.8K/g(\rho_s - \rho_m), \quad (2)$$

式中 D 为泥石流所能承载的最大岩屑的球状直径; ρ_s 及 ρ_m 分别为岩屑及基质的质量密度。采用公式(2)形式的关系式很多,仅是系数有所差别,显然这类公式仅适用于Bingham屈服切应力起主要作用,以高含沙量浆体为基质的泥石流。

* 本文主要取材于Naypor, M. A., 1980, The origin of inverse grading in muddy debris flow deposits——A review, *Journal of Sedimentary Petrology*, 50(4), 1111—1116.

本文改回日期: 1992-06-20.

二、较早的级配倒置机理的解释

(一)离散力 P

由于固体颗粒互相碰撞而产生的离散力 P , 可用之于解释泥石流级配的倒置现象, 惯性作用的流动, R. A. Bagnold (1954), 把 P 与粒径 D 、垂线流速梯度 (du/dy) 的关系, 表达为 $P \propto D^2 (du/dy)^2$, 显然大颗粒受到的离散力大, 更因为颗粒顶部的 du/dy 小于底部的 du/dy , 故而受到上托的离散力。

对于粘性作用为主的流动, 根据 Bagnold 的理论 with 试验结果, P 与颗粒粒径无关, 当然不会产生颗粒级配倒置。更因泥浆基质的屈服切应力和粘滞力, 使颗粒互相碰撞大大减弱, 离散力将不是支持大颗粒的重要作用力。

(二)动力筛选

Bagnold 颗粒级配倒置机理的解释, 可争议的论点有二: 1. 他的数学分析与每组试验, 都是用同一粒径的固体颗粒, 不一定适用于大小不一的混合固体颗粒; 2. 他的理论是根据中性悬浮颗粒的试验而成立的。因此 G. A. Middleton (1976) 提出了另一种机理, 即所谓“动力筛选”。就是说, 在泥石流运动过程中, 受到扰动, 细颗粒通过较大颗粒的骨架间隙而下沉, 并排挤较大颗粒向上位移。这种机理仅适用于无粘性力的沙石泥石流。

(三)床面的作用

床面的作用, 促使固体颗粒移离床面。邻近床面的颗粒, 有更多的机率与床面碰撞后反射到主流区。此外, 床面阻碍了固体颗粒运动, 产生了流体与固体颗粒之间的相对流速, 因而产生了使固体颗粒与床面分离的作用力。如果固体颗粒在流速场中滚动, 则因 Magnus 作用而产生的上举力更为显著。床面的作用只能说明, 粗颗粒能离开床面运动, 还不足以说明粗颗粒能离散到水流上层。

早在 1971 年, M. S. Smolusowski 的理论分析说明, 较大的颗粒受到更多的被细颗粒撞击的频率。T. Takahashi (1980) 通过水流中含有二种大、小不同颗粒的力学分析与试验, 也证实了较大颗粒向上位移, 较细颗粒向下位移。显然大颗粒漂石飞跃出水面, 是较小的沙石撞击较大漂石的结果, 除此而外是难以解释的, 至于较大固体颗粒聚集在水面, 动力筛选之说, 也是可以接受的。

三、泥浆流变特性与级配倒置

(一)应变—软化和敏感度

潮湿的尚未固结的粘土, 尤其是蒙脱土, 一经变形, 强度(屈服剪应力)就要降低, 这是因为粘土颗粒之间微弱的凝结力遭到了破坏, 强度峰值 K_{max} 与残存强度 K' 之比值即所谓粘土的敏感度。

在一定的范围内, 粘土强度的降低与总的应变变量有关。在泥石流的剪切运动层上, 往往覆盖着明显的塞流; 所以泥石流基质的剪切应变向塞流层递减, 而其强度 K 与承载固

体颗粒的能力向塞流层递增。在应变大的流动条件下,基质的强度可以达到两个定值,在临底部份为 K' ,在塞流中为 K_{\max} 。在剪切运动层中,大颗粒岩屑分离向上到承载能力强的流层,流层中的承载能力梯度,造成颗粒级配倒置现象。所以常见在底层岩屑颗粒较细,较细颗粒百分数也大。但是由于塞流与剪切层的界面随时而变,以至于有时颗粒级配倒置现象不明显。

(二)浮力的降低

密实的粒状泥沙颗粒之间能作相对剪切运动,必先有稀释过程,稀释降低了泥石流基质的密度,也降低了泥石流底层承载颗粒的能力。这种效应对于以泥浆为基质的泥石流可能是较小的,但是以细沙粒组成的基质,效应较为显著。

(三)结构与强度的非均匀性

在流动过程中,剪切作用产生了泥浆基质的结构平面,在剪切平面,内摩阻角 φ ,要降低 $1^\circ-10^\circ$ 。尤其是新淤的泥浆, φ 很小。强度的降低,也降低了承载粗颗粒的能力。

四、数值估算

对于颗粒级配倒置的泥石流,按公式 $D=8.8K/(r_s-r)$,来计算颗粒最粗层与相应于底层最大颗粒的强度 K ,两层强度之比,即敏感度。这一种估算,基于两种假说:1. 颗粒级配的倒置完全由于敏感度;2. 上下两层的岩屑,属于同一密度与形状(球形)。在见到的文献中,倒置级配的敏感度为 3—16,与试验结果比较符合。低的试验数据,属于强度弱的流动的泥浆,含水量 60—80%。较高的数据,属于含水量较小,更接近于天然含有较大岩屑及砾石的泥石流。倘使造成级配倒置的其他流变因素同时起作用,则敏感度估算值应予降低。如由于基质的粘性高,使大颗粒岩屑得不到充分的分选,也可以加大敏感度的估算值。

五、颗粒级配倒置机理的应用

由于各种机理,如动力筛选,离散压力,以及流变因素等等,造成不同基质粒径级配倒置现象。

对于泥浆流变机制,可应用于空气中及水下的泥石流,也可用于以泥浆为基质的重力流。因为只要有很小的粘土含量,就可以使泥石流具有屈服应力强度。含有 2% 粘土的基质,就能承载细沙;19% 的粘土就能承载粗沙。因此流变的机制,能用以解释:1. 泥浆为基质的颗粒流;2. 淤积物中含有少量粘土,表面无粘土的淤积物;3. 其他分选很差的淤积物(如火山溶岩泥石流)等颗粒级配倒置现象。

关于敏感度机制的解释,适用于层移运动的泥石流。剪切运动所形成的承载能力的分层,并不因剪切运动而受到破坏。即使泥石流的沙源是混合沙,如岩脚下的堆积物,或坍塌物质,水沙俱下,也可以形成颗粒级配倒置的泥石流。但是水流到达以前,泥浆与岩屑已经混和的材料,如经掺混的砾石与泥浆的河床质,粘土泥浆的结构已遭破坏,在流动过程中,已不可能进一步减弱砾石与泥浆之间的强度,所以颗粒级配倒置也不会形成。

由于离散力而形成的颗粒级配倒置,表明泥石流具有高强度剪切应力,河床需要有陡的比降。

AN INTERPRETATION ON INVERSE GRADING OF SOLID PARTICLES IN DEBRIS FLOW

Zhu Pengcheng

(*Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research*)

Abstract

The inverse grading of solid particles in debris flow effects the velocity distribution along the vertical the state of motion and the impulse on structure is an important problem. It's mechanism is interpreted by mechanics and rheology in this paper which is useful in the understanding of mechanism of motion of debris flow.

Key words debris flow, inverse grading, rheology

四川省科学探险协会成立

四川省科学探险协会于1992年6月13日在成都召开了成立大会,来自成都、北京、云南等地的代表近60人出席了会议。

大会讨论并通过了协会章程,民主选举和产生了首届理事和常务理事。该协会的主要任务是在四川境内及长江上游,青藏高原、横断山区开展国际合作科学考察、探险、探奇、探秘活动,如山地科学探险,穿越或进入环境险恶的无人区的科学探险;高原、冰川、原始森林、沼泽、激流、漂流、洞穴等特殊环境的科学探险及高寒与险恶地形的飞行与滑翔,跳伞与热气球,以及从事各种类型,不同规模,专题或综合性的科学考察。个体会员和团体会员中有一批多年致力于自然科学、社会科学、人文科学等各方面的专家,可与外国学者合作研究项目,旨在立足本区得天独厚的自然环境,通过人与自然的搏斗,探索 and 认识大自然的奥秘,促进人类与大自然的协调发展、生态环境的平衡,促进本区自然资源的合理开发利用,增进四川与各国间的友好往来与科技交流。

协会成立后,将自觉遵守本会章程,积极开展多方面的工作,充分发挥本区科学考察,科学探险资源的巨大的优势,为发展科学探险事业作出应有的贡献。

中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 秦保方