

稀性泥石流容重计算的改进方法

余斌

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 稀性泥石流的沉积样的粒度不能反映稀性泥石流的实际粒度, 过渡(亚粘性)泥石流的沉积样的粒度也不能完全反映亚粘性泥石流的实际粒度。通过分析稀性泥石流和亚粘性泥石流沉积样中的粗颗粒和细颗粒组成的百分比与稀性泥石流和亚粘性泥石流的实际粒度分布关系, 得出稀性泥石流以细颗粒为主, $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比比较小, 大多数稀性泥石流的沉积样中这部分粗颗粒百分含量被夸大。去掉稀性泥石流沉积样中 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒可以修正被夸大的粗颗粒比例, 由此粒度分布和修正公式计算的稀性泥石流容重与实际容重吻合较好。去掉亚粘性泥石流沉积样中 $> 20\text{ mm}$ 的粗颗粒, 可以修正亚粘性泥石流的粒度分布, 由此粒度分布计算的亚粘性泥石流容重与实际容重吻合更好。

关键词: 稀性泥石流; 改进; 容重; 粒度分布; 百分含量

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

泥石流的分类中最常见和实用的方法是以容重划分泥石流类型: 粘性泥石流和稀性泥石流, 而粘性泥石流又可细分为粘性泥石流和过渡(亚粘性)泥石流^[1]。粘性泥石流的沉积属分选极差的混杂沉积; 稀性泥石流具有泥沙的沉积分选; 过渡(亚粘性)泥石流介于粘性泥石流和稀性泥石流之间, 其沉积特征也介于两者之间, 属弱分选沉积。在对历史上发生的稀性泥石流调查中, 根据稀性泥石流沉积样计算稀性泥石流容重时有较大的误差^[1-3], 这类误差主要是由于稀性泥石流有泥沙的沉积分选性, 在取样中不能得到完整的样品颗粒组成造成的。仅根据稀性泥石流的沉积特征确定稀性泥石流的类型, 也只能确定稀性泥石流的容重范围在 $1.50 \sim 1.79\text{ g/cm}^3$ ^[1], 远不能满足稀性泥石流容重参数使用的需要, 特别是在泥石流防治工程中, 对稀性泥石流容重参数的要求精度较高。

根据泥石流沉积物计算泥石流容重的计算方法对粘性泥石流有较好的结果和适用性^[1], 但该公式对稀性泥石流的计算仅在观测样的计算中有很好的

结果, 对历史上发生的稀性泥石流的沉积样计算时偏差较大。本文在研究了稀性泥石流的泥沙沉积分选特性后, 对文献^[1]中的泥石流容重计算公式作出了改进, 并得到了较好的稀性泥石流沉积样的容重计算结果。在稀性泥石流的容重改进计算的同时, 提出了弱分选沉积的过渡(亚粘性)泥石流的容重计算改进方法。

1 稀性泥石流的沉积分选性

对历史上发生的泥石流调查, 主要根据泥石流沉积物特征判定泥石流的类型。泥石流沉积物中包括粗颗粒和细颗粒, 其中粗颗粒的分布特征反映了泥石流的沉积特征, 也是判定泥石流类型的依据。粘性泥石流的沉积构造主要有环状流线构造、反向粒级层理、反粒级~混杂构造和楔状尖灭体构造等整体搬运和堆积特征; 过渡(亚粘性)泥石流的沉积构造主要有环状流线构造、反向粒级层理、叠瓦~直立构造等层流和扰动并存的搬运和堆积特征; 稀

收稿日期 (Received date): 2008-02-23; 改回日期 (Accepted): 2008-10-20.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金资助项目 (40871054) 资助项目。[This research is supported by China National Science Foundation (40871054).]

作者简介 (Biography): 余斌 (1966-), 男, 成都理工大学教授, 主要从事泥石流和浊流的研究。[Yu Bin, male, born in 1966, professor of Chengdu University of Technology, mainly engaged in debris flows and turbidity currents.]

性泥石流的沉积构造主要有石线构造、叠瓦~直立构造、砾石支撑~叠置构造和块状表粒层等紊动和扰动的搬运和堆积特征^[4]。粘性泥石流的整体搬运和堆积特征使粘性泥石流的沉积样保存完好,能反映泥石流的整体级配,可以通过沉积样的颗粒组成计算泥石流的容重^[1]

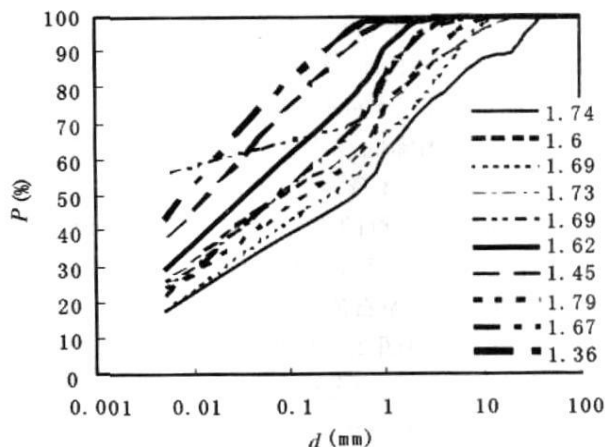
$$\gamma_D = P_{05}^{0.35} P_2 \gamma_V + \gamma_0 \quad (1)$$

式中 γ_D 为泥石流容重, g/cm^3 ; P_{05} 为 $< 0.05 \text{ mm}$ 的细颗粒的百分含量(小数表示); P_2 为 $> 2 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分含量(小数表示); γ_V 为粘性泥石流的最小容重, $= 2.00 \text{ g}/\text{cm}^3$; γ_0 为泥石流的最小容重, $= 1.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

公式(1)对所有泥石流类型的观测样计算结果很好,对粘性泥石流的沉积样容重计算有较好的结果和适用性,对过渡(亚粘性)泥石流的沉积样容重计算稍差,对稀性泥石流的沉积样容重计算偏差较大^[1]。

稀性泥石流的沉积分选特征使泥石流的粗颗粒沉积在泥石流扇的上游或谷地中,细颗粒还继续运动到泥石流扇的下游或汇入主河道,稀性泥石流的沉积样的粒度不能反映泥石流的整体级配^[4,5],分选后的稀性泥石流的粒度与其真实的粒度有差别,因此用这样的稀性泥石流的沉积样的粒度分布计算的稀性泥石流容重误差较大^[1]。而稀性泥石流观测样不受沉积分选的影响,因此观测样的粒度就是其真实的粒度,以此计算的稀性泥石流容重误差很小^[1]。

图 1 为云南省东川蒋家沟 1998 年稀性泥石流观测样颗粒分布图。图中除一个样(容重 $1.74 \text{ g}/\text{cm}^3$)外,其余的稀性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比几乎都 $< 10\%$,而高含沙洪水(容重 1.36 和 $1.45 \text{ g}/\text{cm}^3$)则为 0。按照粗颗粒为 $> 2 \text{ mm}$,细颗粒为 $< 0.05 \text{ mm}$ ^[1,6],稀性泥石流中 $> 2 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $0.3\% \sim 28.5\%$ 间,而 $> 0.05 \text{ mm}$ 的细颗粒的百分比在 $34.5\% \sim 63.3\%$ 间(均不包括高含沙洪水)。蒋家沟泥石流的取样是在泥石流的流通区,尽管稀性泥石流也受其沉积分选的影响有部分粗大颗粒在取样前已沉积,但稀性泥石流的颗粒组成仍然能说明稀性泥石流是以细颗粒为主,这样的结论同样适用于其他地区的泥石流,如云南省大盈江地区的浑水沟稀性泥石流中 $> 2 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $5.8\% \sim 36\%$ 间,而 $< 0.05 \text{ mm}$ 的细颗粒的百分比在 $12.4\% \sim 46.1\%$ 间^[7]。

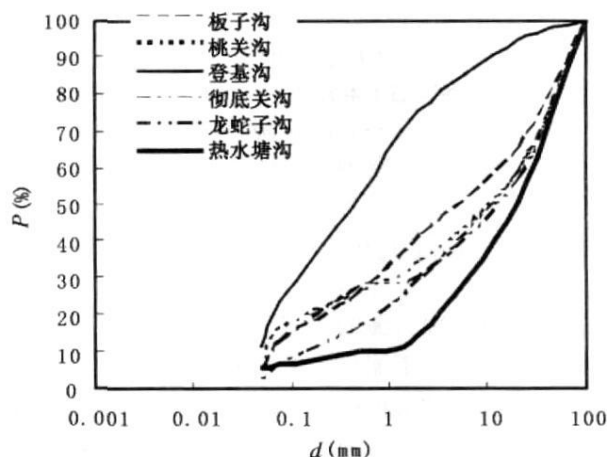


(图例为稀性泥石流(高含沙洪水)的容重(g/cm^3))

图 1 蒋家沟稀性泥石流颗粒分布

Fig. 1 The particle distributions of less viscosity debris flows in Jiangjia Gully

图 2 为稀性泥石流沉积样的颗粒分布图。图中的 6 个稀性泥石流样存在两个明显不同的颗粒分布特征:一个以细颗粒为主, $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比为 15.5% ,以这个稀性泥石流沉积样的颗粒分布按公式(1)计算的容重值与野外调查值吻合较好;其他部分以粗颗粒为主, $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $42.6\% \sim 82\%$ 间,以这些稀性泥石流沉积样的颗粒分布按公式(1)计算的容重值与野外调查值误差较大,且 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比越大,计算值误差越大。

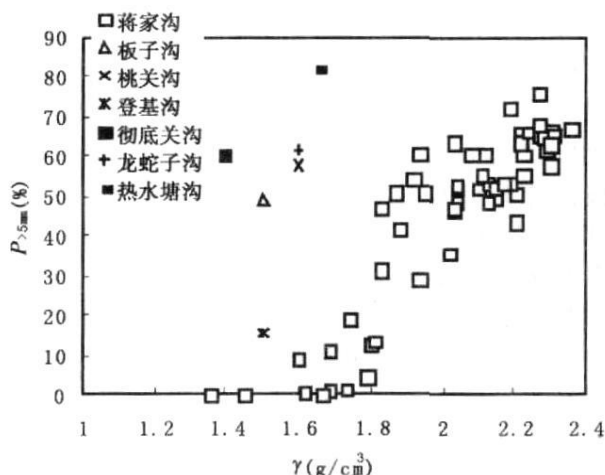


(图例中稀性泥石流粒度资料来源:板子沟、桃关沟、登基沟和彻底关沟:文献^[8];龙蛇子沟和热水塘沟:文献^[9])

图 2 稀性泥石流沉积样的颗粒分布

Fig. 2 The particle distributions of deposit samples of less viscosity debris flows

图 3 为云南省东川蒋家沟 1998 年泥石流和稀性泥石流沉积样中的 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比图。蒋家沟泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比随泥石流容重的降低而降低, 粘性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $35.8\% \sim 75.9\%$ 间, 亚粘性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $12.3\% \sim 60.6\%$ 间, 稀性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $0 \sim 18.5\%$ 间。尽管泥石流的粗颗粒百分含量因地区不同存在差异, 但图 2 中以粗颗粒为主的沉积样中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比在 $42.6\% \sim 82\%$ 间, 大于蒋家沟粘性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比, 远大于蒋家沟稀性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比, 仍然能说明稀性泥石流沉积样中, 因为稀性泥石流的沉积分选作用可以使 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分含量高于实际值, 甚至于高出很多。



(图例中稀性泥石流沉积样资料来源同图 2)

图 3 稀性泥石流中的 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒百分比

Fig. 3 The percentages of coarse particle ($> 5 \text{ mm}$) in less viscosity debris flow

2 稀性泥石流的容重计算

由于稀性泥石流的沉积分选作用, 稀性泥石流的沉积样的粒度不能反映泥石流的整体级配, 因此用稀性泥石流的沉积样的粒度分布计算的泥石流容重误差较大。要使用稀性泥石流的沉积样的粒度分布正确地计算稀性泥石流的容重必须对沉积样的粒度分布做出修正, 使修正后的沉积样的粒度基本能反映稀性泥石流的实际粒度。

稀性泥石流的沉积分选作用使稀性泥石流沉积样的真实粒度被改变, 如图 2 中的沉积样: 以细颗粒

为主粗颗粒很少, 或以粗颗粒为主细颗粒很少, 都不能将稀性泥石流的整体颗粒组成完整保留下来, 有部分粒度被夸大甚至于被严重夸大。对沉积样的粒度分布的修正需要去除被夸大的粒度部分, 使修正后的粒度分布接近真实的粒度分布。稀性泥石流是以细颗粒为主, 如云南省东川蒋家沟稀性泥石流中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比几乎都 $< 10\%$, 因此以细颗粒为主的沉积样较以粗颗粒为主的沉积样更接近稀性泥石流的真实级配, 而以粗颗粒为主的沉积样显然夸大了粗颗粒的比例, 需要对这部分被夸大的粗颗粒进行修正。去掉稀性泥石流沉积样中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒, 可以修正被夸大的粗颗粒比例: 以粗颗粒为主的沉积样在去掉 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒后, 粒度分布以细颗粒为主; 以细颗粒为主的沉积样在去掉 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒后, 粒度分布只有很少的改变, 仍然以细颗粒为主。

实际的稀性泥石流的颗粒组成中 $> 5 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比较小, 因此去掉这部分粗颗粒后对稀性泥石流实际的颗粒组成影响不大, 但由此得到的稀性泥石流的粒度分布与稀性泥石流实际的粒度分布还是有差别, 由此粒度分布和公式 (1) 计算的稀性泥石流的容重还是要受去掉粗颗粒部分的影响, 在计算稀性泥石流的容重 (沉积样) 时还需要对公式 (1) 进行修正

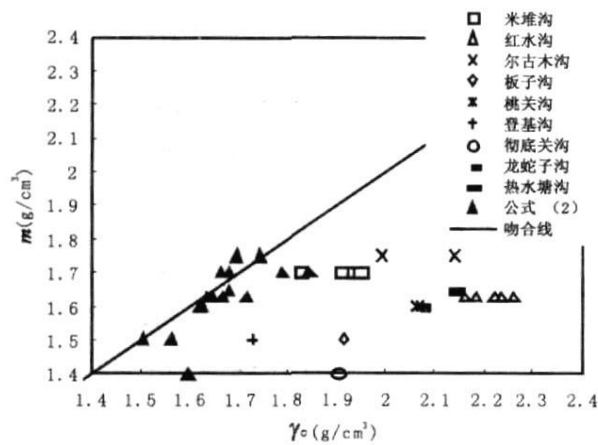
$$\gamma_D = P_{05}^{0.35} P_2 \gamma_V + \gamma_X \quad (2)$$

式中 $\gamma_X = 1.4 \text{ g/cm}^3$ 。

图 4 为稀性泥石流沉积样用公式 (1) 和修正粒度分布后再用公式 (2) 计算的容重和实际容重对比图。图中 γ_C 为计算值, γ_m 为实测值。用公式 (1) 计算的稀性泥石流容重都偏大, 大多数偏差较大。修正粒度分布后再用公式 (2) 计算的稀性泥石流容重与实际容重的偏差很小, 与实际泥石流容重基本吻合。

3 过渡型 (亚粘性) 泥石流容重的计算

过渡 (亚粘性) 泥石流的沉积属弱分选沉积, 因此过渡 (亚粘性) 泥石流的沉积样也会因沉积分选不能完全反映泥石流的真实粒度, 从而影响用沉积样的粒度分布计算的泥石流容重的精度。图 5 为云南省东川蒋家沟 1998 年泥石流和亚粘性泥石流沉积样中的 $> 20 \text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比图。蒋家沟泥



(图例中稀性泥石流部分沉积样资料来源同图 2; 其他来源: 米堆沟: 文献^[10-11]; 红水沟: 成都理工大学工程地质研究所, 国家电力公司成都勘测设计研究院, 2004. 12. 四川省阿坝州黑水河, 色尔古水电站红水沟泥石流危险性研究, 1~88 尔古木沟: 文献^[12])

图 4 稀性泥石流用公式 (1) 和公式 (2) 计算的容重和实际容重对比

Fig 4 The comparing of measuring densities and calculating densities by Eq. 1 and Eq. 2 of less viscosity debris flows

石流中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比随泥石流容重的降低而降低, 粘性泥石流中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比在 10.2% ~ 51.1% 间, 亚粘性泥石流中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比在 0.6~ 36% 间, 图 5 中的沉积样中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比在 7.0% ~ 59.7% 间, 比蒋家沟粘性泥石流中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比稍大, 大于蒋家沟亚粘性泥石流中 > 20 mm 的粗颗粒的百分比。尽管泥石流的粗颗粒百分

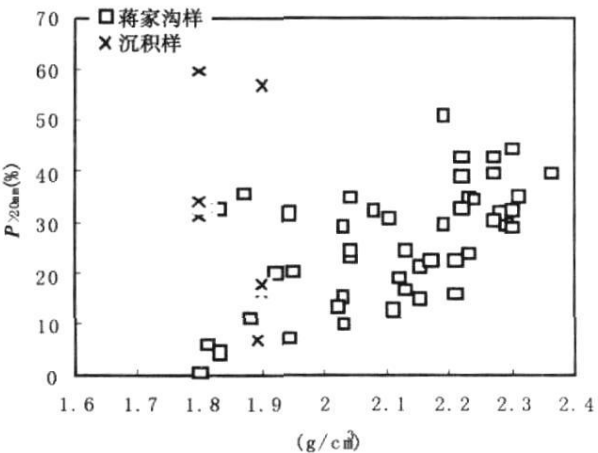
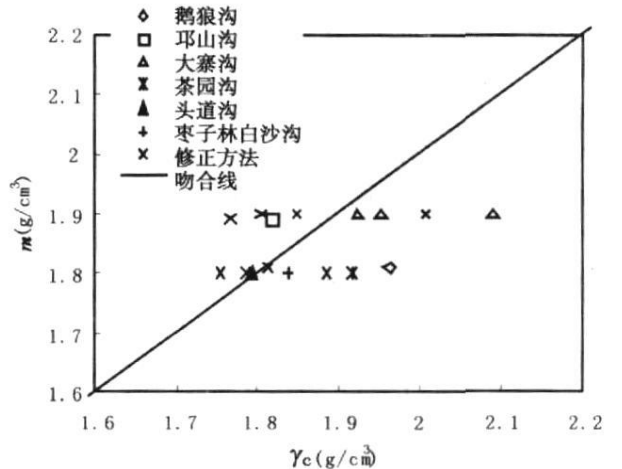


图 5 亚粘性泥石流沉积样中的 > 20 mm 的粗颗粒的百分比
Fig 5 The percentages of coarse particle (> 20 mm) in transitional debris flows

含量因地区不同存在差异, 但图 5 中亚粘性泥石流沉积样中粗颗粒百分比大于蒋家沟亚粘性泥石流观测样中粗颗粒百分比也能说明亚粘性泥石流沉积样中, 因为亚粘性泥石流的沉积弱分选作用使 > 20 mm 的粗颗粒的百分含量高于实际值。

参照稀性泥石流沉积样的粒度分布的修正方法, 去掉亚粘性泥石流中 > 20 mm 的粗颗粒, 得到修正后的亚粘性泥石流的颗粒粒度分布, 再用公式 (1) 计算亚粘性泥石流的容重。图 6 为亚粘性泥石流沉积样直接用公式 (1) 和修正粒度分布后再用公式 (1) 计算的容重和实际容重对比图。图中 γ_c 为计算值, γ_m 为实测值。直接用公式 (1) 计算的亚粘性泥石流的容重整体偏差不大, 但个别有较大的偏差; 修正方法 (修正粒度分布后再用公式 (1) 计算) 计算的亚粘性泥石流的容重整体偏差更小, 精度比直接用公式 (1) 计算的亚粘性泥石流的容重稍好, 且无较大偏差, 避免了因取样的原因带来的较大出入。



(图例中亚粘性泥石流沉积样资料来源: 鹅狼沟和邛山沟: 四川省国土资源厅环境监测总站, 成都理工大学, 丹巴县巴底乡邛山沟、岳扎乡鹅狼沟泥石流危害性评价及防治方案设计, 2006. 3 1~56 大寨沟: 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 中国科学院~水利部成都山地灾害与环境研究所, 金沙江白鹤滩水电站大寨沟泥石流及其治理方案研究专题报告, 2006. 1 1~79 茶园沟: 文献^[13]; 头道沟和枣子林白沙沟: 文献^[14])

图 6 亚粘性泥石流用公式 1 和修正方法计算的容重和实际容重对比

Fig. 6 The comparing of measuring densities and calculating densities by Eq. 1 and corrected method Eq. 2 of transitional debris flows

4 讨论与结论

稀性泥石流与粘性泥石流的最大和根本的不同点在粗颗粒(又称角砾, $> 2\text{ mm}$)占其颗粒的百分比不同,如文献[1, 2]中指出,稀性泥石流的粗颗粒 $< 40\%$ (指容重 $< 1.8\text{ g/cm}^3$),这与部分蒋家沟和浑水沟的最大值为 28.5% 和 36% (见第2节)是一致的。如果超过 40% ,就变成过渡或粘性泥石流,其容重也会相应地变大。一般地,研究中的泥石流样品为小样($< 100\text{ mm}$),因此在稀性泥石流的小样中,如果 $> 2\text{ mm}$ 的颗粒占 40% , $> 5\text{ mm}$ 的颗粒比例最大约为 30% 左右,如以较大颗粒为主的典型稀性泥石流沟米堆沟,参照文献[10]中的4个沉积样中 $> 2\text{ mm}$ 和 $> 5\text{ mm}$ 粗颗粒的比例,假定米堆沟的实际的(即实际流动中,在没有沉积分选前) $> 2\text{ mm}$ 粗颗粒百分比为 40% ,则米堆沟的 $> 5\text{ mm}$ 粗颗粒百分比分别为 24.3% , 28.0% , 30.8% 和 33.9% ,平均为 29.3% ,而最重要的样品为汇口以下的样品的 $> 5\text{ mm}$ 粗颗粒百分比为 28.0% 。典型的稀性泥石流的 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒百分比比蒋家沟的 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒百分比大(蒋家沟 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比 $< 20\%$),但没有决定性和本质的不同,计算结果也不会因去掉 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒而有大的改变,如以较大颗粒为主的典型稀性泥石流沟米堆沟,容重值为 1.7 g/cm^3 ,公式(1)计算值(文献[10]中的4个样品)分别为 1.83 g/cm^3 , 1.91 g/cm^3 , 1.93 g/cm^3 , 1.95 g/cm^3 ,平均 1.91 g/cm^3 ,而用公式(2)的计算值分别为 1.66 g/cm^3 , 1.68 g/cm^3 , 1.79 g/cm^3 , 1.85 g/cm^3 ,平均 1.75 g/cm^3 ,说明公式(2)不仅对蒋家沟浑水沟的容重计算是适用的,对米堆沟这样以较大颗粒为主的典型的稀性泥石流沟的容重计算仍然是适用的。

正如文献[1]所述,对泥石流调查研究中获取样品具有不确定性和随机性,对泥石流容重的计算存在差别和偏差,即使是在同一位置的取样也可能发生。正确地根据泥石流沉积物计算泥石流的容重方法是:首先根据沉积物的特征判断泥石流的类型,框定泥石流容重的范围,再根据泥石流的颗粒组成计算泥石流的容重,计算值在框定的范围内则可以使用,否则需要根据框定的范围进行修正。

通过分析稀性泥石流和亚粘性泥石流沉积样中的粗颗粒和细颗粒组成的百分比,稀性泥石流和亚

粘性泥石流的实际粒度分布与沉积样的粒度分布关系,可以得出以下结论:

1. 稀性泥石流以细颗粒为主, $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒的百分比较小,但稀性泥石流的沉积样中这部分粗颗粒百分含量常常被夸大,引起以此为依据计算的稀性泥石流容重的较大偏差。

2. 去掉稀性泥石流沉积样中 $> 5\text{ mm}$ 的粗颗粒,可以修正被夸大的粗颗粒比例。由此粒度分布和修正公式计算的稀性泥石流容重与实际容重吻合较好。

3. 过渡(亚粘性)泥石流的沉积属弱分选沉积,因此亚粘性泥石流的沉积样也会因沉积分选不能完全反映泥石流的整体级配,从而影响用沉积样的粒度分布计算的泥石流容重的精度。

4. 去掉亚粘性泥石流沉积样中 $> 20\text{ mm}$ 的粗颗粒,可以修正亚粘性泥石流的粒度分布,由此粒度分布计算的亚粘性泥石流容重与实际容重吻合更好。

参考文献 (References)

- [1] Yu Bin, Research on the calculating density by the deposit of debris flows [J]. *ACTA Sedimentologica SINICA*, 2008, 26(5): 70~77 [余斌, 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 70~77]
- [2] Du Ronghuan, Kang Zhicheng, Chen Xunqian *et al* Debris Flow Research in the Xiaojiang River Basin: A Review and Perspective [M]. Chongqing Science and Technique Press at Chongqing Division, 1987: 94~113 [杜榕桓, 康志成, 陈循谦, 等, 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987: 94~113]
- [3] Chen Ningsheng, Cui Peng, Liu Zhonggang *et al* Calculation of the debris flow concentration based on clay content [J]. *Science in China Ser. E Technological Sciences*, 2003, 46(Suppl): 163~174 [陈宁生, 崔鹏, 刘中港, 等, 基于粘土颗粒含量的泥石流容重计算[J]. 中国科学, E辑, 2003, 33(增刊): 164~174]
- [4] Liu Gengnian, Cui Zhijun, Wang Xiaohui Sedimentary macro-structures and formation mechanism of debris flow [A]. In: Du Ronghuan Bulletin of Debris Flow Observation and Research Contents [C]. Beijing: Sciences Press, 1996: 33~41 [刘耕年, 崔之久, 王晓晖, 泥石流的宏观沉积构造与形成机理[A]. 杜榕桓主编, 泥石流观测与研究[C]. 北京: 科学出版社, 1996: 33~41]
- [5] Fleissmann C. M. Debris Flows [M]. Trans by Yao Deji Beijing: Sciences Press, 1986: 83~95 [弗莱施曼 C. M., 泥石流[M]. 姚德基译, 北京: 科学出版社, 1986: 83~95]
- [6] Fei Xiangjun, and Su Anping Movement Mechanism and Disaster Control for Debris Flow [M]. Peking Press of Univ. Tsinghua, 2003: 12~15 [费翔俊, 舒安平, 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 12~15]

- [7] Zhang X ingbao, Liu Jiang. Debris Flows in the Basin of Dayinjiang Yunnan, China [M]. Chengdu: Map Press of Chengdu, 1989: 35 ~ 64 [张信保, 刘江. 云南大盈江流域泥石流 [M]. 成都地图出版社, 成都, 1989: 35 ~ 64]
- [8] Liu X ilin, Wang Quancai, He S iming, et al. Hazard assessment of debris flows and their developing trend along Dujangyan ~ Wenchuan Highway [J]. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2004, 24(1): 41 ~ 46 [刘希林, 王全才, 何思明, 等. 都 (江堰) 汶 (川) 公路泥石流危险性评价及活动趋势 [J]. 防灾减灾工程学报, 2004, 24(1): 41 ~ 46]
- [9] Chen Ningsheng, Zhang Fei. Movement and deposit characteristics of typical catastrophic debris flows by rainstorm in the mountainous area of Southwest China in 2003 [J]. *Scientia Geographica*, 2006, 26(6): 701 ~ 705 [陈宁生, 张飞. 2003 年中国西南山区典型灾害性暴雨泥石流运动堆积特征 [J]. 地理科学, 2006, 26(6): 701 ~ 705]
- [10] You Yong, Cheng Zunlan. Modeling experiment of debris flow in M idu Gully, Tibet [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(3): 289 ~ 293 [游勇, 程尊兰. 西藏波密米堆沟泥石流堵河模型试验 [J]. 山地学报, 2005, 23(3): 289 ~ 293]
- [11] Institution of Mountain Disaster and Environment. CAS. Institution of Sciences of Department of Communications. Tibet Water Damage to Highways in Tibet [M]. Chengdu: Sichuan Sciences, 2001: 123 ~ 162 [中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所, 西藏公路水毁研究 [M]. 成都: 四川科学出版社, 2001: 123 ~ 162]
- [12] Luo Defu, Zhong Dunlun and Zhao Huilin. Investigation of debris flow in Engamu Ravine on May 20, 1983, Ganluo County [A]. In: Debris Flow, No. 3 [C]. Chongqing Science and Technique Library Press, Chongqing Division, 1986, 27 ~ 32 [罗德富, 钟敦伦, 赵惠林. 1983 年 5 月 20 日甘洛县尔古木沟泥石流调查分析 [A]. 见: 泥石流 (3) [C]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 27 ~ 32]
- [13] Liu X ilin, Lu Xuejun, Su Pengcheng. Characteristics and hazard assessment of debris flow in Chayuan Gully of Wenchuan County in Sichuan [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(1): 66 ~ 71 [刘希林, 吕学军, 苏鹏程. 四川汶川茶园沟泥石流灾害特征及危险性评价 [J]. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 66 ~ 71]
- [14] Institution of Mountain Disaster and Environment. CAS. Research and Prevention of Debris Flow [M]. Chengdu: Science and Technique Press of Sichuan, 1989: 1 ~ 2, 95 ~ 96, 165 ~ 167 [中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 1 ~ 2, 95 ~ 96, 165 ~ 167]

Research on the Improved Calculating Density of Less Viscosity Debris Flows

YU Bin

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention, Chengdu University of Technology, Chengdu 610051, China)

Abstract The particle distribution of the deposition of less viscosity debris flow is not the real particle distribution as the sorting of less viscosity of debris flow. The deposition of transitional debris flow is close to its real particle distribution as the transitional debris flow is weak sorting. Comparing the particle distributions of depositions of less viscosity and transitional debris flows with their real particle distributions, we get the fine particle is the main part of less viscosity debris flow, and the percentage of $> 5 \text{ mm}$ is small. Most percentages of coarse particles in less viscosity debris flows are aggrandized. To correct the aggrandized percentage of coarse particle in less viscosity debris flow, delete the coarse part of $> 5 \text{ mm}$ is necessary. The real densities of less viscosity debris flows are good consistency with the densities calculated by the corrected particle distributions and improved equation. To correct the aggrandized percentage of coarse particle in transitional debris flow, delete the coarse part of $> 20 \text{ mm}$ is necessary. The real densities of transitional debris flows are better consistency with the densities calculated by the corrected particle distributions.

Key words less viscosity debris flows; improved density; particle distribution; percentage