

文章编号: 1008-2786-(2019)1-070-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000400

含水率对泥石流浆体力学特性影响实验研究

季宪军¹, 梁 瑛¹, 潘华利², 欧国强^{2*}

(1. 南阳理工学院, 河南 南阳 473004; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 探讨含水率对泥石流浆体力学特性影响是泥石流运移过程研究的基础性内容。以成都龙泉区黏土为实验材料, 配制 11 种不同含水率的泥浆, 利用安东帕 MCR301 流变仪, 对不同含水率泥浆开展两循环旋转剪切实验(每循环剪切过程分为增速剪切($0-30\text{ s}^{-1}$)和减速剪切($30-0\text{ s}^{-1}$)两阶段), 分析含水率对泥浆剪切过程、剪应力变化过程、剪切应力峰值及灵敏度的影响。实验结果表明: ①初剪应力峰值和复剪应力峰值与含水率呈幂律关系。②由于剪切过程的差异性导致含水率对泥浆的剪应力与剪切速率的影响也具有差异性: 当含水率低于 100% 时, 第一、第二循环各阶段剪切过程中剪应力变化过程完全不重合, 且初剪应力峰值和复剪应力峰值随含水率增大迅速降低, 灵敏度随含水率的增加迅速减小到 1; 当含水率高于 100% 时, 第一、第二循环各阶段剪应力变化过程基本一致, 含水率对应力峰值和泥浆灵敏度的影响可以忽略不计。③影响成都黏土泥浆剪切过程、剪应力变化、剪应力峰值和灵敏度的含水率阈值是 100%。本文对成都黏土泥浆开展了动态剪切试验, 探讨了含水率对泥浆特性的影响, 可为其他区域黏土特性的研究提供参考, 具有重要的研究意义!

关键词: 泥石流泥浆; 旋转剪切试验; 含水率; 成都黏土

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

黏性碎屑流是泥浆与破碎岩块混合形成混合流, 是丰雨期常见的山区地质灾害形式之一^[1-2]。失稳边坡在运移过程中, 细粒土与水混合形成黏性泥浆, 在重力作用下黏性泥浆与破碎岩块混合体沿坡面或沟道运移形成灾害, 对所经区域造成重大损害^[3]。二十世纪 80 年代初, 中国学者沈寿长将其划分成浆体介质和固体颗粒两大部分组成的结构模式^[4]。浆体介质是由水和小于 d_0 (浆体所能挟持固体颗粒极限粒径) 的颗粒物组成, 是泥石流中大颗粒物质的输送介质。浆体介质性质的研究始终为泥石流运动过程研究的基础性内容。其中主要包括颗粒界限粒径、颗粒浓度等对浆体介质屈服应力及

流变特性的影响, 并取得丰硕研究成果。例如, 沈寿长^[4-5]提出划分浆体介质和固体颗粒粒径界限的建议, 以黏性层流泥浆为例, 通过实验分析颗粒浓度对浆体屈服应力及流变特性的影响; 舒安平^[6]基于最小能量耗损原理来确定颗粒界限粒径; 王裕宜^[7-8]利用性质稳定的甘油与不同粒径砂, 配制甘油砂浆开展流变实验, 研究甘油砂浆浆体结构屈服应力与动摩擦临界浓度和极限浓度关系; 杨红娟等^[9-11]在分析现有泥石流浆体流变参数计算方法及其扩展性基础上, 通过实验分析不同界限粒径对泥石流浆体流变特性的影响; 胡正红等^[12]通过流变实验分析了黏粒含量对泥石流浆体剪应力的影响;

收稿日期 (Received date): 2017-12-28; **改回日期** (Accepted date): 2018-11-20

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金面上项目 (41672357, 51679229, 41672318)。[National Natural Science Foundation of China (41672357, 51679229, 41672318)]

作者简介 (Biography): 季宪军 (1974-), 男, 河南人, 博士、副教授, 主要从事岩土工程教学与研究工作。[JI Xianjun (1974-), male, born in Henan province, Ph. D., associate professor, research on geotechnical engineering] E-mail: jifeng988@163.com

* **通讯作者** (Corresponding author): 欧国强 (1958-), 男, 四川人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事山地灾害动力学研究。[OU Guoqiang (1958-), male, Ph. D., professor, research on mountain disaster dynamics] E-mail: ougq@imde.ac.cn

马熠等^[13]通过实验研究黏土矿物成分和含量对泥石流浆体屈服应力的影响。以上研究成果推动了泥石流运动过程研究的发展,并提供必要的基础性支撑。但在泥石流从启动、运移到堆积过程中,常在运动途中不断有物质(水、土)补充,改变泥浆的含水率,进而影响其的运移过程。因此,有必要开展含水率对泥浆力学特性影响特定研究。

本文以成都龙泉区黏土作为黏性泥浆材料,室内配置不同含水率泥浆,利用 MCR301(奥地利安东帕流变仪),开展旋转剪切试验,分析不同含水率黏土泥浆剪切破坏过程,探讨含水率与泥浆初剪应力峰值、复剪应力峰值及灵敏度的影响,并确定影响泥浆结构性含水率阈值。

1 试验材料及其组成

成都黏土是由 James Thorp 等于 1936 年命名,广泛分布于岷江二、三级阶地及成都市东郊和龙泉驿一带,因其特殊古环境意义及成因备受关注。根据最近研究成果^[14-15],龙泉区成都黏土形成于第四纪晚更新世(Q_3^{col}),呈棕黄、褐黄色、灰黄等色,质地硬塑,含铁锰结核,黏性强,为弱中等膨胀土,厚 2~7 m^[16]。据有关土工试验资料,成都黏土自由膨胀率为 40%~72%,液限为 38%~50.6%,蒙脱石含量 13.29%~39.55%。因成都黏土所分布特殊地理环境和地质条件,相关学者这对成都黏土工程特性开展深入研究^[17-19],并取得丰富研究成果。根据本文研究目的,在成都龙泉区取成都黏土,取回后在实验室内测定其天然含水量 w_0 ,经晾干、磨细等过程,在成都山地灾害与环境研究所利用激光衍射粒度分析仪(英国马尔文 Mastersizer 3000),分析器样颗粒物质组成(见图 1)。利用光电式液塑限联合测定仪测定成都龙泉区黏土液塑限,其液限含水量 w_L 为 66.5%,塑限含水量 w_p 为 24.5%。塑性指数 I_p 为: 42, >17。

2 试验过程

2.1 试验试样制备

成都黏土泥浆浆体样品配制中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所进行。将取回土样加入一定量水(使其含水率超过成都龙泉区黏土液限)

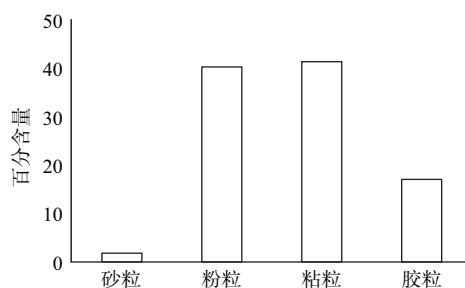


图1 成都黏土颗粒组成

Fig. 1 Composition of Chengdu clay particles

浸泡 48 h,充分饱和,软化土样;测定其饱和后初始含水率(w_0 :单位体积内含水质量与干土质量百分比)。为分析不同含水率下成都龙泉区黏土特性,取软化后土样若干放置于 11 个量杯内,分别向杯内加入一定量水,根据初始含水率,计算不同含水率成都龙泉区黏土泥浆(各试样含水率见表 1),制备的泥浆见图 2。



图2 泥浆样品

Fig. 2 Mud Sample

2.2 实验仪器

成都黏土泥浆流变特性实验利用成都山地灾害与环境研究所的流变仪测定(奥地利安东帕 MCR301)。

该仪器采用模块化、智能化设计,操作简便,由温控系统、夹具系统和测试系统组成,完全模块化、智能化的设计。本次试验采用 ST 测试系统,其测试旋转转子是十字板,外筒和底板固定(见图 3,4)。通过转子轴上的传感器记录十字板转动所受扭矩,从而计算转子旋转剪切过程所受到的剪切应力 τ (见图 5)。

2.3 旋转剪切试验方案

对每一种配制好的泥浆,取适量装入固定外筒,泥浆高度与十字板转子上端面齐平(见图 4),否则增、减泥浆量。整个实验过程分为两循环、分阶段间

表 1 泥浆试样含水率
Tab. 1 Moisture Content of Mud

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
泥浆密度/(g·cm ⁻³)	1.82	1.75	1.71	1.68	1.65	1.60	1.51	1.41	1.32	1.20	1.15
泥浆含水率/%	50	57	63	67	72	80	101	131	182	302	400



图 3 安东帕 MCR301 流变仪
Fig. 3 Antonpa MCR301 rheometer



图 4 泥浆与转子
Fig. 4 Mud and rotor

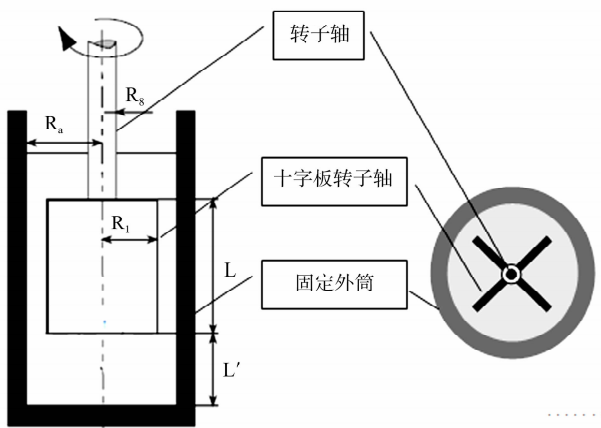


图 5 ST 测试系统示意图
Fig. 5 Schematic diagram of ST test system

断测试,第一循环第一阶段为增速剪切,剪切速率 $0 \sim 30 \text{ s}^{-1}$ (增速阶段),第一循环第二阶段为减速剪切,剪切速率为 $30 \sim 0 \text{ s}^{-1}$ (减速阶段),第一循环结束后,暂停 2 min,开始第二循环实验,第二循环第一阶段为增速剪切,剪切速率 $0 \sim 30 \text{ s}^{-1}$,第一循环第二阶段为减速剪切,剪切速率为 $30 \sim 0 \text{ s}^{-1}$ 。速率的增减按 10 为底的对数变化进行设定。

结合边坡土体从失稳到坡面运移过程,第一循环旋转剪切前,沿十字转子环周未形成破坏面,初步将其看作失稳前饱水崩滑土体(失稳前);第二循环旋转剪切实验,是在第一循环旋转剪切已形成环十字转子环周破坏面基础上,测定泥浆剪切应力与剪切速率变化过程,可用于代表失稳后崩滑土体坡面运移过程中泥浆动态力学特征(失稳后)。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果及分析

根据以上试验准备和设计,不同含水率泥浆剪应力变化过程见图 6。

从上述实验结果(图 6)可以看出,含水率对成都黏土泥浆力学特性影响明显:

泥浆含水率影响第一、第二循环剪切过程。含水率低于 100% (图 6:a, b, c, d, e, f),每一循环增速、减速剪切过程完全不重合,且第一阶段(增速阶段)、第二阶段(减速阶段)剪切过程完全不重合;含水率高于 100% (图 6:g, h, i, j, k),第一、第二循环剪切过程基本重合,且每一循环增速、减速阶段剪切过程基本重合。

根据不同含水率泥浆剪切过程差异,含水率对泥浆的剪应力与剪切速率关系影响具有阶段性:

剪应力快速增加阶段:初始剪切阶段,当剪切速率小于一定值时(约为 0.1 s^{-1}),剪切应力随着剪切速率增加而迅速增大至最大值。

剪应力调整阶段:当剪切速率超过一定值时,剪应力变化过程受泥浆含水率影响明显。含水率低于

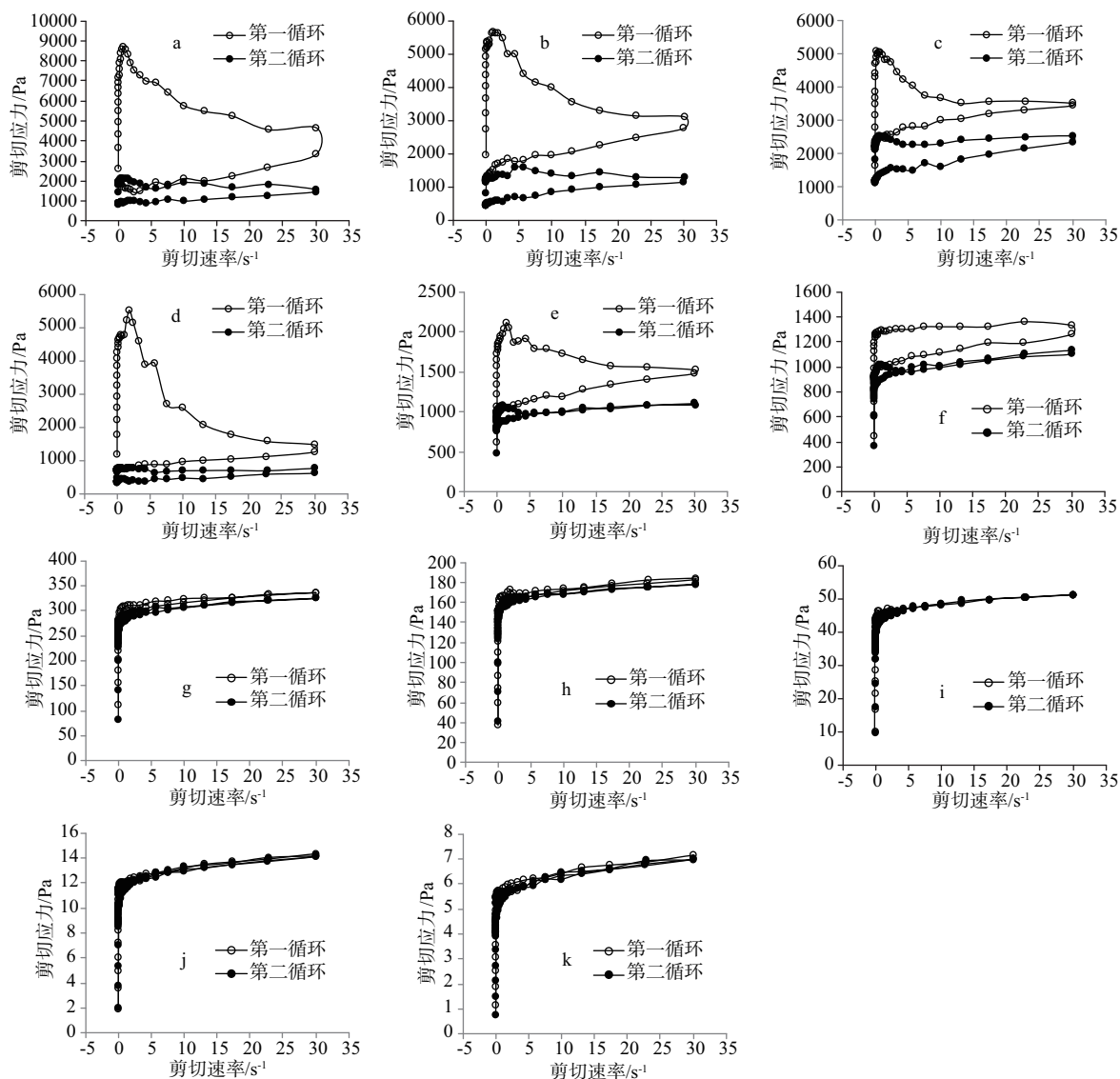


图6 剪切应力与剪切速率图

a. 试样1(含水率50%); b. 试样2(含水率57%); c. 试样3(含水率63%); d. 试样4(含水率67%); e. 试样5(含水率72%); f. 试样6(含水率80%); g. 试样7(含水率101%); h. 试样8(含水率132%); i. 试样9(含水率182%); j. 试样10(含水率302%); k. 试样11(含水率400%)

Fig.6 Shear stress and shear rate diagram

a. Sample 1 (Moisture Content 50%); b. Sample 2 (Moisture Content 57%); c. Sample 3 (Moisture Content 63%); d. Sample 4 (Moisture Content 67%); e. Sample 5 (Moisture Content 72%); f. Sample 6 (Moisture Content 80%); g. Sample 7 (Moisture Content 101%); h. Sample 8 (Moisture Content 132%); i. Sample 9 (Moisture Content 182%); j. Sample 10 (Moisture Content 302%); k. Sample 11 (Moisture Content 400%)

100% (图6:a, b, c, d, e, f), 剪切应力达到最大值后, 随剪切速率增加又迅速降低; 含水率高于100% (图6:g, h, i, j, k), 剪切应力达到最大值后, 随剪切速率增加又缓慢增大。

泥浆的旋转剪切实验沿剪切面破坏过程, 第一循环和第二循环沿同一环形面剪切面, 根据含水率对第一、第二循环剪切过程影响及对应力变化过程影响, 表明含水率对泥浆力学性能影响具有分类现

象:

当含水率低于100%, 第一循环第一阶段(增速阶段)是泥浆原始结构的剪切破坏过程, 其剪切应力明显高于同剪切速率下的第一循环减速阶段、第二循环增速阶段、减速阶段同剪切速率下的剪切应力, 成都黏土具有明显的结构特性。

当含水率高于100%, 第一循环初始阶段(增速阶段)剪切应力与同剪切速率下的第一循环减速阶

段、第二循环增速阶段、减速阶段同剪切速率下的剪切应力基本一致(图7),成都黏土无明显结构特性。

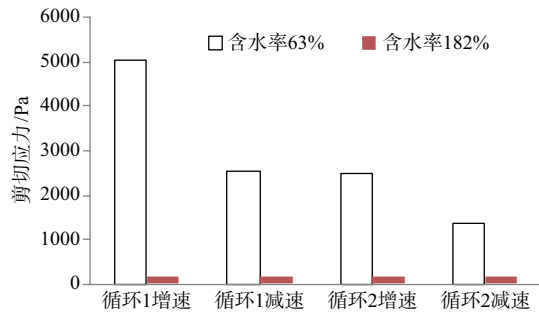


图7 同剪切速率(0.8286 s⁻¹)剪切应力值对比
Fig. 7 Comparison of Shear Stress with Shear Rate
(0.8286 s⁻¹)

3.2 含水率对初剪和复剪峰值应力影响

根据以上不同含水率成都黏土泥浆的两循环、两阶段旋转剪切过程,将第一循环剪切过程中的应力极值称作初剪切应力峰值 τ_M ;将第二循环剪切过程中与初始应力峰值同剪切速率下的剪应力值作为复剪切应力峰值 τ_C 。初剪切应力峰值 τ_M 和复剪切应力峰值 τ_C 见表2。

根据表2,绘制初剪应力峰值、复剪应力峰值与含水率变化关系图(见图8、9)。

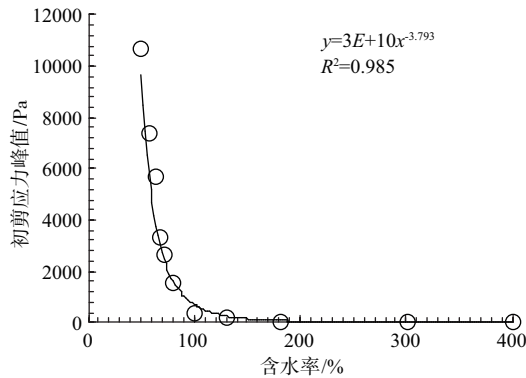


图8 初剪应力峰值与含水率关系
Fig. 8 Relationship between the peak of initial shear stress
and moisture content

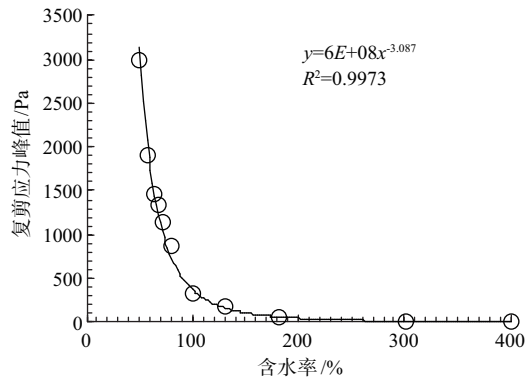


图9 复剪应力峰值与含水率关系
Fig. 9 Relationship between peak re-shear stress and moisture content

图8、9表明,含水率低于100%,成都黏土随含水率增大,初剪应力峰值和复剪应力峰值迅速降低。含水率超过100%,含水率对初剪应力峰值和复剪应力峰值影响较小。剪切应力与含水率具有很好幂律关系:

初剪应力峰值: $\tau_M = 3 \times 10^{10} w^{-3.793}$, 相关系数方值 $R^2 = 0.985$;

复剪应力峰值: $\tau_C = 6 \times 10^8 w^{-3.087}$, 相关系数方值 $R^2 = 0.997$ 。

3.3 含水率对泥浆灵敏度的影响

根据成都黏土泥浆旋转剪切试验结果,当含水率低于100%时,同含水率下,成都黏土初剪应力峰值和复剪应力峰值具有较大差异。借鉴土体灵敏度^[20]概念(原状土与扰动土无侧限抗压强度比值),将成都黏土泥浆初剪作为未扰动泥浆样,复剪作为成都黏土泥浆扰动样,初剪应力峰值与复剪应力峰值比值定义为泥浆灵敏度,评价扰动对泥浆剪应力的影响,分析含水率对灵敏度复影响。其计算结果见表2,将灵敏度与含水率关系绘制成图(见图10)。

图10表明,当含水率低于63%时,含水率对泥浆灵敏度影响变化不大;含水率在63%~100%之间,含水率对泥浆灵敏度影响迅速减小;当含水率高于100%,含水率对泥浆灵敏度基本无影响。

表2 泥浆试样物理力学参数

Tab. 2 Physical and Mechanics Parameters of Mud

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
泥浆含水率/%	50	57	63	67	72	80	101	131	182	302	400
泥浆密度/(g·cm ⁻³)	1.82	1.75	1.71	1.68	1.65	1.60	1.51	1.41	1.32	1.20	1.16
初剪应力峰值 τ_M /Pa	10670	7412	5718	3360	2628	1550	365	182	47.4	11.7	5.70
复剪应力峰值 τ_C /Pa	3002	1914	1460	1342	1150	864	331	170	46.8	11.7	5.70
灵敏度	3.55	3.87	3.92	2.50	2.29	1.79	1.10	1.07	1.01	1.00	1.00

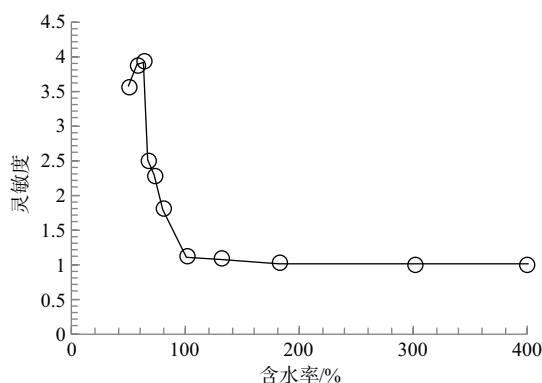


图10 泥浆灵敏度与含水率关系

Fig. 10 Relationship between mud sensitivity and water content

4 结论

利用成都黏土配置不同含水率泥浆,利用MCR301开展旋转剪切试验,分析含水率对成都黏土泥浆剪切过程、剪应力变化、剪切应力峰值及泥浆灵敏度的影响,得出以下结论:

1) 含水率低于100%,每一循环增速减速剪切过程完全不重合;含水率高于100%,每一循环增速减速剪切过程及两循环剪切过程基本重合。

2) 当含水率低于100%时,初剪、复剪应力峰值随含水率降低迅速增大;当含水率高于100%时,初剪、复剪应力峰值随含水率增加影响较小。

3) 初剪应力峰值与含水率幂律关系式:

$$\tau_M = 3 \times 10^{10} w^{-3.793}$$

复剪应力峰值与含水率幂律关系式:

$$\tau_C = 6 \times 10^8 w^{-3.087}$$

4) 当含水率低于100%时,含水率对泥浆灵敏度影响迅速减小;当含水率高于100%,含水率对泥浆灵敏度基本无影响。含水率100%是影响成都黏土泥浆剪切过程、剪应力变化、剪应力峰值和灵敏度阈值。

根据实验结果和以上分析,泥浆含水率100%是影响成都黏土泥浆剪切过程、剪应力变化、剪应力峰值和灵敏度阈值,其内在原因可能与不同含水率下成都黏土微观结构有关,有待于对不同含水率下泥浆通过电镜扫描,观察其剪切前后剪切面上微观结构的差异。另外,因我国黏土分不广泛,且具有典型区域特征,本文仅对成都龙泉区黏土泥浆开展动态剪切试验并进行初步分析,探讨含水率对泥浆性能的影响,为其他区域泥浆特性研究提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 余峙丹,张辉,郭荣芬. 云南楚雄特大滑坡泥石流气象成因[J]. 气象科技, 2010, **38**(1): 136 - 140. [YU Zhidan, ZHANG Hui, GUO Rongfen. Analysis of meteorological causes of an exceptional landslide and debris flow event in Chuxiong [J]. Meteorological Science and Technology, 2010, **38**(1): 136 - 140]
- [2] 石建军,李保珠,李鹏,等. 元谋县9·17特大泥石流特征及形成机理分析[J]. 地质论评, 2018, **64**(03): 665 - 673 [SHI Jianjun, LI Baozhu, LI Peng, et al. Analysis of characteristics and formation mechanism for the 9·17 giant debris flow in Yuanmou Country, Yunnan Province [J], Geological Review, 2018, **64**(03): 665 - 673]
- [3] 刘传正. 贵州关岭大寨崩塌滑碎屑流灾害初步研究[J]. 工程地质学报. 2010, **18**(5): 623 - 630. [LU Chuazheng. Preliminary findings on DaZhai landslide debris flow disaster in Guizhou province of June 28, 2010 [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, **18**(5): 623 - 630]
- [4] 沈寿长, 谢慎良. 泥石流流体的结构模式和粗颗粒对泥浆体流变特性的影响[J]. 泥沙研究, 1983(3): 12 - 19. [SHEN Shouchang, XIE Shenliang. Mode of structure of debris fluid and the effect of coarse grains on the rheological characteristics of slurry [J]. Journal of Sediment Research, 1983(3): 12 - 19]
- [5] 沈寿长. 泥石流流变特性的试验研究[J]. 水利学报, 1998(9): 8 - 14. [SHEN Shouchang. Experiment of rheology of debris flow [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1998(9): 8 - 14]
- [6] 舒安平, 张志东, 王乐, 等. 基于能量耗损原理的泥石流分界粒径确定方法[J]. 水利学报, 2008, **39**(3): 257 - 263 [SHU Anping, ZHANG Zhidong, WANG Le, et al. Method for determining the critical grain size of viscous debris flow based on energy dissipation principle [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, **39**(3): 257 - 263]
- [7] 王裕宜. 泥石流浆体的流变特征[J]. 泥沙研究, 1982(2): 74 - 78. [WANG Yuyi. The rheological characteristics of debris flow slurry [J]. Journal of Sediment Research, 1982(2): 74 - 78]
- [8] 王裕宜, 詹钱登, 邹仁元, 等. 泥石流浆体屈服应力综合表达式的研究[J]. 自然灾害学报, 1999, **8**(3): 103 - 110. [WANG Yuyi, ZHAN Qiangdeng, ZOU Renyuan, et al. Study on synthetical yield stress equation of debris flow slurry [J]. Journal of Natural Disasters, 1999, **8**(3): 103 - 110]
- [9] 杨红娟, 胡凯衡, 韦方强. 泥石流浆体流变参数的计算方法及其扩展性研究[J]. 水利学报, 2013, **44**(11): 1338 - 1346. [YANG Hongjuan, HU Kaiheng, WEI Fangqiang. Methods for computing rheological parameters of debris flow slurry and their extensibilities [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, **44**(11): 1338 - 1346]
- [10] 杨红娟, 韦方强, 胡凯衡, 等. 不同上限粒径泥石流浆体的流变参数变化规律[J]. 水利学报, 2016, **47**(7): 884 - 890. [YANG Hongjuan, WEI Fangqiang, HU Kaiheng, et al. Rheological parameters of debris flow slurries with different

- maximum grain sizes[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(7):884-890]
- [11] 杨红娟, 韦方强, 胡凯衡. 泥石流浆体黏度计算中最大体积分数的确定[J]. 山地学报, 2018, 36(3):382-390. [YANG Hongjuan, WEI Fangqiang, HU Kaiheng. Determination of the maximum packing fraction for calculating slurry viscosity of debris flow[J]. Mountain Research, 2018, 36(3):382-390]
- [12] 胡正红, 张婧, 刘兴年, 等. 泥石流浆体流变特性影响因素试验研究[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2):131-136. [HU Zhenghong, ZHANG Jing, LIU Xingnian, et al. Experimental study on rheological properties factors of debris flow slurry[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(2):131-136]
- [13] 马煜, 余斌. 泥石流流体屈服应力与黏土矿物关系的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(21):202-207. [MA Yu, YU Bin. The influence of clay minerals and yield stress of debris flow by experiments[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(21):202-207]
- [14] 刘曙光. 天然泥石流剪切应变特性试验研究[J]. 人民长江, 2016, 47(16):83-86. [LIU Shuguang. Test study on shear strain characteristics of debris flow[J]. Yangtze River, 2016, 47(16):83-86]
- [15] 赵志中, 乔彦松, 王燕, 等. 成都平原红土堆积的磁性地层学及古环境记录[J]. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2007, 37(3):370-377. [ZHAO Zhizhong, QIAO Yansong, WANG Yan, et al. Magnetostratigraphic and paleoclimatic studies on the Red Earth Formation from the Chengdu Plain in Sichuan Province, China[J]. Chinese Science: D: Earth Science, 2007, 37(3):370-377]
- [16] 应立朝, 梁斌, 王全伟, 等. 成都平原区成都黏土的粒度特征及其成因意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(1):72-77. [YING Lichao, LIANG Bin, WANG Quanwei, et al. Grain size analysis and origin of the Chengdu clay from the Chengdu Plain, Sichuan[J]. Sedimentary Geology & Tethyan Geology, 2012, 32(1):72-77.]
- [17] 彭社琴, 赵其华, 黄润秋. 成都黏土动三轴试验研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(1):57-60. [PENG Sheqin, ZHAO Qihua, HUANG Runqiu. The dynamic triaxial test study of Chengdu-clay[J]. Journal of Geological Hazards & Environment Preservation, 2002, 13(1):57-60]
- [18] 李冬, 岳大昌, 李明, 等. 成都东郊膨胀土强度与含水率关系的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(6):254-257, 265. [LI Dong, YUE Dachang, LI Ming, et al. Test study on Chengdu expansive soils strength parameters with water contents[J]. Science Technology & Engineering, 2015, 15(6):254-257, 265]
- [19] 张晓超, 许模. 成都裂隙性黏土流变特性试验[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(4):27-29, 32. [ZHANG Xiaochao, XU Mo. Experimental study on rheological behaviors of Chengdu fissured clay[J]. Research & Exploration in Laboratory, 2010, 29(4):27-29, 32]
- [20] 南京水利科学研究所. 土工试验规程 SL237-1999[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999:32. [Nanjing Hydraulic Research Institute. Soil test procedure SL237-1999[S]. Beijing: China WaterPower Press, 1999:32]

Experimental Study on Influence of Water Content on Mechanical Properties of Debris Flow Slurry

JI Xianjun^{1,2}, LIANG Ying¹, PAN Huali², OU Guoqiang^{2*}

(1. Nanyan Institute of Technology, Nanyang 473004, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

Abstract: The influence of water content on the mechanical properties of mud is the basic content of the study on the moving process of debris flow disaster. Using the clay in Longquan District of Chengdu as the experimental material, 11 kinds of mud with different water content (50%, 57%, 63%, 67%, 72%, 80%, 101%, 131%, 182%, 302%, and 400%) were prepared. To analyze the effect of water content on mud shearing process, shear stress change process, shear stress peak and sensitivity, two cycles of rotary shearing experiments were carried out on mud with different moisture content by using Anton Paar MCR301 rheometer. Each cyclic shear process was divided into two stages: accelerated shear ($0 \sim 30 \text{ s}^{-1}$) and decelerated shear ($30 \sim 0 \text{ s}^{-1}$). The experimental results showed that: The peak shear stress of the first and of the second cycles had a strong power relationship with

the moisture content. The influence of moisture content on the shear stress of slurry was different: The shear stress change processes were completely different in each stage of the first and the second rotary shearing process, and the shear stress peak value of the first and the second cycles decreased rapidly, and the sensitivity decreased rapidly to 1 with the increase of the moisture content, when the moisture content was lower than 100%. However, the change processes of shear stress in each stage of the first and second rotary shearing were basically the same, and the shear stress peak value of the first and the second cycles decreased slowly with the increase of moisture content, and the influence of moisture content on sensitivity of slurry could be ignored, when the moisture content was higher than 100%. This study also indicated that the moisture content threshold affecting Chengdu clay mud shear process, shear stress change, shear stress peak and sensitivity was 100%. In this paper, a dynamic shear tests were carried out on the clay slurry in Longquan District of Chengdu, and the influences of water content on the mud characteristics were fully discussed. It provided reference for the study of clay properties in other areas, and had important research significance.

Key words: clay slurry; rotational shear test; moisture content; Chengdu clay