

文章编号: 1008-2786-(2013)6-745-08

头寨大型高速远程滑坡碎屑流堆积体的粒度组成

王 品¹ 徐则民^{2*}

(1. 昆明理工大学地球科学系, 云南 昆明 650000; 2. 昆明理工大学土木系, 云南 昆明 650500)

摘 要: 以头寨滑坡为代表的峨眉山玄武岩质滑坡广泛发育为大型高速远程滑坡碎屑流, 危害巨大, 而对此类滑坡的堆积体粒度组成还缺乏比较系统的研究。为此, 以头寨滑坡为研究对象, 通过对滑坡堆积体分别进行现场筛分试验、淋滤块石粒度调查、巨石等效粒径调查和粘土取样分析, 结合室内试验, 对滑坡堆积体的粒度组成有了一个从大到小全方位的认知: 滑坡堆积体自上而下粒径分布规律差别不大, 主体分布在 -6ϕ 到 -3ϕ 之间; 巨石比例不足 1%, 推断来自滑源区失稳岩体底部基岩; 粘土所占比例更小, 但对源岩体岩质劣化有重要的对照意义。

关键词: 头寨滑坡; 堆积体; 粒度分布; 峨眉山玄武岩

中图分类号: P642.22, TU41

文献标志码: A

1991-09-23 云南省昭通市盘河乡头寨沟发生罕见大型滑坡, 滑坡总方量约为 $900 \times 10^4 \text{ m}^3$, 滑程超过 3 000 m, 整个过程历时仅约 3 min, 造成 216 人死亡, 属于典型的灾难性大型高速远程滑坡碎屑流^[1-2]。滑坡失稳岩性为晚二叠世峨眉山玄武岩 ($P_2\beta$), 该岩系在云贵川 3 省广泛分布, 露头面积约 $3.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平均厚度 705 m, 是一套易于发生大型高速远程滑坡碎屑流的特殊岩系^[3]。除了头寨滑坡, 比较典型的还有 1965 年云南省禄劝县烂泥沟滑坡^[4] 和 2010 年四川省汉源县二蛮山滑坡^[5] 等, 它们都造成了严重的人员伤亡和财产损失。

通过对上述滑坡观察发现, 滑坡碎屑物沿途大量堆积, 粒径较为均匀, 形成碎屑流的主体。大型滑坡, 尤其是此类高速远程滑坡碎屑流的堆积体的研究, 对于反演滑坡原岩体的碎裂化机理、滑体多因素协同失稳机制以及碎屑物高速远程流体化运移机理有重要的参考价值和对照意义。目前, 国内外关于高速远程滑坡碎屑流的堆积体粒度组成已有很多研究和报道, 早在 1935 年 Him 就已发现滑坡碎屑流

(sturzstrom) 堆积体保留有原岩的层序^[6]; 1988 年巴布亚新几内亚的 Kaiapit 大型滑坡碎屑流主要由火山岩和泥质岩碎屑组成, 粒径从粉砂到约 5 m 的块石^[7]; 1989 年华蓑山溪口滑坡碎屑流由粉质粘土和粒径数厘米到数十厘米的块石组成^[8]; 文献^[9] 报道, 大型岩崩堆积表面通常以直径米级的块石为主, 下伏材料一般由砂-粉砂细粒基质和更大的碎块组成; 2000 年西藏易贡巨型高速滑坡堆积由数十厘米到数米、最大数十米的碎块石组成, 同时含有砂及粉尘^[10]; 2005 年巴控克什米尔 Hattian Bala 岩崩堆积体表面形态粗糙, 由碎裂砂泥岩基质和米级砂岩块体构成^[11]。受到滑体岩性等因素的影响, 不同高速远程滑坡碎屑流堆积体的粒度组成差异较大, 但有一点是共同的, 即粒径分布范围很宽, 从微米级的粘粒到数米, 甚至数十米的块石都有出现。

尽管如此还是有很多滑坡的堆积体缺乏比较系统的研究, 主要是因为大部分滑坡的堆积体在天然条件下具有不可到达性以及堆积体内部组分不易暴露的特点^[12-14], 从而造成取样数量少, 单个样本容

收稿日期(Received date): 2012-09-04; 改回日期(Accepted): 2013-01-08。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金-云南联合基金重点项目(U1033601) 和国家自然科学基金资助项目(40572159, 40772189)。

[The National Natural Science Foundation of China-Yunnan Joint Fund(U1033601) and the National Natural Science Foundation of China(40572159, 40772189).]

作者简介(Biography): 王品(1987-), 男, 河南邓州人, 硕士研究生, 主要从事环境地质与灾害地质方面的研究。[Wang Pin(1987-), male, graduate student, majoring in environmental geology and disaster geology research.] E-mail: wangpinwww1005@126.com

* 通信作者(Corresponding author): 徐则民(1963-), 教授, 博士生导师。E-mail: abc5100@188.com

量小,以至于调查结果不具有充分的代表性和说服力。本文所研究的头寨滑坡,滑坡运移通道较为平缓,且冲沟发育,自上而下堆积体内部颗粒均有大面积垂向暴露,为堆积体的粒度组成研究提供了得天独厚的条件。此外,峨眉山玄武岩作为在我国西南广泛分布的岩系,其特殊的岩性和地质构造极易孕育大规模崩滑事件,应引起重视^[4]。目前国内还缺乏对此类滑坡堆积体粒度的比较系统的研究,而本文的研究对象头寨滑坡正是此类滑坡的一个典型代表。文中通过大量的现场调查和室内实验分析,系统总结了堆积体中从粘土到主体碎石再到巨石的粒度分布特征,在试验中取样类别、数量之多以及样本容量之大在国内滑坡堆积体研究中尚属首例,对于峨眉山玄武岩质高速远程滑坡碎屑流的研究具有重要的借鉴意义。

1 滑坡堆积体现场试验

头寨滑坡堆积体自剪出口开始至滑坡舌最前

端,沿沟谷均匀、大量分布,按沟谷走向自上而下可分为 111° 、 146° 、 108° 三段(图1),整个堆积体分布区域前后高差不到500 m,水平距离约3 000 m,坡度较缓。滑坡流通区范围内出露的地层除了滑源区失稳的 $P_2\beta$,还主要出露有 P_2x 、 T_1f 等沉积岩系,由于滑坡碎屑流的沿途激烈碰撞,堆积体中不可避免存在沉积岩碎屑,由于所占比例很小,在本次堆积体物质组成研究中不作讨论。

头寨沟谷中的堆积体,除少部分平坦区域发育天然植被或已被人工开垦,绝大部分裸露于地表。雨季期间沟谷中有明显地表径流,堆积体表层受到降雨淋滤和地表径流的冲刷,呈现碎石块分布,自剪出口往下沿途分布均匀,肉眼观察碎石粒径差别不大,基本介于2~10 cm。同时,季节性径流在堆积体中形成许多不规则冲沟,冲沟经过长达20余年的发育,部分沟谷切深>2 m,冲沟内侧壁出露堆积体纵剖面较多(图2),这为了解堆积体内部物质组成提供了极大便利。此外,沟谷内沿途零星分布等效直径1~5 m的巨块石。

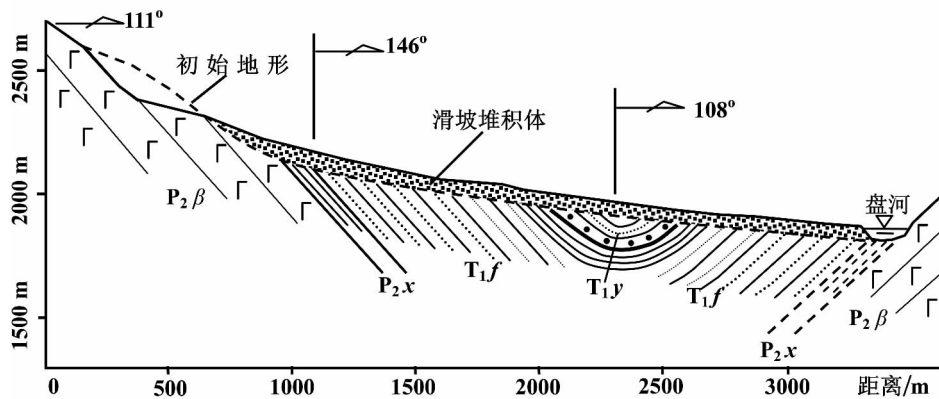


图1 头寨滑坡工程地质纵剖面图(引用自文献[15])

Fig. 1 Engineering geological longitudinal section map for Touzhai landslide

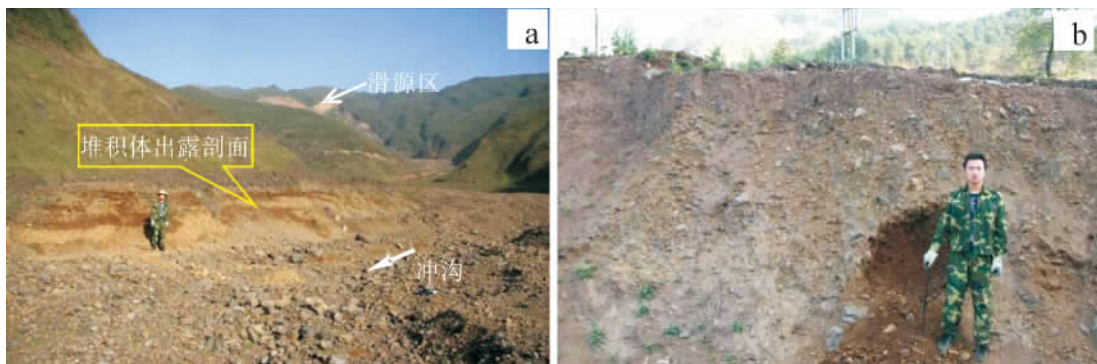


图2 头寨滑坡堆积体典型出露剖面

Fig. 2 Typical exposed sections for Touzhai landslide deposits

具体现场试验情况如下。

1.1 堆积体筛分试验

进行此项试验的目的是了解堆积体内部的粒径组成。此前已有相关学者对头寨滑坡进行了堆积体级配研究,但是试验取样点较少,单个取样点的堆积体物质总量不大,这就容易导致试验结果与真实情况差别较大,不具有代表性。为了更为客观的反应堆积体内的级配情况,本文对头寨滑坡进行了详细的现场筛分试验。

考虑到在现场的可操作性和经济性原则,试验

采用人工筛分方法。现场试验筛孔径由大到小依次为 10 cm、5 cm、2 cm、1 cm、0.5 cm、0.2 cm。自剪出口往下依次取 8 个试验点(JP1 ~ JP8),试验点选择遵循等间距原则,如图 3a 所示。每个点均选取出露良好的堆积体剖面,在剖面中部,去除最外面的一层,向纵深方向挖一探坑,取出里面全部碎屑物质,如表 1 所示,取样重量均超过 200 kg。部分含水量较高的碎屑物要经过晾晒干燥处理,然后逐级过筛、分类、称重,将粒径小于 0.2 cm 的部分取 3 kg 左右带回室内做进一步粒径分析。图 3b1 和图 3b2 为样

表 1 筛分试验各取样点重量一览表

Table 1 Weight list for each sampling points of sieving experiment

筛分取样点	JP1	JP2	JP3	JP4	JP5	JP6	JP7	JP8
取样重量/kg	204.01	212.10	214.50	219.90	209.91	221.50	218.20	226.00



图 3 筛分试验取样点分布及 JP8 筛分前后示例

Fig.3 Sampling points distribution of sieving experiment and the pre and post sieving examples of JP8

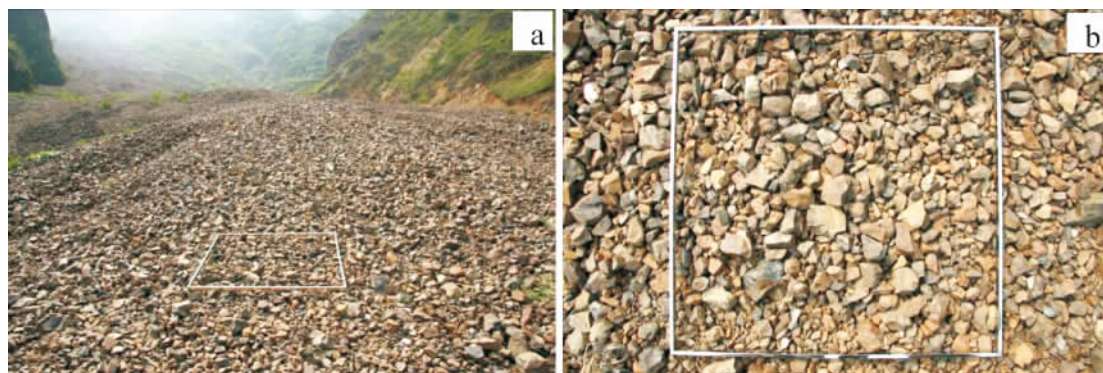


图4 淋滤块石粒度调查试验(图中方框边长为1 m)

Fig. 4 Experiment of the particle size survey of leaching block stones (the side length of square frame is 1 m)

品 JP8 在筛分前后示例。

1.2 淋滤块石粒度调查

淋滤块石在整个堆积体分布区的表面广泛存在,且粒径比较均匀,调查统计其粒度,对于研究整个堆积体粒度组成有着十分重要的意义。为了更具广泛性和代表性,滑坡堆积区自上而下共进行了21组等间距抽样调查。在每个点用1 m×1 m的矩形方框随机选定一块区域(图4),收集方框范围内的表层淋滤块石,称重,统计数量,由块石平均重量结合其密度(2.8 g/cm³)即可得出每一组淋滤块石的平均等效粒径。

1.3 巨石等效粒径调查

巨石在滑坡堆积体上的分布并不均匀,主要分布在中下游,中游最多,到下游有逐渐减少的趋势。虽然就整体而言所占比例不大,但是对于碎屑流的高速远程运移及最终减速停止起到控制性作用,是整个堆积体研究中不可或缺的一部分。调查中共统计巨石219块,每块巨石采用测量3个周长,取平均周长进行统计;对于形状比较规则的巨石取长宽高进行统计;还有少部分巨石只在地表出露且面积较大,只统计出露边长。最终换算为每块巨石的等效周长,进而可统计其等效粒径。

1.4 粘土取样

粘土在整个滑坡堆积体中也是重要的一部分,尽管总量很小。通过分析粘土的成分组成可以推断玄武岩转化为粘土的化学变化过程,对于整个头寨滑坡演化机制的研究是至关重要的。

粘土取样的原则是保证所取粘土完全来自于玄武岩区,因此取样点选择在剪出口往下300 m处,即图1中111°与146°连接处。现场采用筛分法将堆积物提取至2 mm以下,最后用2 μm的筛子进行水洗,天然蒸发至无水状态即取样完成。

2 试验结果分析

2.1 8组筛分测验

针对8组筛分试验,为了形象的描述堆积体的粒径分布和特征及便于计算,采用克鲁宾(1934)的粒级划分方法,定义式为

$$\phi = -\log_2 D$$

式中 D 代表颗粒直径(mm)。由此可以做出堆积体粒径(ϕ)的频率分布曲线(图5),8组曲线在 $[-6, -4]$ 区间内均出现显著峰值,而在 $[1, 8]$ 区间内虽有小幅波动,但所占百分比均在5%以下,这显示出头寨滑坡堆积体粒度分选较好,主要粒径范围在 $[-6, -3]$ 。堆积体重量累积曲线(图6)也证实了这一看法。

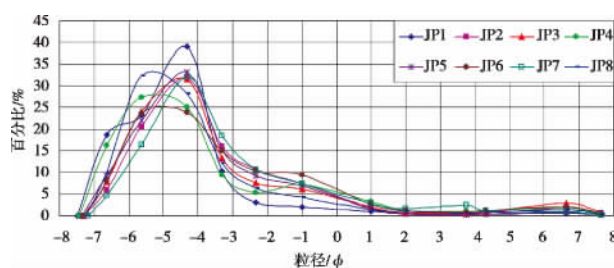


图5 堆积体粒径频率分布曲线

Fig. 5 Particle size frequency distribution curve of the deposit

根据福克和沃德的定义^[16],堆积体碎屑平均粒径的表达式

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

根据 Inman(1952) 的定义,堆积体碎屑分选系数的表达式

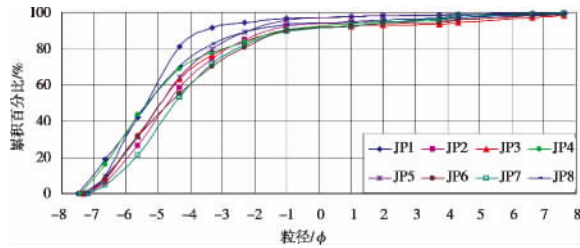


图 6 堆积体重量累积曲线
Fig. 6 Weight cumulative curve of the deposit

$$\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$$

式中 ϕ_{16} ϕ_{50} ϕ_{84} 分别代表累积百分比分别为 16 , 50 84 时所对应的粒径。平均粒径 M_z 反映了碎屑颗粒的集中趋势; 分选系数 σ_{ϕ} 是碎屑分选性的测量标志 , 分级标准如表 2。

表 2 分选系数的分级标准
Table 2 Classification of the sorting coefficient

分选系数 σ_{ϕ}	分选性
0 ~ 1	好
1 ~ 2	较好
2 ~ 3	差
3 ~ 4	很差

经计算 8 个试验点的平均粒径和分选系数如表 3 所示。可以看出 , 平均粒径是在 $[-5.4 , -4.1]$ 的区间内浮动 , 均值为 -4.65 , 代表堆积区的主碎屑集中分布在这一粒径范围内; 分选系数介于 1.3 与 2.1 之间 , 均值为 1.85 , 表明滑坡堆积体碎屑整体分选性较好。

表 3 各筛分点平均粒径一览表
Table3 List of average particle size for each screening point

筛分取样点	JP1	JP2	JP3	JP4	JP5	JP6	JP7	JP8
$M_z(\phi)$	-5.4	-4.4	-4.5	-4.7	-4.8	-4.3	-4.1	-5.0
σ_{ϕ}	1.3	1.9	2.0	2.1	1.7	2.1	2.0	1.7

2.2 淋滤块石粒度

淋滤块石粒度调查结果如表 4 所示 , 为了更直观了解 21 组试验点等效粒径的相对大小 , 作图如图 7 所示。21 组等效粒径前后有所波动 , 前面的部分稍大于后面的 , 即上游的淋滤块石粒度稍大于下游的 , 但是变化不显著 , 均介于 4 ~ 8 cm。

表 4 淋滤块石粒度调查统计表
Table 4 Statistics of particle size survey of leaching block stones

编号	重量/kg	数量/个	平均重量/kg	等效粒径/cm
1	41.7	89	0.469	6.84
2	43.5	123	0.354	6.23
3	37.6	163	0.231	5.40
4	57.7	106	0.544	7.19
5	47.7	129	0.370	6.32
6	67.7	113	0.599	7.42
7	40.7	129	0.316	5.99
8	31.6	222	0.142	4.60
9	43.2	190	0.227	5.37
10	46.2	170	0.272	5.70
11	48.2	187	0.258	5.60
12	44.7	182	0.246	5.51
13	44.2	247	0.179	4.96
14	47.2	240	0.197	5.12
15	52.2	244	0.214	5.26
16	91.3	132	0.692	7.78
17	45.7	349	0.131	4.47
18	68.2	237	0.288	5.81
19	67.2	206	0.326	6.06
20	58.2	307	0.190	5.06
21	52.2	274	0.191	5.07

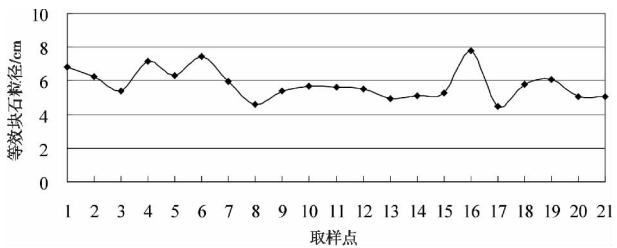


图 7 淋滤块石等效粒径走势图
Fig. 7 Trend map of equivalent grain size of leaching block stones

淋滤块石的调查结果显示了堆积体主要粒径颗粒的集中趋势 , 这与筛分试验显示的结果是吻合的 , 之所以表面会被淋滤 , 就是因为堆积体颗粒 2 ~ 10 cm 占绝大部分 , 而 < 2 mm 的还不到 10% , 较好的分选性使小颗粒很容易在大颗粒之间的空隙渗漏 , 从而形成这种类似戈壁的景观。

上述 8 组现场筛分试验和 21 组淋滤块石粒度调查的结果显示 , 玄武岩质滑体自剪出口开始的整个运移过程中都表现的非常破碎 , 1 ~ 10 cm 粒径所占比例超过 80% ; 并且颗粒分选性较好 , 碎屑粒径集中于 -4.65ϕ (约 25 mm) , 平均分选系数为

1.85。已有研究表明,碎屑流化滑坡高速远程滑移的原因是碎屑颗粒间相互碰撞引起的动量传递,且颗粒越破碎,颗粒间相互碰撞的机会就越多,滑移距离就越远^[17-20];同时较好的分选性使颗粒间空隙广泛存在,在高速运动过程中掺入大量高速流动的空气和细粒组分,在碎屑颗粒内部产生低阻效应,使碎屑流体化,破坏性增强^[21-22]。因此,比较破碎(粒径较小)的碎屑颗粒及其较好的分选性对碎屑流高速远程运移有重要的贡献。

2.3 巨石堆积体测算

巨石是整个滑坡堆积体中不可或缺的一部分,尽管数量不多。调查的219块巨石等效半径分布情况如图8示。巨石半径大部分在0.5~1.5 m,半径越大,数量越少,最大的巨石等效半径超过3 m。

经计算,所调查全部巨石等效占地面积约为974 m²,而整个堆积体出露面积通过实测地形图测算约为2.73×10⁵ m²,则巨石在堆积体表面所占面积比例约为0.36%。根据体视学理论^[23],滑坡堆积体中巨石所占的比例应该也不到1%。

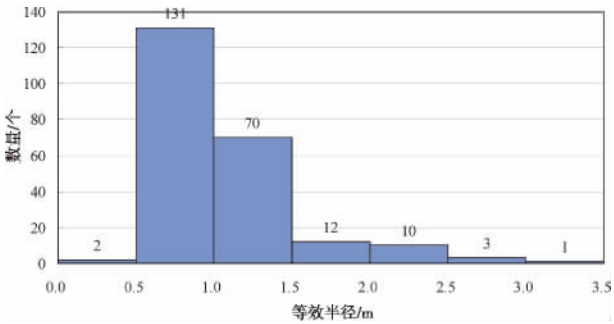


图8 巨石等效半径分布区间图

Fig.8 Distribution interval graph of equivalent radius of hugestones

2.4 粘土分析

对取得的粒径2 μm以下的粘土样进行电镜扫描(SEM),如图9所示,粘土颗粒细小,层状硅酸盐特征明显。为了进一步了解样品中的元素及矿物组成,分别对其进行能谱分析(EDS)和X射线衍射分析(XRD)。图9 b中的红色方框区域即为EDS分析微区,分析结果见图10,化学成分组成见表5;XRD分析结果如图11所示。

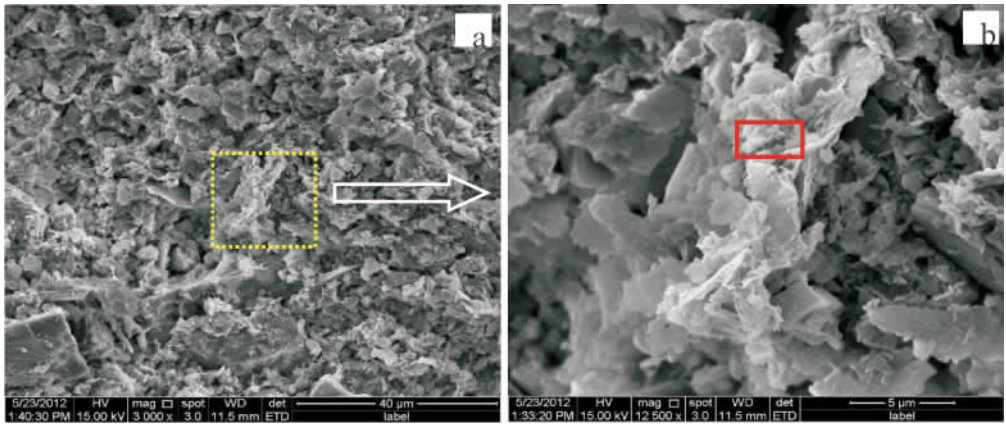


图9 粘土样SEM图像

Fig.9 SEM images of the clay sample

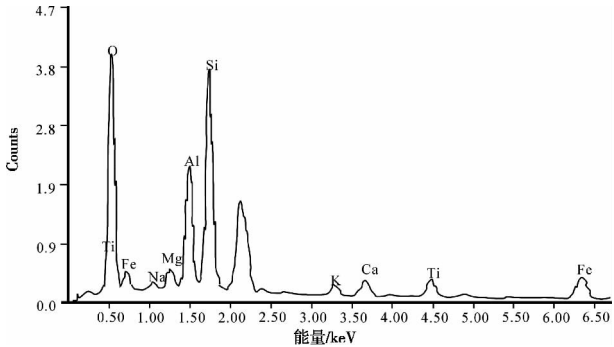


图10 粘土样EDS分析图

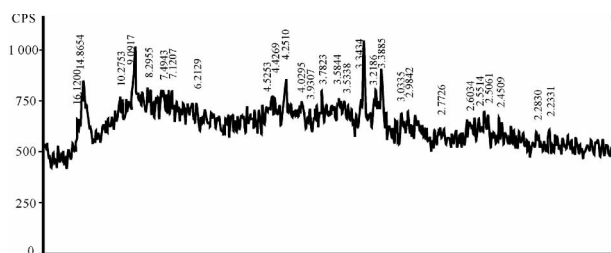
Fig.10 EDS analysis chart of the clay sample

表5 粘土样化学成分表

Table 5 Chemical composition table of the clay sample

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
含量/%	44.19	16.96	0.90	17.00	2.47	2.62	0.83	1.46	3.97

由以上分析结果可以看出,这些粘土样主要由蒙脱石、沸石、斜长石和部分次生石英组成。次生粘土矿物蒙脱石、沸石和高岭石等层状硅酸盐含量超过50%;造岩矿物斜长石和钾长石含量<20%;由



蒙脱石 35% ~ 45% 沸石 10% ~ 20% 石英 5% ~ 10% 钾长石 < 5%
斜长石 10% ~ 15% 高岭石 < 5% 赤铁矿 5% ~ 10%

图 11 粘土样 XRD 分析图

Fig. 11 XRD analysis chart of the clay sample

于化学风化而产生的次生赤铁矿和石英含量均 < 10%。

粘土矿物来源于滑源区大量存在的玄武岩腐岩,经历了新鲜岩石-核心石-腐岩壳一系列转变过程,造岩矿物已基本被替换为粘土矿物^[24-25],这使岩体力学性能严重劣化,是源岩体失稳的重要影响因素之一;同时粘土作为碎屑流中的细粒组分,对滑体的空-地一体化远程运移也起到关键性作用^[26]。

3 结论

1. 头寨滑坡堆积体粒径分布粒径跨度较大,最大粒径超过 6 m,但是比例分布并不均匀,1 ~ 10 cm 粒径所占比例超过 80%。

2. 粒径主体分布在 -6 ~ -3 φ 之间(即 8 ~ 64 mm),平均粒径 -4.65 φ(约 25 mm),分选性较好;淋滤块石粒度反映了整个堆积体碎屑块度的集中趋势,对于宏观评价此类滑坡堆积体的主体粒径具有参考意义。同时,主体粒径较小,分选性较好可能也是碎屑流高速远程运移的重要因素之一。

3. 粒径在 2 mm 以下的部分不到 10%,微米级的粘土则比例更小,但却对滑源区岩体的岩质劣化(尤其是化学风化)有重要的对照意义。

4. 巨石比例不足 1%,推断可能来自滑源区失稳岩体底部风化程度不高的那部分岩体。

5. 自剪出口至堆积扇前缘,堆积体粒度分布规律相差不大,且碎屑主体粒径均为 1 ~ 10 cm,碎屑流的沿途碰撞并没有显著使滑体变得更加破碎,这与源岩体的散体化尺度是否有密切关系需要进行进一步研究。

参考文献(References)

[1] Tang Chuan. A study on large-scale catastrophic landslide at

Touzhai gully of Zhaotong [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 1991, 3(2): 64-71 [唐川. 昭通头寨沟特大型灾害性滑坡研究[J]. 云南地理环境研究, 1991, 3(2): 64-71]

[2] Chen Zisheng, Kong Jiming. A catastrophic landslide of sept. 23, 1991 at Touzhaigou of Zhaotong, Yunnan province [J]. Mountain Research, 1991, 9(4): 265-268 [陈自生, 孔纪名. 1991 年 9 月 23 日云南省昭通市头寨沟特大滑坡[J]. 山地研究(现山地学报), 1991, 9(4): 265-268]

[3] Shen Junhui, Wang Lansheng, Xu Linsheng, et al. The lithofacies and the rock mass structure of Emei mountain basalt rockmass [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2001, 28(6): 1-4 [沈军辉, 王兰生, 徐林生, 等. 峨眉山玄武岩的岩相与岩体结构[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(6): 1-4]

[4] Shi Yafeng, Tang Bangxing, Xu Bing, et al. Investigation on Lannigou huge rock avalanche, in Luquan County, Yunnan Province [G] // Proceedings of the first symposium of the debris flows and landslides prevent and control in China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1993: 188-194 [施雅风, 唐帮兴, 徐兵, 等. 云南省禄劝县普福河烂泥沟特大崩塌型滑坡调查研究[G] // 首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集. 昆明: 云南科技出版社, 1993: 188-194]

[5] Xu Qiang, Dong Xiujun, Deng Maolin, et al. The Ermanshan rock slide-debris flow of July 27, 2010 in Hanyuan, Sichuan: characteristics and failure mechanism [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(5): 609-622 [许强, 董秀军, 邓茂林, 等. 2010 年 7 月 27 日四川汉源二蛮山滑坡-碎屑流特征与成因机理研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 609-622]

[6] Hsu K J. Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfall [J]. Geological Society of America Bulletin, 1975, 86: 129-140

[7] Peart M. The Kaiapit Landslide: events and mechanisms [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1991, 24: 399-411

[8] Huang Runqiu, Deng Rongui, Zhang Zhuoyuan, et al. Full course numerical simulation of high slope material movement [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1993. [黄润秋, 邓荣贵, 张倬元, 等. 高边坡物质运动的全过程模拟[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.]

[9] Davies T R, McSaveney M J, Hodgson, et al. A fragmentation-spreading model for long-runout rock avalanches [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1999, 36: 1096-1110

[10] Ren Jinwei, Shan Jianxin, Shen Jun, et al. Geological characteristics and kinematics of the rock fall-landslide in Yi'ong, southeastern Tibet [J]. Geological Review, 2001, 47(6): 642-647 [任金卫, 单新建, 沈军, 等. 西藏易贡崩塌-滑坡-泥石流的地质地貌与运动学特征[J]. 地质论评, 2001, 47(6): 642-647]

[11] Owen L A, Kamp U, Khattak G A, et al. Landslides triggered by the 8 October 2005 Kashmir earthquake [J]. Geomorphology, 2008, 94(1/2): 1-9

[12] H J Melosh. Giant rock avalanches [J]. Nature, 1990, 348: 483-484

[13] Dunning S A. The grain size distribution of rock-avalanche deposits in valley-confined settings [J]. Italian Journal of Engineering Geol-

- ogy and Environment 2006 5(10):117-121
- [14] Crosta G B, Frattini P, Fusi N, et al. Formation, characterization and modeling of the 1987 VAL POLA rock-avalanche dam[J]. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2006, 3(2):145-150
- [15] Xu Zemin, Huang Runqiu, Tang Zhengguang. Engineering geological characteristics of the Touzhai landslide and its occurrence mechanisms[J]. Geological Review 2007 53(5):691-698 [徐则民, 黄润秋, 唐正光. 头寨滑坡的工程地质特征及其发生机制[J]. 地质论评 2007 53(5):691-698]
- [16] Liu Xiaoming, Zhao Minghua, Su Yonghua. Improvement and application of fractal model to size distribution of sedimentary rock and soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006 25(8):1691-1697 [刘晓明, 赵明华, 苏永华. 沉积岩土粒度分布分形模型改进及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2006 25(8):1691-1697]
- [17] Eissbacher G. H. Cliff collapse and rock avalanche (sturzstrom) in the Mackenzie Mountains, northwestern Canada [J]. Canadian Journal of Earth Science, 1979, 16:309-344
- [18] Engineering geology research office of Chengdu College of Geology. Study on the major engineering problems in Longyang Gorge Hydropower Station[M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1989. [成都地质学院工程地质研究室. 龙羊峡水电站重大工程地质问题研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1989.]
- [19] Okura Y, Kitehara H, Sammori T. Fluidization in dry landslides [J]. Engineering Geology 2000 56(3-4):347-360
- [20] Okura Y, Kitahara H, Sammori T, et al. Effects of rockfall volume on runout distance [J]. Engineering Geology 2000 58(2):109-124
- [21] Hu Houtian, Yang Ming. A study on hydrokinetics mechanism of the Touzhai landslide [J]. Journal of Engineering Geology 2000 8 (Suppl.):85-89 [胡厚田, 杨明. 头寨大型高速远程滑坡流体动力学机制的分析研究[J]. 工程地质学报, 2000 8(增):85-89]
- [22] Jin Yong, Zhu Jingxu, Wang Zhanwen, et al. Fluidization Engineering Principles [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001 [金涌, 祝京旭, 汪展文, 等. 流态化工程原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001]
- [23] Liu Guoquan. On the definition, application and methodology components of stereology [J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis 2001 6(1):1-5 [刘国权. 关于体视学的定义、用途和方法学基本要素[J]. 中国体视学与图像分析, 2001 6(1):1-5]
- [24] Wang Zhibing, Xu Zemin. Petrochemistry and mineralogy of basalt saprolite in Touzhai landslide [J]. Acta Mineralogica Sinica 2008, 28(4):447-454 [王志兵, 徐则民. 头寨滑坡玄武岩腐岩的岩石化学和矿物学特征[J]. 矿物学报, 2008 28(4):447-454]
- [25] Xu Zemin. Propagation process of weathering fronts of rock blocks with low permeability in vadose zones of slopes [J]. Earth Science Frontiers 2008, 15(4):258-268 [徐则民. 斜坡非饱和带低渗透岩石结构体风化前锋扩展过程[J]. 地学前缘, 2008, 15(4):258-268]
- [26] Huang Runqiu, Xu Qiang, et al. Catastrophic landslides in China [M]. Beijing: Science Press 2008 [黄润秋, 许强, 等. 中国典型灾难性滑坡[M]. 北京: 科学出版社, 2008]

The Grain Size Composition of Touzhai Rock-avalanche Deposits

WANG Pin¹, XU Zemin²

(1. Department of Earth Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China)

2. Department of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: The Emeishan basalt landslide with the landslide in Touzhai of Yunnan, China as a representative is widely developed into a large long-distance and high-speed landslide-debris flow which is dangerous, while grain-size composition of deposit body for such kind of landslide is still lack of systematic study. This paper takes the Touzhai landslide of Zhaotong, Yunnan province, China as study object, combining with the laboratory experiment, through the field sieving experiment, investigation of the grain size of leaching block stones and huge stone and clay sampling analysis, the grain-size composition of deposit body is understood omnibearingly ranging from large to small. The results show that there are little difference in the distribution of grain size of the landslide deposits which mainly range from -6ϕ to -3ϕ from above downward. Based on the hugestones ratio less than 1%, the hugestones can be inferred to be the bottom bedrock of instability rock in slippery source area. The clay counts for the least though, it has important control significance in the degradation to rock quality.

Key words: Touzhai landslide; deposit; grain size distribution; Emeishan basalt