

排土场级配规律及其对稳定性影响的模型试验研究

任伟^{a,b} 李小春^{a,b} 汪海滨^{a,b} 石露^{a,b}

(中国科学院 a. 武汉岩土力学研究所; b. 岩石力学与工程国家重点实验室 武汉 430071)

摘要: 排土场的扩容和增高衍生出了一系列地质灾害现象。级配是排土料最重要的物理性质,决定了排土料的力学强度,但排土场内部级配很难调查清楚,因此揭示堆排过程中的级配规律非常重要。设计了一套进行排土场模型试验的装置,利用4组粒径分别为0.0075、0.02、0.1~0.2、0.8~1.0 cm的材料,模拟排土料倾倒时的自然分选过程,并对形成的排土料分区进行筛选统计。试验结果表明:排土料模型试验体现了现场排土中出现的运动分异现象;在高度方向上,第1~3组含量随高度的降低而降低,第4组含量随高度降低而增加;在水平方向上,第1和2组越靠近排土场内部含量越低,第3组在水平方向上分布无明显规律,第4组越靠近土场内部含量越高。此外,按分区模型计算所得安全系数要明显小于水平分层的模型。研究成果可以为现场划分筛分高度提供指导,用最少的测点取得尽可能准确的级配数据,且分区模型能够更好地反应排土场整体性质。

关键词: 排土场; 模型试验; 级配; 分区; 稳定性

中图分类号: O319.56

文献标志码: A

文章编号: 1001-5485(2012)08-0100-06

1 研究背景

目前,全国有10万多个矿山,形成了众多的排土场,其占地已达 $(1.4 \sim 2.0) \times 10^4 \text{ km}^2$,且以每年 340 km^2 的速度增长,土地价格的上涨推动着排土场扩容和高度的增加^[1],衍生出一系列的地质灾害现象,造成了巨大的生命财产损失^[2-5]。

排土场是一个特殊的工程体,排土料在排放过程中,形成了明显的分选性,总的趋向是小块集中在上部,大块在下部,中间部分各种块度参差不齐,这就造成了其级配在排土场各个高度上都不相同^[6]。

粒径级配是排土料最重要的物理性质,直接影响排土料强度力学特性。黄广龙等^[7]研究了矿山排土场散体岩土强度变形特性,认为散体物料的黏聚力 C 值随物料粒径的增大而降低,内摩擦角 φ 值随物料粒径的增大而增大。排土场稳定性分析时其力学强度参数应随排土场高度不同而分层取值;王光进等^[6]研究了粗粒含量对散体岩土颗粒破碎及强度特性,剪切强度试验结果表明:在粗粒含量等于24%时,低垂直压力下的剪应力-应变曲线呈微软化或微硬化型,较高垂直压力下呈轻软化型;在粗粒含量等于78%时,低垂直压力下其剪应力-应变曲线呈软化型,较

高垂直压力下表现为轻微硬化型。

关于排土场级配的分布规律,有下列研究工作:黄广龙、周建等^[7]认为细颗粒主要集中在排土场上部;大块岩石则集中在排土场底部,中间部位各种块度参差不等,但以中值块度居多;筛分试验表明,粒度组成符合Rosin-Rammler函数。谢学斌、潘长良等^[8]认为在边坡同一高度位置粒径相差不大,排土场上部细颗粒含量高,粗颗粒含量少;中部细颗粒含量少,粗颗粒含量逐渐增多;排土场底部则几乎不含细粒岩块,粗颗粒含量也较少,排土场散体岩石块度分布符合分形分布,其粒度组成具有良好分形结构,在统计意义上满足自相似规律。王光进、杨春和等^[9]进行了超高排土场的粒径分级及其边坡稳定性分析研究,认为采用一坡到底的超高排土场的排废过程使堆积体粒度具明显的分选性; $d > 60 \text{ mm}$ 的大颗粒散体随边坡高度的增加而明显减小,从61.2%减至14.5%;坡脚处中大块状散体的粒径变化非常明显,其 $d > 100 \text{ mm}$ 的大颗粒岩石含量较多, $10 \text{ mm} \leq d \leq 60 \text{ mm}$ 的小块状散体随边坡高度的增加变化不大,排土场中部的小块状散体含量要多于顶部和底部,其范围在33.2%~54.3%; $d < 10 \text{ mm}$ 的粉粒状散体随着边坡高度的增加而起伏性地增加,从5.6%增加到38.6%。

收稿日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金(41002116)

作者简介: 任伟(1985-),男,湖北武汉人,博士,主要从事排土场结构及稳定性研究工作。(电话)027-87198967(电子信箱) jamesren-wei@126.com。

排土料的级配分区规律是研究排土场稳定性的基础工作,对形成计算剖面与提供排土料的力学参数具有重要作用。但是排土场边坡的粒径分布规律难以获取,粒径筛分工作量大,劳动强度高,获取排土场随高度变化的粒径分布需要耗费大量的人力和物力^[10]。因此,现有的排土场粒径调查结果只是对级配粗略的统计分析,且只适用于排土场表面,对于排土场内部的排土料级配规律,更是无法得知。

为了得到排土场内部的排土料结构形式,需要采取其它的方法。常规的地质调查方法有钻孔、槽探、物探^[3-9]等,但上述方法中仅槽探适用于排土场。因此,我们设计了一套进行排土料模型试验的装置,将0.007 5、0.02、0.1~0.2、0.8~1.0 cm这4种粒组材料进行混合倾倒,模拟排土料倾倒时的自然分选过程,并对形成的排土料进行分层筛选,得到排土料沿高度和深度方向的级配数据,以期对排土料进行全面准确的级配研究。

2 模型试验

本次试验采用的模型如图 1 所示,高度为 1 m,宽度为 20 cm,长度约为 2.8 m,模型长度方向以不影响石料的自然堆积为目标。试验粒径与现场粒径的相似比为 1/50,试样最大粒径与模型宽度比值为 1/10,试样最大粒径与模型高度比值为 1/50,消除了尺寸效应影响。为减小槽壁摩擦阻力,在槽壁内表面涂抹润滑油。

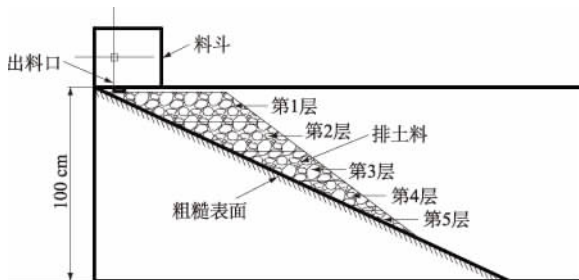


图 1 排土料试验模型

Fig. 1 Sketch of the waste dump model

选用的 4 种粒组材料如图 2 所示:细砂、粗砂、0.1~0.2 cm 碎石、1~2 cm 卵石,为了便于描述各材料的粒径,在后文中细砂以 0.007 5 cm 代替,粗砂以 0.02 cm 代替。

试验过程如下:按照表 1 中某排土场现场实测数据,其中 1[#]-1 位置为坡顶,1[#]-2 取样位置为坡中,简化成为 4 种粒组含量,简化后的 4 种粒组含量依次为 5%、15%、30%、50%。料斗能够容纳 50 kg 的石料,按比例称取相应重量的材料进行搅拌,均匀



图 2 模型试验 4 种粒组材料

Fig. 2 Four groups of material with different grain sizes in the model

表 1 某排土场现场实测各粒组含量

Table 1 Grain fraction contents obtained from in-situ test

取样点	粒组含量 /%					
	<2 mm	2~8 mm	8~10 mm	10~25 mm	25~60 mm	>60 mm
1 [#] -1	7.56	6.88	4.03	8.46	18.83	54.24
1 [#] -2	6.74	3.98	2.76	8.38	23.39	54.75
均值	7.15	5.43	3.395	8.42	21.11	54.49

混合后装入料斗进行试验。

打开出料口开关,混合的石料在重力作用下沿坡面运动并堆积,当下泄的土料堆积至出料口时,将料斗缓慢向前移动,使土料继续沿着已形成坡面向下滚动,排土过程与汽车排土相似。试验完成后堆积成的排土场模型如图 3 所示,此形状与多次卸料后土料的形态相似。



图 3 排土料最终堆积效果

Fig. 3 Final form of the dumping process

3 试验结果及分析

3.1 排土场模型级配分布规律

本次模型试验共进行了 9 次,形成的排土体按照图 4 所示,划分为 12 个分区进行筛分,依次将每个分区编号。编号规则为:沿排土体高度从上往下平均划分为 5 个分层,命名为 1、2、3、4、5 层,同时将每层沿排土体法向划分为 A、B、C 层,由内而外分布,因为 4 层与 5 层中排土体可筛分量变小,为了保证统计规律

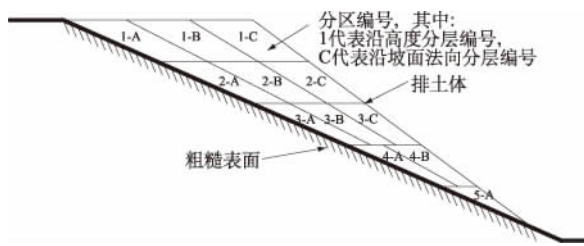


图4 排土体筛分分区编号

Fig. 4 Number of partitions when screening the waste dump

的可靠性 因此4层只划分为A,B层 5层只划分为A层。

各分区4种粒组级配的平均值列于表2,为了更为直观地显示分区所在排土场中的位置及其级配的关系 将各分区数据标注于分区图内,见图5。观察各粒组在排土场各分区的分布,可以得到以下规律:

(1) 0.0075 cm粒组沿高度方向分析,该粒组在总体上随着高度降低含量下降,1,2层含量最高,从第3层开始,含量降低加快,平均值从7.17%降至1.87%,到第4,5层中,含量仅占0.53%以下;沿水平方向分析,从外而内,越靠近坡面,含量越低;在第1层时,1-B分区含量略低于1-A分区含量,不符合这一规律。

(2) 0.02 cm粒组沿高度方向分析,该粒组在第1,2层含量最高且接近,除了在1-B分区中含量偏低;从第3层开始含量降低很快,4,5层中含量最低且相差不大,平均值约为4.09%;沿水平方向分析,从外而内,B,C层的含量相近且最高,到A层有所降低,其中在1,2层中降低幅度较小,在3层中降低幅度较大。

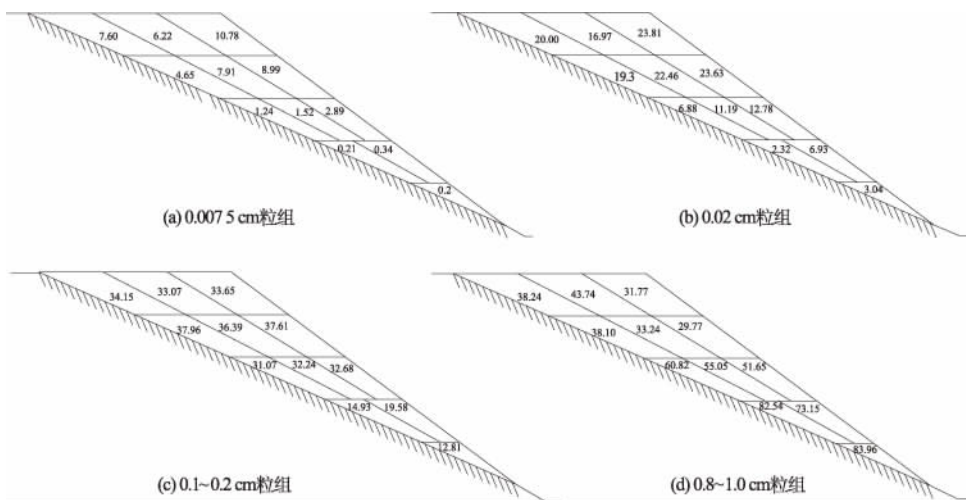


图5 各分区相应粒组级配平均值

Fig. 5 Average gradations of grain groups in all partitions

表2 各分区级配平均值
Table 2 Average gradations of materials in all partitions

分区	各粒组级配/%			
	0.0075 cm	0.02 cm	0.1~0.2 cm	0.8~1.0 cm
1-A	7.60	20.00	34.16	38.24
1-B	6.22	16.97	33.07	43.74
1-C	10.78	23.81	33.65	31.77
2-A	4.65	19.30	37.96	38.10
2-B	7.91	22.46	36.39	33.24
2-C	8.99	23.63	37.61	29.77
3-A	1.24	6.88	31.07	60.82
3-B	1.52	11.19	32.24	55.05
3-C	2.89	12.78	32.68	51.65
4-A	0.21	2.32	14.93	82.54
4-B	0.34	6.93	19.58	73.15
5-A	0.20	3.04	12.81	83.96

(3) 0.1~0.2 cm粒组沿高度方向分析,此粒组含量呈现先增长后减小的趋势,含量在第2层达到最大值;1,2,3层含量接近,到第4层含量有较大的降低,第5层含量较4层略低;沿水平方向分析,含量无明显分层规律,在1,2,3层中各列含量很接近,在4层中,C层含量稍高于B层。

(4) 0.8~1.0 cm粒组沿高度方向分析,随高度降低,该粒组含量增大;第1,2层含量较接近,从第3层开始,含量有较大幅度的增长,4,5层含量较为接近,从4层开始,含量已趋近最大值;沿水平方向分析,由内而外,含量逐渐降低,降低幅度约为10%,只有在1-B分区此规律不适用,其含量为1,2层中最大。

(5) 按照4种粒组分析,将各自含量接近的分区归为一组,大致可以分为3组:第1组,1,2层;第2组,3层;第3组,4,5层。

这种分区方法,可以为现场筛分时划分高度提供依据,用最少的测点取得尽可能准确的级配数据。

3.2 试验结果离散性分析

数学中常用标准差σ来衡量一组数据的离散程度,它是各数据偏离平均数距离的平均数,其定义为离均差平方和平均后的方根:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (2)$$

式中： μ 为离均差 x_i 为样本观察值 N 为样本个数。各分区级配的标准差见表 3。

表 3 各分区各粒组统计标准差

Table 3 Standard deviation of grain groups in all partitions

分区	各粒组标准差/%			
	0.0075 cm	0.02 cm	0.1~0.2 cm	0.8~1.0 cm
1-A	4.41	4.57	1.95	10.20
1-B	3.13	4.69	2.86	9.96
1-C	2.75	2.85	2.87	6.72
2-A	2.62	4.00	2.65	7.45
2-B	3.26	2.97	3.14	3.37
2-C	3.12	2.09	4.46	3.99
3-A	1.69	4.46	6.41	10.31
3-B	2.38	6.24	2.42	10.23
3-C	2.30	4.84	2.17	7.68
4-A	0.32	2.07	6.78	8.25
4-B	0.38	5.86	7.69	11.16
5	0.21	2.23	4.42	5.90
均值	2.21	3.91	3.99	7.93
原始含量	5	15	30	50

可以得出以下规律：

(1) 在不同分区中,各粒组标准差不同,从高度方向分析,各层的标准差均不相同,且规律性不明显;从水平方向分析,在 1 至 3 层中,A,B 列标准差比 C 列更大,从 A 列到 C 列,标准差有减小的趋势;说明某一粒组在排土体中的分布,与分区位置存在关系,在一些分区中,其含量较为稳定,在某些分区其含量变化较大。

(2) 与原始含量相比,各粒组的标准差所占权重比不一,权重比的定义为某粒组标准差占该粒组原始含量的比例,其具体规律如下:0.0075 cm 粒组原始含量为 5%,其各分区标准差平均值为 2.21%,权重比超过 40%,表明其在排土体中的分布存在很大的不确定性;0.02 cm 粒组标准差平均值为 3.99%,权重比为 26%,分布存在一定的不确定性;0.1~0.2 cm 粒组标准差平均值为 3.91%,权重比为 13.3%;0.8~1.0 cm 粒组标准差平均值为 7.93%,权重比为 16%。这表明,大粒组分布的不确定性小于小粒径组;占据排土体 80% 含量的中粗粒径组,其权重比在 16% 以内,属于工程统计可以接受的范围。进行现场筛分时,如果增加取样点的个数,得到的结果可以认为代表了排土场粒径的分布特征。

4 讨 论

前人已经做了很多粗粒料级配对力学性质影响

的研究,图 6 来自于郭庆国的研究^[11],列出了粗料含量与摩擦角的关系,选用其中干燥石头河沙砾石曲线,结合表 2 中各分区级配均值,得到各分区摩擦角($^\circ$)如表 4。因为前人关于黏聚力与粗、细粒料含量关系的研究不足,因此本次计算对比了考虑 C 值随高度变化与不考虑 C 值随高度变化 2 种情况。C 值选用某排土场土料大三轴试验结果,当考虑 C 值随高度变化时,1 层、3 层摩擦角来自试验结果,2 层、4 层、5 层结果采用线性分布获得;不考虑 C 值随高度变化时,所有分区 C 值选用 50 kPa,力学参数见表 4。

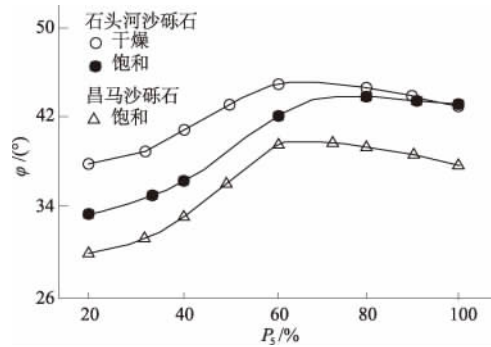


图 6 粗粒含量与抗剪强度参数(φ)关系曲线

Fig.6 Relation between content of coarse grain and shear strength (φ)

表 4 考虑 C 值变化时 3 种模型分层(分区)力学参数分布

Table 4 Distribution of C, φ in three models

层数	分区	3 层模型		5 层模型		分区模型	
		C/kPa	$\varphi/(^\circ)$	C/kPa	$\varphi/(^\circ)$	C/kPa	$\varphi/(^\circ)$
1	1-A					70	40.5
	1-B	70	38.9	70	38.9	70	41.8
	1-C					70	38.9
2	2-A					52.5	40.5
	2-B	35	43.7	52.5	38.8	52.5	39
	2-C					52.5	38.8
3	3-A					35	45
	3-B	17.5	44.3	35	43.7	35	44.2
	3-C					35	43.7
4	4-A					17.5	44.5
	4-B	无	无	17.5	44.9	17.5	44.9
5	5-A	无	无	17.5	44.3	17.5	44.3

利用以上参数,对比了 3 种常用的计算模型的安全系数:模型 I,水平分层模型,沿高度方向均分为 3 层,力学参数分别采用 1-C,3-C,5 分区参数,这是计算中最常用的计算模型;模型 II,水平分层模型,沿高度方向均分为 5 层,力学参数采用 1-C,2-C,3-C,4-B,5 分区参数,这是模型 I 的改进模型,考虑了排土料级配沿高度方向的不均匀导

致的参数改变;模型 III 是模型 II 的改进模型,考虑了级配沿水平方向变化导致的力学参数改变。

可以得到如下结论:

(1) 当不考虑 C 值随高度变化影响时,利用极限平衡方法得到的结果:模型 III 计算得到的安全系数最大,模型 II 得到的安全系数最小,安全系数差距很小;利用 FEM 方法,模型 II 安全系数最大,模型 III 安全系数最小,其安全系数相差 0.17。

(2) 当考虑 C 值随高度变化影响时,分别利用极限平衡(Bishop, Spencer 法)、有限元强度折减(FEM)2 种方法计算了 3 种模型的安全系数,见表 5;限平衡方法得到的结果中,模型 I 得到的安全系数最大,模型 II 与模型 III 得到的安全系数接近,比模型 I 安全系数小 0.02;利用 FEM 法计算的结果,模型 I 与模型 II 安全系数相同,比模型 III 高 0.19。

表 5 3 种模型极限平衡(LEM)与有限元(FEM)安全系数对比

Table 5 Comparison of FOS between LEM and FEM in three models

是否考虑 C 值变化	计算方法	模型 I	模型 II	模型 III
不考虑	Bishop	1.861	1.857	1.863
	Spencer	1.866	1.865	1.870
	FEM	1.77	1.79	1.60
考虑	Bishop	1.732	1.705	1.709
	Spencer	1.733	1.711	1.714
	FEM	1.59	1.59	1.40

(3) 综合以上两点,当考虑 C 值随高度变化的影响时,模型 III 得到的计算结果小于常规模型,但差别很小;当使用 FEM 方法进行分析时,无论是否考虑 C 值变化,水平分层的两种模型(模型 I、模型 II)计算结果接近,但高于模型 III 计算结果,差别在 12%,表明分区模型对排土体稳定性影响较大,而这一现象在不考虑应力应变的极限平衡方法中无法发现。

(4) 对比 3 种模型的最大剪应变云图可以发现(图 7)模型 I 与模型 II 最大剪应变分布相似,均在 4 层靠近原始坡面出现破坏;模型 III 最大剪应变分布在 3、4 层内侧靠近坡面处,其剪切破坏分布的高度范围更大,滑裂面贯穿的区域更大,在最大剪应变相同的情况下,其安全系数更低。

(5) 破坏的滑动面形状接近圆弧,滑动面上部位于边坡前缘,穿过剪应力发育区,在坡体下缘出口。

5 结论

本文得到的主要结论如下:

(1) 排土料模型试验体现了现场排土中出现的

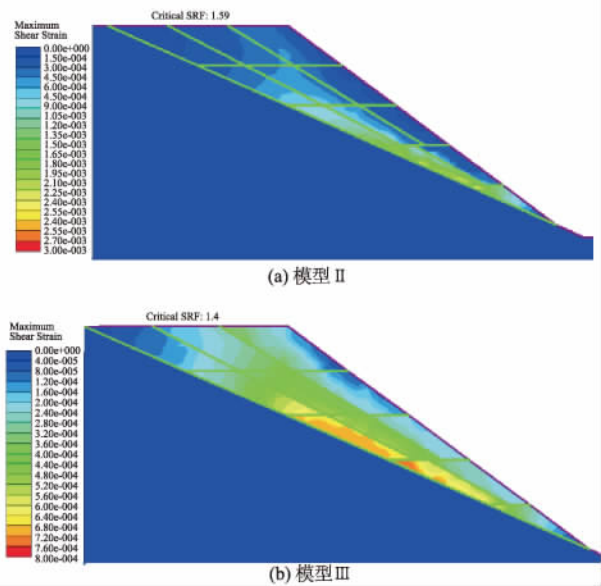


图 7 模型 II 与模型 III 最大剪应变分布图

Fig. 7 Distribution of maximum shear strain of Model II and Model III

运动分异现象,级配分析结果与现场统计结果相吻合,重复试验也显示出级配分级规律性广泛存在。

(2) 0.0075 cm 粒组、0.02 cm 粒组、0.1 ~ 0.2 cm 粒组含量随高度降低而降低,0.8 ~ 1.0 cm 粒组含量随高度降低而增加;0.0075 cm 粒组、0.02 cm 粒组在水平方向上,越靠近坡面含量越低;0.1 ~ 0.2 cm 粒组在水平方向上分布无明显规律;0.8 ~ 1.0 cm 粒组在水平方向上,越靠近坡面含量越高。

(3) 将 4 种粒组各自含量接近的分区归为一组,整个排土体大致可以分为三组:第一组,1、2 层;第二组,3 层;第三组,4、5 层。这种分区方法,可以为现场筛分时划分高度提供依据,用最少的测点取得尽可能准确的级配数据。

(4) 大粒径组分布的不确定性,小于小粒径组,占据排土体 80% 含量的中粗粒径组,其权重比在 16% 以内。进行现场筛分时,如增加取样点个数,得到的结果可以认为代表了排土场粒径的分布特性。

(5) 分区模型对排土体稳定性影响较大,其计算所得安全系数比水平分层模型低 12%,而这一现象在不考虑应力应变的极限平衡方法中无法发现。

参考文献:

[1] 孙世国,杨宏. 典型排土场边坡稳定性控制技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2011. (SUN Shi-guo, YANG Hong. Technology of Stability Control on Typical Waste Dump Slope [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011. (in Chinese))

[2] 汪海滨,李小春,米子军等. 排土场空间效应及其稳定性评价方法研究[J]. 岩石力学与工程学报,2011,10: 125-129. (WANG Hai-bin, LI Xiao-chun, MI Zi-jun, et al. Research on Space Effect of Waste Dumps and Its Sta-

- bility Evaluation Method [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 10: 125 - 129. (in Chinese)
- [3] 陈建军, 段喜明, 王治国. 安太堡露天煤矿南排土场滑坡体稳定性及治理 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 1: 87 - 92. (CHEN Jian-jun, DUAN Xi-ming, WANG Zhi-guo. Stability and Integral Control Measures on Landslide of South Dump at Antaibao Surface Mine [J] Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 1: 87 - 92. (in Chinese))
- [4] 王振伟, 朱新平. 黑岱沟露天矿阴湾排土场稳定性研究 [J]. 露天采矿技术, 2005, 3(1): 19 - 23. (WANG Zhen-wei, ZHU Xin-ping. Stability Analysis of Hedaigou Yinwan Waste Dump [J]. Opencast Coal Mining Technology, 2005, 3(1): 19 - 23. (in Chinese))
- [5] 刘雪丽, 张 玉, 杨志双. 本溪南芬铁矿排土场滑坡稳定性研究 [J]. 地质与资源, 2008, (1): 19 - 52. (LIU Xue-li, ZHANG Yu, YANG Zhi-shuang. Study on the Stability and Landslide Control of the Dumping Ground in Nanfen Iron Mine, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2008, (1): 19 - 52. (in Chinese))
- [6] 王光进 杨春和 张 超 等. 粗粒含量对散体岩土颗粒破碎及强度特性试验研究 [J]. 岩土力学, 2009, (12): 3649 - 3654. (WANG Guang-jin, YANG Chun-he, ZHANG Chao, *et al.* Experimental Research on Particle Breakage and Strength Characteristics of Rock and Soil Materials with Different Coarse-Grain Contents [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, (12): 3649 - 3654. (in Chinese))
- [7] 黄广龙 龚晓南 周 建. 矿山排土场散体岩土的强度变形特性 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2000, (1): 35 - 42. (HUANG Guang-long, GONG Xiao-nan, ZHOU Jian. Stress-Strain and Shear Strength Properties of Rock and Soil Materials of Waste Pile in Open Pit Mines [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2000, (1): 35 - 42. (in Chinese))
- [8] 谢学斌 潘长良. 露天矿排土场散体岩石粒度分布的分形特征 [J]. 湘潭矿业学院学报, 2003, 18(3): 56 - 59. (XIE Xue-bin, PAN Chang-liang. Fractal Characteristic of Size Distribution of Bulky Rock Material in Waste Dump of Open Pit Mines. [J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 2003, 18(3): 56 - 59. (in Chinese))
- [9] 王光进 杨春和 张 超 等. 超高排土场的粒径分级及其边坡稳定性分析研究 [J]. 岩土力学, 2011, (3): 905 - 915. (WANG Guang-jin, YANG Chun-he, ZHANG Chao, *et al.* Research on Particle Size Grading and Slope Stability Analysis of Super-High Dumping Site [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, (3): 905 - 915. (in Chinese))
- [10] 颜荣贵 曹文贵. 庙儿沟排土场边坡稳定性研究 [J]. 矿冶工程, 1997, (3): 15 - 19. (YAN Rong-gui, CAO Wen-gui. Stability Study of Slopes of Miaoergou Dumping Site [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1997, (3): 15 - 19. (in Chinese))
- [11] 郭庆国. 粗粒土的工程特性及应用 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. (GUO Qing-guo. The Properties and Engineering Application of Coarse Grained Soil [M]. Henan: Yellow River Conservancy Press, 1998. (in Chinese))

(编辑: 王 慰)

Model Test on the Discipline of Waste Dump Gradation and Its Impact on the Stability

REN Wei^{1,2}, LI Xiao-chun^{1,2}, WANG Hai-bin^{1,2}, SHI Lu^{1,2}

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Capacity expansion and height growth of waste dump, led by rise of land price, have brought about geological hazards. Gradation, as the most important physical property of dump material, determines the mechanical strength of dump material and yet can hardly be investigated clearly. Therefore, revealing the disciplines of gradation is of great importance. A device for waste dump model test has been developed. Four groups of material with grain size of 0.0075 cm, 0.02 cm, 0.1-0.2 cm and 0.8-1.0 cm respectively was used to simulate the natural separation in dumping process. Then, the gradation of the dump material was analyzed by partitions. The results demonstrated that dynamic differentiation existed in the dumping process. In the vertical direction, the content of group 1 to group 3 decreased with height reduction, while the content of group 4 increased; in the horizontal direction, the content of group 1 and 2 decreased from the exterior to the inner slope, whereas the content of group 4 was on the contrary, and the content of group 3 was irregular. Besides, The FOS (factor of safety) of dump material based on the zonal model was obviously smaller than that on layered model. The results can provide a guidance for the determination of in-situ partition height to get an accurate gradation distribution with the least sampling points. In addition, the zonal model is more suitable to represent the property of the waste dump.

Key words: waste dump; model test; gradation; partition; stability