

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.03.11

陕南非煤矿山废渣堆特性与边坡稳定性分析

王滔, 齐普荣, 王晗旭, 现小多

(陕西核工业工程勘察院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 陕南非煤矿山废渣堆具有颗粒组成复杂、形态特征多样等特点, 废渣堆颗粒组成直接决定了废渣堆天然休止角的大小, 同一高度颗粒组成级配越好, 边坡天然休止角越大, 同时在堆积过程中也形成了上部细粒含量多、下部粗粒含量多的堆积分选特点, 由于组成颗粒中黏粒含量的不同, 呈现出不同的变形破坏特征, 而废渣堆边坡角度对边坡的稳定性影响更为敏感。

关键词: 天然休止角; 级配; 黏结性; 敏感性; 稳定性系数

中图分类号: TD167

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)03-0077-06

Characteristics of slag dump and stability analysis of the slopes in non-coal mines of Southern Shaanxi

WANG Tao, QI Purong, WANG Hanxu, XIAN Xiaoduo

(Shaanxi Nuclear Industry Engineering Investigation Institute Limited company, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: The grain composition of the waste slag dump directly determines its natural angle, at the same attitude, the better-graded soil always with the bigger natural angle. So after sorting and accumulation, the content of fine grains is obviously high in the upper part while the content of coarse grains is very high in the lower part, the slope deformation and failure characteristics are different according to the content of fine grains. Slope stability is more sensitive to the angle of slag dump.

Keywords: natural repose angle; gradation; adhesion; sensitivity; stability coefficient

0 引言

根据调查,在非煤矿山存在大量的废渣堆,多数未按照规范进行堆放,造成较为严重的矿山地质环境问题,对矿山地质环境的影响主要为压占土地资源、破坏植被、破坏地形地貌景观,同时由于废渣堆多为自然堆积的松散结构,在降雨、地震等不利工况作用下易产生沿最大剪应力面变形破坏^[1]的塌滑,出现水土流失灾害,甚至导致泥石流灾害的发生,是矿山地质灾害的重要组成,对矿山正常的生产和矿区周围人民生命财产安全产生严重危害。本文通过对不同区域、不同类型矿山废渣堆的调查和勘察结果进行分析,研究废渣堆组成粒组、废渣堆堆高与废

渣堆边坡天然休止角的关系,以及废渣堆堆积过程中的分选作用对废渣堆边坡稳定性的影响和对边坡破坏形式的影响,为废渣堆合理堆放和治理提供一定的参考。

1 废渣堆基本特性概况

广义的矿山废渣堆是指在矿山生产过程中将采矿区域的表层剥离物、井巷开挖掘进过程中的废石、矿体围岩、选矿废弃石渣等废弃堆积物,小型矿山大多沿采场或巷硐坑口就近自然堆积^[2],部分大型矿山建有专门的排土场、堆渣场和尾矿库,本处主要针对小型矿山的采矿废弃物堆积体进行研究,本文研究的废渣堆为采矿活动中产生的复合散体废弃物堆

收稿日期: 2017-09-28; 修订日期: 2017-11-11

第一作者: 王滔(1981-),男,陕西西乡人,大学本科,高级工程师,主要从事地质灾害、矿山地质环境调查与治理等相关工作。

E-mail: wangtao113@163.com

积体^[3]。

根据大量的调查,本文选取陕南地区典型的 18 处非煤矿山废渣堆进行研究,各废渣堆的基本特征见表 1,各废渣堆分布位置及编号见图 1,4 处典型废渣堆的形态特征见图 2~图 5。

表 1 废渣堆基本特征一览表
Table 1 Summary of basic characteristics of the slag dump

编号	矿石品种	主要物质组成	高度/ m	天然休止 角/(°)
FD1	矾矿	碎石、角砾、矿砂	22.3	33.9
FD2	铁矿	碎石、角砾	22.0	32.2
FD3	石英矿	碎石、角砾	7.2	35.5
FD4	重晶石矿	碎石、角砾	5.0	38.7
FD5	石英矿	碎石、角砾	8.7	35.7
FD6	铜矿	碎石、角砾、矿砂	13.7	33.5
FD7	页岩矿	碎石、黏性土	10.0	32.8
FD8	页岩矿	碎石、黏性土	6.2	33.7
FD9	钼矿	碎石、角砾、矿砂	13.3	30.9
FD10	矾矿	碎石、角砾、矿砂	15.5	33.7
FD11	银矿	碎石、角砾、矿砂	27.2	28.2
FD12	石灰岩矿	块碎石	15.3	23.9
FD13	石英矿	碎石、角砾	13.3	37.5
FD14	石灰岩矿	块碎石	7.0	32.0
FD15	锌矿	碎石、角砾、矿砂	22.2	34.8
FD16	石灰岩矿	块碎石	21.5	22.3
FD17	页岩矿	碎石、黏性土	19.2	30.5
FD18	石灰岩矿	块碎石	11.4	25.7

2 废渣堆结构组成特征和边坡形态发育特征

2.1 废渣堆级配与坡度组合关系

调查发现,对于高度基本相同但颗粒组成不同的废渣堆,天然休止角存在一定的差异,通过对各废渣堆颗粒组成进行分析,绘制出废渣级配曲线(见图 6),计算出各废渣堆不均匀系数,并与其对应废渣堆的坡度进行比对,绘制出不均匀系数 C_u 与天然休止角的关系曲线(见图 7)。

由级配曲线、不均匀系数 C_u 与天然休止角的关系曲线图可以看出,废渣堆的级配曲线倾角越缓,天然休止角越大,尤其是小于 2.0 mm 的颗粒越多,天然休止角的坡度增加较多,反映出级配越好、细颗粒越多,废渣堆边坡的稳定性越好^[4]。

2.2 废渣堆高度与坡度组合关系

根据废渣堆基本特征一览表(表 1)可以看出,废渣堆在颗粒组成和级配基本相同的条件下(同一类型废渣堆),边坡坡度随着废渣堆的高度增加而变小,并呈现出一定的规律关系,将 4 种不同主要颗粒组成类型的废渣堆(类型 1:块碎石型废渣堆,包括 FD12、FD14、FD16、FD18 四个样本;类型 2:碎石、角砾型废渣堆,包括 FD4、FD3、FD3 三个样本;类型 3:碎石、角砾、矿砂型废渣堆,包括 FD10、FD1、FD11 三个样本;类型 4:碎石、黏性土型废渣堆,包括 FD8、FD7、FD17

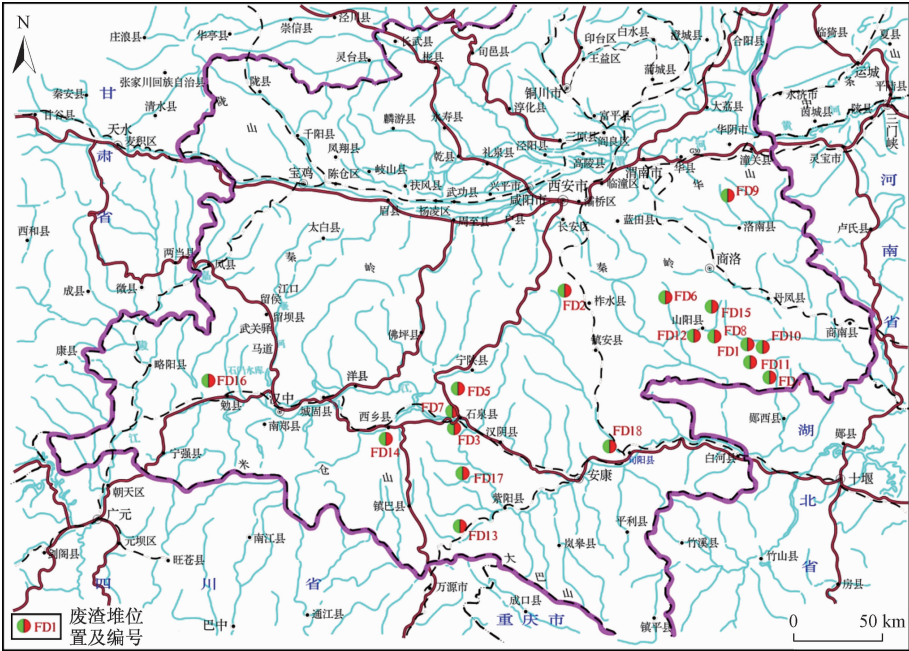


图 1 18 处废渣堆的分布位置及编号

Fig. 1 The location and number of 18 slag dumps



图 2 废渣堆 (FD1)
Fig. 2 The #1 slag dump (FD1)



图 3 废渣堆 2 (FD2)
Fig. 3 The #2 slag dump (FD2)



图 4 废渣堆 3 (FD7)
Fig. 4 The #3 slag dump (FD7)

三个样本)根据高度与其天然休止角的对应关系绘制关系曲线,得到的关系曲线见图 8。

通过废渣堆高度与天然休止角关系曲线可以看出,各类型废渣堆在堆高小于 10.0 m 以前,废渣堆天然休止角随着高度变化显著,10.0 ~ 20.0 m,变化幅度较小,其中块碎石类型的废渣堆变化相对于其它废渣堆变化幅度较大,20 m 以后废渣堆的坡度变化较明显。

2.3 废渣堆高度与颗粒分选的关系

废渣堆在堆积过程中,随着高度的增加,在倾倒过



图 5 废渣堆 4 (FD12)
Fig. 5 The #4 slag dump (FD12)

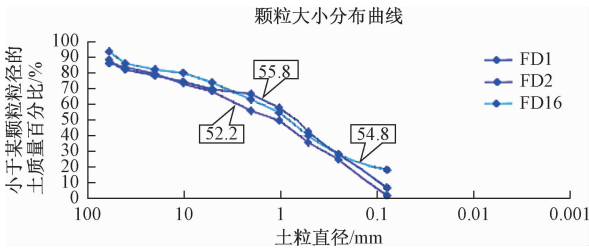


图 6 废渣堆级配曲线与天然休止角的关系 (FD1、FD2、FD15)
Fig. 6 The relationship between the gradation curve and the natural repose angle of the slag dump (FD1、FD2、FD15)

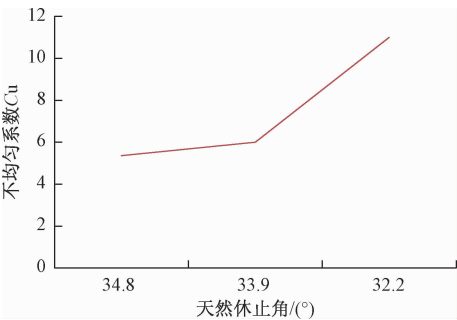


图 7 不均匀系数 Cu 与天然休止角的关系 (FD1、FD2、FD15)
Fig. 7 The relationship between nonuniform coefficient Cu and natural repose angle (FD1、FD2、FD15)

程中有颗粒运动现象,由于颗粒大小存在一定的差异,因此在渣堆边坡由上至下出现颗粒分选现象,一般规律为粗颗粒经运动分选后在下部堆积较多^[5],而上部主要为细颗粒,颗粒组成与废渣深度、高度的关系见图 9、图 10。

根据图 9、图 10 可以看出,废渣堆的各砾组^[6]含量随着废渣堆高度的变化呈现出不同的特征,细颗粒多分布于上部和中部,粗颗粒分布于中、下部,当坡度小于 10.0 m 时,上、中、下砾组变化较小,大于 10 m 后砾组变化明显,粗颗粒在下部堆积较多,大于 20 m 后

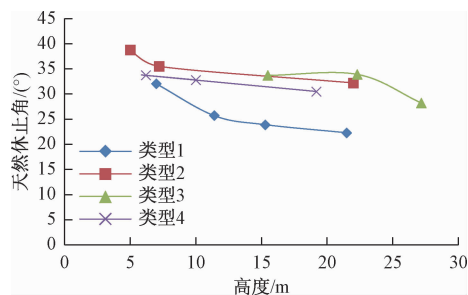


图 8 各类型废渣堆高度与天然休止角关系曲线

Fig.8 The relationship between the height of different slag dump and natural response angle

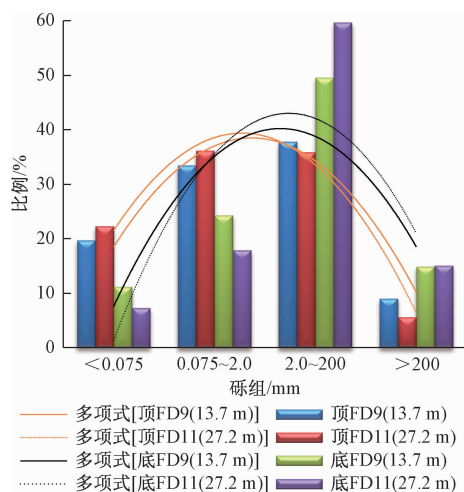


图 9 废渣堆顶部、底部颗粒粒组分布曲线图 (FD9、FD11)

Fig.9 The distribution of particles at the top and bottom of slag dump (FD9、FD11)

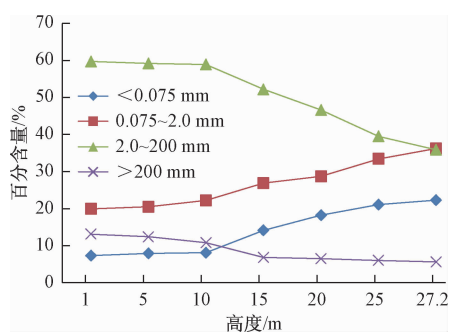


图 10 各粒组随高度变化曲线图 (FD11)

Fig.10 Variation of soil fractions with altitude (FD11)

下部大部分为粗颗粒,细颗粒含量很少,同时反映出坡度越高,颗粒的分选特征越明显,上下砾组差异越大。

3 废渣堆边坡破坏特征与稳定性分析

根据调查,由于内部滑动面出现在边坡的不同位置^[7],废渣堆的主要破坏方式包括 2 种,第一种为由上缘产生平行坡面的横向破裂面,逐渐贯通并向坡面外

侧位移,在降雨等不利工况作用下产生滑移,下部破裂面一般位于坡体 1/3 ~ 1/2 处,类似于推移式滑坡 (< 10 m)。第二种为沿边坡中下部破坏的形式,上部破裂面距离坡顶 1/3 ~ 1/2 处,在不利工况下沿内部剪裂面滑移凸出,上缘形成弧形凹窝,类似于牵引式滑坡 (> 10 m)。两种破坏形式见图 11、12。



图 11 推移式破坏

Fig.11 Translation failure



图 12 牵引式破坏

Fig.12 Traction failure

采矿废弃堆积体呈散体状,结构松散,一般将其视为理想的松散介质没有黏结力,但随着时间的推移,经过压实或胶结使堆积体具有一定的黏结力,它主要决定于细颗粒(2 mm 以下)含量的大小,细颗粒充填到粗大之间的孔隙中经过压实后改变了原来松散体的性质。内摩擦角与岩土性质及块度组成有关,粗颗粒含量高,组成骨架的刚性提高,颗粒间摩擦力占主导地位, φ 值增大;反之,细颗粒含量增大, φ 值便减小,但黏结力增大。当废渣堆高度较大时,下部堆集的粗颗粒矿渣不含细颗粒和其它黏结性材料,故黏结力为零,但内摩擦角较大,接近或等于废渣堆的天然休止角。

根据瑞典条分法,将废渣体视为完全无黏结的松散体^[8],采用自动搜索滑裂面的方法对边坡进行分析,计算出的潜在滑动面为连通坡顶和坡底的弧线(图 13),与现场调查的破坏情况存在一定的差异。通

过分析,主要是未考虑废渣的黏结力,将废渣体视为有弱黏结性的堆积体后,潜在滑动面见图 14。

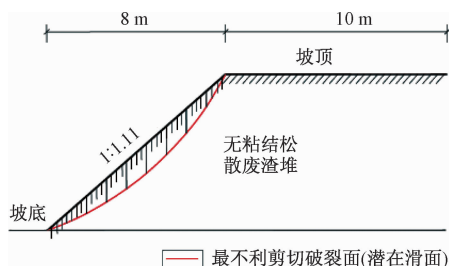


图 13 无粘结废渣堆边坡计算简图

Fig. 13 Calculation diagram of unbonded slag dump

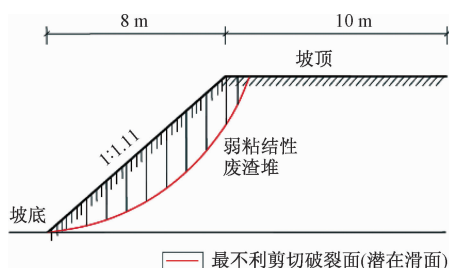


图 14 弱粘结废渣堆边坡计算简图

Fig. 14 Calculation diagram of weak bonded slag dump

通过计算简图和现场调查分析可以看出,当废渣堆高度小于 10.0 m 时,废渣堆边坡的破坏形态与考虑黏结性的计算结果接近,显示出堆积体未出现明显的分选性质,具有粘性特征,在降雨工况下,黏聚力降低较快,出现中上部滑坡现象;当废渣堆高度大于 10.0 m 时,废渣堆边坡的破坏形态与不考虑黏结性的计算结果接近,显示出由于堆积体高度大,在堆积过程中出现明显的分选性质,下部堆积体以粗粒为主,基本不具黏结力,在降雨工况下,摩擦力降低,出现中下部滑坡现象。

4 废渣堆边坡稳定敏感性分析

在颗粒组成和物理力学性质相同的条件下,废渣堆边坡的稳定性主要受高度和坡度限制,高度越大,稳定性越差^[9]。同时,坡度越陡,边坡稳定性也越差。根据调查,废渣堆一般高度为 5.0 ~ 40.0 m,坡度 20° ~ 45°^[10],因此分别计算不同高度和不同坡度与边坡稳定性系数的关系,采用圆弧滑动法^[11]进行计算,计算工况为天然状态,以碎石、角砾、矿砂型废渣堆为例,选用相同的物理力学参数,得出的边坡稳定性系数与高度变化关系曲线见图 15,与坡度关系曲线见图 16。

由边坡稳定性系数与边坡高度、坡度的关系曲线

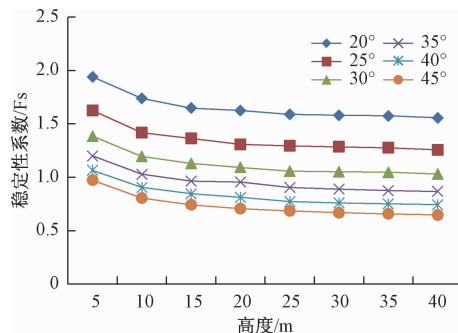


图 15 边坡稳定性系数与边坡高度变化曲线图

Fig. 15 Variation of slope stability coefficient with slope height

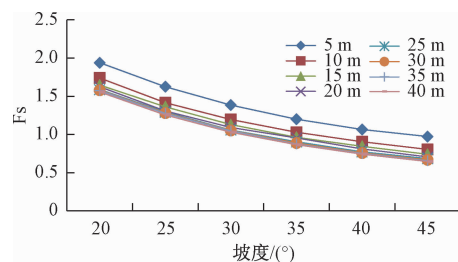


图 16 边坡稳定性系数与边坡坡度变化曲线图

Fig. 16 Variation of slope stability coefficient with slope gradient

图可以看出,稳定性系数随坡度的增加而降低的幅度较大,稳定性系数随高度增大而降低的幅度相对较小,因此坡度对废渣堆边坡的稳定性影响更为敏感。同时由关系曲线图反映出 < 10.0 m 的边坡整体稳定性降低幅度较 > 10.0 m 的大,45° 坡度的边坡高度大于 5.0 m 即不稳定。

5 结论

经过调查发现,陕南非煤矿山废渣堆在颗粒组成分布、边坡形态特征、边坡变形破坏机理和稳定性主要影响因素等方面具有以下特点:

(1) 废渣堆颗粒组成级配越好,废渣堆的天然休止角越大。

(2) 废渣堆在堆积过程中具有分选性质, > 10.0 m 的边坡分选性较强, < 10.0 m 的边坡相对较弱。

(3) 废渣堆堆高小于 10.0 m,天然休止角随高度变化显著;堆高 10.0 ~ 20.0 m,变化幅度较小,其中块碎石型废渣堆的变化相对于其它类型废渣堆变化幅度大。

(4) < 10.0 m 的废渣堆边坡以推移式破坏类型为主,废渣具有黏结性质, > 10.0 m 的边坡以牵引式破坏类型为主,主要由于废渣分选后边坡中下部颗粒基

本不具黏结性。

(5)在物理力学性质基本相同的条件下,废渣堆边坡的稳定性受坡度影响较高度更为敏感。

参考文献:

- [1] 赵建军,巨能攀,涂国祥.松散堆积体工程边坡变形机理分析及支护对策研究[J].工程地质学报,2008,16(5):611-615.
ZHAO Jianjun, JU Nengpan, TU Guoxiang. Deformation mechanism and supporting measures of man-made slopes in loose deposits[J]. Journal of Engineering Geology, 2008,16(5):611-615.
- [2] 贾旭光,陈曦,李鑫.不同粒度和堆载形态下散体瞬时自然安息角的实验研究[J].现代矿业,2015,7(1):25-27.
JIA Xuguang, CHEN Xi, LI Xin. Experiment research on instantaneous natural repose angle of granular slope under different granularity and stack form[J]. Modern Mining, 2015,7(1):25-27.
- [3] 李示波,李占金,张艳博.复合散体边坡稳定及环境重建[M].北京:冶金工业出版社,2013:35-65.
LI Shibo, LI Zhanjin, ZHANG Yanbo. Composite bulk slope stability and environmental reconstruction[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013:35-65.
- [4] 张义平,王永明.非胶结尾砂自然安息角试验研究[J].矿业研究与开发,2008,28(5):27-29.
ZHANG Yiping, WANG Yongming. Investigation on natural repose angle of uncemented tailings[J]. Mining Research and Development, 2008,28(5):27-29.
- [5] 徐友宁,陈华清,杨敏,等.采矿废渣颗粒粒径对矿渣型泥石流起动的控制作用——以小秦岭金矿区为例[J].地质通报,2015,34(11):1993-2000.
XU Youning, CHEN Huaqing, YANG Min, et al. Controlling role of particle sizes of mining waste residues in the initiation of mine debris flow: A case study of the Xiaoqinling gold mining area[J]. Geological Bulletin of China, 2015,34(11):1993-2000.
- [6] 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,2011,32(3):309-312.
WANG Guangjin, YANG Chunhe, ZHANG Chao, et al. Research on particle size grading and slope analysis of super-high dumping site[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011,32(3):309-312.
- [7] 党高锋,甘德清,张伟航.杨树沟铁矿排土场稳定性分析[J].现代矿业,2011,1(1):94-96.
DANG Gaofeng, GAN Deqing, ZHANG Weihang. Stability analysis of Yangshugou Iron Mine dump[J]. Modern Mining, 2011,1(1):94-96.
- [8] 赵俊刚.陡坡路堤上弃渣体稳定性分析与处治研究[J].中国公路,2016,22(4):129-131.
ZHAO Jungang. Stability analysis and treatment research of slag body on steep slope embankment[J]. China Highway, 2016,22(4):129-131.
- [9] 郭健,许模,赵勇,等.某渣场边坡在堆载过程中的稳定性演化研究[J].人民长江,2013,23(44):63-66.
GUO Jian, XU Mo, ZHAO Yong, et al. Study on stability evolution of a slag slope during heaped loading process[J]. Yangtze River, 2013,23(44):63-66.
- [10] 刘建伟,史东梅,马晓刚,等.弃渣场边坡稳定性特征分析[J].水土保持学报,2007,21(5):192-195.
LIU Jianwei, SHI Dongmei, MA Xiaogang, et al. Stability characteristics analysis on sideslopes of excavation waste dump[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2007,21(5):192-195.
- [11] 郝哲,张维正.露天矿排土场边坡稳定性分析与评价[J].现代矿业,2012,11(4):24-28.
HAO Zhe, ZHANG Weizheng. Analysis and evaluation on slope stability of open-pit mine dump[J]. Modern Mining, 2012,11(4):24-28.