

近村庄矿山堆渣场地质灾害防治及 稳定性分析

——以云南三江矿山堆渣场为例

赵金银

(云南三江水泥有限公司, 云南 云龙 672700)

摘要:为深入研究近村庄堆渣体稳定性问题,依托云南三江矿山堆渣场工程实例,介绍了该类碎屑堆积体的环境特点、堆积形态、强度参数等工程特性,采用现场调研、基于有限元强度折减法的数值模拟相结合方法对堆渣场工程进行稳定性分析.结果表明:在自然工况下,对加固后的堆渣体边坡有限元强度折减法计算,主次沟谷安全系数分别为1.434和1.821,表明该堆渣体处于基本稳定状态,与现场调研的变形形态相吻合.该工程采取的“抗滑桩+挡板墙+柔性挡土墙+截排水系统”加固措施取得了良好的工程效果,并为对此类大型堆积体采取的稳定性分析方法及其治理措施具有一定的借鉴意义.

关键词:堆渣场;强度折减法;数值分析;稳定性;地质灾害防治

中图分类号:TD167 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2016)02-0001-06

Prevention of geological hazard and stability analysis of the mining waste dump near the villages: A case study of Yunnan Sanjiang mining waste dump

ZHAO Jinyin

(Yunnan Sanjiang Cement Co. Ltd, Yunlong 672700, China)

Abstract: Waste dump failure threatens the safety of the villages. Based on the Yunnan mining waste dump engineering, this paper introduces the engineering characteristics containing the elastic accumulation body characters, the accumulation form, and the strength parameters. The method combining the field investigation with the numerical simulation of finite element strength reduction is used to analyze the stability of mining waste dump. Results show that based on the finite element strength reduction method for the analysis of the reinforced slope, the safety factor of the primary and secondary valley are 1.434 and 1.821 respectively under natural conditions. This project, adopting the “anti-slide pile plus baffle wall plus flexible retaining wall plus interception and drainage system” strengthening measures has achieved a good effect. This method and prevention measures have certain references for the large-scale accumulation body.

Key words: waste dump; strength reduction method; numerical analysis; stability; geo-hazard prevention

由露天矿生产剥离的松散废石堆积形成的堆渣体是矿山地质灾害最主要的危险源,尤其是针对本文

收稿日期:2015-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41502297)

通信作者:赵金银(1985-),男,宁夏西宁人,工程师,研究方向:山地灾害机制分析和防治. E-mail: zhaoyj201301@163.com

所介绍的具有近村庄特点的堆渣场,强降雨、地震、堆砌方案设计不合理等各种原因都会导致其发生崩塌、滑坡、泥石流等不同程度的地质灾害,给下游村民带来不可估量的损失,因此堆渣场稳定性分析是该矿山安全管理的重要内容。

目前,国内矿山堆渣场稳定性分析方法^[1-3]主要采用传统的极限平衡分析法^[4]。许多学者对堆渣场边坡的稳定性问题进行了针对性分析。陈红旗^[5]等人对大型堆积体边坡做了一定研究,将堆积体的失稳模式分为界面滑动模式和圆弧形滑动模式,并给出了相应的支护措施,为堆积体灾害的治理方法提供了参例。陈鹏^[6]等人以边坡稳定性分析理论为基础,采用传统的极限平衡法和有限元强度折减法,对简单堆渣场边坡进行数值模拟分析,认为当堆渣场基底有软弱带时,应结合考虑上述2种方法。李树武^[7]等人以澜沧江上游的一处大型碎屑堆积体为例做出了其稳定性的分析研究,采用简易测量的方法,结合堆积体实际变形情况,给出了具体灾害评估过程,对大型松散堆积体稳定性分析均有一定的借鉴意义。国外学者也对此类问题做出了一定的研究:S. K. Chaulya^[8], Rai Rajesh^[9]对运用数值模拟方法对堆渣体进行了稳定性分析;Yong - Chan Cho^[10]对某堆渣体进行了变形监测,并结合监测数据运用极限平衡法对其进行稳定性分析计算。

本文所采用的有限元强度折减法^[11-13]将强度折减技术与弹塑性有限元方法相结合,不需要事先确定滑动面的形状和位置,并可以按一定的规律搜索出最危险临界滑动面,直接获得安全系数。此方法不仅简单方便,而且适用于复杂边坡工程的稳定性问题。本文以云南三江矿山水泥厂的堆渣工程为例,采用有限元强度折减法详细分析该堆渣场工程在加固后的稳定性,并针对该堆渣场距离村庄较近的实际情况给出了进一步的防治建议。

1 工程概况

云南三江水泥厂(N25°37'14", E99°05'40")位于云南大理州云龙县城西南部漕涧镇,海拔2 000 m。研究区堆渣场位于丹梯石灰岩矿山北偏东侧,东南西三面环山,山坡垂直落差近200 m,坡度较陡,其中,东侧和西侧山坡植被覆盖情况较好。废渣从丹梯石灰岩山顶沿南侧山坡倾倒入下,分层堆积,形成长50 m,高20 m的重力碾压坝,坝顶海拔1 974 m,见图1。该堆渣场所在小流域发育主次2条沟谷,雨季有季节性流域汇聚水流下泄,通往下游冲击平原。堆渣场修建完成后,沟谷上游被堆渣体淤埋,主沟中下游则引出1.5 m见宽的人工排洪沟,枯水期亦有细流。



图1 堆渣场全景图

1.1 工程地质条件

1.1.1 气象、水文条件

矿区地处漕涧山间盆南部边缘,区内属亚热带高原季风气候,天气冷凉,年平均降水量1 660 mm,日最大暴雨量95.3 mm,年平均蒸发量1 500 mm,雨季多集中在5~10月;年平均相对湿度75%;常年主导风向为西南风,年平均风速2.7 m/s,瞬时最大风速23 m/s。堆渣场位于厂区东偏北2 km处,年降雨量随海拔以28 mm/(100 m)增速递增,雨量相对充沛,自然植被良好。

根据场地及周边出露的地层岩性,可将场地内的地层分为孔隙含水层、裂隙含水层和岩溶含水层。孔隙含水层为第四系(Q^{all}),坡地、山脊分布为残坡积粘土层,含少量孔隙薄膜水,富水性极弱;裂隙含水层为上寒武统宝山组板岩、崇山群片岩、板岩;岩溶含水层较其地下水位埋藏较深。矿区内含水层偶有泉水出露,流量小,位置低,总体富水性较弱。

1.1.2 地层岩性

研究区表层大面积分布沉积岩层,具有层理层面特征,其岩层力学性质及结构面情况直接控制着坡体的稳定性.沉积岩相对松散的结构和易风化特征造成其节理遍布、断层发育,为堆渣体周围边坡进一步风化以及崩滑灾害的发生提供条件.具体岩层情况见表1.

表1 研究区地层岩性一览表

主要岩层分布	岩性特点	分布区域
滑坡堆积成因的碎(块)石土(Q^{del})	竖向裂隙发育,结构松散,中~高压缩性,抗剪力较弱.	主要分布于弃渣堆土坝区
第四系坡、残积层(Q^{dl+el})	竖向裂隙发育,中~高压缩性,抗剪力较弱,是本滑坡产生的主要层位	主要分布于山体斜坡区
冲洪积层(Q^{al+pl})	高压缩性,抗剪能力较弱	主要分布于沟谷、河床
全风化土层	竖向裂隙发育,中等压缩性,抗剪能力稍好	主要分布于滑体东侧小山、弃渣土坝区
燕山期花岗岩	高压缩性,短柱状,局部为碎块状,质地坚硬	主要分布于滑体东侧
寒武系上统柳水组上段白云岩	呈碎粒及碎块状,密实,手不易折断	主要分布于滑体西侧 ZK1, ZK12 孔中
寒武系上统核桃坪组下段白云岩	局部碎块状,较坚硬	主要分布于弃渣土坝区

1.1.3 地质构造与区域稳定性

研究区位于青藏高原东部边界的“歹”字型崇山构造带.堆渣场地质构造情况良好,无大型断裂带通过,故区域断裂带及大型断层对研究区稳定性影响较小.相对而言,节理发育情况及岩层力学性质在很大程度上决定了堆渣体的稳定性.但是,堆渣体前缘主坝体东侧存在一条 $150^\circ \sim 20^\circ \angle 80^\circ$ 的逆冲断层,切割整座东西部山体,贯穿坝体,震时将对堆渣体的稳定性造成较大影响.

1.2 工程特点分析

该堆渣体采用分级压实方式堆放,主要由碎石、块石及松散颗粒组成,块石平均粒径约 $2 \sim 5$ cm,最大粒径约 0.5 m,堆渣体含土量较低,约为 20% 左右.堆渣体自身空隙大,整体联通好,透水性强,常规降雨及坡表水可快速下渗并汇集于堆渣体下部,由涵洞引流而出,故通常情况下,堆渣体孔压较小,未对堆渣体稳定性造成影响.但不能排除在极端条件下(强降雨、地震),堆渣体发生泥石流、滑坡等地质灾害.例如,2013年夏季,由于未开展工程防护工作,一次强降雨导致次沟谷发生牵引式滑坡.位于次沟前缘的堆渣体实质上为松散堆积型滑坡体,其前端沟谷为其滑动提供了巨大临空面,短时强降雨急剧削弱了堆渣体自身稳定性.此次滑坡摧毁了位于次沟流通区两侧的居民房屋,同时重新塑造了次沟地貌形态,改变了次沟两侧山体的稳定性.如图2所示.

场区现已堆渣体约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,接近 $130 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的设计库容量,加上强降雨等极端因素使得主坝安全性难以得到保证.此堆渣体由于靠近村庄,一旦失稳将直接威胁到居住于主沟中及丹梯村数百农户的生命财产安全,造成无法估量的损失.



图2 研究区地形地貌图

2 堆渣场处置方案

2.1 主沟谷治理方案

为防止极端条件下堆渣场在主沟谷可能出现整体滑坡,采用“抗滑桩+挡板墙+柔性挡土墙+截排水系统”的方案对主坝区域进行治理.其中,对主坝坝体的加固方式:在坝体前10 m处布置一排横截面尺寸为1.5 m×2 m的抗滑桩,桩长14 m,埋深9 m,桩间距5 m,防护坝体长度约为60 m.桩体间采用挡土板防护,挡板厚30 cm,挡板配置排水孔;桩板墙后与坝体间用砂卵石回填.在距离主坝区100 m外适宜位置设置柔性拦石墙,以阻止部分堆积体或落石越过桩顶危害农户.同时,设置盲沟及截水沟,并疏通排土场原有排水系统.

2.2 次沟谷治理方案

据现场调查,场地目前处于不稳定状态,在受外力(降水、地震)作用下随时会诱发更大的滑坡.根据滑坡工程地质条件、环境条件,综合各种因素考虑,对该泥石流的治理工程采用:“桩墙结合坝+截、排水沟”等综合治理手段.

2.2.1 桩墙结合坝

在该滑坡的上游设置“主坝-桩墙结合坝”.起到对滑坡堆积物进行拦渣滞留及护岸稳坡的作用,将滑坡中的较大粒径的固体物质拦挡在上游,同时利用其回淤效应可减缓坝上游河床纵坡,稳定岸坡和沟谷.

主坝采用桩墙结合坝,坝长35 m,顶宽2.5 m,底宽7 m,共布置8根抗滑桩(KHZ1~KHZ8),抗滑桩截面形状为矩形,断面尺寸分别为1.5 m×2.0 m和2.0 m×2.5 m,长边与坡向一致,桩长分别为12.0,16.0,18.0,20.0 m,桩间距均为5.0 m.抗滑桩背侧设置有42块挡土板.在KHZ4~KHZ6处设置桩顶冠梁,在上下相邻的2块挡土板间设置长1.0 m,高0.1 m的泄水孔.

2.2.2 截、排水沟

依据实地调查情况,在滑坡堆积体范围内分别设置长度230 m主截排水沟以及长度240 m次截排水沟.

3 有限元强度折减法稳定性分析

采用四边形单元对坡体模型进行剖分,滑面附近及应力集中处设置密集Seed.

3.1 有限元强度折减法的基本原理

本文采用有限元强度折减法,其基本原理是将材料强度参数 C , $\tan\varphi$ 值同时除以一个折减系数 K ,得到一组新的 C' , φ' ,将其作为新的材料参数进行试算,以此往复,通过不断增加折减系数 K ,反复分析研究对象,直至达到临界状态,此时得到的折减系数即为安全系数 K .

而折减系数的定义:在外荷载保持不变的情况下,边坡内土体所发挥的最大抗剪强度与外荷载在边坡内所产生的实际剪应力之比.其中,外荷载所产生的实际剪应力与抵御外荷载所发挥的最低抗剪强度相等.当假定边坡内所有土体的抗剪强度发挥程度相同时,这种抗剪强度折减系数定义为边坡的稳定安全系数.定义方程式:

$$K = \frac{C}{C_e} = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_e}$$

式中, K :安全系数; C :土体实际抗剪强度下的内聚力; φ :土体的实际抗剪强度下的内摩擦角; C_e :土体达到极限状态下的内聚力; φ_e :土体达到极限状态下的内摩擦角.

3.2 参数选取及模型建立

通过室内试验确定了用于主次沟谷数值计算的参数:

1)主沟谷.堆渣体的主要参数为, $\rho = 1.47 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $E = 0.02 \text{ GPa}$, $\nu = 0.29$, $\varphi = 20^\circ$, $c = 50 \text{ kPa}$;基岩的参数为, $\rho = 2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $E = 60.57 \text{ GPa}$, $\nu = 0.29$, $\varphi = 28.66^\circ$, $c = 3884 \text{ kPa}$.

2)次沟谷.堆渣体的主要参数为, $\rho = 1.47 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $E = 0.02 \text{ GPa}$, $\nu = 0.29$, $\varphi = 20^\circ$, $c = 5 \text{ kPa}$;强风化基岩的参数为, $\rho = 2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $E = 60.57 \text{ GPa}$, $\nu = 0.29$, $\varphi = 19^\circ$, $c = 7.5 \text{ kPa}$.

通过实地调查及现场平面图,将原始坡面线及一定范围的基岩轮廓通过CAD绘制后导入数值模拟分析软件ABAQUS中建模.导入的模型尺寸要保证坡体的原始尺寸不变,如图3和图4所示.采用四边形单

元对导入的坡体模型进行网格剖分.

3.3 堆渣体稳定性分析

影响边坡失稳破坏的最关键因素即为岩土体的抗剪强度,当最大剪应力达到破坏极限时,边坡将失稳破坏.在对堆渣体边坡进行强度折减得到安全系数过程中,选取边坡失稳的判据分为3种:计算不收敛判断法、位移突变判断法以及滑移面贯通判断法.拟选取初始强度折减系数后,以0.05为单位增幅,运用ABAQUS进行应力、应变、位移的计算分析,得出坡面顶点以及坡脚的水平位移、竖向位移的变化趋势,计算得到最终强度折减系数.

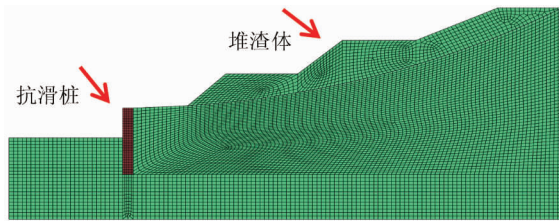


图3 堆渣体主沟谷分析模型

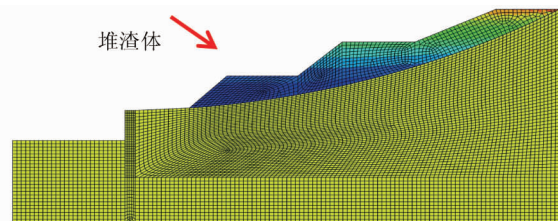


图4 堆渣体主沟谷位移云图

图3~图6为主沟谷的稳定性分析图.可以看出,渣体顶部位移明显大于坡脚处,更易产生变形.岩土体在抗滑桩处产生应力集中,整个坡体存在明显的潜在滑动面.通过折减法计算得到工程加固后的稳定性系数为1.434,较初始值1.017有明显增大,由此说明,加固措施效果良好,堆渣体整体稳定性相应提高.

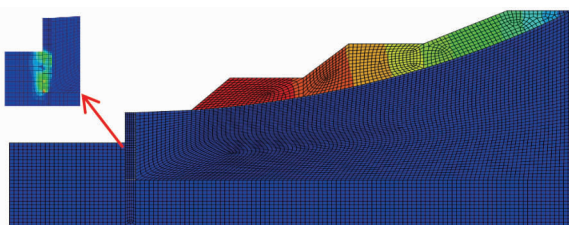


图5 堆渣体主沟谷应力云图

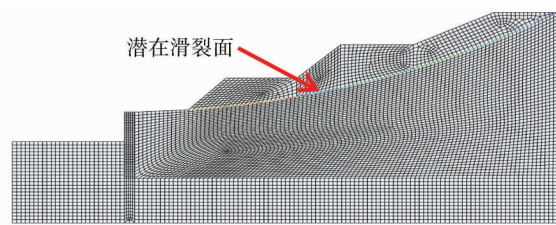


图6 堆渣体主沟谷潜在滑面

图7~图9为次沟谷的稳定性分析图.可以看出次沟坡度比主沟缓和,但在抗滑桩处坡体出现明显的应力集中现象,在暴雨、强震等极端工况下易沿滑裂面产生滑动破坏.通过强度折减法计算,得出工程加固后的稳定性系数为1.821,较初始值1.217有大幅度提升,工程加固措施效果较为明显.

虽然目前整个堆渣体在自然条件下处于稳定状态,但是由于下游有大量村名居住,从风险控制的角度考虑,仍无法保证在“极端降雨+强震+排水失效”的特殊条件下堆渣体稳定性,如若失稳,堆渣体将发生如图10所示的沟谷滑坡趋势.

此外,尽管有限元强度折减法结果显示堆渣场处于稳定状态,然而由于堆渣场在排土过程中,会偶尔产生滚石灾害,因此,为避免造成由于滚石原因导致人员伤亡,在距离抗滑桩50 m处,设置一排柔性拦石墙.

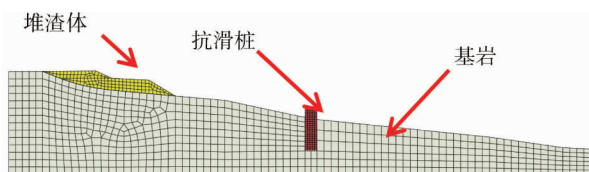


图7 堆渣体次沟谷分析模型

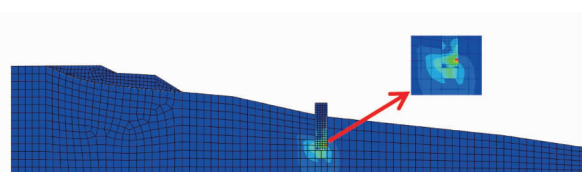


图8 堆渣体次沟谷应力云图

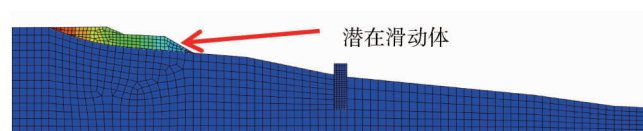


图9 堆渣体次沟谷潜在滑裂面



图10 堆渣场潜在滑坡趋势图

4 结论

1) 强度折减法具有计算简便,不需要事先确定滑动面的形状和位置,并能够按一定的规律搜索出最危险临界滑动面,可以运用于工程实践中。

2) 堆渣场主次沟谷地质灾害治理工程结构总体稳定,无倾覆,截排水系统工作良好。主次沟设置的桩板墙及截排水沟工程增大了堆渣体的稳定性安全系数,降低了发生滑坡的几率,并且该工程有效阻止了次沟谷滑坡泥石流的再次启动,较大程度降低了地质灾害发生的可能性,减少了地质灾害对下游村庄带来的危害。

3) 经工程措施“抗滑桩+挡板墙+柔性挡土墙+截排水系统”加固后,堆渣体潜在滑坡稳定性得到较大提升,由此说明该防治工程取得了良好的防治效果。在自然条件下,堆渣体整体处于稳定状态,但仍不排除在“极端降雨+强震+排水失效”时,堆渣体失稳可能性。

4) 潜在地质灾害危险区内,为尽可能降低堆渣体在极端条件下出现滑坡泥石流等地质灾害,次沟谷4户人家及主沟谷地势较低处的8户人家应采取搬迁措施,同时禁止农户在地质灾害危险区内从事耕作或其他活动。

5) 保护堆渣场及周围山体环境,严禁乱砍乱伐,破坏植被,科学规范地排放堆渣,管理好弃土弃石,以防滑坡泥石流的发生。加强对已建的桩板墙、柔性拦石墙、暗涵、盲沟、截水沟、碾压土石坝等综合治理工程的维护,并且不可随意开挖坡脚,破坏坡体稳定性。

6) 堆渣场再次进行堆渣时,应避免增加堆渣场整体高度,尽可能靠近堆渣场后缘地势低洼处,同时严格规定堆渣容量禁止超过设计容许堆渣量。

参考文献:

- [1] 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,2011,30(10): 2103-2110.
- [2] 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,2013,32(3):905-913.
- [3] 李晓凌,岳克栋. 乌东德水电站阴地沟渣场边坡稳定性分析[J]. 人民长江,2013,44(3):30-32.
- [4] 曾亚武,田伟明. 边坡稳定性分析的有限元法与极限平衡法的结合[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(s2): 5355-5359.
- [5] 陈红旗,黄润秋,林峰. 大型堆积体边坡的空间工程效应研究[J]. 岩土工程学报,2005,27(3):323-328.
- [6] 陈鹏,陈鹏飞. 露天矿排土场边坡稳定性分析[J]. 辽宁工程技术大学学报,2010,29(6):1028-1031.
- [7] 李树武,聂德新,刘惠军. 大型碎屑堆积体工程特性及稳定性评价[J]. 岩土力学与工程学报,2006,25(s2): 4126-4131.
- [8] Chaulya S K, Singh R S, Chakraborty M K, et al. Numerical modelling of biostabilisation for a coal mine overburden dump slope [J]. Ecological Modelling, 1999,114:275-286.
- [9] Rajesh R, Shrivastva B K. Numerical simulation of vegetated mine dump slope with reference to small plants [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2014,24:111-115.
- [10] Cho Y C, Song Y S. Deformation measurements and a stability analysis of the slope at a coal mine waste dump [J]. Ecological Engineering, 2014,68:189-199.
- [11] 赵尚毅,郑颖人,王建华,等. 基于强度折减安全系数的边坡岩土侧压力计算方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2010,29(9):1760-1766.
- [12] 马建勋,赖志生,蔡庆娥,等. 基于强度折减法的边坡稳定性三维有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(16): 2690-2693.
- [13] 郑颖人,赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(19):3381-3388.