

土场环境灾害的控制技术

古德生¹,杜炜平¹,杜明²,喻长智¹ (1.中南大学资源环境与建筑工程学院,湖南长沙 410083; 2.白银有色金属公司厂坝铅锌矿,甘肃成县 742504)

摘要: 结合环境岩土工程理论,用散体动力学及统计学方法,研究高台阶土场治理滑坡新机制,土场泥石流扼制及底部泄流等新技术,为排土场在稳定条件下增加堆高、开辟用地新来源、根治泥石流、治理表土基底创造了条件,对保护国土资源、保护矿山生态环境、根治因土场失稳而引起的矿山灾害具有重大意义。

关键词: 环境岩土工程; 高台阶排土; 扼制泥石流; 底部泄流

中图分类号: X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2001)01-0093-04

Technology for controlling disaster of dumping site environment. GU De-sheng¹, DU Wei-ping¹, DU Ming², YU Chang-zhi¹ (1.College of Resources, Environment and Construction Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2.Changba Lead-Zinc Mine of Baiyin Nonferrous Metals Company, Chengxian 742504, China). *China Environmental Science*. 2001,21(1): 93~96

Abstract: By means of statistics and dynamics of broken rocks integrated with theories of environmental geotechnology, a new mechanism of controlling landslide of high-beach dumping site and a new technology of controlling mud-rock-flow and building bottom sluiceway are studied. Conditions are created for raising dumping site, taping new land resources, controlling mud-rock-flow and governing the surface ground. And it is significant that the land resources and the bioenvironment in mine are protected, and the mine disaster caused by landslide of dumping site is controlled thoroughly.

Key words: environmental geotechnology; high beach dumping site; controlling mud rock flow; bottom sluiceway

岩土工程建设不是一个单纯的技术问题,而是一个涉及到自然—经济—社会的复杂系统工程。环境岩土工程正是环境工程与岩土工程的有机结合。环境岩土工程是一门交叉学科,覆盖了在大气圈、生命圈、地水圈、岩石圈及地质生物圈等各种环境下土和岩石及其相互作用的问题^[1-3]。矿山土场环境保护及其灾害防治是其主要研究内容。对于露天矿排土场,如何减少土地占用,保持土场稳定性,杜绝土场泥石流发生,将是保护矿山区域生态环境的主要问题。随着采矿业的发展,资源开发与环境保护之间的矛盾日趋尖锐^[4]。为此,作者研究了高台阶土场高稳定机制、表土基底的土场增容技术、扼制土场泥石流对策和常年流水河沟的土场底部泄流技术,根治土场泥石流,协调了矿山生产与环境保护之间的矛盾,促进了矿山经济的可持续发展。

1 高台阶土场稳定性分析

排土场边坡的形成不同于露天矿山边坡,其边坡体坡面是被排放散体在自重作用下形成的,其形态主要决定于散体动摩擦效应,坡体稳定性主要取决于散体静摩擦效应。动、静摩擦效应的差,使基底承载能力足够的排土场,随着土场台阶增高而具有更多安全储备,高台阶土场具有高稳定性。

1.1 土场坡面形成的动态过程分析

土场散体排放后,在自重作用下细料一般停留在土场上部,大块粗料滚落到坡底,边坡中部以中粒为主。对于坡高小于 40m 的土场,尽管具有这种总趋势但分界不明显。随着台阶高度大幅

收稿日期: 2000-06-19

基金项目: “九五”国家科技攻关项目(951160102)

度增加,这种趋势越明显,且土场坡面呈上陡下缓的凹形边坡面^[5-7]。

假定土场散体由细、中、粗颗粒组成,土场散体排放使各级颗粒按能量守恒原理克服各自动摩擦力在坡面上运动直至静止。对上段边坡面,中粒、粗粒以滚动摩擦形式通过,耗能极小,偶尔也以挟持或撞击方式给细粒以极少能量补充。细粒是由运动至静止的主体,并以滑动摩擦形式运行,直至耗尽势能。据此可由能量守恒定理按(1)式确定在高为 h_1 的边坡。

上段细粒动摩擦因数 μ_1 :

$$\mu_1 = \tan \alpha_1 - \frac{v_1^2}{2gh_1 \cos \alpha_1}$$

$$m_1 gh_1 (\sin \alpha_1 - \mu_1 \cos \alpha_1) = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (1)$$

式中: m_1 为细粒质量; g 为重力加速度; α_1 为上段坡面倾角; v_1 为沿上段坡面速度。

对于中段边坡面,粗粒以滚动形式通过并偶尔作用于中粒而耗能,中粒以滚滑形式运动直至静止。中粒沿中段坡面运动的能量来自两部分:通过上段时剩余位能 $m_2 gh_1 (\sin \alpha_1 - \mu_{21} \cos \alpha_1) [\cos(\alpha_2 - \alpha_1) - \mu_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)]$; 在坡面中段位能 $m_2 g \Delta h_2 (\sin \alpha_2 - \mu_2 \cos \alpha_2)$ 。二者共同作用使中粒沿 h_2 坡段斜面滚滑,即:

$$m_2 gh_1 (\sin \alpha_1 - \mu_{21} \cos \alpha_1) [\cos(\alpha_2 - \alpha_1) - \mu_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)] + m_2 gh_2 (\sin \alpha_2 - \mu_2 \cos \alpha_2) = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (2)$$

式中: μ_{21} 为中粒与细粒的动摩擦系数; h_2 为中粒在土场中粒区段下滑的高度。由于 $\alpha_2 - \alpha_1 \approx 0$, 因而作为一阶近似可简化为:

$$m_2 gh_2 (\sin \alpha_2 - \mu_2 \cos \alpha_2) = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$\mu_2 = \tan \alpha_2 - \frac{v_2^2}{2gh_2 \cos \alpha_2} \quad (3)$$

对于下段坡面也可作类似考虑,以确定相应的粗粒在下段的滚动摩擦因数。

综上所述,由细、中、粗粒运动时相对摩擦

性质从滑动、滚滑向滚动转化,必然会出现上陡下缓的凹形边坡面。

1.2 高台阶土场具有高稳定性

土场坡面形成后,土场边坡的稳定性取决于散体静摩擦效应。对于细、中、粗粒相对分明的高台阶土场,由于咬合、嵌入作用,很显然有 $\mu_{30} > \mu_{20} > \mu_{10}$ (μ_{30} , μ_{20} , μ_{10} 分别为粗、中、细颗粒散体静摩擦因数), $\mu_{i0} > \mu_i$ ($i=1,2,3$, μ_1 , μ_2 , μ_3 分别为粗、中、细颗粒动摩擦因数); 但细粒散体两者之差最小,作为安全储备可假定二者相等,即 $\mu_{i0} = \mu_i$ 。作为二级安全储备,再假定 $\mu_{30} = \mu_{20} = \mu_{10}$, 由此可得上、中、下区段安全系数分别为 $k_1 = \mu_{10}/\mu_1$, $k_2 = \mu_{20}/\mu_2$, $k_3 = \mu_{30}/\mu_3$, 总体边坡安全系数为:

$$k_{cp} = \frac{\sum hk}{\sum h} = \frac{h_1 k_1 + h_2 k_2 + h_3 k_3}{h_1 + h_2 + h_3} \quad (4)$$

当土场台阶总高度继续增加时, h_1 绝对高度几乎不变,且 μ_1 及 k_1 值也保持恒定, h_3 大幅度增加,且 μ_3 减小使 k_3 增大,此时 k_{cp} 也随着增大,土场随台阶高度增加,其稳定性增加。

2 土场基底作用机制与土场高度确定

目前,国内外对排土场堆高的确定大多依据土场基底的承载能力或表土基底变形特征,我国的排土场工程实践表明,在许多场合此依据是错误的。失误的原因是由以下 2 种基本假设造成:排土场为连续基础,表土基底只可能发生整体剪切破坏这一种形式;表土基底破坏即为排土场失稳,两者等效。

据调查,土场基底表土层以薄及中厚居多,表土层下伏高承载能力基岩。为能在科学机制下导出新的计算公式,必须做出以下 4 种正确假设:排土场基础最初为非连续,与表土基底呈离散的蜂窝状接触;高台阶排废,使松散土体在高速滚落下来的大块废石作用下呈冲剪破坏,导致大块废石嵌入表土;当此泥石混杂的土场基础下的表土厚度还不足以使其在土场堆重荷载下克服自身内聚力从土场底部鼓出时,表土层状态改变不会导致土场失稳;高台阶土场下巨厚表土底鼓,

导致其上排土场失稳。

2.1 土场基底的表土临界厚度 $h_{\min}$

表土底鼓的土场基底表土临界厚度 $h_{\min}$ 由两部分组成,即:

$$h_{\min} = h_{\min 1} + h_{\min 2} \quad (5)$$

式中: $h_{\min 1}$ 为表土挤入排土场底部块石间隙中的等效厚度; $h_{\min 2}$ 为泥石混杂等效基础下的不发生底鼓现象的表土临界厚度 $h_{\min 2}$, 它可按式确定:

$$h_{\min 2} = \frac{2c \cdot \cot \beta}{r} \quad (6)$$

式中: c 为表土内聚力; β 为土场总体边坡角; r 为土场散体容重。

2.2 土场极限堆高计算体系

在确定表土临界厚度 $h_{\min}$ 后, 可按下列 3 种情况确定土场极限高度。

2.2.1 当表土厚度 $h < h_{\min}$ 时, 为薄表土基底, 则可按表土下基岩承载能力与变形性态来确定土场堆高。

2.2.2 当表土厚度 h 略大于 $h_{\min}$ 时, 为中厚表土基底, 采取少量措施便可由下伏基岩性态来确定土场堆高, 此情况适于大部分土场。

2.2.3 当 $h \gg h_{\min}$ 时, 为厚表土基底, 不采取任何措施可用 L. Prandtl 公式^[8]来确定堆高, 此情况适于少量土场, 可采用特殊技术增加堆高。

3 扼制土场泥石流对策

矿山排土场泥石流越来越成为严重的人工地质灾害, 带来巨大损失与严重环境危害。对土场泥石流防治往往基于以下 3 点: 泥、水、地形是土场泥石流三大要素, 防治泥石流时必须一起考虑; 排土场泥石流从发生、发展到壮大, 把整个排土场与泥石流料源等同; 人们对土场泥石流偏重于治理, 设置拦截泥石流坝体, 耗资巨大, 见效低。要根治土场泥石流, 必须把防止土场泥石流发生放在首位, 控制泥石流发生料源, 以杜绝排土场泥石流。

3.1 控制排土场细粒以扼制泥石流

排土场发生泥石流, 其料源为粒径小于 5mm

的细粒。美国露天矿排土场统计资料表明^[6], 当土场粒径小于 5mm 细粒的含量超过 40% 时, 则土场失稳, 当粒径小于 0.05mm 黏粒的含量超过 15%~20% 时, 才会在雨水作用下形成土场泥石流。可见, 有效地控制粒径小于 5mm 细粒, 可有效地控制土场泥石流的发生。

由上述分析可知, 高台阶土场细粒居于土场上部的分布规律及土场坡面的上凹形态, 使上部粒径小于 5mm 的细粒在大气降水及振动等影响下垂直下渗, 其渗移特征主要取决于降雨强度、散体渗透性、台阶高度与坡面形态。若散体粒径不同, 则渗透系数相差悬殊。

对于排土场上、中、下段的细、中、粗颗粒, 可在现场进行渗透性试验以确定相应渗透系数 $K_{\text{细}}$ 、 $K_{\text{中}}$ 、 $K_{\text{粗}}$, 由降雨强度 M 确定黏细粒在雨水影响下的运动形式。当 $K_i < M$ 时 (i 表示细、中、粗粒), 黏细粒受雨水作用成为泥浆在块石空隙中流动; 当 $K_i > M$ 时, 黏细粒受潮而随重力下渗。被雨水浸润的细粒, 其下渗量还受颗粒分布及渗透系数制约。不同粒级间渗透系数相差很大, 因而显示出渗透各向异性。当含水细粒在土场上部沿水平方向向沟谷方向渗移时, 其渗透系数为 $K_{\text{细}}$; 当含水细粒由土场上部垂直向土场中部渗透时, 其渗透系数为 $K_{\text{中}}$, 此时 $K_{\text{中}} > K_{\text{细}}$; 同样对于已渗移到土场中段的细粒继续以水平方向向沟谷中心渗移时, 渗透系数为 $K_{\text{中}}$; 当含水细粒继续由土场中部向下部渗透时, 其渗透系数为 $K_{\text{粗}}$, 此时 $K_{\text{粗}} > K_{\text{中}}$ 。由此可知, 当台阶足够高时, 对于未饱和和状态位于土场上部细粒只有 $K_{\text{细}}/K_{\text{粗}}$ 的量有可能渗出土场成为泥石流料源, 而 $K_{\text{粗}} \gg K_{\text{细}}$, 因此大部分细粒均可得到有效的控制。

3.2 土场泥石流被扼制的判定与对策

以黏细粒作为料源, 在高台阶土场排土条件下, 成为泥石流料源总量 G 为:

$$G = Qq_1 \frac{K_{\text{细}}}{K_{\text{粗}}} \quad (7)$$

式中: q_1 为小于 5mm 黏细粒在土场年排弃量中所占质量分数; Q 为土场年排放废石量。由式(7)

可判定高台阶土场是否具有扼制土场泥石流发生的条件,从式(7)可知:当 Q 和 q_1 为定值时,台阶越高, $K_{\text{粗}}$ 越大,则 G 越小,就越能扼制土场泥石流发生。

厂坝七架沟属陇南泥石流多发区,作者从控制细粒扼制土场泥石流出发,建设 400m 超高台阶土场,有效地进行预防。对于一期工程: $Q_1 = (174 \sim 456.8) \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_{11} = 30.6\%$; 二期工程: $Q_2 = (599.6 \sim 174) \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_{12} = 7.9\%$; $S = 4.62 \text{ km}^2$ 。从细粒所占含量看,一、二期间土场不具滑坡可能性。现场渗透系数测试: $K_{\text{粗}} = 18176.6 \text{ mm/h}$; $K_{\text{中}} = 2565.9 \text{ mm/h}$; $K_{\text{细}} = 142.2 \text{ mm/h}$ 。对于一期土场, $G = (0.417 \sim 1.085) \times 10^4 \text{ m}^3$, $G/S = (0.090 \sim 0.235) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$; 对于二期土场, $G = (0.107 \sim 0.370) \times 10^4 \text{ m}^3$, $G/S = (0.023 \sim 0.080) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 均不会出现土场泥石流,只会出现含砂洪水,彻底扼制了土场泥石流发生。

4 土场底部泄流

对于利用常年流水沟谷、避免或减少占用有用耕地来说,确保土场稳定且流水不断的底部泄流技术是开辟排土场用地的新来源。排土场底部能否形成泄流体,主要决定于两个基本属性:一是泄流体的力学渗流特性;二是泄流体通过洪水能力及稳定状态。根据高台阶土场颗粒的分布规律,高台阶土场完全可满足泄流体建设的基本属性。结合泄流体建设的关键技术,在厂坝七架沟成功地建设了国内首家大型泄流式排土场^[7]。

5 结语

矿山土场环境灾害控制技术的研究及应用有力地协调了矿山资源开发与环境保护之间的矛盾。高台阶土场是减少土场占地、扼制土场泥石流灾害发生的最有效方法,是在常年流水的小河及山谷建设底部泄流式土场的最佳途径。土场表土基底承载机理及表土治理研究为高台阶土场整体稳定奠定了基础。实践表明,对矿山土场环境灾害控制技术的研究,促进了矿山经济可持续发展。

参考文献:

- [1] Hsai-Yang Fang. Introductory Remarks on Environmental Geotechnology [A]. International Symposium on Environmental Geotechnology [C]. Vol.1. ENVO Publishing Co. INV. Bethlehem, Pennsylvania 18016, U.S.A., 1986.
- [2] Miroudis G K, Wilson J L, Fang H Y. Theoretical Background. International Symposium on Environmental Geotechnology [C]. ENVO Publishing Co. INV. Bethlehem, Pennsylvania 18016, U.S.A., 1987.
- [3] 方晓阳. 21 世纪环境岩土工程展望 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 1-11.
- [4] 杜炜平, 颜荣贵. 高台阶排土场技术及其发展趋势 [J]. 矿冶工程, 1998, 18(1): 18-22.
- [5] 杜炜平, 颜荣贵, 古德生. 超高台阶土场稳坡扩容增源新技术 [J]. 中南工业大学学报, 2000, 31(1): 13-16.
- [6] 颜荣贵, 李松峰. 七架沟排土场泥石流防治对策 [J]. 有色金属, 1997, 49(4): 1-5.
- [7] 杜炜平. 超高台阶土场稳定新技术研究 [D]. 长沙: 长沙矿冶研究院, 1998.
- [8] 洪毓康. 土质学与土力学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.

作者简介: 古德生(1937-),男,广东梅县人,中国工程院院士,中南大学教授,博士生导师,主要从事矿业工程、岩土工程与相关领域的研究工作。主持并参加“九五”国家重点科技攻关课题“无间柱连续采矿地压显现规律及控制技术研究”(95-116-01-02-03);“缓倾斜中原高温矿床开采工艺技术与装备研究”(95-116-01-02-01)等多项课题研究,发表论文百余篇。

环保信息

中国环境与发展国际合作委员会二届四次会议强调西部大开发环保是根本 2000 年 10 月 31 日~11 月 2 日,中国环境与发展国际合作委员会(以下简称委员会)二届四次会议在北京召开。在 10 月 31 日进行的会议开幕式上,国务院副总理温家宝代表中国政府作了重要讲话。温家宝着重谈了西部大开发问题,并表示了中国政府对委员会的重视和支持,希望委员会继续为推进中国的可持续发展发挥积极作用。

摘自《中国环境报》

2000-11-2