

刍议矿山排土场治理的发展方向

孟怀秀, 宋自平, 马松华, 雷国强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要: 矿山排土场具有体型巨大、堆置高度高、安全问题突出、环境影响大等特点。通过对排土场的主要工程特点进行归纳以及对其发展历史脉络的梳理, 提出了排土场治理未来发展的方向以及排放废石永久存放的本质安全、本质环保, 对排土场土地资源的可持续发展与利用会成为引领排土场未来的发展方向。

关键词: 排土场; 永久安全存放; 环境保护; 绿色矿山; 可持续开发利用

中图分类号: TD2; TD8; TD7; TD5

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0016-03

Discussed on the Development Direction of Mine Waste Dump Management

MENG Huaixiu, SONG Ziping, MA Songhua, LEI Guoqiang

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: Mine waste dumps have the characteristics of huge size, high stacking height, outstanding safety problems and great environmental impact. By summarizing the main characteristics and sorting out the development history of waste dumps, the future development direction of waste dumps is proposed. The realization of the intrinsic safety and environmental protection of waste dumps, and the sustainable development and utilization of land resources of waste dump will lead the future development of waste dumps.

Keywords: Waste dump; Permanent safe storage; Environmental protection; Green mines; Sustainable development and utilization

1 概述

排土场亦称废石场, 系指矿山采矿施工中除有用矿石外的排弃物(统称为废石)集中排放堆存的场所, 其排弃物一般包括风化岩土、坚硬岩石以及混合岩土, 无工业价值的贫矿等, 故排土一般也称为废石排放或排废。排土场在其发展过程中曾经历过较长的历史局限期, 发生过较大的安全事故和环境影响事件, 人类对排土场重要性的认识是一个从单纯追逐利益到逐步提升改进的过程, 其建设发展的重要性被人们逐渐意识到: 其与矿山建设其他工程是同等重要的, 且是息息相关的。捋清矿山排土场的发展脉络, 总结出排土场的主要工程特点, 为矿山排土场永久安全存放、绿色施工及可持续发展寻找更为科学合理的方法和工程技术措施很有必要而且是非常有意义的一项工作。

2 排土场具有的主要特点

收稿日期: 2024-02-10

在露天矿山开采施工中, 采剥比往往会达到 1:1 及以上, 因此, 矿山排土场的体型一般都是巨大的, 其堆置高度亦很高, 会形成具有高大边坡的土石山。同时, 排土场是一种人工松散堆积体, 巨大的体型、超高的边坡往往存在巨大的安全隐患, 排土场失稳将极有可能导致矿山灾害和重大工程事故的发生, 不仅影响到矿山的正常生产, 也将使矿山蒙受巨大的经济损失。在我国即发生过矿山排土场滑坡失稳事故, 比较典型的如山西平朔安太堡露天煤矿南排土场滑坡失稳事故, 该排土场容纳的排土量高达 1.16 亿 m^3 , 堆置高度达 150 m。1991 年 10 月 29 日该排土场发生大规模滑坡, 致使邻近公路毁坏、公共设施被埋没、威胁到人们的生产生活安全, 造成重大经济损失^[1]。

另外, 排土场排放堆积形成的巨大土石山导致大面积土石方裸露, 且因其有机质含量极少, 难以在短期内自然生长出植被及时覆盖住裸露的土石方表面, 一到大风季节就会造成扬沙扬尘, 大雨

季节又会造成水土流失,以土为主或土石混排的高排土场甚至可能坍塌形成泥石流而造成严重的环境破坏污染问题,如山西省河津市龙门山石灰石矿云中寺排土场就曾受暴雨袭击而发生大面积滑坡,并在排土场下部沟内发生泥石流地质灾害^[2]。

3 针对排土场历史脉络进行的调查

3.1 早期排土场

矿山排土场因其形体巨大、堆置高度大且为人工松散堆积体的特点,屡屡发生滑坡坍塌事故。其历史原因是认为排土场堆放处理的都是无经济价值的排弃物,因此,尽量减少排土场的占地、降低排土场排放成本就成为早期矿山开采时对排土场的极致追求。

在矿山开采过程中,为了节约废石排放成本,排土场一般会尽量设在靠近采矿场的地方,废石排放会尽量利用排土场与采矿场的空间组合关系优先采用自上而下压坡脚式的顺排方式排放废石,实现上土上排、下土下排,以尽可能地缩短运距,减小运输高差^[3]。这样的废石排放方式无疑是最为经济、节约的,可以实现较高台阶高度、超高台阶高度的直接排放。但由于在排放中形成了一坡到底的、较高的自然堆积松散边坡,导致废石排放台阶容易发生较大的沉降。

在降雨量相对较少、气候干燥的地区,边坡堆积体沉降较慢,排土场废石排放形成的高边坡一般不会出现明显沉降及滑坡垮塌等不良地质问题,如秘鲁夸霍内(Cuajone)铜矿的排放台阶高度即达到200 m以上,托克帕拉(Toquepala)铜矿的排放台阶高度约为120~220 m,智利丘基卡玛塔(Chuquicamata)铜矿的排放台阶高度达到150 m以上,阿根廷贝拉德罗(Veladero)金矿的顺排台阶高度达到约200 m,美国宾汉姆峡谷(Bingham Canyon)铜金矿、墨西哥卡纳内阿(Caneanea)铜矿的排土场排放台阶高度亦部分达到了100~200 m。而我国四川省凉山州会理市的拉拉铜矿排土场排放台阶高度更是超过了700 m。

但在气候湿润、降雨量大的地区,排土场发生滑坡和滑坡式泥石流的概率就会很高,因此存在严重的安全隐患,如江西德兴铜矿富家坞采区排土场,其排土台阶高度最小为110 m,最大为260 m,大于初步设计方案中的90 m^[4],且因该矿山所在地区属于多雨地区,年降雨量充沛,随着采区

上部剥离量的增加,废石排放沿线推进速度加快,导致沉降迅速,排土场坡面出现断裂、鼓包等不稳定现象^[5];又如塞尔维亚马伊丹佩克(Majdanpek)铜矿排土场的排土台阶高度部分超过200 m,坡面出现了较明显的冲刷和局部滑坡。

综上所述,仅考虑减少排土场占地、降低废石排放成本会极大地推高排土场的安全风险,这也是大规模露天采矿迅猛发展一百多年以来屡屡发生排土场安全事故的根本原因。

3.2 新世纪的排土场

最近几十年,特别是进入21世纪以来,随着全球矿山安全意识和环境保护意识的增强,矿山绿色可持续发展已逐渐为人们所熟知并渐渐深入人心,人们对排土场永久性存放安全问题和环境保护问题的重视程度有了一个质的飞跃,大部分露天矿山在做规划开采时不再盲目强调降低废石排放成本,在满足排土场永久存放安全条件和环境保护目标条件下采取的减少排土场占地、降低废石排放成本的工程措施被认为是更为科学合理的降本增效措施。在具体的工程技术措施上,除了对排土场采取有效的排水疏水措施提高排土场的安全运行系数外,在排放方式上能更好地对所排放的土石进行压实以提高排放体本身的承载力和稳定性的中、低台阶高度的逆排方式或逆排与顺排结合排放废石的混合方式排放被更为广泛地应用。

纵观世界各大洲的已建或在建矿山,采用逆排方式排放的排土场排放台阶高度绝大部分都在50 m以下,对于安全存放要求高、环境保护要求高的矿山排土场,其已将排放台阶的高度大多控制在20 m以下。如洛阳钼业旗下的巴西博阿维斯塔(Boa Vista)钼矿排土场排放台阶的高度约为10 m,澳大利亚科瓦尔(Cowal)金矿的排放台阶高度约为10 m、布尔加(Bulga)煤矿的排放台阶高度约为15 m,缅甸莱比塘(Letpadaung)铜矿的排放台阶高度为12.5 m。为了满足较高的永久存放安全要求和环境保护目标,这些矿山的排土场都被设计成低台阶高度的台阶式缩进布置形式,且基本上都会在完成排土场排放后按照排放台阶的高度对每个台阶内的边坡进行削缓处理和复植地貌施工,并在每个平台外缘设置永久马道。

在我国,随着“绿水青山就是金山银山”的绿色矿山建设理念^[6]深入人心,对已建成的各矿山

排土场也持续展开安全整治和复垦绿化工作,特别是在近十年已取得了非常丰硕的成果。比较典型的工程实例有:内蒙古黑岱沟煤矿西排土场和伊敏露天煤矿排土场、江西德兴铜矿杨桃坞排土场和富家坞排土场、四川凉山州会理市拉拉铜矿西排土场等。但是,由于大部分已建排土场没有足够宽的、能够确保排放废石永久安全存放的占地,故在对其进行安全整治时不能完全实现将排土场的永久存放边坡削到足够缓、永久存放安全系数冗余度不够高,导致排土场在安全整治和复垦绿化后仍可能在某一特定不利情况下存在失稳风险。

3.3 排土场复垦绿化的发展情况

目前,大部分矿山排土场的复垦绿化目标仅限于植树、植草、还绿,防风固沙防止水土流失,复原自然环境景观,即复植地貌施工。我国在这方面已经走在了世界前列,国家已经提出了矿山绿色可持续发展战略,排土场的绿化工程已不再局限于复植地貌,对土地资源的可持续开发再利用已经成为未来发展的方向,并已经有了成功的案例。据《潇湘晨报》报道,内蒙古黑岱沟西排土场在排弃完成后,同步开始绿化复垦,通过菌类有机生物修复等方式改良土壤,进行现代农牧业种植实验,如今排土场已是绿树环绕、瓜果飘香,使矿山变成名副其实的绿色矿山、中国最美矿山。

4 未来矿山排土场治理的发展方向

随着矿山领域的发展进步和新世纪人们对建设安全和环境保护的目标要求已有了全新的认识和提高,在进行新的矿山建设规划时,对排土场的永久存放安全要求和环境保护要求已经成为矿山环境影响评价报告能否通过审批、矿山能否顺利建设的硬性指标。未来的矿山应该实现本质安全和本质环保,通过合理规划排土场的用地,降低排放台阶的高度和整体堆置高度,采用较缓的整体坡度确保排土场的永久存放安全;针对污染性废石的排放可设计合理的排放顺序和空间位置以消除污染源。

以缅甸莱比塘铜矿项目为例,该铜矿为特大型高硫化低品位斑岩铜矿,采矿生产每年会产生约 4 000 万 t 的废石,其绝大部分为硬岩废石,通常采用自卸汽车运输、推土机推平的方式进行处理且其全部为外排,排土场中堆存的排弃物中约

有 29% 的良性斑岩废石,约有 71% 的废石为具有产酸污染的含硫化物的酸性废石以及低于工业品位的低品位矿石和易析出重金属污染物的淋滤帽废石。该铜矿排土场从安全角度出发将其设计成缩进式台阶形式,且其台阶坡度按照永久安全存放标准考虑设计成高度为 12.5 m 的排放台阶,排放台阶高度内的边坡坡度为 1 : 2.5),每个台阶外缘设置有宽约 5 m 的永久马道,排土场整体坡度为 1 : 2.9,其设计标准远高于我国现行的有色金属矿山排土场设计标准^[7]。鉴于铜矿在环境保护方面设定的目标是对外零排放、零污染,在排土场中采取了模拟废石在自然界分布的特点,对废石排放采用了分类分区排放施工的工程措施,将具有污染性的废石包裹在不具有污染性的良性废石里面,并在良性废石体表面进行削坡处理和复植地貌施工,从本质上解决了环境保护目标的实现问题^[8]。

采用较低的排放台阶高度和逆排方式或混排方式排放,减缓排土场的整体坡度,设置台阶马道等是提高排土场永久安全存放标准的主要工程技术措施;采用分类分区排放、复植地貌是实现排土场环境保护目标的主要工程技术措施;充分利用排土场的土地资源,将其打造成经济林、农场、蔬菜基地、绿植园或光伏基地等将成为绿色矿山、最美矿山可持续发展的新方向。

5 结 语

可以预见的是:矿山排土场的永久存放安全标准和环境保护目标的设定一定会随着社会的发展、科技的进步变得越来越严格、越来越高。绿色、低碳、可持续是矿山未来发展的方向,许多已建矿山的排土场亦会逐渐披上绿装,回归自然原色或被可持续开发利用。矿山排土场将会在本质安全、本质环保的新的工程技术措施治理下迎来长足发展。诸如排土场永久存放安全坡度的选择技术、排土场安全存放数字化长效监测技术、废石数字智能化分类分区排放技术、排土场资源化利用技术必将陆续登上未来排土场发展的舞台,引领排土场工程未来的发展方向。

参考文献:

[1] 段喜明,王治国,宋震勇,等.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,1999,13(1):87-92.

(下转第 21 页)

钢丝绳破断拉力=186.72×6=1 120.32 kN。

按照《重要用途钢丝绳标准》GB 8918—2006，钢丝绳公称抗拉强度 1 670 MPa 取值，选取 6×37—Φ52 纤维芯，一弯两股钢丝绳，系数为 0.782，破断拉力为 1 490 kN×0.782=1 165.2 kN>1 120.32 kN，安全^[4]。

选用 2 根长 27 m，6×37 纤维芯的 Φ52 钢丝绳，4 件 35 t 的弓型卸扣。

(2) 厂房上游梁场汽车起重机起吊钢丝绳的选择。按照预制梁的最大重量 66 t 设计钢丝绳，采用两台汽车起重机抬吊。

计算方法同上，选用 2 根长 11 m，6×37 纤维芯的 Φ52 钢丝绳，4 件 35 t 的弓型卸扣。

4 吊装设备基础承载力的验算

4.1 荷载参数

450 t 履带吊自重 425 t，预制梁重 66 t；
总重量：425 t+66 t=491 t，则总荷载为 4 910 kN。

4.2 静荷载验算

履带宽度为 1.2 m，履带的接地长度为 9.4 m，则其接地面积 $S=1.2\times9.4=11.28\text{ m}^2$ 。

根据压强计算公式 $P=F/S$ (式中： P 为压强； S 为受力面积； F 为压力)，履带吊满荷载时对地面产生的压强为： $4\,910\text{ kN}\div11.28\text{ m}^2\approx0.435\text{ MPa}$ 。

一般常态混凝土 7 d 强度为设计标准强度的 70% 以上，而 C20 基础混凝土的设计标准强度为 20 MPa，其在浇筑后 7 d 能够达到的抗压强度约为 14 MPa>0.435 MPa，故泄洪冲沙闸 C20 混凝土底板能够满足设计承载力要求。

4.3 混凝土极限承载力计算

C20 混凝土轴心抗拉应力为 1.54 MPa，通行极限承载力为：

$$F_{cd}=0.7\cdot\beta h\cdot F_{td}\cdot Um\cdot H=0.7\times1\times1.54\times1\,000\times[2\times(1.2+9.4)+4\times0.25]\times0.25=5\,982.9\text{ kN}$$

式中： F_{cd} 为混凝土最大集中返力； βh 为对于混凝土厚度小于 300 mm 时，取为 1； F_{td} 为轴心抗拉应力；高度换算比 $Um=2\times(a+b)+4\,H$ ，其中 $a=1.22\text{ m}$ ， $b=8.06\text{ m}$ (a, b 分别为履带的宽度和长度)； H 为混凝土厚度，25 cm。

则厚度为 25 cm 的 C20 混凝土强度能够承受设备通行重量 598.3 t>491 t，C20 混凝土基础能够满足 400 t 履带吊的通行条件^[5]。

5 结 语

该工程因受诸多因素影响导致多次停工，造成工期极为紧张。二期右岸七孔泄洪冲沙闸坝段的施工工期在很大程度上受制于左岸厂房坝段及左五孔泄洪冲沙闸坝段坝顶交通通道的形成，而左岸厂房及左五孔泄洪冲沙闸坝段坝顶结构相互穿插施工导致施工难度大，安全风险高。对此，项目部根据实际情况研究决定，对左五孔泄洪冲沙闸的坝顶梁采用将吊装设备布置在泄洪冲沙闸底板上，提前将预制梁安装就位的方案，解决了枢纽结构多部位同时施工出现的交通通道难题，加快了施工进度，降低了安全风险，所取得的经验对其他类似工程具有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 水工混凝土钢筋施工规范：DL/T 5169-2013[S].
[2] 水工混凝土施工规范：DL/T 5144-2015[S].
[3] 起重机械安全规程：GB 6067-2010[S].
[4] 重要用途钢丝绳：GB 8918-2006[S].
[5] 混凝土结构设计规范：GB 50010-2010[S].

作者简介：

陈 维(1986-)，男，湖北京山人，副高级工程师，从事水利水电工程施工技术与管理工

(编辑：李燕辉)

(上接第 18 页)

[2] 张文康. 龙门山石灰石矿云中寺排土场泥石流地质灾害的治理[J]. 矿业快报, 2006, 26(4): 48-49.
[3] 王培武. 露天矿排土场堆排方式探析[J]. 黄金, 2012, 33(1): 28-31.
[4] 刘志强. 德兴铜矿富家坞采区高段排土安全管理[J]. 铜业工程, 2008, 25(1): 21-22.
[5] 程志平. 德兴铜矿富家坞采区排土方案优化研究[J]. 铜业工程, 2017, 24(4): 36-38, 56.
[6] 贺宇霆. 绿水青山就是金山银山——探讨新时代下绿色矿山建设模式[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, 40(12): 181-183.
[7] 有色金属矿山排土场设计标准：GB 50421-2018[S].

[8] 宋自平, 李健, 周菊兰, 等. 矿山排土场的分类分区排放断面探讨[J]. 四川水力发电, 2023, 42(4): 1-4, 31.

作者简介：

孟怀秀(1986-)，女，重庆江津人，副高级工程师，从事土木工程施工技术与管理工
宋自平(1979-)，男，四川威远人，正高级工程师，一级建造师，从事土木工程施工技术与管理工
马松华(1982-)，男，湖南株洲人，工程师，硕士，从事矿产勘查和
矿山开采技术与管理工
雷国强(1984-)，男，陕西合阳人，副高级工程师，从事土木工程施工技术与管理工

(编辑：李燕辉)