

## 超前路堤排土机双向排土方式研究

夏祥生

(攀钢集团攀枝花新白马矿业有限责任公司, 四川 攀枝花 617000)

**摘要:**传统的排土机矩形和扇形排土方式运用于不规则形态排土场中,将造成移置次数多。为提高排土机作业效率,降低排岩成本,本文以攀枝花新白马铁矿某排土场为例,从排土场形态特点出发,提出超前路堤排土机双向排土新方式,对新旧排土方式从单次排土量、移置次数及运营成本等多方面进行对比,论证在针对狭长型排土场的条件下超前路堤排土机双向排土方式的优越性。针对地形条件复杂,用地形状不规则的排土场,根据排土机移置特点,提出超前路堤排土机双向排土工艺,分析该工艺的单次排土量、移置次数及运营成本优势,为排土机排土提供传统排土方式之外的另一种选择。

**关键词:**排土场; 排土机; 超前路堤; 双向排土

**中图分类号:**U416.1<sup>+</sup>2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-8993(2024)06-0027-05

**doi:**10.13402/j.gcjs.2024.06.073

## Research on bidirectional dumping process for overfill embankment with pusher-type dumper

XIA Xiangsheng

(Pangang Group Panzhihua Xinbama Mining Co., Ltd., panzhihua 617000, Sichuan, China)

**Abstract:** The traditional waste methods of rectangular and fan-shaped arrangements applied to irregular-shaped waste dump result in multiple relocation operations. In order to enhance the efficiency of dumping machines operations and reduce rock dumping costs, this paper takes a specific waste dump at Panzhihua Xinhua Baima Iron Mine as an example. Starting from the characteristics of the waste dump's morphology, it proposes a new approach of forward embankment for dumping machines bidirectional dumping is proposed. A comprehensive comparison is made between the new and old dumping methods in terms of single dumping volume, number of relocations, and operational costs, thereby validating the superiority of the forward embankment for dumping machines bidirectional dumping for narrow and elongated waste dump. According to the characteristics of the displacement of waste dump, this paper proposed a bidirectional dumping process for overfill embankment with dumping machines, and analyzed the advantages of single dumping volume, displacement times and operation cost of the process. It provided an alternative to the traditional dumping method for waste dump.

**Key words:** waste dump; dumping machines; forward embankment; bidirectional dumping

大型露天矿山进入开采后期,随着采场开采水平的下降,排土场排土台阶水平的升高,竖向高差的不断增长致使汽车运输距离逐渐增加<sup>[1]</sup>,当超过了经济合理运距的范围,就要考虑岩石运输及排置方式的替代,以降低岩石排弃费用。破

碎机一带式输送机一排土机系统作为半连续运输及排土系统<sup>[2]</sup>,具备运营成本低、能源消耗少、设备利用率高的特点,特别适合岩石排置量大、岩石运输距离远的排土场需求。在排土机使用过程中,如何根据排土场形态,制定合理的排土作

收稿日期:2024-01-13

作者简介:夏祥生(1985—),男,工程师,副总经理,从事矿山地质建模与采矿。

业方式,减少其移植次数、提高排土机作业时间,从而降低岩石排置费用是设计和现场管理关注的重中之重。

对于排土机排土方式,近年来,国内学者主要注重于矩形和扇形排土方式的研究,董红彦<sup>[1]</sup>提出排土机上排与下排作业排土带宽度、石伟等<sup>[2]</sup>提出初始路堤形式方法及步骤研究、王运敏<sup>[3]</sup>提出矩形和扇形排土的具体方法等。以上研究均聚焦与形态规则的排土场,适用于平地型和山坡型形排土场。

对于我国西北山地沟谷地区排土场,由于地形走势蜿蜒,排土场一般呈现为狭长形态,若采用矩形和扇形排土方式,则会造成排土场移植次数多,排土机作业效率低。基于前人研究,本文以攀枝花新白马铁矿某排土场为例,结合单次排土量、移置次数及运营成本等多方面分析,提出超前路堤排土机双向排土方式,以期可为该类排土场的排土机作业组织提供参考和借鉴。

在矿山开采初期,排土场一般采用矿用自卸汽车运输,推土机辅助堆排的排土工艺,其优点是在一定的运输距离条件下,初期投资小且排土作业灵活。大型露天矿山进入开采后期,随着采场开采水平的下降,排土场排土台阶水平的升高,竖向高差的不断增长致使汽车运输距离逐渐增加<sup>[1]</sup>,当超过了经济合理运距的范围,就要考虑岩石运输及排置方式的替代,以降低岩石排弃费用。破碎机一带式输送机—排土机系统作为半连续运输及排土系统<sup>[2]</sup>,具备运营成本低、能源消耗少、设备利用率高的特点,特别适合岩石排置量大、岩石运输距离远的排土场需求。

## 1 排土机一般排土工艺

岩石进破碎后,由干线带式运输机运至排土场内,从带式运输机经过卸料机落料至排土机的卸料臂一端,由卸料臂排至排土区域。当一个台阶高度排满后用推土机平整场地,然后移动带式运输机和排土机,进行下排形成下部排土台阶,再将带式运输机向另一个方向移置便可排弃第二台阶<sup>[2]</sup>。在形成第二台阶期间,由推土机平整下排分台阶的表面,然后带式运输机移动一个步距,

如此排土过程循环下去,便形成排土台阶<sup>[4]</sup>。

排土机推进方式一般分为矩形排土、扇形排土、混合形排土(矩形+扇形)。

矩形排土又称平行推进排土,该排土方法是由固定干线提升胶带机带来的岩石,转载给一条能逐渐加长的延伸式胶带机,由其头部卸载岩石至横向具备移设功能的移置式胶带机,移置式胶带机除了能在头部直接卸料外,还可借助一台跨越在胶带机上,并可沿两侧轨道走行的卸料小车,在移置式胶带运输机任何位置向排土机卸料,最终由排土机排置岩石<sup>[4]</sup>。该排土方式具备以下特点:1)排土线以平行方式推进,各条排土带均呈矩形形状,排土工作以矩形方式延展;2)单次排土能力较大,胶带运输机移置次数少,排土机持续工作时间长,设备作业率较高;3)胶带机移置步距固定,排土计划制定相对简单,生产组织相对容易。但需增设一条延伸胶带机,设备初期投资较大。

扇形排土是岩石由固定胶带机干线提升至排土场后,不经过延伸式胶带机而直接传输至移置式胶带机,后转至卸料小车将岩石卸载到排土机受料臂上,再由排料臂进行岩石排置工作。当完成初始排土带作业后,移置式胶带机以其头部为中心,借助移置机将移置胶带机沿排土线以变化的角度移置到新的工作位置,进行下一次排土作业<sup>[3]</sup>。移置角度以移置胶带末段水平位移差确定,一般位移差为受料臂长度+排料臂长度-30 m,即排土机受料臂长度为50 m,排料臂长度为60 m,则位移差为80 m,排土线越长移置角度越小,反之排土线越短移置角度越大。采用该种排土方式,各排土带为近似三角形形态,整个排土带呈扇形展开推进,最终形成以移置胶带机长度为半径的扇形排土面。与矩形排土相比,减少了延伸胶带机的建设,故初期投资较少,但单次排土量较小,约为矩形排土的一半,同时胶带运输机和排土机移置次数多,对排土机使用效率影响较大,同时移置胶带偏转的角度需准确计算和定位,对现场管理提出一定的要求。

混合式排土方式,即先进行扇形方式排土,待排置到排土场形状发生变化处,根据场地形状

的适宜性,调整为矩形排土;或先进行扇形排土,后调整为矩形排土。混合式排土方式具有扇形和矩形排土两种方式的特点。

排土机以上两种排土工艺均适用于地势条件相对平坦,排土面积宽广,形状相对规则的排土场,对于地处山区地带,地形走势崎岖,造成形状多变,且呈狭长型排土场,无论采取矩形排土还是扇形排土,单次排土量小,服务周期短,这将造成排土机移置频繁,并在排土机移置期间,需汽车排土配合接替全部岩石的排土作业,造成排土机与汽车两种运输方式均需满足全部岩石排置的设备保有,作业人员需按两套系统配置,经济投入大;同时排土机与汽车交替进行岩石排置作业,在生产组织上也难以协调。

## 2 新排土方式构想

### 2.1 传统方式的制约

排土机的移置作业较为复杂,以 80 m 移置步距为例,其过程为从远离卸料车的一端开始,使用移置机(推土机+夹轨器)拖曳排土机行走轨道,随着移置机沿轨道的行走,加持过的钢轨产生约 0.5 m 的偏移。经过多次往复拖曳,使钢轨共计平移 40 m,中间拖曳出类似 S 形过渡段,保证卸料车的最小转弯半径。排土机跟随卸料车由未移置段经过渡段行走至 +40 m 偏移段。移置机以同样方式拖曳轨道,使未移置段平移 80 m,同样留出过渡段,排土机跟随卸料车行走至 +80 m 移置段,移置机将剩余段由 +40 m 移置至 +80 m,移置完成。一次移置一般需 6~10 d,这成为影响排土机作业效率的主要原因。

无论是矩形排土和扇形排土工艺,均由排土场一端开始排置,在单次下排排土过程中,排土机始终处于排置胶带机的一侧,一次移置中排土宽度有限,这也是造成移置频率过高的原因。

综上所述,提高排土机排土效率应从优化排土胶带机的布置,增加单次排土量入手,延长单次胶带机移置期间排土量,从而减少胶带机和排土机移置次数,延长排土机停机移置间隔,同时保证进行辅助排土作业的汽车运量的稳定性。

### 2.2 新方式的构想

利用汽车排土在狭长型排土场中部修筑初始路

堤,排土胶带机顺排土场纵向长边布置,排土机完成排土胶带机单侧排土后,行走至另一侧继续排土,可实现排土机在已有路堤上的双向排土,单次排土量可达矩形排土的两倍,扇形排土的 4 倍。

### 2.3 新方式的实施

初始路堤:排土机初始路堤应满足排土胶带机的布设宽度及两侧安全距离,一般不小于 30 m,同时应保证地基承载力不小于 110 kPa。由于新排置的土体为松散体,故汽车排土形成的初始路堤应保证一定时间的自然沉降时间,或采取压路机振动碾压等措施增强地基承载力。

排土机行走:排土机先由排土胶带机一侧完成排土,起始排土位置应由初始路堤端部位置,待完成该侧排土后,绕行至排土胶带机另一侧端部,继续由初始路堤端部进行排土。完成本周期排土后,待排土胶带机延伸至新建路堤段,进行下个周期的排土。

胶带机延伸:当排土机完成初始路堤的排土后,胶带机应硫化搭接新胶带延长至汽车排土形成的新建超前路堤。

“死区”排土:山区地形排土场,形状不规则,对于部分凹谷地段,由于空间狭小,排土机无法获得足够的回转空间,无法排置的“死区”,或不规则形状区域较小,排土机移置增加的经济和时间成本高于采用其他方式所需费用的区域。“死区”排置可采取以下方式解决:1)干线胶带运输机末端设置分料装置,部分岩石分料卸装至自卸汽车,采用汽车运输排置于“死区”;2)当排土机卸料臂落料点距离山坡边界小于 50 m 时,在推土机合理作业范围内的,采用直接配备推土机完成该区域作业;3)距离较远的地段,可通过在排土机卸料臂落料点架设移动式转载胶带延长排土范围,再配置推土机进行堆排。

## 3 案例分析

### 3.1 工程概况

新白马公司某排土场位于采场西侧约 300 m 处山沟内,地形北高南低,最高标高为 2 350 m,最低标高为 1 500 m。排土场地貌上属于中山区,呈山脊、沟谷相间发育,属构造剥蚀、山麓斜坡

堆积与山区河流侵蚀堆积的复合地貌。场址由拐枣树沟和查宝沟两条沟谷构成,两沟之间为豹子岭相隔,形态走势为北西转北东,其中西部区域排土线长度约为 500 m,东部区域排土线长度约为 2 000 m,排土宽度介于 160 ~ 320 m。排土场现状如图 1 所示。

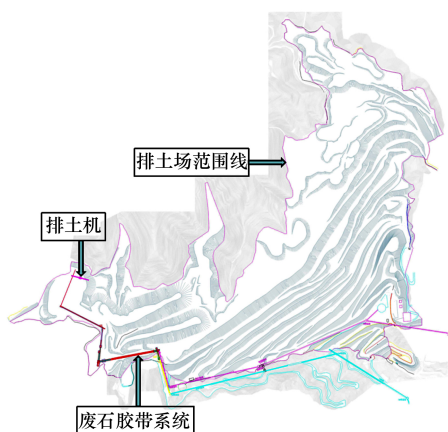


图 1 排土场现状

排土场设计容积 4.12 亿  $\text{m}^3$ ,堆置标高为 1 775 ~ 2 280 m,总堆置高度为 505 m,单台阶高度为 30 m,安全平台宽度为 30 m。现已排置约 1.83 亿  $\text{m}^3$ ,完成 2 040 m 水平以下平台的岩石排置,现需进行 2 100 m 水平废石排置。随着采场开采水平的不断下降,排土场堆排水平标高的上升,岩石汽车运输距离不断增加,部分岩石的运输距离超过 8 km,现新建破碎站、胶带机及排土机改变岩石运输及排置方式,以减少岩石排置运营费用。

矿山年剥离岩石约 4 200 万 t,由干线胶带机运输至排土场内,部分岩石分料至自卸汽车用于辅助排土,其他由移植胶带输送至排土机,汽车运输量为 3 万  $\text{t/d}$ ,排土机排土量为 9.7 万  $\text{t/d}$ 。排土机额定生产能力为 4 000  $\text{m}^3/\text{h}$  (8 000  $\text{t/h}$ )、其受料臂长度为 50 m、排料臂长度为 60 m、排料臂回转角度  $\pm 105^\circ$ 、排土机行走速度为 8  $\text{m/min}$ 、胶带宽度为 1 800 mm、胶带运行速度 5  $\text{m/s}$ 、排土机年工作时间 4 500 h。

### 3.2 排土工艺比较

#### 3.2.1 混合排土方式

排土机移置原方案在西北区域由西向东先采取矩形排土至豹子岭分隔处,后采用扇形排土偏转至东部区域,在东部区域采取扇形排土,由北

向南进行排土。

西北区域形状呈长方形,长度为 500 m,宽度为 220 m 左右,下排高度为 40 m,排土机轨道移置步距取 80 m,需进行 4 次平行移置,5 次扇形移置,每次移置按 7 d 计算,共需 63 d。当采取矩形排土时,每次移置可排置岩石 184 万 t,排土机能力为 8 000  $\text{t/h}$ ,日工作时间 15 h,排土机利用效率按 90% 计,每日可排置岩石 10.8 万 t,即排土机工作 17 d 需停止 7 d 进行移置工作;当采取扇形排土时,每次移置可排置岩石约 92 万 t,排土机约工作 8.5 d 需停机 7 d 进行移置工作。该区域由于地形形状的影响,采取矩形排土与扇形排土相结合的方式,排土机共计使用 156 d,但移置工作时间占据 63 d,排土机效率较低。

东部区域长度约为 2 000 m,宽度约为 160 ~ 320 m,计划采用扇形排土沿北侧山体向南侧推进,需进行两次扇形移置,由于本区域排土线较长,单次移置时间约 10 d,共需 20 d。

#### 3.2.2 超前路堤排土机双向排土工艺方式

基于以上情况分析,采用传统矩形和扇形相结合的混合式排土(图 2),排土机移置频率高,影响排土机使用效率,需进行优化调整。针对本排土地形形态特点,采取超前路堤排土机双向排土工艺方式,如图 3 所示,在该排土场中部布置排土胶带机及排土机,可增加每条胶带排土量,减少移置次数,提高排土效率。具体实施步骤如下:

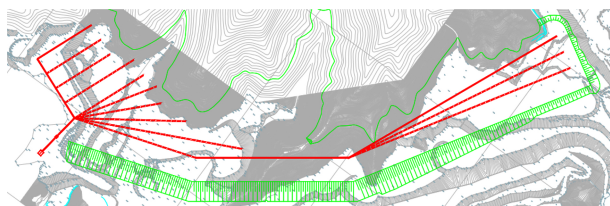


图 2 混合式排土胶带机布置

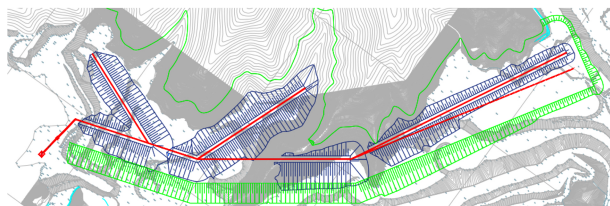


图 3 超前路堤排土机双向排土方式胶带机布置

(1) 由西北区域西侧中部利用汽车排土堆置初始路堤,路堤顶部宽度为 30 m,路堤长度为 300 m,高度为 40 m,排土量约为 248 万 t,修筑

工期 20 d。初始路堤铺设排土胶带机、排土机轨道,排土机及卸料小车行走至初始路堤上,建设周期约 3 个月,在此期间,初始路堤基本可通过自然沉降达到满足要求的地基承载力。

(2) 排土机由西部初始路堤中部向内侧(靠近山体一侧)进行平行式排土,排土宽度为 80 m,可排置岩石 220 万 t,排土机持续工作约 19 d,待山体侧排置完成后,由初始路堤东向绕行至排土胶带机外侧西部继续向东侧排土,排土机继续工作 19 d。

(3) 在排土胶带、轨道安装,排土机排土作业的 128 d 时间中,汽车运输负责初始路堤的延伸,汽车运输日排置量为 3 万 t,排置岩石 384 万 t,可延长二段路堤 355 m。该路堤顶中部铺设胶带机和轨道,待排土机完成初始路堤的排土后,硫化初始胶带机与二段路堤胶带机进行胶接,轨道进行搭接,排土机行走至二段路堤继续外侧排土工作,待外侧排土结束后,由二段路堤端部绕行至内侧继续排土,如此循环。

(4) 东部区域最宽处 320 m,采用双侧排土一次排土宽度为 190 m,外侧边坡占据宽度为 60 m,需进行一次扇形移设,完成外侧 70 m 排土作业。

### 3.2.3 排土方式比较

(1) 移置时间:当采用传统的矩形和扇形排土方式,共需进行 4 次平行移置,7 次扇形移置,移植工作共计耗时 83 d;若采用本文提出的超前路堤排土机双向排土方式,仅需一次扇形移置,耗时 10 d。

(2) 排土机排土量:采取超前路堤排土机双向排土方式,2100 m 水平排土机排土量相比传统方式增加 788.4 万 t。

(3) 排土运营费用:岩石汽车运输吨公里单价为 1.2 元,胶带机+排土机排土岩石约为 0.4 元,排土作业单吨节省运输费用为 0.8 元,2 100 m 平台可节省运输费用约 820 万元(平均运距按 1.3 km 计)。

(4) 生产组织:采用传统方式,在排土机频繁停机移置过程中,为保证生产组织的持续性,需组织约 56 台 55 t 级矿用宽体自卸汽车保证岩石

由干线胶带机输送至排土场后的运输和排置,当排土机完成移置后正常工作时,仅需组织 6 台同级别汽车进行排土作业,这将造成生产组织难以协调。采用超前路堤排土机双向排土方式,可保证排土机和汽车运输量的持续稳定,仅配置 6 台 55 t 级矿用宽体自卸汽车持续生产。

从以上运营费用和生产组织的连续性分析,针对本矿山排土场的形态特点,采用超前路堤排土机双向排土方式,能发挥巨大的优势。

## 4 结 语

对于大型矿山的岩石排置工作,采用带式输送机-排土机半连续工艺系统具有排土量大,运营成本低的优势,但需保证排土机的作业效率。针对狭长型、形态不规则的排土场,传统的矩形排土、扇形排土或二者结合的混合型排土方式,由于移置频率高,单次排土量有限,限制了排土机的工作能力发挥,无形中增加岩石排置成本。采取部分岩石利用汽车运输排置,修筑超前路堤,排土机位于排土区域中部采取双向排土工艺,可极大地提高单次排土量,降低排土胶带移置频率,在岩石排置运营成本和生产组织管理方面能得到较大改善。该种排土工艺对一定条件的排土场排土工作具有很好的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 董红彦.白云鄂博某矿排土机堆排工艺设计[J].现代矿业,2016(4):263-265.
- [2] 柴永利.露天煤炭排土场过载问题分析[J].建筑工程技术与设计,2014(6):1094-1096.
- [3] 王运敏.排土场稳定性及灾害防治[M].北京:冶金工业出版社,2011:13-15.
- [4] 石伟,邓克,姜科,等.大型露天矿山胶带排土工艺的研究[J].中国矿业,2004(10):14-18.
- [5] 李欣东,李三川.元宝山露天煤矿 2#排土机初始路堤修筑方案[J].露天采矿技术,2004(5):5-6.