

底侧卸式矿车外动力卸载设施的研究与应用

谭清述

(紫金(厦门)工程设计有限公司)

摘要:大型有轨运输矿车设有专用卸载站,站内矿车沿卸载曲轨运行。针对矿车通过卸载站时电机车无法产生驱动力,导致矿车无法稳定通过卸载站问题,从矿车通过卸载站机械能变化情况出发,以塞尔维亚某铜矿卸载站为例,分析矿车卸载过程中速度变化情况,并通过设置外动力设施控制卸载运行速度,使大型有轨运输矿车卸载平稳可靠,对生产系统自动化起到了极大促进作用。

关键词:底侧卸式矿车;电机车;卸载站;机械能;外动力设施

中图分类号:TD524

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)05-0025-03

doi:10.11792/hj20240506

引言

大型有轨运输矿车广泛应用于大规模地下矿山的中段运输。常见大型矿车卸矿方式有底卸式和底侧卸式,不论何种卸载方式,均设有专用固定卸载站,卸载站内设有卸载托轮和卸载曲轨。使其行驶至卸载站后,机头及矿车车身由卸载托轮托举前行,矿车底板以相应的方式打开后沿着卸载曲轨运行^[1]。但是,矿车通过卸载站时,牵引电机车无法产生驱动力,传统设计中有3种方式使矿车通过卸载站:①矿车运行至卸载站附近时,控制矿车初始速度,使其利用自身惯性通过卸载站。②矿车设置前后2台牵引电机车,正常运行时,前端电机车作为牵引电机车,后端电机车仅跟随矿车运行;通过卸载站时,后端电机车起控制作用,使矿车平稳通过卸载站^[2]。③采用销齿式推车机代替方式②中尾部电机车^[3],矿车运行至卸载站时切换驱动系统,由推车机推动矿车前行。但是,以上方式均存在相应缺点:矿车靠惯性力通过时,系统不可控,存在不确定性;当发生特殊情况时,矿车易停留在卸载站上方,造成事故;矿车通过卸载站速度过快时,会造成设备之间撞击、掉道等事故^[4]。采用双电机车配置时,存在设备浪费现象。采用推车机方式时,推车机需液压站提供动力,且满载矿车自重较大,需液压站提供压力较高的液压油,增加了液压系统漏油的风险;同时,推车机机械系统较复杂,维护成本高。

想要矿车稳定可靠地卸载,就需要控制矿车通过卸载站的速度。塞尔维亚某铜矿矿车卸载系统采用外动力设施,通过对矿车施加外部驱动力,使矿车匀

速通过卸载站,该方式稳定可靠,已实现自动化控制。

1 卸载站基本参数

塞尔维亚某铜矿采用65 t电机车单机牵引10辆底卸式矿车,电机车配套电动机功率 4×20 kW。20 m³矿车自质量13.5 t,平均载质量30 t,卸矿最大卸载倾角55°,车长6.09 m。卸载站有效卸载长度25.7 m,托轮间距1.0 m。进入卸载曲轨前布置有4套外动力设施,卸载完脱离卸载曲轨后布置有2套外动力设施,外动力设施驱动轮直径800 mm,单套驱动功率22 kW。卸载站布置示意图如图1所示。

2 矿车卸载过程中机械能变化

矿车卸载是一个复杂的过程^[5],为简化计算,本文进行如下假设:

- 1) 矿车及装载物料重心相对于设定的零点位置高差相同,卸载过程中矿车重心未发生变化。
- 2) 矿车卸载过程中完全卸载干净。
- 3) 忽略开始卸载时物料流出量,认为物料仅在大于堆积角后才开始从矿车底板流出。
- 4) 卸载站前、后段轨道及托辊为水平安装。
- 5) 卸载站托轮和矿车之间作用时没有滑动现象。

2.1 矿车以初始速度进入卸载站时的机械能

根据图1卸载站布置示意图,取曲轨最低点B为零点位置,当矿车以初始速度 v_1 进入卸载站C点时,矿车具有的机械能:

$$E_{j1} = n \frac{m_1 v_1^2}{2} + n m_1 g h \quad (1)$$

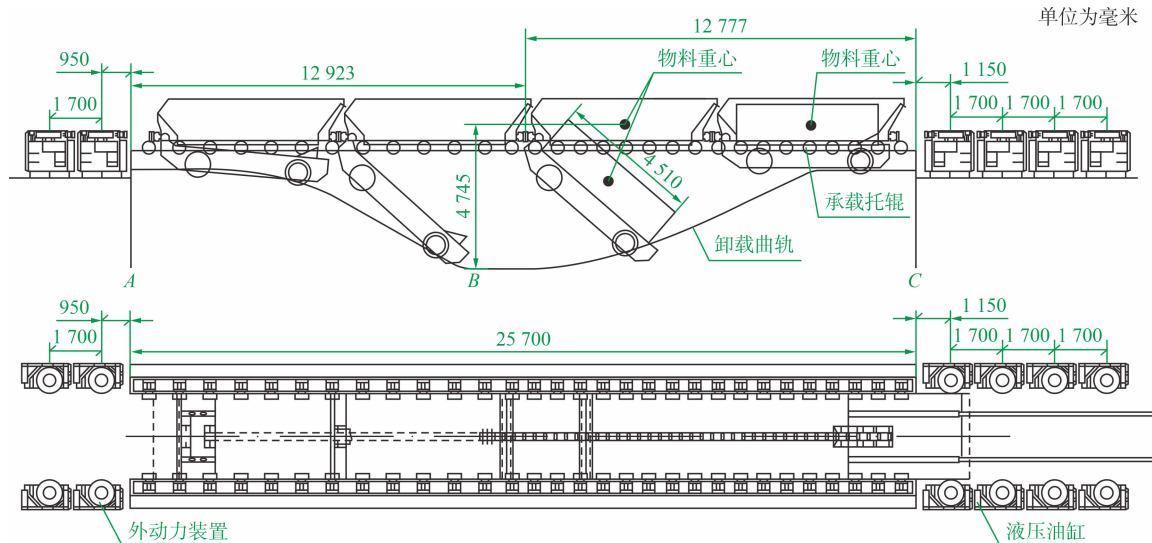


图1 卸载站布置示意图

Fig.1 Layout of unloading station

式中: E_{j1} 为矿车进入卸载站时总机械能(J); n 为矿车数量; m_1 为矿车满载时总质量(kg); v_1 为矿车进入卸载站时运行速度(m/s); g 为重力加速度(m/s^2); h 为满载矿车重心相对于B点高度(m)。

经计算, $E_{j1} = 20\ 302\ 950.75\ J$ 。

2.2 矿车卸载物料过程中机械能变化

由于矿车卸载物料过程极为复杂,为简化计算,假定矿车在整个卸载过程中分为两阶段:第一阶段为矿车卸矿口张开至物料可完全卸载位置,物料相对于矿车底板未移动;第二阶段为物料在重力作用下加速下滑,假定矿车此时为瞬时静止状态^[6-7]。

根据以上假设,矿车在卸载物料过程中机械能变化情况为:第一阶段物料势能降低,转化为矿车及物料的动能,总机械能未发生变化;第二阶段物料下滑,此时物料势能进一步降低,该部分势能转化为物料的动能和克服物料与矿车底板间摩擦力做功,总机械能减少。矿车卸载过程状态示意图如图2所示。

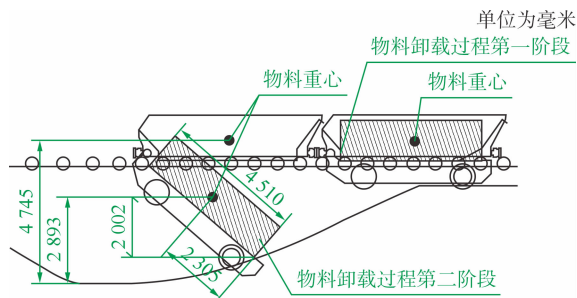


图2 矿车卸载过程状态示意图

Fig.2 Status diagram of mining carts during unloading process

第二阶段机械能变化量:

$$E_{j2} = nm_2gh_2 \quad (2)$$

式中: E_{j2} 为卸载过程中机械能变化量(J); m_2 为矿车装载物料质量(kg); h_2 为物料重心高度(m)。

经计算, $E_{j2} = 8\ 514\ 099\ J$ 。

2.3 矿车通过卸载站时总阻力

矿车通过卸载站时,除机械能变化外,矿车还受到卸载托轮的摩擦阻力、风阻力等^[8]。阻力计算根据卸载站长度分为两阶段:第一阶段为物料未卸载时,第二阶段为物料卸载完成后。根据前面假设,卸载站托轮与矿车之间没有滑动现象,则系统主要阻力可等效为矿车运行阻力。

第一阶段矿车所受阻力^[9]为:

$$F_1 = nm_1\omega_1 \quad (3)$$

式中: F_1 为矿车在物料卸载前所受阻力(N); ω_1 为满载矿车运行基本阻力(N/t)。

经计算, $F_1 = 14\ 790\ N$ 。

第二阶段矿车所受阻力^[9]为:

$$F_2 = nm_3\omega_2 \quad (4)$$

式中: F_2 为矿车在物料卸载后所有阻力(N); m_3 为矿车质量(kg); ω_2 为空载矿车运行基本阻力(N/t)。

经计算, $F_2 = 7\ 290\ N$ 。

矿车完全通过卸载站阻力做功为:

$$E_{j3} = F_1L_1 + F_2L_2 \quad (5)$$

式中: E_{j3} 为矿车完全通过卸载站阻力做功(J); L_1 为满载矿车开始进入卸载站至卸载完成时滑行距离(m),按最后一辆矿车滑行距离计算; L_2 为矿车至完全卸载滑行距离(m),按第一辆矿车滑行距离计算。

经计算, $E_{j3} = 1\ 344\ 672\ J$ 。

2.4 卸载完成后矿车所具有机械能及推算末端速度

根据以上计算,当没有外部设备干涉时,矿车卸载完全后所具有的机械能为:

$$E_{j4} = (E_{j1} - E_{j2} - E_{j3}) \tag{6}$$

式中： E_{j4} 为完成卸载后矿车具有机械能(J)。

经计算， $E_{j4} = 10\,444\,179.75\text{ J}$ 。

根据矿车卸载完成后所具有的机械能推算矿车的末端速度：

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(E_{j4} - nm_3gh)}{nm_3}} \tag{7}$$

式中： v_2 为矿车离开卸载站时运行速度(m/s)。

经计算， $v_2 = 7.85\text{ m/s}$ 。

3 外动力设施设置

根据计算，当矿车以 0.5 m/s 速度进入卸载站时，完成卸载后，矿车速度将达到 7.85 m/s，此速度过大，会造成车厢内大部分物料不能卸载干净，物料留在车厢内使矿车底板难以复位，将导致后面车厢抬起，继而发生掉道事故。可通过设置外动力设施避免事故发生，并保持卸载稳定。外动力设施为卸载站进入侧在矿车两侧布置独立驱动轮，当矿车进入卸载站时，外动力设施通过液压推杆推动驱动轮与矿车车厢接触，通过与车厢之间的摩擦力控制矿车运行速度。外动力设施工作原理示意图如图 3 所示。

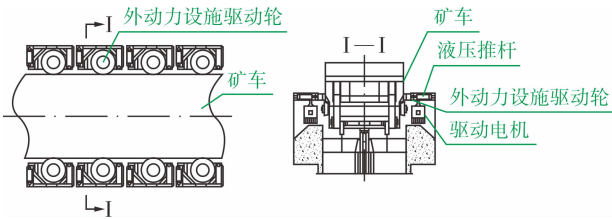


图 3 外动力设施工作原理示意图

Fig.3 Diagram of the operation mechanism of external power device

3.1 外动力设施驱动力计算

3.1.1 正常卸载

当无相关控制设施时，矿车以 0.5 m/s 的速度进入卸载站，至完成卸载后速度 $v_2 = 7.58\text{ m/s}$ ，运行距离 $s = 60.9\text{ m}$ 。卸载过程为匀加速过程，则运行时间 $t = 15.07\text{ s}$ ，运行加速度 $a = 0.47\text{ m/s}^2$ 。

在卸载第一阶段，矿车卸矿口张至物料可完全卸净位置，物料相对于矿车底板未移动时对矿车产生加速力，由于卸载过程中质量为变化量，取完成卸载前和完成卸载后平均质量进行计算，此时产生的矿车卸载牵引力为：

$$F_3 = n_1 m_4 a \tag{8}$$

式中： F_3 为矿车卸载牵引力(N)； n_1 为卸载前后平均满载矿车数； m_4 为牵引质量(kg)。

经计算， $F_3 = 102\,225\text{ N}$ 。

3.1.2 满载矿车由外动力设施驱使

当满载矿车停留在卸载站入口时，此时牵引电机车已断电，需外动力设施驱动矿车进入卸载站正常卸载，此时矿车速度将从 0 m/s 加速至 0.5 m/s，加速过程中矿车启动牵引力^[9]为：

$$F_4 = nm_1\omega_3 \tag{9}$$

式中： F_4 为矿车启动牵引力(N)； ω_3 为矿车单位启动基本阻力(N/t)。

经计算， $F_4 = 22\,185\text{ N}$ 。

3.2 外动力设施驱动电动机功率计算

根据以上计算，卸载过程中矿车受力较大。该塞尔维亚铜矿卸载站所采用外动力设施驱动轮直径为 800 mm，运行速度为 0.5 m/s，则对应驱动电动机功率：

$$N = KF_3 v / \eta \tag{10}$$

式中： N 为驱动功率(kW)； K 为功率备用系数； v 为运行速度(m/s)； η 为传动效率。

经计算， $N = 72.16\text{ kW}$ 。

根据计算，该塞尔维亚铜矿卸载站进车侧配备的 4 个 22 kW 外动力设施可满足要求，出车侧配备 2 套外动力设施为辅助设施。

4 应用效果

该塞尔维亚铜矿中段运输设备采用外动力设施后，有效解决了卸载过程中矿车“脉动”现象，减少设备之间冲击；同时从源头上避免了矿车在卸载过程中可能出现的车轮不着轨、掉道事故。现场已将卸载站控制设施接入自动化中控系统，实现运行自动化，减少了操作人员数量，降低了企业生产经营费用。

5 结 语

对于大型有轨运输矿车，其卸载过程的稳定性一直困扰着各矿山，目前虽有各种改进措施，但都没完全解决问题。本文从能量守恒出发，通过分析矿车在运行过程中的机械能变化，并以塞尔维亚某铜矿卸载站外动力设施为例进行了计算。结果表明，通过设置外动力设施可稳定控制矿车卸载速度，在保证物料卸载完全的同时避免卸载站掉道事故的发生，对生产系统自动化起到了极大的促进作用。外动力设施投入使用以来，已稳定运行近半年，效果良好，可为其他矿山提供借鉴。

[参 考 文 献]

[1] 李保新,练存才. 底卸式与底侧卸式矿车卸载状况的理论分析与比较[J]. 煤矿设计,1988,20(11):28-33.
[2] 李志. 双机牵引与底卸式矿车[J]. 煤矿设计,1990,22(3):26-27.
[3] 刘凯,张茂坤. 销齿推车机系统在矿山大型卸载站中的设计与应用[J]. 世界有色金属,2016(15):161,163.
[4] 王国彪. 底卸式矿车跳动原因的分析[J]. 矿山机械,1992,20(6):7-10. (下转第 39 页)

择性,对铜、锌选择性较弱。

3)根据矿石性质,试验采用铜快速浮选—铜铅混选—铜铅再磨分离—锌浮选流程,最终获得铜品位 35.56 %、铜回收率 75.23 % 的铜精矿;铅品位 45.02 %、铅回收率 71.92 % 的铅精矿;锌品位 41.49 %、锌回收率 72.58 % 的锌精矿;含铜 20.14 %、含铅 8.90 %、含锌 28.38 %,铜回收率 11.93 %、铅回收率 6.77 %、锌回收率 11.81 % 的混合精矿。全流程铜总回收率 97.94 %,铅总回收率 96.62 %,锌总回收率 92.64 %。

[参 考 文 献]

[1] 肖炜,田小松.云南迪庆铜铅锌硫化矿浮选分离研究[J].矿产综合利用,2020(1):65-70.

[2] 段胜红,姜亚雄,周光浪.某铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J].矿冶工程,2023,43(1):72-76.
[3] 陈章鸿,刘四清,陈思雨,等.基于硫酸调浆的铜铅锌多金属矿浮选分离工艺研究[J].矿产综合利用,2022(2):79-85.
[4] 王瑞康,蓝卓越,杨迪,等.铜铅硫化矿浮选分离研究现状及展望[J/OL].矿产综合利用;1-21[2023-11-08].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1251.TD.20231107.1108.010.html>.
[5] 刘建文.内蒙古某难选冶铅锌矿石选矿试验研究[J].黄金,2022,43(11):77-81.
[6] 任飞,李志锋,胡志刚,等.内蒙古某含银铜铅锌多金属硫化矿石选矿试验研究[J].黄金,2021,42(8):61-66.
[7] 孙晓华,付强,应永朋,等.青海某低品位铜铅锌银多金属矿工艺矿物学研究[J].有色金属(选矿部分),2020(5):5-10.
[8] 赵玉卿,应永朋,熊艳,等.BPMA 在某低品位钨钼矿工艺矿物学研究中的应用[J].矿产综合利用,2021(5):129-134.

Research on the ore-dressing technology of a copper – lead – zinc polymetallic mine in Qinghai

Zhao Yuqing¹, Liu Dao¹, Zhang Peiqing², Ying Yongpeng¹
(1. Qinghai Provincial Geological Resources Testing and Application Center;
2. No. 3 Exploration Institute of Geology Resources of Qinghai Province)

Abstract: This study investigates the effects of different types of collectors on the flotation separation of copper, lead, and zinc in a polymetallic mine in Qinghai. The emphasis was placed on evaluating the separation efficiency of new types of collectors 4037B, P5100C, and QBSC. The results indicate that P5100C and QBSC are particularly effective for the separation of copper and lead. Under optimal conditions, a process comprising rapid flotation of copper – mixed flotation of copper and lead – regrinding and separation of copper and lead – zinc flotation, yielded a copper concentrate with a grade of 35.56 % and a recovery rate of 75.23 %, a lead concentrate with a grade of 45.02 % and a recovery rate of 71.92 %, and a zinc concentrate with a grade of 41.49 % and a recovery rate of 72.58 %. A mixed concentrate was also obtained with copper grades of 20.14 %, lead grades of 8.90 %, zinc grades of 28.38 %, and recovery rates of 11.93 %, 6.77 %, and 11.81 % for copper, lead, and zinc, respectively. The overall copper, lead, and zinc recovery rates were 97.94 %, 96.62 %, and 92.64 %, respectively.

Keywords: copper; lead; zinc; new types of collectors; flotation; polymetallic mine

(上接第 27 页)

[5] 张家骏.底卸式矿车在卸载过程中速度控制的计算[J].起重运输机械,1980(1):25-26.
[6] 姜克城.底卸式矿车卸载过程的运动和受力分析[J].煤矿设计,1990,22(5):21-24.
[7] 陈光寅.底卸式矿车最佳卸载轨道的研究[J].煤矿设计,1982,

14(11):35-39,34.
[8] 胡永胜.ZK20S-9/550 机车带 9 节 10 m³ 矿车可行性分析[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2010,27(增刊 1):46-49.
[9] 《采矿设计手册》编写委员会.采矿设计手册:矿山机械卷[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.

Research and application of external power
unloading device for bottom unloading mining carts

Tan Qingshu
(Zijin (Xiamen) Engineering Design Co., Ltd.)

Abstract: Large-scale tram transport mining carts are equipped with dedicated unloading stations, where the carts run along unloading curved tracks. Addressing the problem of electric locomotives unable to generate sufficient driving force for mining carts to pass through unloading stations stably, this study, taking the unloading stations of a copper mine in Serbia as an example, analyzes the speed variation of mining carts during unloading processes. By setting up external power device to control unloading speed, the unloading process of large-scale tram transport mining carts becomes smoother and more reliable, greatly promoting the automation of production system.

Keywords: bottom unloading mining carts; electric locomotives; unloading stations; mechanical energy; external power device