露天矿的运输方式及选取研究

刘 金 平， 胡 洪 鑫， 郭 辉， 符 强
（中国水利水电第十工程局有限公司，四川 成都 610072）

摘 要：运输工作是露天矿作业的主要生产工序之一，它的运用能有效节约露天矿的基建投资、提高矿石产量、降低矿石成本并提高劳动生产率，其主要任务是将采场采出的矿石运输到选矿厂、破碎站或贮矿场，将剥离的废石运送到排土场，并将生产过程中所需要的人员、材料和设备运送到指定的作业地点。对露天矿常见的运输方式及运输实例进行了分析，阐述了选取科学合理的运输方式对未来露天矿山的生产和发展的重要性。

关键词：运输；破碎站；废石；运输方式；选取；露天矿
中图分类号：TD5；TD2；TD8 **文献标识码**： B **文章编号**：1001-2184(2020)04-0028-04

Study on Transportation Mode and Selection of Open-pit Mine

LIU Jinping, HU Hongxin, GUO Hui, FU Qiang
(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Transportation is one of the main production processes of open-pit mine operation, and its application can effectively save the infrastructure investment of the open-pit mine, increase the ore output, reduce the ore cost and improve the labor productivity. The main task is to transport the ore from the stope to the concentrating mill, crushing station or storage yard, and transport the stripped waste rock to the dump yard, and transport the personnel, materials and equipment needed in the production process to the designated operation site. This paper analyzes the common transportation modes and transportation examples of open-pit mines, and expounds the importance of selecting scientific and reasonable transportation modes for the production and development of open-pit mines in the future.

Key words: transportation; crushing station; waste rock; transportation mode; selection; open-pit mine

1 概 述

运输工作是露天矿作业的主要生产工序之一，其主要任务是将采场采出的矿石运输到选矿厂、破碎站或贮矿场，将剥离的废石运送到排土场，并将矿山生产过程中所需要的人员、材料和设备运送到指定的作业地点[1]。在大型露天矿开采过程中，运输成本一般会达到生产总成本的 50%左右。因此，如何根据矿山的实际情况选取最优的运输方案对节约露天矿基建投资、提高矿石产量、降低矿石成本和提高劳动生产率将起到至关重要的作用。

2 露天矿运输的主要特点

露天矿在整个生产过程中环节众多，而运输工作则是将各个环节紧密地联系到一起，起到了“动脉”和“纽带”作用。在露天矿采剥过程中，需要将产生的矿石和废石通过运输系统及时运输到指定位置，从而保证露天矿基建和生产任务的合理完成。一旦运输系统发生故障造成运输停顿或运输系统运力不足都将影响到整个矿山的生产活动。因此，研究露天矿运输的特点，对合理选取运输系统以及保证露天矿运输系统的运力和流畅性就显得尤为重要。露天矿运输的主要特点包括以下几点：

(1)运料单向性。露天矿的生产主要是将开采面采剥的矿石和岩石运送到选矿厂(贮矿场)和排土场，而其所涉及到的矿石及剥离的废石运输主要集中于单一方向。

(2)运输强度大。在露天矿(特别是剥采比大)的生产过程中，所开采的矿石和剥离的岩石数量庞大，因此，在保证矿山生产活动持续稳定进行的情况下，其运输系统必须达到与其匹配的、足够

收稿日期：2020-05-29

大的运输强度。无论是矿石或岩石通常密度较大、硬度高且块度不一,具有较强的磨耗性,因此要求运输设备必须具有足够的运载能力和较大的耐磨性。

(3)特定运输线路的多变性。在露天矿开拓生产过程中,所采剥的矿石及岩石的装卸点往往随着生产进度需要进行调整,采场、堆场以及排土场台阶上的运输网路亦需经常调整,故运输线路的质量较低,需要经常进行检修维护。

(4)运输组织的复杂性。从山坡露天开采转入深凹露天开采时,运输系统的工作条件会发生很大变化,而且露天矿运输网路在岩石需分采和配矿时涉及到的运输任务各向交织,运输组织会变得十分复杂。

考虑到以上露天矿运输具有的主要特点,在进行露天矿运输时应尽量满足以下条件:①运距应尽可能的短,以降低运输成本;②整个运输网路应尽可能地保持不变,争取做到矿山开采期间所需移动设备量最小;③一个露天矿最好采用较简单的运输方式和较少的运输设备类型,以简化管理和维修等方面的组织工作;④运输设备的容积和强度要与采装和卸载设备以及矿岩运输性质相适应,以提高其整体运输效率;⑤所选择的运输方式要保证工作的可靠稳定,主要设备的间歇时间应尽量做到最少,移运过程应尽可能地保证有较大的连续性。

3 露天矿常见的运输方式

3.1 铁路运输

(1)铁路运输的发展过程。铁路运输在早期的露天矿运输中占据着绝对的主导地位。但由于大部分露天矿由山坡转为深凹开采时运输环境变得更为复杂,进而使得铁路运输的适应性大大降低,随着新型运输方式的不断发展和完善,铁路运输逐渐被取代。

(2)铁路运输具有的优点。铁路运输在早期露天矿运输中具有的优点:①运输能力大,给矿山生产经营的进行带来了很多便利;②可选取的机车和相应的能源类型比较多,为露天矿山的生产提供了更多的可能性;③运输过程更加稳定可靠,为矿山的安全生产和产能达标提供了保障;④铁路运输的成本远远低于汽车运输。

(3)铁路运输具有的缺点。随着人类科技水平的不断发展,铁路运输的缺点日趋明显:①基建期对时间和资金投入的要求较高;②爬坡能力不强且所需转弯半径大,对地理环境要求较高;③运输方式受到开采深度的严重制约。

3.2 汽车运输

(1)汽车运输的应用。各种重型的装载设备和自卸汽车的诞生为露天矿山特别是深凹型矿山的运输带来了极大的便利。

(2)汽车运输具有的优点。在露天矿山开采中汽车运输具有的优点:①机动灵活,可适应各种复杂的地形条件;②爬坡能力较强,在相同的条件下可缩短运距;③前期所需工程量小,能较大幅度地降低时间和资金投入;④可减小排土场的占地面积并提高排土效率。

(3)汽车运输具有的缺点。虽然对露天矿来说汽车运输具有很多优点,但其自身还存在不少缺点:①单位运输成本高,不适合长距离运输;②容易受气候影响,在大雾、雨雪条件下行车十分困难;③在深凹型露天矿中,汽车运输容易污染矿坑内的空气;④维修和保养工作量大,需要较多的人力投入。

3.3 胶带运输机运输

(1)胶带运输机的兴起。随着现代生产生活机械化和自动化的不断发展,大型胶带运输机的生产技术日趋成熟,特别是随着移动式破碎机和移动式输送机的应用,胶带运输机被越来越多地应用到露天矿的运输过程中。

(2)胶带运输机具有的优点。作为一种连续的运输方式,胶带运输具有很大的运输优势:①相较于铁路和汽车运输,其运力更大;②爬坡能力更强。某些大倾角的胶带运输机的运输坡度可以达到40°甚至更高;③运行更加可靠,噪声低,对环境影响特别小;④运行时能源消耗少,运输成本低。

(3)胶带运输机具有的缺点。胶带运输机运输也有其自身的缺点:①基建期所需投入的资金较多;②胶带机运输对矿体颗粒的大小要求更为严格,因而增加了破碎成本;③矿岩湿度较大时容易卡带,从而减短了胶带的使用寿命;④与汽车运输一样,受天气影响较大。

3.4 联合运输

联合运输是指从采场工作面的装载点到卸载点(破碎站、矿石堆场或废石场)之间采用两种以

上(含两种)的运输方式相结合。联合运输具有的优点:可以降低矿石和岩石的运输成本,从而有效改善并衔接生产工序的技经指标;缺点是必须设立转载站将矿岩进行转载。

“汽车-破碎站-胶带”运输这种高效率、半连续的开拓方式已成为大型露天矿的发展趋势[2]。虽然该运输方案初期投资较大,但随着露天矿山特别是大型深凹露天矿采剥生产的不断进行,该方案的优势将会越来越明显,在今后相当长的一段时间内,“汽车-胶带”半连续的运输方式将成为大型深凹露天矿的最优选择。

4　露天矿运输实例分析

以国外某大型露天铜矿为例进行分析:该铜矿设计采用湿法炼铜,服务年限为 30 a,全部堆浸场完工后预计年产量为 10 万 t 阴极铜,矿石及岩石采剥量十分巨大。因此,结合矿区的生产安排和地形条件,在技术和经济条件允许的情况下选取更加合理的运输方式对于整个铜矿的高效运行和成本节约至关重要。目前,由于该铜矿设计矿区内部分征地问题仍未解决而造成部分堆浸场未开工建设,因此,仅研究了围挡范围内已施工完成的、具备生产条件的堆浸场。图 1 为该铜矿围挡范围内已完工部分的平面布置简图。笔者结合该图研究分析了该铜矿的运输方式。

由图 1 可以看出:矿区范围内既布置有汽车运矿道路,又布置有胶带运输机线路,因此该铜矿采用的运输方式为既有全汽车运输,也有汽车运输和胶带机运输的联合运输,整体而言属于联合运输方式。笔者结合该矿采矿生产的具体流程,通过各种运输方式的技术经济指标对运输方式的选取进行了全面的分析与比较。

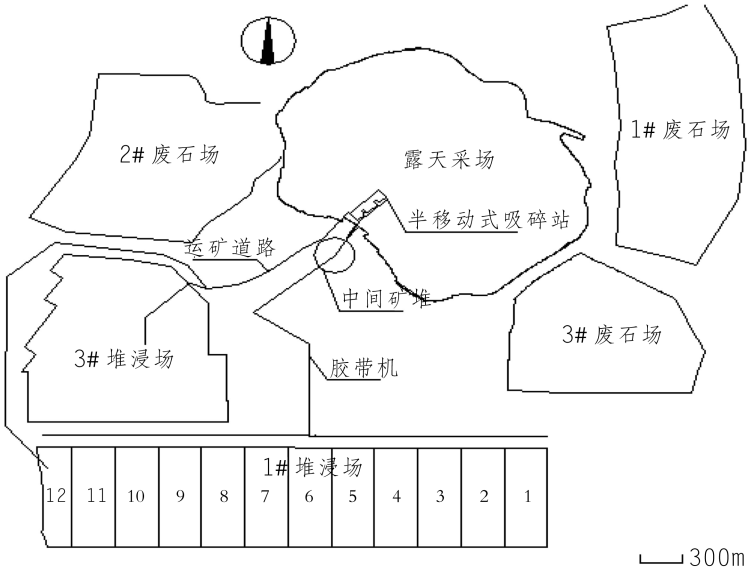

图 1　铜矿围挡范围内平面布置图

4.1　通过采矿流程分析各种运输方式在技术上的可行性

首先结合该铜矿的采矿生产流程对各个过程可能运用的运输方式进行理论分析研究。

(1)坑内运输过程。由于该铜矿为深凹型露天铜矿,运输高差大,故矿坑内的矿岩运输选择汽车运输最为科学合理,采剥的矿岩通过汽车运输到采场边帮的半移动式破碎站方便灵活,便于调度。

(2)坑外矿石运输过程。坑外矿石运输是指将破碎站破碎后的矿石运送到堆浸场的过程。1#堆浸场因征地原因导致第十二个堆浸单元未修建完整,形状不规则,若使用胶带机运输的话,布料机无法行走完成布料,故 1#堆浸场第十二堆浸单元只能全部采用汽车运输,而其余 1～11 号堆浸单元整体地势平坦,理论上既可以采用全汽车运输,也可以采用全胶带机运输结合布料机布料,亦或是二者相结合的运输方式。3#堆浸场存在部分堆浸单元形状不规则、堆浸面为曲面等不利于布料机布料的情况,且其本身距离采场较近,

矿石的平均运距在 2 km 左右,故选择汽车运输较为经济[3],因此,3#堆场的矿石运输全部采用汽车运输。

(3)坑外岩石运输。结合图 1 可以看出,该矿山建有 3 个废石场,且 3 个废石场均位于采场附近。同 3#堆浸场一样,由于 3 个废石场形状均不规则且地势起伏不平,不利于布料机的使用,而由半移动式破碎站到 3 个废石场的平均运距均不超过 3 km,使用汽车运输更加经济合理,因此,该铜矿的坑外岩石运输全部采用汽车运输。

4.2　通过经济指标确定最终的运输方式

由上述可知,该矿仅 1#堆浸场 1～11 号堆浸单元的坑外矿石运输方式在技术上存在多种可能性。因此笔者继续通过计算更加直观的经济指标进行 1#堆浸场 1～11 号堆浸单元坑外矿石运输方式的选取。

(1)全汽车运输成本计算。首先,1#堆浸场每个标准堆浸单元的设计尺寸为长 770 m,宽 300 m,每层堆高 6 m,最终堆高暂定为 84 m。堆场每层矿堆的边坡角为 37°,每相邻矿层间留有 4.5 m 的安全距离。根据设计要求,每一层矿体可视为一个四棱台,因此,每个标准堆浸单元的设计堆矿量经粗略计算为 800 万 m^3 左右。根据运输合同,1 km 内的矿石运输单价为 2.38 $/$m^3$,此后运距每增加 500 m,矿石运输的单价增加 0.24 $。结合矿区现场实际情况,1#堆浸场 1～11 号堆浸单元到采区边帮半移动式破碎站的平均运输距离为 5 km 左右(不考虑矿堆高度影响),即平均运输单价为 2.38+0.24×8=4.3($/$m^3$)。因此,若 1#堆浸场 1～11 号堆浸单元的坑外矿石运输均采用汽车运输的情况其运输成本(不含运矿道路的修建及维护费用)为 800×11×4.3=37 840(万美元)。

(2)全胶带机运输成本计算[4]。该铜矿业主采购的两套大型矿用布料机购置成本约为 4 400 万美元,为满足胶带机运输粒径要求而购置的、进行二次破碎的四台液压圆锥破碎机的成本约为 1 200 万美元,所修建的胶带运输系统及相关配套设施成本约为 800 万美元,前期投入成本约 6 400 万美元。后期整个“二次破碎-胶带运输-布料机”布料过程的运行维护成本摊销约为 0.5 $/$m^3$。因此,1#堆浸场 1～11 号堆浸单元坑外矿石运输全部采用胶带机运输的情况其运输成本为 800×11×0.5+6 400=10 800(万美元)

(3)两种运输方案的选择。通过对上述计算结果进行比较后发现,在不考虑汽车运输中运矿道路的修建及维护费用的情况下,全胶带机运输的成本远低于全汽车运输成本,甚至不到汽车运输总成本的三分之一。但在全汽车运输和全胶带机运输都满足技术要求的情况下,通过两种运输方式经济指标的比较不难发现,优先选用全胶带机运输虽然前期资金投入大,但对节约运输成本明显更为有利。因此,在 1#堆浸场 1～11 号堆浸单元坑外矿石运输方式的选择中优先选用了全胶带机运输。

笔者通过全面的分析和比较得出以下结论:该铜矿适合采用的运输方式既有一部分全汽车运输,又有“汽车+破碎站+胶带机”的联合运输方式。而这正与该铜矿现行使用的运输方式相吻合,证明了其运输方式选择的合理性。

5　结　语

露天矿山运输系统作为露天矿山生产的大动脉,直接影响到露天矿山生产的经济效益。因此,在矿山运输系统的规划与建设中,矿山企业不仅需要顺应科技发展,立足矿山自身实际,还应对技术手段和经济指标进行深入的研究分析,从而选择更加科学合理、经济高效的运输方式。[5]

参考文献:

[1]　邵安林.露天矿深部开采运输系统实践与研究[M].北京:冶金工业出版社,2011.

[2]　王会来,韩瑞军.大型露天矿运输系统方案研究[J].中国矿山工程,2014,43(1):20－22.

[3]　果晓明.露天矿破碎－胶带半连续运输工艺的研究与实践[J].金属矿山,2005,54(2):12－15+24.

[4]　徐　鼎.露天矿运输方式的选择与评价[J].有色金属(矿山部分),1988,32(6):7－12+18.

[5]　马　帅.露天矿山运输系统风险分析及路径优化研究[J].世界有色金属,2017,35(4):99－100.

作者简介:

刘金平(1985-),男,陕西西安人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

胡洪鑫(1976-),男,湖南双峰人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

郭　辉(1991-),男,河南三门峡人,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

符　强(1992-),男,四川成都人,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)