

# 首钢水厂铁矿汽车-胶带半连续运输 系统设备配套优化研究\*

蔡美峰<sup>1</sup> 郝树华<sup>1,2</sup> 李军财<sup>1</sup>

(1. 金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室,  
北京科技大学·北京 100083; 2. 首钢矿业公司·迁安 063000)

**摘要:**介绍了大型深凹露天矿汽车-胶带半连续运输系统,各生产环节设备合理选型和优化配套的原则与计算方法。根据矿山实际开采条件,完成了水厂铁矿电铲、汽车、破碎机、胶带机和排土机等铲装运排主要设备的合理选型与优化配套。

**关键词:**水厂铁矿 汽车-胶带 半连续运输 设备 配套 优化

**中图分类号:** TD57   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1004-4051(2006)06-0075-04

## SDUDY ON OPTIMIZATION OF EQUIPMENT COORDONATION FORTRUCK-BELT SEMI-CONTINUOUS HAU LAGE SYSTEM IN SHUICHANG IRON MINE

Cai Meifeng<sup>1</sup> Hao Shuhua<sup>1,2</sup> Li juncai<sup>1</sup>

(1. Teh key Laboratory of High-Efficient Mining and Safety  
of Metal Mines, the Ministry of Education · Beijing 100083; 2. Mining  
Company, Capital Iron and Steel Group Corporation · Qianan 063000)

**Abstract:** The principles and calculation methods of optimum coordination of equipment for truck-belt semi-continuous haulage systems in large-scale deep open pit mines are introduced. According to practical mining conditions, the proper selection and optimum coordination of shovels, trucks, crushers, belt conveyors, waste rock dischargers and other equipment for truck-belt semi-continuous haulage systems in Shuichang iron mine are completed.

**Key words:** Shuichang iron mine Truck-belt semi-crntinuous haulage Equipment Coordination Optimization

### 1 前言

目前,我国的大多数大型冶金露天矿山,已进入深部凹陷开采。进入深凹开采后,运输距离加长,重载下坡变成重载上坡运行,运输效率降低,运输成本增加,导致生产成本急剧上升,经济效益迅速下滑。据统计分析,在大型露天矿的生产总成本中,运输一项占到 40%~60%,可见,运输方式的优化,是影响矿山经济效益的关键因素。传统的汽车、铁路及其联合运输方式,已不能适应深凹露天开采运输的要求,只有采用新的运输系统,才能控制生产成本的增加,维持矿山的正常生产和可

持续发展<sup>[1,2]</sup>。

汽车-胶带半连续运输系统,是国外最近 20 年发展起来的一种高效运输技术,技术含量高,既可发挥汽车运输的机动灵活、适应性强、短途运输经济、有利于强化开采的长处,又可发挥带式输送机运输能力大,爬坡能力强,运营成本低的优势,两者联合可达到最佳的经济效益。对汽车-胶带半连续运输系统进行合理的设备选型,实现设备配套优化,是保证该运输系统安全高效运行的关键所在。本文以首钢水厂铁矿汽车-胶带半连续运输系统为工程目标,进行该问题的研究。

水厂铁矿是我国最大的冶金露天矿山,是首钢集团公司的主要原料基地,原设计生产规模为 1600 万 t/a。根据“十五”国家科技攻关重大项目课题

\* “十五”国家科技攻关重大项目 (2004BA615A-05)

收稿日期: 2006-02-20

“大型深凹露天矿高效运输系统及强化开采技术研究”的要求，在水厂铁矿建设矿石和东、西排岩三套汽车-胶带半连续运输系统，其中排岩系统单线最大运输能力达到 2100 万 t/a，矿石运输系统达到 1100 万 t/a，运输成本降低 30% 以上。

## 2 汽车-胶带半连续运输系统设备合理选型研究

### 2.1 矿用自卸汽车

在汽车-胶带半连续运输系统中，汽车运输具有机动灵活的特点，能够适应露天采场的复杂变化，而且能够充分发挥电铲的装载效率。矿用自卸汽车的选择与矿山开采的规模、所处的地理位置有着直接的关系。为了提高设备的效率，降低运输成本，节省能耗，提高矿山的生产能力，采用较大型的设备是完全必要的，也是今后设备配套的趋势。所选择的设备必须相互配套，不是设备越大越好，而应结合矿山的具体条件，选择合理的车型。选择汽车的吨位时，涉及的因素较多，主要有装载设备的技术性能、物料性质、每年的运量、运距以及道路的条件等。其中，特别重要的是汽车与装载设备的合理匹配。本文结合水厂铁矿的生产实际，在电铲确定的条件下，对矿用汽车进行吨位的选择。

(1) 据电铲铲斗尺寸对车厢最小宽度的要求，选择汽车吨位

一般要求车厢的宽度不小于  $1.6 - 1.7B$  ( $B$  为铲斗的底宽) 及  $1.3 - 1.4L$  ( $L$  为铲斗底长)。

(2) 根据物料最大块度对车厢最小容积的要求，选择汽车吨位

铲斗容积 ( $Q$ ) 与所允许的物料最大块直径 ( $d$ ) 的关系见表 1。

表 1 铲斗容积 ( $Q$ ) 与物料最大块直径 ( $d$ ) 的关系

$Q$ (m <sup>3</sup> )	1	2	3-4	$>7.6$
$d$ (m)	0.8	1.0	1.2	1.4

车厢容积 ( $V$ ) 与物料最大块直径的经验公式为  $V = 8d^3$

(3) 根据合理的车厢容积与铲斗容积的比值，选择车型和吨位

从电铲的效率来看，车厢容积越大越好，但从汽车的运输效率来看，装车时间在汽车周转时间中所占比例过大是不利的，应该综合考虑。车厢的容积应尽可能为铲斗容积的倍数。根据我国露天矿的生产实际，电铲装满一车以 3~6 斗为宜。从汽车车运距来看，运距在 1km 时，箱斗比为 2~4；运距为 2km 时，箱斗比为 3~5；运距 3~5km 时，

箱斗比为 4~6。

(4) 据合理车铲比，选择车型和吨位

(5) 据矿山的年运输量，选择车型和吨位

### 2.2 破碎机

破碎机主要有旋回破碎机和颚式破碎机两种。考虑到我国大中型金属露天矿的生产能力大，矿岩块度大等因素，宜采用旋回式破碎机。破碎机的破碎能力由下式计算：

$$Q = K_1 K_2 K_3 K_4 Q_s \quad (1)$$

式中  $Q$ —破碎机的破碎能力，t/h；

$K_1$ —矿石的可碎性系数，见表 2；

$K_2$ —矿石密度修正系数 ( $K_2 = G/1.6$ ， $G$  为松散物料比重)；

$K_3$ —给料粒度修正系数，由给料最大块度和给料口宽之比 ( $w$ ) 确定，见表 3；

$K_4$ —水分修正系数；

$Q_s$ —标准条件下 (中等硬度矿岩，松散密度  $1.6\text{t/m}^3$ )，破碎时的产量。

表 2 矿石的可碎性系数

矿石硬度系数 ( $f$ )	抗压强度 (MPa)	$K_1$
16~20	160~200	0.9~0.95
8~16	80~160	1.0
<8	<800	1.1~1.2

表 3 给料粒度修正系数

$w$	0.85	0.6	0.4
$K_3$	1.0	1.1	1.2

### 2.3 胶带输送机

胶带输送机的选型主要根据年产量、作业率和其它外部条件，选择胶带的几何尺寸、带速、带宽和驱动装置的容量等。胶带输送机的选型计算，包括阻力、胶带张力、功率、强度的计算，带宽和带速的选择，大型水平胶带输送机固定拉紧装置予张紧力计算等。

### 2.4 排土机

排料能力和臂长是排土机选型应考虑的两个主要因素。

(1) 排土机排料能力的计算

$$Q = \frac{A}{T\alpha} \quad (2)$$

式中  $Q$ —排土机的排土能力，t/h；

$\alpha$ —与排土机工作状态、排土场规格、物料性质等相关的系数，一般在 0.5~0.8 之间；

T—作业时间；

A—排土机的理论生产能力；

## (2) 排土机臂长选择

排土机排料臂长和受料臂长的选取，主要取决于排土工艺、排土方法、排土条带宽度和排弃物料的物理性质等。

通常的排土计算模型及臂长的选取，是按单一填石边坡稳定条件所确定的。这类边坡只注意排土机侧面，以及在新的排土条带宽度还没有形成之前排土机所占位置的安全问题。本文推荐采用事先给排土机准备一个足够宽的安全位置，借以扩大一次条带的宽度，就可以选用较短的臂长达到较宽的条带宽度。实际操作中，在排土机的前方，经过推土机压平作业准备出足够的安全平台后，排土机就可以按事先确定的部位移动，移动步距可取3~4m，这时就不必耽心侧面的安全问题了。此时，排料臂长度计算公式为（见图1）。

$$L = S_0 + H_{\text{下}} (\cot \alpha - \cot \beta) \quad (3)$$

式中 L—按边坡稳定条件所确定的最短排料臂长度，m；

$H_{\text{下}}$ —排土段高，m；

$S_0$ —本文推荐的安全距离，其值等于排土机着地宽度的一半加一个移动步距再加5m；

采用该式计算的排料臂长度，可以缩短很多，而安全程度并未降低。

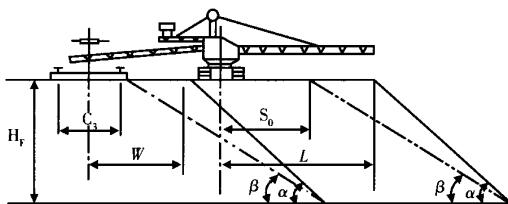


图1 排土计算模型示意图

## 3 汽车-胶带半连续运输系统设备配套优化研究

在露天矿的采矿生产中，采、装、运、排是矿山生产中的主要环节。各系统中的设备不但要选型合理，而且必须进行合理匹配。其一是采装运排设备的规格，要适应矿山的生产能力；其二是采装运排各个环节之间要协调，参数匹配要合理，保证整个系统工作有效、可靠。

在汽车-胶带半连续运输系统中，一部分为间断工艺环节，由电铲采装和汽车运输环节组成；另一部分为连续工艺环节，由破碎机、固定胶带机、移动胶带机、卸料车和排土机组成。能力匹配可分为两部分来考虑：其一是破碎前的间断环节之间与

其后续连续环节的能力匹配；其二是破碎后的连续工艺系统各环节中，要保护前一环节的能力小于或等于后一环节的能力。

### 3.1 生产能力分析

#### (1) 间断工艺环节的生产能力

间断工艺环节由电铲和汽车组成，该环节的生产能力不能大于电铲的生产能力，间断环节的作业时间，还会受到连续环节的制约，在连续环节发生故障时，间断环节就会停止运转。

#### (2) 连续工艺环节的生产能力

该环节构成串联系统，各环节间的能力匹配，既要使后继环节不限制先前环节能力的发挥，又要使系统得到合理的利用。在分析系统的生产能力时，要考虑有效作业时间及设备的生产能力。有效作业时间，取决于整个系统各个组成部分的工作状态（利用率、可靠性、作业系数）。露天矿半连续运输系统的作业率，是确定系统设备能力的重要参数之一。该系统的有效作业率，主要取决于时间利用率和设备完好率两个因素。

在确定半连续运输系统的生产能力时，一般采用间断部分的能力略大于连续部分的能力，其优点在于占投资较大的连续部分的设备不待料，充分发挥其生产能力。在考虑汽车-胶带半连续运输工艺的作业率时，应同时考虑间断部分和连续工艺部分的时间利用率。在确定非生产作业时间时，若间断工艺部分与连续工艺部分的参数相同时，要统一考虑，若两者参数不同时，应按较大者选取。

### 3.2 设备配套优化研究

#### 3.2.1 设备作业率及生产能力的确定

汽车-胶带半连续运输系统的有效作业率，主要取决于时间利用率和设备完好率。

时间利用率是每年可能生产的时间与年历时间的比值。

连续设备的完好率是连续工艺部分设备的纯生产时间与系统的可生产时间之比。计算公式为：

$$\phi = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i} - (n-1)}$$

式中  $\phi$ —连续部分设备完好率；

$f_i$ —单击设备的可靠度；

n—连续部分设备台数。

#### 3.2.2 系统作业率及生产能力的确定

汽车-胶带半连续运输系统的时间利用率是基本不变的，而设备的完好率则随系统设备环节的增加而降低。对于破碎机、排土机及其配套设备生产

能力的确定，可直接按各阶段中最高的小时运量计算。所以设备的设计生产能力必须大于各阶段中最高峰小时运量。

胶带机的生产能力的确定：一个完整的排土系统由排土机、卸料车、移动胶带机、固定胶带机、延伸胶带机及破碎站组成，以系统最高小时运量为原则。

### 3.2.3 胶带输送机最佳配套设备的确定

胶带运输机的胶带宽度  $B$  的确定：胶带运输机的胶带宽度取决于两个因素，一是要满足输送物料能力的要求；二是要满足输送物料块度的要求，各种带宽与输送物料块度所要求宽度的关系所选取。

胶带运输机的胶带带速  $V$  的确定：胶带运输机的运输能力与胶带的带速密切相关。在运输能力相同的情况下，通常选取较小的胶带宽度，选取较高的带速。而胶带机运行速度的大小，还取决于输送机的使用条件、用途、安装地点等因素。随着胶带运输机制造技术和制造质量的不断提高，一定带宽胶带允许的最高带速也不断提高。

## 4 水厂铁矿设备合理选型及配套优化结果

根据上述研究，确定了水厂铁矿一套矿石、两套岩石运输系统的设备合理选型和优化配套结果如下：

### (1) 汽车

矿山现有装载设备为  $10m^3$  电铲，以每车  $4\sim 6$  斗计算，则汽车载重量以  $77t\sim 135t$  为宜。按西排、东排和矿石破碎机的处理能力，经计算可得：西部胶带系统采用  $85t$ ， $77t$  汽车；东部胶带系统需采用  $118t$  汽车，为利用现有设备，可适当配备  $77t$  汽车，配备数量不超过  $118t$  汽车总数的  $1/4$ ；矿石破碎系统采用  $77t$  汽车。

根据水厂铁矿的运量、运距，今后增加汽车应选用百吨级以上的汽车。所计算汽车的数量为： $3314B$  型  $118t$  汽车 15 台、 $3311E$  型  $85t$  汽车 8 台， $325M$  型  $77t$  汽车 36 台。

### (2) 破碎机

根据矿山设计的年剥岩量和排土场的容量，确定东部排岩运输能力为 2100 万  $t/a$ ，西部排岩运输能力为 1800 万  $t/a$ ，矿石胶带运输能力为 1100 万  $t/a$ 。岩石最大块度为  $1300mm$ ，岩石碍度系数  $f=8\sim 12$ ，岩石松散比重  $1.8t/m^3$ ，系统不均衡系数

1.05。岩石系统破碎处理能力为  $4700t/h$ ，矿石系统破碎处理能力为  $2700t/h$ 。

现国产的  $60\times 89''$  型旋回破碎机，由于故障多，作业率低，破碎能力低于  $4500t/h$ ，不能满足东排设计生产能力的需要，故东排需选用一台国外生产的  $60\times 89''$  型的旋回破碎机；西排使用国产  $60\times 89''$  型旋回破碎机；矿石系统选用 1 台  $54\times 74''$  型旋回破碎机。

西部排岩采用固定破碎站，东部排岩系统采用可移式破碎站，矿石系统暂时采用半固定破碎站。

### (3) 胶带运输机

矿石运输胶带采用  $B=1400mm$  的钢芯胶带，带速  $3.15m/s$ ；东部排土系统采用  $B=1600mm$  的钢芯胶带，带速  $3.4m/s$ ；西部排土系统采用  $B=1600mm$  的钢芯胶带，带速  $2.5m/s$ 。

### (4) 排土机

采用奥钢联生产的 Vasp 1400/50+50 排土机，排土能力  $Q=3000m^3/h$ （松方  $5400t/h$ ）

## 5 结语

汽车-胶带半连续运输系统是一种高效运输技术，对大型深凹露天矿具有普遍实用性，是未来我国深凹露天矿运输系统的重点发展方向。大型露天矿采矿生产作业环节多，设备类型多、数量大。采、装、运、排各主要环节中的设备，不但要选型合理，而且必须配套优化。其一是采装运排设备的规格，要适应矿山的生产能力；其二是采装运排各作业环节之间，要达到最佳配合与衔接。这样才能保证整个运输系统的可靠、高效运行。

本文依据汽车-胶带半连续运输各作业环节生产能力的定量计算，提出了设备选型与优化配套的原则。根据水厂铁矿的露天开采条件，确定了水厂铁矿电铲、汽车、破碎机、胶带机和排土机等主要设备的合理选型与优化配置，并已在生产实际中得到全面应用。从而实现了在开采深度和提升高度不断增加的情况下，水厂铁矿近 4 年来生产成本不但不升，反而逐年下降。与全汽车运输相比，预期水厂铁矿运输总成本将下降 50%。

## 参考文献

- [1] 蔡美峰. 金属矿山采矿设计优化与地压控制—理论与实践 [M]. 北京：科学出版社，2001.
- [2] 蔡美峰. 中国金属矿山 21 世纪的发展前景评述 [J]. 中国矿业，2001, 10 (1): 11-13.