



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

矿山运输与提升

王进强 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

矿山运输与提升

王进强 主编
明 建 参编

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 简 介

本书结合最新的技术标准,讲述了最常用的矿山运输与矿井提升技术。第1章概要介绍矿山常用运输方式的特点、运输作业在整个矿山开采工艺过程中的作用、意义及发展方向;第2章讲述露天矿公路运输的线路设计、路基路面设计等基础知识;第3章讲述露天矿铁路信号设备、铁路线路设计等基本内容;第4章讲述带式输送机的结构组成、设计计算等知识;第5~8章讲述矿井提升设备(提升容器、提升钢丝绳、提升机)的分类、特点及选型计算。内容兼顾基础性和实用性,既介绍了相关的原理与基础知识,又给出了具体的设计方法、步骤和参数。

本书为采矿工程专业教材,也可供从事矿山设计、研究以及现场生产的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山运输与提升/王进强主编. —北京:冶金工业出版社,
2015.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6812-5

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山运输—高等学校—教材
②矿井提升—高等学校—教材 IV. ①TD5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004359 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 宋 良 王雪涛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6812-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京印刷一厂印刷

2015 年 2 月第 1 版,2015 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;18.75 印张;455 千字;290 页

39.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

本书面向高等院校采矿工程专业本科生及采矿技术人员，讲解最常用的矿山运输及提升方式。以最新技术标准 and 规范为依据，讲解矿山运输与提升的基础理论、设计方法及参数，培养学生基本的矿山运输与提升设计及计算技能。

北京科技大学王进强任本书主编，并编写了矿山运输部分，北京科技大学明建编写了矿山提升部分。

在本书编写过程中，北京科技大学吕文生、蔡嗣经、胡乃联、陈广平、尹升华、姜福兴，北京矿冶研究总院纪智敏、王文杰、王献征、杨琪、王玉岩，天津水泥设计院汪瑞敏、卢博文，大地工程开发有限公司林森等专家学者，对教材内容提出许多宝贵意见，并提供了大量珍贵资料，在此深表谢意。

本书的编写和出版，得到了教育部本科教学工程专业综合改革试点项目经费和北京科技大学教材建设基金的资助。在编写过程中参考了大量相关的教材、规范及研究成果，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平，书中难免有各种不足，诚请读者批评指正。

编 者

2014 年 9 月

于北京科技大学

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 矿山运输的任务及意义	1
1.1.2 矿山运输作业方式	2
1.1.3 提升作业	2
1.1.4 运输方式的选择	2
1.1.5 矿山运输系统的发展方向	3
1.2 露天矿运输	3
1.2.1 露天矿山运输的特点	3
1.2.2 露天矿运输方式	3
1.3 地下矿运输与提升	5
1.3.1 井下轨道运输	6
1.3.2 井下卡车运输	9
1.3.3 矿山提升	11
1.4 本书的内容安排及目的	13
本章小结	13
习题与思考题	13
2 露天矿汽车运输	14
2.1 概述	14
2.1.1 汽车运输的特点和适用条件	14
2.1.2 矿山道路分类及等级	15
2.2 平面设计	16
2.2.1 汽车行驶轨迹与道路平面线形	17
2.2.2 汽车行驶的横向稳定性与圆曲线半径	21
2.2.3 平面线形设计	23
2.2.4 平面设计成果	30
2.3 横断面设计	31
2.3.1 横断面组成	31
2.3.2 平曲线超高	32
2.3.3 平曲线路面加宽	35
2.3.4 行车视距	36

2.3.5 横断面设计	38
2.3.6 路基土石方数量计算	40
2.4 纵断面设计	42
2.4.1 基本概念	42
2.4.2 汽车的动力特性与纵坡	42
2.4.3 纵坡折减	46
2.4.4 坡长限制	47
2.4.5 竖曲线	49
2.4.6 纵断面图	55
2.5 路基设计	57
2.5.1 路基的类型	57
2.5.2 路基高度	60
2.5.3 路基宽度	60
2.5.4 路基边坡坡度	63
2.5.5 路基排水	64
2.5.6 路基压实、防护与加固	67
2.5.7 路基附属设施	67
2.6 道路选线与定线	68
2.6.1 道路选线	68
2.6.2 纸上定线	71
2.6.3 矿山道路选线	76
2.7 路面设计	78
2.7.1 路面的结构	78
2.7.2 路面的等级与分类	82
2.7.3 常用的矿山道路路面	85
2.8 矿用自卸汽车	89
2.8.1 基本概念	89
2.8.2 自卸汽车结构	90
2.8.3 自卸汽车传动系分类	91
2.8.4 电动轮自卸汽车	93
2.9 汽车运输计算	96
2.9.1 矿用自卸汽车选型	96
2.9.2 汽车台班能力及汽车数量计算	99
2.9.3 道路通过能力	99
本章小结	100
习题与思考题	100
3 露天矿铁路运输	102
3.1 概述	102

3.1.1 铁路运输的特点	102
3.1.2 线路分类及其技术等级	103
3.1.3 铁路车站	104
3.1.4 限界	106
3.2 铁路信号设备	107
3.2.1 铁路信号	108
3.2.2 车站连锁设备	109
3.2.3 区间闭塞设备	112
3.3 铁路线路	117
3.3.1 铁路轨道的组成	117
3.3.2 轨道的几何形位	123
3.3.3 路基	135
3.4 线路平面和纵断面设计	138
3.4.1 线路平面和纵断面的概念	138
3.4.2 线路平面设计	140
3.4.3 线路纵断面设计	144
3.5 铁路运输计算	148
3.5.1 列车运输能力	148
3.5.2 线路通过能力	150
本章小结	151
习题与思考题	151
4 带式输送机运输	152
4.1 概述	152
4.1.1 带式输送机的工作原理	152
4.1.2 带式输送机的类型	153
4.1.3 带式输送机的应用及发展	158
4.2 带式输送机的结构组成	158
4.2.1 输送带	158
4.2.2 托辊与滚筒	161
4.2.3 驱动装置	165
4.2.4 拉紧装置	168
4.2.5 制动装置	170
4.2.6 辅助装置	174
4.3 带式输送机的摩擦传动理论	175
4.3.1 摩擦传动理论	175
4.3.2 传动滚筒的牵引力	177
4.3.3 双滚筒驱动	178
4.4 带式输送机的设计计算	182

4.4.1	带式输送机的输送能力	182
4.4.2	运行阻力与功率计算	187
4.4.3	输送带张力计算	194
4.4.4	启动加速与减速停车	199
4.4.5	带式输送机的整机布置	202
4.4.6	带式输送机典型计算示例	204
4.5	带式输送机在露天矿山的应用	217
4.5.1	破碎站及胶带运输方式	217
4.5.2	露天矿山胶带运输的特点及适用条件	220
4.5.3	胶带排土机排土	221
4.5.4	应用示例	222
4.6	带式输送机典型故障	222
4.6.1	输送带跑偏	222
4.6.2	输送带打滑	223
4.6.3	托辊运转不灵活	223
4.6.4	输送带撕裂与断带	223
	本章小结	224
	习题与思考题	224
5	提升容器	225
5.1	矿井提升概述	225
5.2	提升容器分类	225
5.2.1	竖井提升容器	225
5.2.2	斜井提升容器	227
5.3	箕斗及其装卸载装置	227
5.3.1	箕斗结构	227
5.3.2	箕斗装卸载装置	229
5.4	罐笼及其承接装置	232
5.4.1	罐笼结构	232
5.4.2	罐笼承接装置	234
5.5	提升容器的选择与计算	235
5.5.1	竖井单绳提升容器选择	235
5.5.2	竖井多绳提升容器选择	238
5.5.3	斜井提升设备的选择	238
	本章小结	240
	习题与思考题	240
6	提升钢丝绳	241
6.1	概述	241

6.1.1 钢丝绳的构成	241
6.1.2 钢丝绳的参数	242
6.1.3 钢丝绳分类及捻制类型和捻制方向标记	244
6.2 矿山常用钢丝绳	246
6.2.1 圆股钢丝绳	246
6.2.2 异型股钢丝绳	248
6.2.3 面接触钢丝绳	249
6.2.4 密封钢丝绳	249
6.2.5 平衡用扁钢丝绳	249
6.2.6 包覆和填充钢丝绳	249
6.3 提升钢丝绳的选择与计算	250
6.3.1 按使用条件选择钢丝绳	250
6.3.2 单绳提升钢丝绳参数计算	251
6.3.3 多绳提升钢丝绳参数计算	252
本章小结	254
习题与思考题	254
7 矿井提升机	255
7.1 概述	255
7.2 单绳缠绕式提升机的分类与结构	259
7.2.1 单绳提升机的分类	259
7.2.2 单绳提升机的结构特点	260
7.3 多绳摩擦式提升机的分类与结构	262
7.3.1 多绳提升机分类与适用范围	262
7.3.2 多绳提升机特点和发展趋势	263
7.3.3 多绳提升机的结构特点	265
7.4 单绳缠绕式提升机的选择与计算	267
7.4.1 卷筒参数的选取	267
7.4.2 计算钢丝绳最大静拉力和最大静拉力差	268
7.4.3 确定提升机的标准速度	269
7.4.4 电动机预选	269
7.4.5 井架和提升机房配置	269
7.5 多绳摩擦式提升机的选择与计算	271
7.5.1 主导轮直径	272
7.5.2 钢丝绳作用在主导轮上的最大静拉力和最大静拉力差	272
7.5.3 防滑计算	273
7.5.4 提升机拖动方式的选择	273
7.5.5 多绳提升机的配置	274
本章小结	276

习题与思考题	276
8 提升设备的运动学和动力学	277
8.1 提升设备的运动学	277
8.1.1 罐笼提升运动学	277
8.1.2 箕斗提升运动学	279
8.2 提升设备的动力学	281
8.2.1 动力学基本方程	281
8.2.2 提升静力学及静力平衡	282
8.2.3 提升系统的变位质量	284
8.2.4 提升动力学计算	286
本章小结	288
习题与思考题	288
参考文献	289

1 绪 论

本章学习重点：(1) 矿山运输与提升的主要任务及意义；(2) 运输系统的构成及发展方向；(3) 露天矿常用运输方式及其特点；(4) 地下矿常用运输方式及其特点；(5) 井下矿用车辆类型及特点；(6) 矿井提升机的类型及特点。

本章关键词：矿山运输；联合运输；半连续运输；带式输送机；轨道运输；单绳提升机；多绳提升机；布雷尔提升机

1.1 概 述

1.1.1 矿山运输的任务及意义

无论是露天开采还是地下开采，矿石开采的过程可以简单地描述为：首先建立从外部到达采场工作面的通道——开拓运输系统，然后通过开拓运输系统将设备、人员、材料等物资运送到工作面，在工作面通过爆破等方式将矿石从矿体上剥离下来，然后将破碎的矿石装载到运输设备上，由运输设备直接或经过转载，从工作面运出，将矿石运往下一步加工地点（如选矿厂等），将废石运往废石场，并将设备、人员等运出。在整个矿石开采过程中，运输是基本作业环节，为其他各作业环节提供支持和服务，运输工作起着“动脉”和“纽带”的作用，对矿山生产能力、劳动生产率，甚至资源的损失率、贫化率具有重要意义。运输方式和运输设备的选择是决定矿山技术水平及生产组织的关键。

在不包括外部运输的情况下，矿山运输部分的基建投资一般占总投资的一半以上，运输系统的动力消耗占采矿总消耗的一半以上，运输成本约占矿石总成本的一半以上。开拓运输系统在一定程度上决定了一个矿山的投资规模、基建工程量及工期、生产规模、生产成本及劳动生产率等方面，可以说，运输工作是矿山建设及运营的关键和核心。

我国的大型露天矿山多始建于20世纪50~60年代，一些露天矿已由山坡露天开采转为深凹开采，开采深度已延深至地表下100~150m，有的达到300~400m。很多露天矿的边坡垂直高度超过500m。露天矿转入深凹开采以后，开采条件日益恶化，空间作业尺寸逐渐狭窄，采场不断延深，排土场也不断加高，导致运距加大，由重车下坡运行变为上坡运行，设备效率大大降低，生产能力下降，生产管理日益复杂。因此，运输已成为当今深凹露天矿生产的突出矛盾，也是降低成本、提高经济效益的关键所在。

我国很多重要的金属矿产资源都是通过地下开采的方式所获得，如大多数的有色金属矿山和黄金矿山均为地下矿山。随着浅部资源的逐渐消失，地下开采的比例越来越大，包

括现有的部分露天矿山也转入地下开采。经过几十年的开采,目前很多地下矿山均已进入深部开采或即将进入深部开采,如安徽铜陵冬瓜山铜矿的开采深度达1200多米。提升能力是制约矿山生产能力的重要因素,需要加强新型提升设备和提升工艺的研究和采用。

运输设备、运输线路和组织调度是构成运输系统的关键因素。正确地选择矿山运输方式及设备类型,合理地布置线路和科学地组织运输,对提高矿石产量、降低矿石生产成本和提高劳动生产率,具有重要意义。

1.1.2 矿山运输作业方式

为适应不同的运输条件和开采要求,矿山开采中使用的运输方式是多种多样的。按作业特征的不同,运输方式可分为:

(1) 间断作业运输方式(又称周期动作方式)。如汽车运输、铁路运输、无极绳钢丝绳运输和采运机运输(铲运机、推土机、装载机等)等,其特点是设备以一定循环方式,周期性地运送货载,在运转中需要经常控制其运行方向。

(2) 连续作业运输方式。如带式输送机运输、水利运输、气力运输、循环式架空索道运输、重力运输、无极绳钢丝绳运输等,其特点是设备一经开动后,能连续不断地运输货载,在运转中无需操纵控制其运行方向。

1.1.3 提升作业

矿井提升设备是联系矿井井下与地面的“咽喉”设备,它的主要用途是沿井筒提升有用矿物和废石,升降人员、设备和材料等。根据矿井井筒倾角及提升容器的不同,矿井提升系统可分为竖井罐笼提升系统、竖井箕斗提升系统、斜井箕斗提升系统和斜井串车提升系统。按提升机类型不同,分为缠绕式提升机和摩擦式提升机。此外,在一定地形条件下,露天矿山有时也采用提升系统运送矿石,如斜坡箕斗提升系统。

提升可以理解作为一种特殊的运输方式,其特点是提升机与钢丝绳作为牵引设备,罐笼、箕斗或矿车作为承载容器,沿垂直或较陡的线路输送物料及人员。

1.1.4 运输方式的选择

每种运输方式都有其特点和一定的适用条件,如汽车运输机动灵活,但经济合理运距短,非常适合工作面运输,而带式输送机运输具有高效、经济、自动化程度高的优点,但其装卸载及运行线路等方面很不灵活,非常适于大运量、大倾角运输,但不适于工作面运输。

既可以采用单一运输方式,如小型露天矿的汽车运输;又可以采用联合运输方式,如大型露天矿山常用的汽车-胶带联合运输、井下矿山常用的轨道-箕斗提升联合运输。采用联合运输方式,往往可以发挥各方式的长处,同时克服单一方式的局限,取得更好的技术经济效果,缺点是转运环节往往会成为运输系统的瓶颈。具体运输方式的选择应依据具体的地形、运量、物料等,结合各运输方式的特点,兼顾经济性、效率和安全等要求,经技术经济比较后选取合理的运输方式。

矿山运输方式的选择及运输技术的发展,在很大程度上取决于可供选择和使用的设备。国内外的经验证明,没有先进适用的矿山运输设备,就不可能有先进合理的开拓运输

工艺。技术装备水平的高低,不但影响矿山生产的规模和建设速度,而且直接影响矿山的经济效益。技术装备包括主体设备、辅助设备及用于控制、指挥、调度的配套设备。

1.1.5 矿山运输系统的发展方向

我国大多数的骨干矿山经过多年开采,露天矿逐渐进入深凹开采,地下矿进入深部开采。随着开采水平的不断下降,运输距离或提升高度不断增加,以及开采规模的不断扩大,采矿工业对运输及提升作业也提出了更高的技术要求,主要表现在:

(1) 远距离、大垂高、大运量运输能力的要求;

(2) 工作面越来越深,矿山的通风排污能力越来越差,要求采用更节能、环保的运输方式;

(3) 随着运输设备大型化和各种新工艺、新技术的采用,对运输系统的安全性提出了更高的要求;

(4) 对运输系统的自动化水平提出了更高的要求。

需求是发展的动力和方向,为满足采矿工业对运输工作的要求,人们不断创新运输设备和运输方式,如大倾角带式输送机技术、汽车整车提升技术等,运输系统向着高效、安全、节能、环保、经济及自动化的方向发展。

1.2 露天矿运输

1.2.1 露天矿山运输的特点

露天矿运输系统是由采场运输、采场至地面的堑沟运输和地面运输(指工业广场、排土场、破碎站或选矿厂之间的运输)组成的,也称露天矿内部运输。而从破碎站或选矿厂、铁路装车站、转运站至矿石用户之间的运输称为外部运输。

露天矿运输是一种专业性运输,与一般运输工作比较有下列特点:

(1) 为提高生产效率和开采强度、降低生产成本,通常采用中深孔爆破和大型采掘机械,运输量较大,加上矿石或岩石的容重大、硬度高、块度不一,因此要求矿山运输设备有较大的运载能力和足够的坚固性;

(2) 受露天矿范围所限,运输距离短、运输线路坡度大、行车速度低、行车密度大,因此要求运输组织管理工作更加严密;

(3) 采场和排土场的运输线路需要随着采掘工作面的推进而经常移设,故运输线路质量较低,要经常维护检修;

(4) 运输工作复杂,由山坡露天开采转入深凹露天开采,运输工作条件发生很大变化,需采用不同运输方式或多种运输方式,给运输组织工作带来许多问题。

1.2.2 露天矿运输方式

露天矿运输方式根据物料移动方法、行走方式和线路设备的不同,主要分为铁路运输、公路(汽车)运输、斜坡道箕斗提升运输、带式输送机运输、水利运输、重力运输、索道运输、汽车整车提升运输等方式。其中,最常用的运输方式为汽车运输、铁路运输和

带式输送机运输。

现代露天矿山经常使用联合运输,即从露天采场工作面的装载点到矿(岩)卸载点之间,采用两种及以上的运输方式。要实现联合运输,通常需要设置转载站,以便把矿岩从一种运输工具转载到另一种运输工具中。常用的联合运输方式包括以下几种:

- (1) 汽车-铁路联合运输;
- (2) 汽车-带式输送机联合运输;
- (3) 汽车-箕斗联合运输;
- (4) 汽车-平硐溜井联合运输。

1.2.2.1 铁路运输

铁路运输适用于运量较大而运距较长的大型露天矿。其主要优点是运量大,成本较低,能耗较少,而且对环境的污染也较少;其主要缺点是随着矿山工程的延深,布线比较困难,新水平的准备工程量大,采掘强度较低,爬坡能力低,线路的灵活性差。铁路运输是早期露天开采广泛采用的一种运输方式,目前仍占有一定比重。在20世纪70年代以前应用非常广泛,但随着自卸汽车大型化(尤其大型电动轮汽车的应用)和半连续运输工艺的出现,从90年代开始,作为露天矿采场运输方式已基本弃用,对于新建露天矿山铁路运输主要用于外部运输。

1.2.2.2 汽车运输

汽车运输显著的特点是机动灵活,能简化开采工艺和降低基建工程量,开拓坑线形式较为简单,开拓坑线展线较短,对地形的适应能力强。此外,汽车运输还可以设多个出入口进行分散运输和分散排土,便于采用移动坑线开拓,有利于强化采矿,提高露天矿的生产能力,所以汽车运输在国内外露天矿中获得了广泛应用。美国、加拿大、澳大利亚等国自卸汽车运输在露天矿山所占比重约为90%,我国绝大多数建材、有色金属矿、铁矿等矿山的露天开采也都采用汽车运输。

随着矿床开采深度增加,矿岩的运距显著增大,汽车的台班运输能力逐渐降低,造成运输费随着深度增加而显著增大。所以,汽车运输存在一个经济合理运距,该值一般在3km左右。

虽然公路运输具有地形适应能力强,运输坑线布置灵活等诸多优点,但由于受到合理运距的影响,尤其是大规模露天矿,还要考虑露天矿的开采高差(一般在100~150m以内)和重车上下坡情况,也存在一个适用范围。对于年设计规模超过1000万吨的大型露天矿,或由于运输距离较长,或由于开采转入深凹,几乎都不宜采用单一汽车运输方式。但作为联合运输方式的一环,汽车运输将得到最广泛的应用。至于中小型露天矿,单一汽车运输将作为最主要的运输方式。

为适应采矿生产规模的不断扩大,自卸汽车向大型、坚固、耐用和高效率方向发展,目前236t和280t汽车已在某些矿山投入使用。应用GPS、GIS等高新技术,实现采场运输的自动调度也是汽车运输的发展趋势。应用这些技术,可大大提高电铲和汽车的效率,降低运输成本,提高矿山的经济效益。

1.2.2.3 半连续运输

带式输送机(胶带机)是一个复杂的机电系统,它是由闭环的承载输送带和托辊及驱动装置、拉紧装置、改向滚筒及其机架构成的连续运输系统。输送带运行的驱动力由驱动

装置提供；拉紧装置提供给系统必要的拉紧力；改向滚筒给输送带导向；托辊的作用是支撑输送带及其上面的物料并减小输送带的挠度。大型带式输送机是当前散状物料输送的主要方式，其发展的一个重要方面就是大运量、长距离和高带速。

带式输送机由于运输能力大，爬坡能力强，与汽车和铁路运输相比，可以提高升程，缩短运距，降低运营成本，节约能源，提高劳动生产率，同时还便于实现自动化，改善环境 and 安全条件，特别是在深凹露天矿使用，其效益尤为显著，因此近几十年来有很大的发展。

金属露天矿使用带式输送机时，大多以汽车-破碎机-胶带输送机的形式出现。这种联合运输方式是近年来发展起来的一种半连续运输工艺，又称为间断-连续运输工艺。该运输方式是借助设在露天采场内或露天开采境界外的带式输送机把矿岩从采场运出，胶带运输之前主要采用汽车运输。这种联合运输方案既可发挥汽车运输机动灵活、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，同时又克服了两者的单独使用的局限。两者联合可达到最佳的经济效益，是提高矿山生产能力、降低矿山成本、增加经济效益的主要途径。

目前，胶带的爬坡坡度可达到 25% ~ 28%，汽车可达 6% ~ 10%，普通铁路为 2% ~ 2.5%，陡坡铁路也只能达到 4% ~ 5%，所以半连续运输工艺对大中型深凹露天矿具有普遍适用性。

由于爆破后的矿岩块度较大，需破碎后才能采用胶带运输，因此需设置中转破碎站。破碎站是连接汽车运输和胶带运输的中间环节，按其移动性能，分为固定式、可移式（或半固定式、半移动式）和移动式（自行式）三种。采用可移式或自行式的破碎机组和转载设备更具灵活性和经济性，具有更好的发展前景。因此，可移动破碎站及其移设技术是半连续运输工艺的关键。另外，为保证破碎效率，破碎站通常采用旋回破碎机。

半连续运输在我国虽起步较晚，但在一些大型深凹露天矿已经得到成功应用，如鞍山钢铁公司齐大山铁矿、大孤山铁矿、东鞍山铁矿及首钢水厂铁矿等。半连续运输已成为大型露天矿运输的一种发展趋势。

1.2.2.4 汽车-溜井联合运输

汽车-溜井联合运输是一种既节约能源又比较高效的运输方式，它适用于地形比较复杂、山坡较陡而开采高差较大的山坡露天矿，一般都在溜井下面开凿平硐，通过铁路或胶带输送机将矿石运至选矿厂。我国金属露天矿使用汽车-溜井联合运输方式已经多年，取得了比较成熟的经验。因此，凡条件适宜的山坡露天矿，应优先考虑这种运输方式。

露天矿运输方式的选择，应根据矿体赋存条件、开采规模、露天矿境界特点、设备条件、开采工艺等多种因素，进行技术经济综合分析，选定科学的运输方式。

1.3 地下矿运输与提升

对于金属矿、煤矿这类开采范围大的地下矿山，水平运输非常重要。水平运输方式主要有三种：轨道运输、汽车运输和带式输送机运输。

轨道运输是以往惯用的地下运输方式，现在仍是中长距离散状物料运输中成本效益最佳的方式。

由于机动性好,汽车运输日益增多。所用车辆以柴油车为主,也有部分电动汽车。

带式输送机最常用于采用连续开采的水平或缓倾斜层状矿床。由于地下金属矿中凿岩和爆破交替进行,采矿工作面到竖井的运距一般较短,以及所运矿石块度较大,因而带式运输机在井下金属矿山的应用受到限制。

1.3.1 井下轨道运输

轨道运输是目前我国金属矿山井下运输的主要方式。其优点是运输能力大,运距不受限制,运营成本低,调度灵活,能分别运输多种矿岩及其他物料。其缺点是间断性运输,适用的线路坡度一般为 $3‰ \sim 5‰$,线路坡度大时难以保障安全。由于轨道运输优点突出,今后仍是地下矿山水平巷道长距离运输的主要方式。

轨道运输是由机车牵引着一组矿车在轨道上运行的,机车和它所牵引的车组总称为列车。轨道运输的主要设备有轨道、矿车、电机车和辅助机械设备等。

1.3.1.1 矿井轨道

我国地下矿山窄轨运输的标准轨距为600mm、762mm、900mm。

井下运输线路的坡度一般为 $3‰ \sim 10‰$ 。如果坡度小于 $3‰$,巷道排水困难;坡度过大,电机车将难以牵引车组上坡运行,而且制动困难、不安全,轨道与轮缘磨损严重。在设计井下运输线路时,一般按 $3‰$ 的坡度考虑。

应该指出,最理想的井下线路坡度就是等阻坡度。所谓等阻坡度就是重列车下坡运行阻力等于空列车上坡运行阻力时的线路坡度。因为重列车与空列车运行阻力相等,所以所需牵引力也相等,这有利于充分利用牵引电动机的容量。

车辆在弯道上运行时,由于离心力作用和轮缘与轨道间的阻力作用,增加了车辆运行的困难。离心力和弯道阻力的大小与车辆运行速度、弯道半径和车辆轴距等因素有关。因此,最小弯道半径应根据车辆运行速度和轴距大小来确定。我国《金属矿非金属矿安全规程》规定,井下电机车运输轨道的曲线半径应符合下列规定:

- (1) 行驶速度 1.5m/s 以下时,不小于车辆最大轴距的7倍;
- (2) 行驶速度大于 1.5m/s 时,不小于车辆最大轴距的10倍;
- (3) 轨道转弯角度大于 90° 时,不小于车辆最大轴距的10倍。

近年来,我国金属矿山开始使用大容量有转向架的四轴车辆,采用这种车辆时,轨道曲线半径最小值计算应主要考虑转向架间距,而不是固定轴距。

在弯道上运行的车辆呈弦一样摆布。由于车轴是固定在车架上的,不可能与弯道半径取得一致方向,所以容易发生轨头将车轮轮缘卡住以及阻力和磨损剧烈增加的现象。因此,必须在弯道处将轨距适当加宽,使这些现象基本消除。加宽轨距时,外轨不动,只将内轨向弯道曲线中心方向移动一个距离。轨距的加宽是在与曲线段两端相衔接的直线段逐渐进行的,在整个曲线段内应保持规定的加宽值。

车辆在弯道运行时,由于离心力的作用,车轮轮缘压向外轨,加剧了轮缘和钢轨的磨损,并使运行阻力增加,严重时将发生翻车事故。为了消除离心力的上述影响,应将弯道外轨抬高,使车辆在弯道上运行时,离心力与矿车重力的合力垂直轨面,这样就使车辆不再受横向力作用的影响而顺利通过弯道。外轨抬高的方法是增加外轨下面的道床的厚度。在铺设与弯道外轨两端衔接的直线段钢轨时,应将它做成 $3‰ \sim 10‰$ 的下坡,在整个弯道

内保持计算的外轨抬高值。

1.3.1.2 矿用车辆

按用途不同,矿用车辆有运货的货车、运送人员的人车和专用车(炸药车、水车、消防车、卫生车)等。按照货物性质不同,货车包括运送松散货载的矿车、木材车和运送设备的平板车。

矿用车辆中,最主要的也是数量最多的是运送松散物料的矿车。对矿车的要求是有高度的坚固性,能经受静负荷和动负荷(如装载、运行的冲击)的作用;在容积一定的条件下,矿车外形尺寸应尽可能小;运行阻力要小;有足够的稳定性;在使用方面,要求摘挂钩方便,卸载干净,清扫容易,润滑简单。

矿车自重与载重之比称为车皮系数,其值越小越好。矿车车箱容积与矿车外形体积之比称为容积系数,其值越大越好。

运送松散货载的矿车主要由车箱、车架、轮轴、缓冲器和连接器组成。矿车形式很多,按构造不同分为固定式、翻斗式、曲轨侧卸式、底卸式、底侧卸式、梭式等。

A 固定式矿车

固定式矿车的车箱固定在车架上,卸载时需将矿车推入翻车机,把整个矿车翻转才能卸出矿石。其优点是结构简单、坚固耐用、自重小、成本及经营费用低、不漏矿、不污染巷道。缺点是卸载设备较复杂,地下卸矿硐室或地面卸矿站基建工程量较大,矿石易结底;主要用于运输矿石,当废石卸载点固定时也可采用;对黏结性大的矿石不太适用,必须采用时应考虑清底措施。

B 翻斗式矿车

翻斗式矿车在车箱的两端壁各铆有一个弧形钢环,使车箱支于支架上。通过人力或专设的卸载架向任意一侧翻转卸载。其优点是结构简单、卸载方式灵活、卸载设备简单。缺点是人工翻卸时,卸车效率不高。主要用于运输废石,因为这种矿车能在废石场卸载线的任何地点卸载。也用于运输井下充填料、巷道衬砌用料等。对于小型矿山,可同时用于运输矿石和废石。

C 侧卸式矿车

侧卸式矿车车箱的一侧用铰轴与车架相连,车箱的另一侧装有卸载辊轮。卸载时,卸载辊轮沿卸载曲轨上升段上升,使车箱倾斜,活动侧门打开而卸载,卸载倾角达 40° 。列车需低速通过卸载地点。其优点是卸载方便、卸车效率高。缺点是活动侧壁易漏粉矿,结构较复杂、维修量大,装卸载时要求矿车有固定方向。可用于运输矿石和废石,不宜用于粉矿多、矿物贵重和含水量大的矿山。

D 底卸式和底侧卸式

底卸式矿车需在专用卸载曲轨上卸载,如图 1-1 所示。车箱的两侧壁上焊有支撑翼板,车底的一端与车箱端壁铰接,车底的另一端装设一个卸载轮。由于矿仓上方不设轨道,当矿车进入卸载站时,车箱的支撑翼板被托辊支撑,使车箱悬空,矿车底部失去支持而被矿石压开,车底连同转向架一起绕铰轴转动进行卸载。

底侧卸式矿车结构上与底卸式类似。为了避免底卸式矿车卸载时矿石对卸载曲轨的冲击,将车底的一侧与车箱侧壁铰接,矿石从车底侧面卸出。

底卸式矿车的优点是卸载效率高、卸载干净、矿石不易结底、使用可靠;缺点是结构