

KUANGJING YUNSHU TISHENG

# 矿井运输提升

洪晓华 主编

中国矿业大学出版社

责任编辑 何 戈

封面设计 肖新生



ISBN 7-81070-239-4



9 787810 702393 >

ISBN 7-81070-239-4 / TH·11

定价：25.00 元

# 矿井运输提升

洪晓华 主编

中国矿业大学出版社

# 前 言

本书是根据中国矿业大学最新矿山机电专业四年制本科的教学计划和教学大纲编写的,兼顾了采矿专业本科的教学要求。编写时根据近年来矿山运输机械和提升设备的发展状况,参照国内外最新设计标准,并考虑当前矿山生产高度机械化和自动化的要求,对教材的内容做了更新和充实,以满足矿山机电专业本科和采矿专业本科的需求,若作为矿山机电专业专科和采矿专业专科的教材使用,则可酌情选用部分内容。本书亦可供有关工程技术人员参考。

全书包括矿井运输与矿井提升设备两部分。矿井运输部分内容有:矿山运输设备的理论计算基础、刮板输送机、带式输送机、矿山窄轨铁路运输设备和辅助运输设备。提升部分内容有:提升容器、提升钢丝绳、矿井提升机、提升机与井筒相对位置、矿井提升运动学及动力学、斜井提升、多绳摩擦提升和矿井提升机的拖动与控制。全书侧重于论述矿山运输提升设备的结构组成、参数的计算与选择、选型设计与计算和总体布置,书中附有部分例题供读者参考,每章附有相应的习题和思考题可供读者练习。

本书由中国矿业大学洪晓华主编,参加编写的有周之津和郑如意。其中运输部分由洪晓华编写,提升部分由周之津编写初稿,在此基础上由郑如意整理加工,形成正式稿,并增添了部分内容。全书由洪晓华汇总整理。

本书在编写过程中,得到了中国矿业大学机电教研室全体同志的大力支持和帮助,并提出了宝贵意见,本书正是在此基础上形成的。此外,本书的出版还得到了有关厂矿和设计部门的大力协助,在此一并表示感谢。

鉴于编者的水平有限,不当之处在所难免,欢迎使用本书的广大读者批评指正。

编 者

2000年6月

# 目 录

## 第一篇 矿井运输

绪论	(3)
第一节 矿井运输的地位与作用	(3)
第二节 矿井运输的任务、特点和系统布置	(3)
第三节 井下运输设备的类型及特点	(4)
第一章 矿山运输设备的理论计算基础	(6)
第一节 运输设备的运输能力	(6)
第二节 运输设备运行阻力系数和阻力计算	(8)
第三节 有牵引机构的连续运输机械的牵引力及驱动功率计算	(13)
习题与思考题	(15)
第二章 刮板输送机	(17)
第一节 概述	(17)
第二节 主要部件的结构和技术要求	(19)
第三节 链啮合传动原理	(37)
第四节 刮板输送机的计算	(38)
第五节 使用与发展	(48)
第六节 平巷用转载机	(49)
习题与思考题	(54)
第三章 带式输送机	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 带式输送机的结构原理	(56)
第三节 带式输送机的传动原理	(72)
第四节 带式输送机的设计与计算	(78)
第五节 带式输送机的优化设计	(89)
第六节 特种带式输送机	(92)
习题与思考题	(99)
第四章 矿山窄轨铁路运输设备	(100)
第一节 概述	(100)
第二节 矿井轨道与车辆	(103)
第三节 轨道车辆运输的辅助机械设备	(110)
第四节 矿用电机车的机械设备及电气设备	(112)

第五节 列车运行理论.....	(119)
第六节 电机车运输计算.....	(124)
习题与思考题.....	(130)
<b>第五章 辅助运输设备.....</b>	<b>(132)</b>
第一节 概述.....	(132)
第二节 单轨吊车.....	(134)
第三节 卡轨车.....	(146)
第四节 其他类型辅助运输设备简介.....	(155)
第五节 辅助运输系统的配套形式.....	(156)
习题与思考题.....	(167)

## 第二篇 矿井提升设备

绪论.....	(171)
<b>第一章 提升容器.....</b>	<b>(175)</b>
第一节 箕斗及其装载设备.....	(175)
第二节 罐笼及其承接装置.....	(180)
第三节 容器的导向装置.....	(186)
第四节 竖井提升容器的选择.....	(186)
习题与思考题.....	(189)
<b>第二章 提升钢丝绳.....</b>	<b>(190)</b>
第一节 提升钢丝绳的结构、分类和选择使用.....	(190)
第二节 提升钢丝绳的选择计算.....	(199)
第三节 提升钢丝绳的维护和试验.....	(202)
习题与思考题.....	(204)
<b>第三章 矿井提升机.....</b>	<b>(205)</b>
第一节 缠绕式提升机.....	(206)
第二节 提升机和天轮的选型计算.....	(209)
第三节 提升机的主要结构及其作用.....	(214)
习题与思考题.....	(225)
<b>第四章 提升机与井筒相对位置.....</b>	<b>(226)</b>
第一节 缠绕式提升机与井筒相对位置.....	(226)
第二节 塔式布置多绳摩擦提升机与井筒相对位置.....	(231)
习题与思考题.....	(231)
<b>第五章 矿井提升运动学及动力学.....</b>	<b>(232)</b>
第一节 矿井提升运动学.....	(232)
第二节 矿井提升动力学.....	(240)
第三节 提升设备所需拖动力的变化规律及计算.....	(243)
第四节 单容器平衡锤提升系统及拖动力计算特点.....	(246)

习题与思考题.....	(246)
<b>第六章 斜井提升</b> .....	(248)
第一节 概述.....	(248)
第二节 斜井提升选型计算特点.....	(250)
第三节 斜井箕斗提升特点.....	(255)
习题与思考题.....	(255)
<b>第七章 多绳摩擦提升</b> .....	(256)
第一节 多绳摩擦提升机及其结构特点.....	(256)
第二节 摩擦提升传动原理及防滑.....	(260)
第三节 多绳摩擦提升的若干问题.....	(266)
习题与思考题.....	(270)
<b>第八章 矿井提升机的拖动与控制</b> .....	(271)
第一节 拖动装置的种类及性能.....	(271)
第二节 提升电动机容量的计算和电动机选择.....	(271)
第三节 交流拖动提升设备耗电量及效率的计算.....	(278)
第四节 交流感应电动机的控制.....	(280)
习题与思考题.....	(285)

## 附 录

附录一 主井单绳缠绕式提升设备选型设计.....	(289)
附录二 副井多绳摩擦式提升设备选型设计.....	(294)
参考文献.....	(298)

# 第一篇

## 矿井运输





# 绪 论

## 第一节 矿井运输的地位与作用

矿井运输分矿物运输和辅助运输。

矿物运输在矿山生产中十分重要,因为采掘下来的矿物只有运出矿井才有使用价值。

在运输矿物的同时,还需要运输矸石、材料、设备和人员,这就是辅助运输,它在矿山生产中也占有重要地位,尤其是现代化矿井对此更应高度重视。因为大型矿井的矸石运量每年有数十万吨之多,十几吨重的设备需要在多变的采区巷道中整体运到工作面,此外,材料设备的品种规格多、运输地点分散,上下班时要求在短时间内把人员送到各指定点等等,这一切都离不开辅助运输。

由于运输线路长且由多个环节和各种运输设备配套而成,如果线路某个环节中断,就会使工作面和其他工作地点的作业陷于停顿,甚至会导致全矿停产,因此,运输系统工作得好坏直接关系到矿山生产能否正常进行。所以,有人把矿井运输形象地比作矿山生产的动脉。

在矿井生产事故中,运输事故占很大比例,据统计,有 1/4 以上的安全事故发生在运输环节,因此,安全生产离不开运输的安全。

从经济角度看,运输费用在生产成本中占很大的比重,因为地面及井下运输设备很多,运输工人和装载工人数几乎占全矿工人之半。因此,正确配置运输设备及合理组织运输工作,对提高煤的产量、降低生产成本和提高工人劳动生产率有重要的作用。

## 第二节 矿井运输的任务、特点和系统布置

### 一、矿井运输的任务

矿井运输的任务很多,概括起来大致有下列工作:

- (1) 把工作面采下的物料经由井下巷道及井筒运输提至地面指定地点,如煤矿选煤厂和铁路装车煤仓。
- (2) 把掘进工作面掘下的矸石经由井下巷道及井筒运输提升至地面矸石山。
- (3) 往返运送人员和矿井生产用的设备、材料。

### 二、矿井运输的特点

- (1) 井下运输设备在巷道中工作,由于受井下巷道空间的限制,因而运输设备结构应紧凑,尺寸应尽量小。
- (2) 井下运输环节多,运输线路长短不一且经常变化,水平和倾斜线路交叉相连,同时还有装载、卸载等辅助设备,为了适应各种不同工作条件的需要,矿井运输要求有多种类型。
- (3) 井下运输的流动性强。随着工作面的推进,运输线路和设备需要伸长和缩短,运输

设备的工作地点也要随之改变,因此,某些运输设备要便于移动。此外,运输设备在井下工作时,工作条件比较恶劣,在周围环境中往往存在沼气和粉尘,因此,要求井下运输设备要耐腐蚀,耐粉尘,并且具有防爆性能。

了解矿井运输的特点,对于相关的工程技术人员来说是非常重要的,这样才能有的放矢,合理地设计或选择现场适用的运输设备,确保各种设备的合理配套和安全使用。

### 三、矿井运输系统布置

对冶金矿和煤矿而言,因开采方式和采掘的矿物不同,除采面的运输方式和运输设备有所区别外,其他运输线路和运输设备的选择差别不大,因而运输系统布置大同小异。图 0-1 为煤矿矿井运输系统示意图。从图中可知,采煤工作面 A 处采下的煤炭或掘进工作面 B 处掘下的矸石,经过运输巷道中的运输设备运至下部车场 6(或运输大巷 4),再经过石门 5 和运输大巷 4 的运输设备运至井底车场 3,最后经过井筒提升至地面。而人员和设备的升降以及材料的下放则是通过普通罐笼进行的,并且以相反的方向运至指定地点。

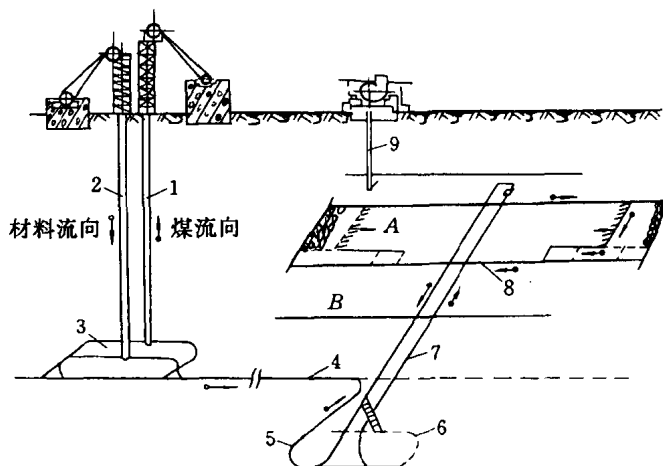


图 0-1 矿井运输系统示意图

← 煤的运输方向; ← 材料的运输方向; 1——主井; 2——副井; 3——井底车场;  
4——运输大巷; 5——石门; 6——采区车场; 7——上山; 8——运输巷道; 9——风井

## 第三节 井下运输设备的类型及特点

井下运输设备按运行方式分类,有连续运行式和往返运行式两种。

连续运行式的运输设备比较多,如刮板输送机、带式输送机、螺旋输送机、振动输送机、斗式提升机等等。这一类运输设备的特点是:

- (1) 整机长度与运输距离相等;
- (2) 连续运行;
- (3) 运输能力与运输距离无关。

煤矿应用的连续运行式运输设备主要是刮板输送机和带式输送机,其他形式的输送机在特定条件下也有应用。

往返运行式运输设备主要指轨道车辆和无轨车辆,也称为车辆运行。其中轨道车辆是无

动力装置的矿车,需要外加牵引设备才能运行。一般来说,矿车运行的牵引设备,平巷中以机车为主,斜巷中以绞车为主。无轨车辆目前使用的是胶轮自行矿车,这种车本身有动力装置,因此,称为自行矿车。这一类运输设备的特点是:

- (1) 整机长度远远小于运输距离;
- (2) 往返周期式运行,运行中需要操作换向;
- (3) 运输能力与运输距离有关,车速不变时成反比。

运输设备按牵引原理分类,有链啮合牵引、挠性体摩擦牵引、车轮粘着牵引和钢丝绳缠绕牵引。链啮合牵引运输设备使用的牵引构件为链条,煤矿应用的主要是刮板输送机。挠性体摩擦牵引运输设备使用的牵引构件有输送带和钢丝绳,煤矿应用的有带式输送机和无极绳绞车。车轮粘着牵引运输设备使用的牵引构件为车轮与轨道,使用的车轮主要是钢轮和充气胶轮,充气胶轮不用轨道,目前我国煤矿应用的主要是有轨机车牵引。钢丝绳缠绕牵引的运输设备主要是指各种绞车。

车辆运输中使用的操车设备也包含在运输设备之内,操车设备包括:

- (1) 翻车机 是固定车箱式矿车卸载用的设备。
- (2) 推车机 推送矿车进翻车机或提升罐笼内的辅助设备,按不同工作需要,有多种形式。
- (3) 调度绞车 在短距离内牵引矿车组慢速运行的设备。

煤矿井下在条件适合时,也可采用水力或风力运输。水力运输分无压水力运输和管道水力运输。无压水力运输是在沟槽内用水流携带物料运输;管道水力运输是在管道内用压力水运输,主要用于运煤或充填材料。风力运输是在管道内运输,只用于运送充填材料。

煤矿运输使用的设备很多,学习时应按运行方式、牵引原理、结构类型分别掌握其共性,在此基础上研究各种形式运输机械的不同特点。对于井下用的运输机械,只有在熟悉它们的工作环境和使用条件后,才能设计出适用的机型。

## 第一章 矿山运输设备的理论计算基础

尽管矿山运输设备种类很多,但是在进行选择计算中却有其共性。这里首先介绍这些共性的理论计算基础。

我们可以按功能-结构特征把全部现有的和可能的连续运行式运输设备和往返运行式运输设备进行一般系统化,进而将其分为以下四组主要元件:

承载元件——承载并同货载一起移动的承载机构或容器;

牵引机构——克服物料运输阻力用的动力元件;

导向机构——承载元件和牵引机构的导向元件,物料沿导向机构或相对于导向机构运输;

传动装置——保证被运输物料移动用的传动元件。

用一定的方式把这些元件进行组合,就能够编制任何一种实际运输机械设备的结构型式。同时,能够编制包括在动力上有直接联系的全部元件(传动装置除外)的运输机械的基本结构式。对传动机构与结构式主要元件的组合法分析,证实了存在着两种类似的组合法:配合法和结合法。配合法具有往返运行式运输设备的特征,结合法具有连续运行式运输机械设备的特征。例如,传动机构与随物料一起移动的承载机构相配合,一般就产生机车运输一类的机械设备。承载机构和传动机构结合时,即承载机构或容器与一台(数台)传动装置作相对移动时,就产生了连续运输机械设备。例如,传动机构与牵引机构结合,就产生大量使用的机械——带式输送机、板式输送机、刮板输送机等。

上述四组元件中,承载元件和牵引机构是共性较多的元件。

### 第一节 运输设备的运输能力

运输设备的运输能力是运输设备在单位时间内所能运送的货载量。按运行方式不同,其基本计算方法有两种。

#### 一、连续运行式的运输设备

连续运行式的运输设备在均匀、连续装载时,其运输能力为:

$$Q = 3.6qv \quad (1-1)$$

式中:  $Q$  为运输能力,  $t/h$ ;  $q$  为单位长度上所装物料的质量,  $kg/m$ ;  $v$  为物料的运行速度,  $m/s$ 。

$$\text{由} \quad q = A\gamma \quad (1-2)$$

$$\text{得} \quad Q = 3.6A\gamma v \quad (1-3)$$

式中:  $A$  为物料运行的断面积,  $m^2$ ;  $\gamma$  为物料的松散密度,  $kg/m^3$ 。

式(1-3)即为连续运行式运输设备运输能力的基本计算公式。从式中可以看出,运输能力的大小与输送距离无关,它主要取决于运送货载的运行速度  $v$  和单位长度上的货载质

量  $q$ 。

运行速度可根据不同运输设备和工作条件选取。货载量取决于运输设备的构造,如刮板输送机取决于中部槽断面的大小,带式输送机取决于输送带的宽度,无极绳运输取决于矿车容量和矿车间距等。

(一) 货载均匀分布在运输设备上

货载均匀分布在运输设备上的输送设备有:带式输送机、板式输送机、链板输送机、刮板输送机、气力及水力运输设备等。它们的共同特点是物料均匀分布在运输设备上,理论上都可以确定运输物料的理论截面积,但是,在实际运输过程中,物料并不可能完全达到理论截面积,因此在计算中应考虑其装满程度,一般以装满系数  $\varphi$  来表示。

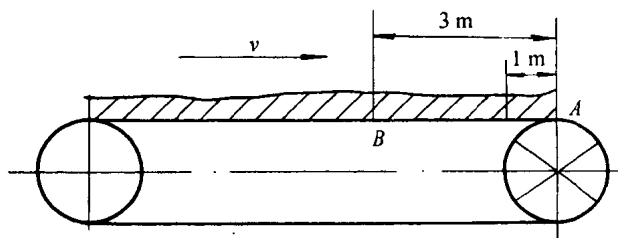


图 1-1 输送机运输能力的计算示意图

$$\varphi = \frac{A}{A_0} \quad (1-4)$$

式中:  $A_0$  为运输设备的理论截面积,  $m^2$ ;  $A$  为运输设备的实际物料截面积,  $m^2$ ;  $\varphi$  为装满系数。

$$q = A_0 \varphi v \quad (1-5)$$

$$Q = 3.6 A_0 \varphi v \quad (1-6)$$

(二) 运输容器在运输线路上等间距运行

货载装在单个容器内,而容器按一定规律运动并保持一定的间隔距离,这时货载量  $q$  可由下式求出:

$$q = \frac{G}{a} \quad (1-7)$$

式中:  $G$  为容器中的货载质量,  $kg$ ;  $a$  为容器间隔距离,  $m$ 。

$$Q = 3.6 \frac{G}{a} v \quad (1-8)$$

属于这一类的运输设备有:无极绳运输设备、架空索道以及斗式提升机等。

## 二、往返运行式运输设备

如前所述,往返运行式运输设备的特点是按一定的工作方式作周期性往返运行,把一定量的货载从一个地点运至另一个地点,然后将空容器返回原处完成一个循环。其往返一次的运输量为:

$$Q_y = ZG \quad (1-9)$$

式中:  $Q_y$  为往返一次的运输量,  $kg$ ;  $G$  为每个容器的货载量,  $kg$ ;  $Z$  为一组容器的容器数。

每小时的运输能力为:

$$Q = 60 \frac{ZG}{T} = 60 \frac{Q_y}{T} \quad (1-10)$$

式中:  $Q$  为运输能力,  $t/h$ ;  $T$  为往返一次的运输时间,  $min$ 。

一次运输量  $Q_y$  决定于设备的构造。如扒矿设备运输取决于扒斗的容积,无极绳运输和机车运输取决于车组中矿车数及矿车货载量。运输往返一次的时间包括运行时间和调整时

间,调整时间对于某一特定的运输设备是一定的;而运行时间在运行速度一定的前提下,运输距离越长,运行的时间也就越长。

从式(1-3)和式(1-10)两个基本公式可以看出,连续运行式运输设备的运输能力与运输距离无关,而往返运行式运输设备的运输能力将随运输距离的增加而降低。为了满足生产率的要求,必须增加每次运输量或列车组数、运行次数,同时,欲提高运输能力,还必须不断地改进运输工作组织以缩短辅助时间。

上面计算的是不同运输方式下的运输设备的运输能力。需要说明的是:运输设备的运输能力和运输设计生产率是两个概念,运输设计生产率是由矿山产量任务和它的工作制度所决定的单位时间的运输量,是选择运输设备的原始依据,它由采矿设计提供,一般可由下式确定:

$$Q_1 = \frac{KA_r}{T_r} \quad (1-11)$$

式中: $Q_1$  为运输设计生产率,t/h; $A_r$  为日产量,t/d; $T_r$  为日运输工作时间,h,一般取 18~19 h; $K$  为运输不均衡系数,一般取 1.2~1.25。

考虑到所选择的运输设备的运输能力应满足矿山产量任务所要求的运输生产率,因此,运输设备的运输能力应等于或稍大于运输生产率,即:

$$Q_1 \leq Q \quad (1-12)$$

为方便计算,通常采用  $Q=Q_1$  来计算求取运输设备的技术参数,例如  $F, v, G, Q_y$  等。

## 第二节 运输设备运行阻力系数和阻力计算

任何机械运行时都受有阻力,运输机械因其运行机构和运行方式不同,因而在运行时受到的阻力大小不同。工程计算中,常用阻力系数计算运输机械的运行阻力。阻力系数是等速运行时的运行阻力与运行支承面上受到的正压力之比。阻力系数可由分析得出其表达式,实际工作中使用的是由试验得出的具体数值。

### 一、矿车运行的阻力和阻力系数

当矿车沿水平直线钢轨作等速运动时,将产生下列阻力:

- (1) 轴颈与轴承之间的摩擦力;
- (2) 车轮沿钢轨运行时所产生的滚动摩擦阻力;
- (3) 车轮凸缘与钢轨间的摩擦阻力。

图 1-2(a)所示为单个矿车在水平直线轨道上等速运行时的受力状况。图 1-2(b)所示为其中一个轮对上的作用力,列出各作用力对轴心的力矩方程为:

$$F_1 \frac{D}{2} - N_1 k - S_1 \frac{d}{2} = 0 \quad (1-13)$$

整理得

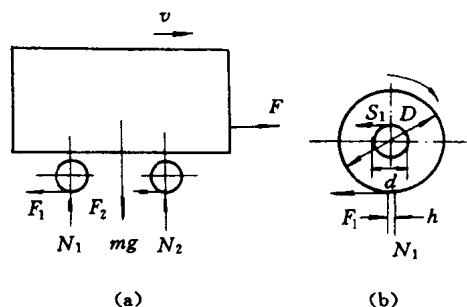


图 1-2 矿车运行阻力分析

$$F_1 = \frac{2N_1 k + S_1 d}{D} = \frac{2 \frac{mg}{2} k + \frac{mg}{2} \mu d}{D} = \frac{mg(2k + \mu d)}{2D} \quad (1-14)$$

当  $N_1 = N_2$  时,  $F_2 = F_1$ , 全部运行阻力为:

$$F = F_1 + F_2 \quad (1-15)$$

矿车运行的阻力系数即为:

$$\omega = \frac{F}{mg} = \frac{2k + \mu d}{D} \quad (1-16)$$

式中:  $F$  为矿车运行阻力,  $N$ ;  $m$  为矿车的总质量,  $kg$ ;  $g$  为重力加速度,  $m/s^2$ ;  $k$  为车轮与轨道间的滚动摩擦因数, 其数值与车轮直径及轨面形状和材料有关,  $k = 0.5 \sim 0.6$   $mm$ ;  $\mu$  为车轮轴承的摩擦因数;  $d$  为车轮的轴径,  $mm$ ;  $D$  为车轮直径,  $mm$ 。

式(1-16)所表达的阻力系数, 用于分析影响矿车阻力的诸因素。工程计算中用的阻力系数是由试验得出的, 用下式计算矿车运行阻力:

$$F = mg\omega \quad (1-17)$$

由于车轮凸缘与钢轨侧边之间的摩擦力尚不能用公式计算出来, 仅能从实验中求得, 因此, 对式(1-13)乘以系数  $C$  进行校正,  $C$  值的范围约为  $1.5 \sim 1.7$ , 其大小与轨道铺设的质量和矿车运行方式有关。所以矿车运行总牵引力  $F_0$  为:

$$F_0 = C \cdot F \quad (1-18)$$

$$F_0 = C \frac{mg(2k + \mu d)}{D} \quad (1-19)$$

## 二、有牵引机构的连续运输机械的运行阻力和阻力系数

有牵引机构的连续运行式运输机械, 其牵引机构连接成封闭环形, 在驱动装置的带动下, 沿线路连续循环运行, 如图 1-3 所示。整个线路由沿直线运行的直线段和绕曲线运行的曲线段组成。直线段和曲线段的运行条件不同, 其运行阻力也不同, 通常分别计算。

### (一) 直线段运行阻力

直线段的运行阻力, 因牵引机构及支承方式的不同而异, 有链条滑行、滚轮链运行及牵引构件在托辊上运行三种。

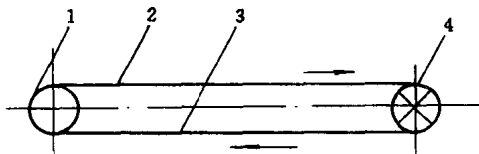


图 1-3 运行示意图

2, 3——直线段; 1, 4——曲线段

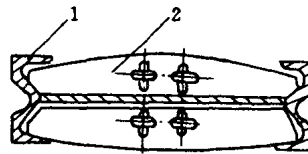


图 1-4 刮板链与中部槽的接触

1——中部槽; 2——刮板链

### 1. 链条滑行

刮板输送机的刮板链在中部槽中滑动运行, 刮板链在槽内的运行阻力, 是滑动面上的摩擦阻力。由于刮板链运行时, 刮板与中部槽不仅在槽底有滑行面, 在中部槽的侧帮也有滑行面, 如图 1-4 所示。因此, 刮板链的运行阻力, 不仅有槽底的摩擦力, 还包括侧帮的摩擦力。由阻力系数的定义可得, 刮板链在中部槽内运行的阻力系数为:



$$\omega_l = \frac{F_l}{q_l L g} \quad (1-20)$$

式中： $\omega_l$  为刮板链运行的阻力系数； $F_l$  为刮板链的运行阻力，N； $q_l$  为刮板链单位长度的质量，kg/m； $L$  为刮板链长度，m。

阻力系数  $\omega_l$  由试验得出，有了阻力系数，就可求出刮板链的运行阻力：

$$F_l = q_l L g \omega_l \quad (1-21)$$

## 2. 滚轮链运行

滚轮链是装有可转动滚轮的牵引链，如图 1-5(a) 所示，链条用滚轮支承在导轨上运行，以减小运行阻力。滚轮链在直线导轨上的运行状况与矿车在轨道上运行相似，滚轮链的运行阻力系数也用式(1-16)表示。

图 1-5(b) 所示是以滚轮链为牵引构件的板式输送机的承载—牵引部件。被运物料装在承载板上，物料与承载—牵引部件一起运行，这种结构的输送机承载段沿水平运行时的阻力为：

$$F_{zh} = (q + q_0) L g \omega_l \quad (1-22)$$

式中： $F_{zh}$  为重段(承载段)运行阻力，N； $q$  为单位长承载板上装运的物料量，kg/m； $q_0$  为单位长承载板和滚轮链的质量，kg/m； $g$  为重力加速度，m/s<sup>2</sup>； $L$  为承载段长度，m； $\omega_l$  为滚轮链的运行阻力系数。

## 3. 牵引构件在托辊上运行

牵引构件在托辊上运行，如图 1-6 所示。若牵引构件无弯曲变形，从牵引构件与托辊的相互作用关系看，也与矿车在轨道上运行相似。这种条件下的运行阻力系数也可用式(1-16)表示。

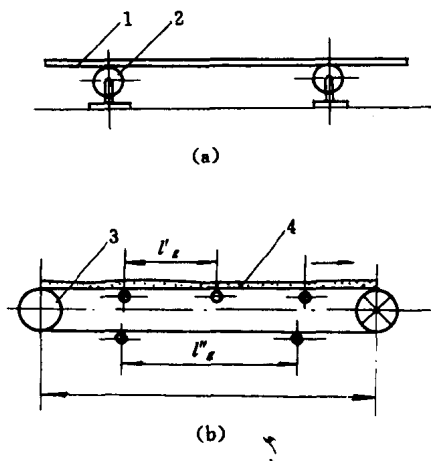


图 1-6 牵引构件在托辊上运行

1——牵引构件；2——托辊；  
3——输送带；4——物料

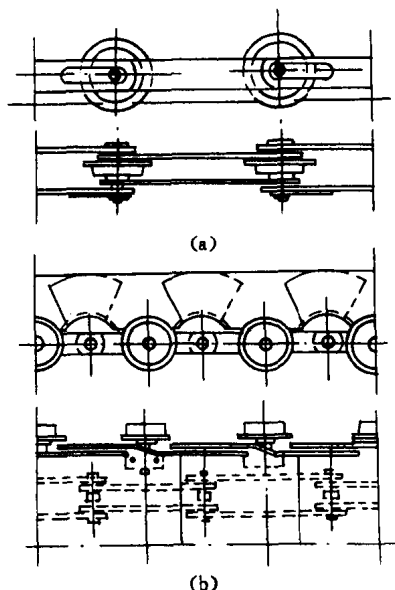


图 1-5 滚轮链

图 1-6(b) 所示是输送带在托辊上运行的带式输送机，被运物料装在输送带上，与输送带一起运行，输送带既是承载构件，又是牵引构件。若输送带在运行中没有形变，这种方式沿水平运输的运行阻力，重段(承载段)为：

$$F_{zh} = (q + q_a + q'_g) L g \omega' \quad (1-23)$$

返回的空行程段为：

$$F_k = (q_a + q''_g) L g \omega'' \quad (1-24)$$

式中： $F_{zh}$  为重段(承载段)运行阻力，N； $F_k$  为空段运行阻力，N； $q$  为单位长度输送带上装运物料量，kg/m； $q_a$  为输送带单位长的质量，kg/m； $L$  为重段和空段的长度，m； $q'_g$  为重段(承载段)单位长度上分布的托辊旋转部件的质量，kg/m(这是一个为便于表达的假想参数， $q'_g = \frac{M'_g}{l'_g}$ ， $M'_g$  为重段托辊组旋转部