

高等学校教学用书

矿 山 运 输

北京矿业学院矿山运输提升教研组
合肥工业大学矿山运输教研组 合编



中国工业出版社

PDG

目 錄

第一章 緒論	5
第一节 矿山运输的任务及特征	5
第二节 矿山运输设备的类型	7
第三节 我国矿山运输的发展概况及现状	8
第二章 运输设备的基本计算原理	10
第一节 运输生产率的计算	10
第二节 运输设备运输能力的基本计算方法	11
第三节 运输设备的运行阻力及阻力系数	12
第三章 自重运输	17
第一节 应用范围	17
第二节 自重运输用设备	18
第四章 鏈板运输机运输	22
第一节 概述	22
第二节 鏈板运输机的主要类型	23
第三节 刮板鏈的运动学及动力学	31
第四节 鏈板运输机的计算	34
第五节 鏈板运输机的运转	41
第五章 皮带运输机运输	46
第一节 概述	46
第二节 皮带运输机各组成部分的构造	47
第三节 皮带运输机的类型	54
第四节 皮带运输机的传动理论及其应用	56
第五节 皮带运输机的计算	61
第六节 皮带运输机的运转	63
第七节 特殊的和新式的皮带运输机	71
第六章 板式运输机运输	76
第一节 构造及应用	76
第二节 主要参数的计算	78
第七章 矿井轨道	80
第一节 轨道的结构	80
第二节 軌距	83
第三节 弯曲轨道	84
第四节 道岔	87
第五节 矿井轨道平面图的计算	92
第六节 轨道的鋪設与维护	97

第八章 矿用車輛	97
第一节 概述	97
第二节 矿車的主要类型	101
第三节 人車	104
第四节 矿車的維護和修理	106
第五节 矿車运行阻力	106
第六节 矿車載重量的选择和矿井矿車數的計算	110
第九章 矿井軌道运输的輔助机械設備	111
第一节 翻車机	111
第二节 推車机	113
第三节 鏈式爬車机(爬鏈)	116
第四节 調度絞車	118
第五节 其他輔助設備	119
第十章 鋼絲繩运输	122
第一节 概述	122
第二节 运输用鋼絲繩	123
第三节 有板繩运输	127
第四节 无板繩运输	137
第十一章 机車运输	146
第一节 概述	146
第二节 矿用电机車的机械构造	149
第三节 矿用电机車的电气設備	154
第四节 列車运行理論	164
第五节 电机車运输的計算	168
第六节 新型机車簡介	175
第七节 电机車的運轉、維護和检修	177
第十二章 装車站的机械化和井底車場的运输	180
第一节 概述	180
第二节 装車站的机械化	180
第三节 井底車場內的运输	186
第十三章 井下运输設備的选择	192
第一节 总論	192
第二节 采区运输設備的选择	193
第三节 主要巷道运输設備的选择	196
第十四章 矿井地面运输的一般問題	198
第一节 矿井地面設備概述	198
第二节 矿井地面生产系統	198
第三节 矿井外部运输方式	202
第四节 矿井工业广場总平面布置	204

第十五章	矿井井口设备	207
第一节	翻轉罐籠和箕斗提升的豎井井口設備.....	207
第二节	普通罐籠提升的豎井井口設備.....	209
第三节	斜井井口設備.....	212
第四节	平峒地面受矿設備.....	212
第十六章	矿井地面运输机设备	214
第一节	概述.....	214
第二节	皮帶运输机.....	214
第三节	刮板运输机.....	218
第四节	杓斗提升机.....	219
第五节	振動式运输机.....	221
第六节	螺旋运输机.....	222
第七节	閘門和給矿机.....	223
第十七章	铁路装车业务	226
第一节	裝車設備的类型.....	226
第二节	铁路裝車矿仓.....	232
第三节	矿仓的配仓設備.....	233
第四节	裝車矿仓的容量和裝車能力.....	234
第五节	铁路裝車站綫及其調車作业.....	235
第十八章	矿井地面貯矿場	239
第一节	概述.....	239
第二节	貯矿場的类型.....	240
第三节	扒矿設備貯煤場的設備.....	241
第四节	扒矿設備貯煤場的运输系統.....	245
第五节	扒矿設備貯煤場的計算.....	246
第十九章	架空索道	248
第一节	架空索道的类型和应用范围.....	248
第二节	架空索道的主要組成部分.....	250
第三节	簡易架空索道.....	252
第二十章	矸石場設備	253
第一节	概述.....	253
第二节	用箕斗运输的矸石場.....	254
第三节	用矿車运输的矸石場.....	258
第四节	用架空索道运输的矸石場.....	256
第五节	矸石場的容量和几何尺寸.....	257
結束語		258
参考文献		

第一章 緒 論

第一节 矿山运输的任务及特征

从矿井内采掘下来的有用矿物，只有运到地面上来才有使用价值。因此，在采掘的同时，必须有运输工作。采矿工业的全部生产过程，几乎都包括了运输。因此，运输工作的好坏，直接影响到矿井生产的正常进行，所以运输是采矿生产过程中非常重要和不可缺少的环节，把运输线路比作矿井的动脉是很恰当的。

矿山运输工作的任务是将工作面采掘下来的有用矿物，经井下巷道运到井底车场，经提升到地面后，供应井口加工的需要，或直接运往向外部运输的装车站。将掘进出来的岩石运到地面，如果可供应用，就送到加工厂，否则运往矸石场丢弃。此外，矿山运输工作还担负着把生产所需用的各种器材设备运到使用地点和运送工人上、下班的任务。

井下运输由于它的工作条件所限，有它自己的特征，这些特征对井下运输设备提出了一些特殊的要求：首先，井下运输是在巷道内工作，空间受到限制，因而井下运输设备的构造应紧凑，外廓尺寸要尽量小；其次，工作地点经常改变，如工作面运输，一般的一个工作循环就要移置一次。而采区巷道运输，由于工作面的推进使起运点常常变更，因而就要求运输设备轻便易于移置；由于井下运输线路是在水平、倾斜及垂直的巷道中交错而连贯的布置着，为了适应各种不同条件的需要，运输设备的类型也就很多，这样一来，在整个运输系统中交换和转载站也随之增加，因此给组织和管理工作上带来了麻烦。

在矿山企业中，运输费在生产成本中占有很大比重，运输作业的劳动量也很大，因此正确地配置运输设备、合理地组织运输工作，对提高产量、降低成本和提高劳动生产率起着重大作用。可是，井下运输线路的合理性，在很大程度上决定于开拓系统和开采方法。因此，在决定开拓系统和开采方法时，不仅要考虑运输的可能性，还要考虑运输的合理性。否则，将会造成运输工作的困难，甚至会限制着矿井的产量。

正确有效的运输工作，需要下列条件来保证：

(1) 运输路线要简单，尽量避免分段运输。因此，决定开拓系统和开采方法时，必须保证有合理的运输系统。

(2) 运输设备要有足够的坚固性，但不能过于笨重和复杂。要有较高的制造质量，以保证能安全可靠地运转。

(3) 设备的运输能力要有一定的备用量，以适应超产的需要。设备数量也应有一定的备用量，特别是易损零件或部件，以便在运转中损坏时能及时更换。

(4) 熟练的操作技能，经常的和有计划的维护和检修。

(5) 合理的调度管理和组织工作。



图 2 斗式提升机的工作原理图



图 1 运输机的工作原理图

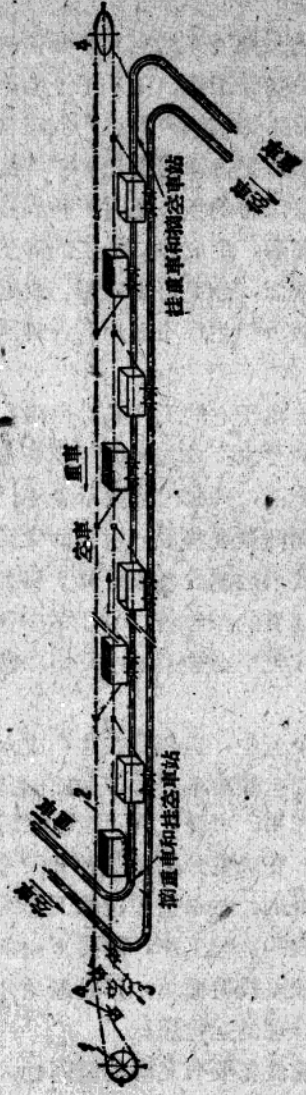


图 3 无级绳运输的工作系统
 1—主动粗轮；2—钢丝绳；3—拉紧装置；4—导向轮。

第二节 矿山运输设备的类型

矿山运输设备随着生产和技术的不断发展，以及矿山运输本身特点的要求，其类型是很多的，但归纳起来可分为两大类——连续动作式的运输设备及周期动作式的运输设备。

连续动作式运输设备是經开动后，能连续不间断运送货载的设备，在运转中无须操縱控制。属于这种设备的有下列几种：

(1) 运输机：运输机有带牵引机构的和无牵引机构的分别。带牵引机构的运输机工作原理如图1所示，装到运输机上的货载1是靠牵引机构2的带动而运行。牵引机构有链条、皮带及鋼絲繩。这类运输机按其构造和运送方法的不同，有鏈板运输机、皮带运输机和板式运输机。无牵引机构的运输机目前有两种，一为振动式运输机，它是将货载装在铁槽内，利用铁槽的高頻振动，使货载在槽内移动；另一种是螺旋运输机，它是利用螺旋叶的旋轉推动槽内的货载来移动。

运输机的特点是在工作中机架不能沿运输方向移动，因此运输机本身的长度就是它能够运送的距离。

(2) 杓斗提升机和杓斗运输机：杓斗提升机如图2所示，在牵引机构2上装有很多杓斗1，运转时，将货载由下端装入杓斗中，当杓斗提到顶端翻轉时将货载卸出。沿水平工作时称为杓斗运输机，这种设备在煤矿中很少使用。

(3) 无极繩运输：这种运输方式是将货载装在单个的矿車中，用无极連續运转的鋼絲繩牵引着在轨道上运行，从一端向鋼絲繩上挂車，由另一端或中途摘下矿車。图3是它的工作系統图。

(4) 风力或水力运输^①：这种方式是利用压缩空气或水流在管道内运送散碎货载，水力运输也可以利用自然坡度在铁槽内运送。

(5) 自重运输：这是利用货载本身的重力，沿斜坡向下运送的。

周期动作式的运输设备是以一定的方式，作周期性的运行，在运转中需要經常操縱，控制其运行方向。属于这种设备的有下列几种：

(1) 機車运输：用機車拖挂着一組矿車在轨道上运行。

(2) 有极繩运输：用有极往复运转的鋼絲繩牵引着一組矿車在轨道上运行。

(3) 无軌机动矿車：是一种大容量的使用輪胎車輪行进的机动车辆，在車箱内装有运输机，供装载和卸载使用。

(4) 扒矿设备：用鋼絲繩牵引着扒斗来扒运货载，如图4所示。

除了上述运输设备外，在矿山运输工作中还应用着許多种輔助机械設備，这些设备

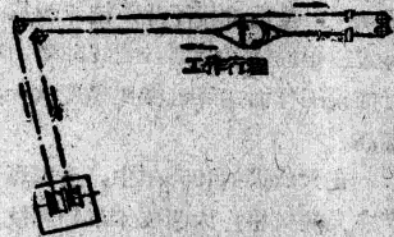


图4 扒矿设备工作图

① 风力和水力运输不属于本書的范围。

是：(1)開門；(2)翻車機：為固定車箱式的礦車卸載用；(3)推車機：向罐籠或翻車機內推送礦車，以及在短距離內移動礦車用；(4)調度絞車：在裝車站或其他地點短距離移動礦車用；(5)鏈式爬車機(爬鏈)：在短距離內單個而連續地把礦車送到較高的水平上去的設備；(6)給礦機：由礦倉向外均勻地供給貨載的設備；(7)阻車器、限速器及其他設備。

上述各種運輸的和輔助的設備，為適應各種具體工作條件，有許多種型式，但為了滿足日益發展的生產需要，還應進一步研究、改進和創造新的運輸設備。

第三節 我國礦山運輸的發展概況及現狀

礦山運輸是伴隨着開採技術而產生和發展的，我國古代人民遠在二千年前就創始了開採技術，因此礦山運輸也是從那個時候開始的。但是那個時候是沒有機械可用，完全靠人力運輸，只是在井筒提升中使用轆轤^①，而轆轤就是現代絞車和提升機的始祖。

由於封建制度在中國的長期存在，社會生產力受到了極大的束縛，勞動人民的智慧得不到發揮，即使有了發明和創造也根本得不到發展，因而我國的工業長期處在極端落后的狀態。近百年來，帝國主義侵入後，把我國淪為半殖民地。他們是來掠奪資源和榨取利潤的，更不會使我國的工業有甚麼真正的发展。就煤炭工業來看，由於所有規模較大的煤礦全部被帝國主義強行霸占，他們只顧對礦工實行殘酷的剝削和壓迫，根本不管改進技術，因而在全國解放前的近六十年間，技術上談不到有甚麼發展，生產幾乎完全依靠沉重的體力勞動，只是在使用機械能獲得更大利潤的環節上才採用一些機械，如提升、排水、通風。在運輸方面，只有幾個較大的礦井，在主要巷道內使用了電機車，其餘都是用人推車和畜力拉車，甚至還用人揹筐。龍骨水車在我國古代雖早已出現，可是與它同樣原理的鏈板運輸機在我國廣泛使用卻是解放以後的事情。而在國外，幾十年前就出現了鏈板運輸機。從這一點也能看出，帝國主義、封建主義和官僚資本主義對我國的壓抑是多麼慘重。

解放後，在黨的領導下，我國的煤炭工業發生了根本的變化。礦山回到了人民的手中，勞苦的礦工翻身變成了礦山的主人。首先，煤炭工業進行了民主改革，在民主改革的基礎上，全面推行了生產技術改革。隨着開採方法的改進，礦山運輸得到了很大發展。經過三年的恢復時期，到1952年，我國的煤產量就超過了解放前歷史上的最高紀錄，這時回采工作面運煤機械化程度大大提高。在第一個五年計劃期間運輸機械化程度又不斷提高。

在大躍進的1958年中，全國煤炭工業的職工，在黨的領導下，敢想敢幹，發揮了共產主義的風格，大鬧技術革新和技術革命，大搞協作，創造了許多先進經驗。煤炭工業部加以總結，提出推廣的“三十六推”中，屬於運輸方面的有工作面的“快速整體移溜子”、電機車運輸的“長距離多拉快跑，短距離少拉多循環”等項目。這些先進經驗都使工作效率提高很多倍，如“快速整體移溜子”提高了效率達十倍之多。由此可見，大鬧技術革新和技術革命，是加速煤炭工業發展的最重要的條件之一。

^① 公元前1100年左右我國發明了轆轤。

在繼續跃进的1959年，全国煤炭系统的大面积丰产紅旗竞赛运动，进一步发挥了全体职工的革命干劲，深入地贯彻了党的建設社会主义总路綫。原来的三十六推得到很大发展和提高，不仅項目增加，还使得先进經驗更加系統、完善和全面了。在全国群英会的煤炭系统先进經驗交流会上，系統深入地交流了179項先进經驗，其中有宋紹先小組电溜子安全运轉經驗和大搞簡易煤仓和貯煤場的經驗等，都大大推动了生产的发展。在生产的关键問題上，繼續深入开展技术革新和技术革命的群众运动，讓大面积高产紅旗竞赛运动把生产推向持久高速度的地步，这是在1959年的繼續跃进中，对全国煤矿职工提出的光荣任务。

按照党的建設社会主义的总路綫和一整套“两条腿走路”的方針，1958年以来，在加速現代化大型矿井发展的同时，中小型矿井也得到飞速的发展。在这仅仅一年多的時間内，小型机械化和土法生产的技术改造工作已取得了优异的成績。小型煤矿采取了土洋結合，自力更生，就地取材的办法，在技术改造等方面取得了巨大成就和宝贵經驗。1959年11月在北京召开的全国第二次小型煤矿工作會議，选出了小型煤矿生产中之有效的十五个方面的六十項先进經驗^①。这些經驗的传播和推广，无疑地将会进一步提高小型煤矿的技术改造工作，实现小型煤矿生产的繼續跃进。

在解放以前，我国根本没有矿山机械制造厂。解放后，随着采矿工业机械化程度的日益提高，我国矿山机械制造业得到了相应的发展，現在已陸續地建設了很多矿山机械制造厂。目前在运输机械方面已能成批生产鏈板运输机、皮带运输机、矿車、絞車、电机車及其他矿用設備。除此之外，較大的煤矿在大跃进后挖掘了潜力，自己也能制造許多运输及其他矿山机械了。

关于矿山运输方面的科学研究工作，在解放以前就更談不到了。帝国主义根本不允許我国发展独立的工业和科学事业；矿工們所得到的微薄工資难以維持最低限度的生活，終日挨打受罵、受尽屈辱，无心去改进生产技术和总结經驗；反动统治者只管榨取民脂民膏，不管科学技术的发展。解放以后，在改革和发展生产的基础上，矿山运输方面的科学研究工作也逐步地发展起来。現場的工作人員經常地把生产中的先进經驗加以总结和提高，高等学校、科学研究院及設計院都逐步地大力开展科学研究工作。在“煤矿技术”等杂志及高等学校的学报和其他单位的技术刊物上，經常发表运输方面的經驗总结及研究成果，对推动生产、提高技术水平起了很大作用。广大的矿工們在大跃进以后，破除迷信、解放思想，著書立說，創造发明，这对我国采矿事业的发展 and 科学技术水平的提高，将起着非常重要的作用。

人民公社建立以后，能更合理和有效地使用劳动力，社办工业逐渐地发展起来，对加速我国的工业化起了巨大作用。就煤炭工业来看，一年以来，地方經營的小型煤矿发展得非常迅速，供应了各地的需要，从而加速了煤炭工业的发展。

总路綫、大跃进和人民公社，給煤炭工业带来了空前的发展，因此坚持总路綫、大跃进和人民公社，必然在今后会给我国的煤炭工业带来更大更快的发展。

^① 参看“全国小型煤矿經驗汇编”，煤炭工业出版社，1959年版。

第二章 运输设备的基本计算原理

第一节 运输生产率的计算

运输生产率是由工作面的采掘能力或矿井的产量以及它的工作制度所决定的。这个生产率通常是用单位时间内所需运送的货载重量(吨/小时)来表示,也可用货载的体积(立方米/小时)表示,在某些情况下还用一特殊单位——“吨-公里”来表示。

由于工作制度、开采方法及所用的机械设各不同,运输生产率的计算方法也各异,现分述如下:

用截煤机或是用打眼放炮的方法采煤时,回采工作面每班的生产率为:

$$A_b = \frac{Lbh\gamma}{n_b} \text{吨/班。} \quad (1)$$

式中 L ——工作面长度(米); b ——一次采掘深度(米);
 h ——采掘高度(米); γ ——原封煤的单位重量(吨/立方米);
 n_b ——每一循环中的运输班数。

集中巷道中每班的生产率为 $A'_b = \Sigma A_b$ (吨/班)。 (2)

通向井底车场的主要运输巷道中每班的生产率可用下式计算:

$$A'_b = \frac{A_n}{n_r \cdot n'_b} + A_{o.s} \text{吨/班。} \quad (3)$$

式中 A_n ——矿井的年产量(吨); n_r ——矿井的年工作日数;
 n'_b ——矿井每日的工作班数; $A_{o.s}$ ——矿井每班的矸石运出量(吨)。

工作面和巷道的按小时平均的生产率为:

$$A_p = \frac{A_b}{T_{y.cn}} \text{吨/小时;} \quad (4)$$

$$A'_p = \frac{A'_b}{T_{y.cn}} \text{吨/小时。} \quad (4')$$

式中 $T_{y.cn}$ ——一个班内的运输工作时间。它比整个班的全部时间少一些,其余时间为交接班时检查、修理及因各生产环节之间配合不妥而造成的停顿时间。

用截煤机或打眼放炮的方法采煤时,一次爆破下来很多煤炭后,用人工或机械装到运输机上。在这种情况下,实际的运输生产率的变化是很大的。在爆破后的装载初期,运输机上的煤炭很多;到装载的后期,运输机上的煤炭就很少了。考虑到这种工作特点,就不能按小时平均生产率去选择所用的运输设备。应该按照比平均生产率更大一些的数值选择运输设备,这个数值称为运输的设计生产率。设计生产率通常用下式求算:

$$A_{sh} = kA_p = k \frac{A_b}{T_{y.cn}} \text{吨/小时。} \quad (5)$$

式中 k ——运输工作不均性系数,工作面运输中,人工装煤时 $k=1.5-2$; 爆破装煤时 k 应不小于 2。巷道运输中,采区巷道 $k=1.5$; 主要巷道 $k=1.1 \sim 1.25$ 。

用联合采煤机或刨煤机采煤时，煤是連續而均匀地装到运输机上，因此运输的设计生产率就可以按联合采煤机或刨煤机的生产率计算：

$$A_{\text{联合}} = 60v_0 b h \gamma \text{ 吨/小时} \quad (6)$$

式中 v_0 ——联合采煤机或刨煤机的牵引速度(米/分)。

第二节 运输设备运输能力的基本计算方法

連續动作式运输设备和周期动作式运输设备，由于动作方式不同，它们的运输能力的计算方法也不同，现分述如下：

一、連續动作式的运输设备

现以皮带运输机为例，来说明連續动作式运输设备的运输能力的计算方法。图5为皮带运输机的示意图，皮带的工作段每一米长度上的货载重量为 q 公斤，当皮带以速度 v (米/秒)沿箭头方向运行1秒鐘后，皮带上的B点移到A点处，这时在皮带上AB之間所載的貨載就由运输机上卸下，其重量为 qv 公斤。如果运输机連續运转，装到运输机上的貨載就連續卸下。由此可知，运输机每秒钟的运输能力为：

$$Q_{\text{秒}} = qv \text{ 公斤/秒} \quad (7)$$

而小时运输能力为：

$$Q = 3.6qv \text{ 吨/小时} \quad (8)$$

公式(8)就是计算連續动作式运输设备的运输能力的基本公式。在以后的章节中，将分别讲述各种具体设备运输能力的计算方法。

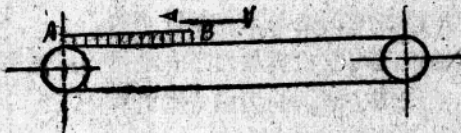


图5 連續动作式运输设备计算示意图

二、周期动作式的运输设备

以机车运输为例，说明周期动作式运输设备的运输能力的计算方法。图6为机车运输的示意图，机车牵引着 Z 辆重车从装车站A驶到升底车场B，摘下重车组，挂上另一空车组后再驶回装车站A。若一个矿车的载重量为 G 公斤，列车在A、B之間往返一个循环所用的时间为 T 秒，则这台机车每秒钟的平均运输能力为：

$$Q_{\text{秒}} = \frac{ZG}{T} \text{ 公斤/秒} \quad (9)$$

而小时运输能力为：

$$Q = 3.6 \frac{ZG}{T} \text{ 吨/小时} \quad (10)$$

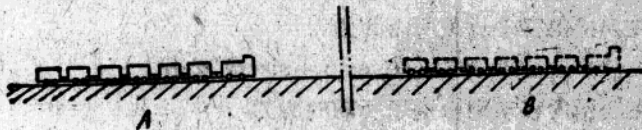


图6 周期动作式运输设备计算示意图

公式(10)是計算周期動作式運輸設備的運輸能力的基本公式。在以後的章節中，將分別講述各種具體設備運輸能力的計算方法。

從公式(8)和(10)可以看出，連續動作式運輸設備的運輸能力與運輸距離無關；周期動作式運輸設備的運輸能力受運輸距離的影響，因為它往返一次循環的時間 T 是運輸距離的函數。

第三節 運輸設備的运行阻力及阻力系数

一、直綫段运行阻力

由靜力學知，當重量為 P 的物體沿斜面移動時，作用於物體上的力如圖7所示。其中重力分力 $P_1 = P \sin \beta$ ， $P_2 = P \cos \beta$ ；摩擦阻力 $T = P_2 f = P f \cos \beta$ （ f 為物體沿斜面移動的摩擦系数）。移動物體所需的力 W 為

$$W = \pm P_1 + T = P(f \cos \beta \pm \sin \beta) \text{ 公斤。} \quad (11)$$

式中正號為向上移動物體，負號為向下移動物體。

對運輸設備來說，往往不是象圖7所示那樣簡單的平面滑動，所以不能用一個單純的摩擦系数來計算。運輸設備是一個組合件的複雜運動，轉動中不僅只有一個接觸面上受到阻力，因此在計算時應將各處的阻力都要計入。為了簡化計算，通常是用“阻力系数”來計算它的运行阻力。

阻力系数是物體移動時的摩擦阻力與正壓力之比。它與運輸設備的構造及工作條件有關。

鏈板運輸機是將散集貨載均布在鐵槽內，用刮

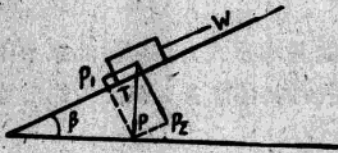


圖7 物體沿斜面移動時的力圖

板鏈子帶着移動的，在這種情況下，移動貨載和刮板鏈子所需的力應分別計算如下：

在長度為 L （米）、安裝傾角為 β 的鐵槽內，移動貨載所需的力為：

$$W = W_1 + W_2 \text{ 公斤。}$$

式中 W_1 ——貨載的重力分力， $W_1 = \pm qL \sin \beta$ （公斤）；

W_2 ——貨載移動時的摩擦阻力， $W_2 = qL \cos \beta \cdot \omega$ （公斤）；

q ——鐵槽內單位長度上的貨載重量（公斤/米）；

ω ——貨載在鐵槽內移動的阻力系数，按照阻力系数的定义可写成

$$\omega = \frac{W_2}{qL \cos \beta}.$$

沿水平運輸時， $\beta = 0$ ， $\omega = \frac{W_2}{qL} = \frac{W}{qL}$ 。

由上可知，在鐵槽內移動貨載所需的力為

$$W = qL(\omega \cos \beta \pm \sin \beta) \text{ 公斤。} \quad (12)$$

同理可知，在鐵槽內移動刮板鏈子所需的力為

$$W' = q_0 L(\omega' \cos \beta \pm \sin \beta) \text{ 公斤。} \quad (13)$$

式中 q_0 ——刮板鏈子单位长度的重量(公斤/米);

ω' ——刮板鏈子在槽內移动的阻力系数。

皮带运输机的运行阻力, 考虑到它的特点也可用类似的方法求算, 具体的算法将在第五章中讲述。

矿車运行的阻力, 由于它的工作方式与运输机不同, 所以计算方法也不同。图8为一矿車在运行中的受力情况。

矿車的重量 G_0 分布在两对輪軸上的压力各为 $G_0/2$, 由于鋼軌具有弹性, 故其反作用力不通过輪子的旋轉中心, 而向运动方向偏移一个距离 K , K 就是滚动摩擦系数。

力 S_1 是軸頸与軸承之間的摩擦力。其值为

$$S_1 = \frac{G_0}{2} \mu \text{ 公斤.}$$

式中 μ ——軸承的摩擦系数。

取車輪为自由体, 列出对軸心的力矩平衡方程式得

$$S \frac{D}{2} - \frac{G_0}{2} K - S_1 \frac{d}{2} = 0.$$

将 S_1 的值代入化簡后可得

$$S = \frac{G_0(2K + \mu d)}{2D}.$$

式中 D ——車輪直径;

d ——軸頸的直径。

对整个矿車取力的平衡方程式得

$$W - 2S = 0.$$

$$W = 2S = G_0 \frac{2K + \mu d}{D} \text{ 公斤.} \quad (14)$$

考虑到車輪凸緣与鋼軌头部的摩擦, 矿車运行的阻力还应将公式(14)乘上一系数 C , 这个系数的大小与軌道鋪設的質量及矿車运行的方式有关, 所以矿車运行的阻力应为:

$$W' = G_0 C \frac{2K + \mu d}{D} \text{ 公斤.} \quad (14')$$

根据阻力系数的定义, 矿車运行的阻力系数应为

$$\omega = \frac{W'}{G_0} = C \frac{2K + \mu d}{D}. \quad (15)$$

由公式(15)可以看出, 阻力系数不仅与轉动部分的摩擦系数有关, 它还受轉动部分结构尺寸的影响。

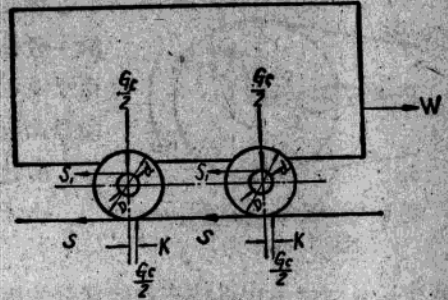


图8 运行中的矿車受力作用图

二、牵引机构曲线段的阻力

牵引机构绕经运输设备的曲线段时，如链子绕经链轮、皮带绕经滚筒及钢丝绳绕经绳轮，运行阻力的计算方法与在直线段的不同。

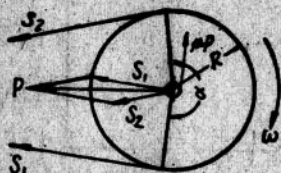


图9 牵引机构绕经能旋转的曲线部分示意图

图9表示牵引机构绕经能够旋转的链轮、滚筒或绳轮的一般情况。当牵引机构绕经这种曲线部分时，为了克服由于牵引机构的弯曲及旋转轴上的阻力，牵引机构与曲线段分离点上的张力 S_1 必需大于其相遇点上的张力 S_2 。

旋转轴上的阻力用静力学的法则可以求出：

由于牵引机构的张力，作用在轴上的压力为：

$$P = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} - 2S_1S_2 \cos \alpha \text{ 公斤。} \quad (16)$$

式中 α —— 牵引机构在曲线部分的围抱角。

旋转时轴颈处的摩擦力为：

$$F = \mu P \text{ 公斤。}$$

式中 μ —— 轴承的摩擦系数。

略去转动部分的自重，可写出对轴心的力矩方程式如下：

$$S_1R - S_2R - Er = 0.$$

式中 R —— 链轮、滚筒或绳轮的半径；

r —— 轴颈的半径。

将 P 及 F 的值代入后得：

$$S_1R - S_2R - \mu r \sqrt{S_1^2 + S_2^2} - 2S_1S_2 \cos \alpha = 0. \quad (17)$$

化简后可得如下关系式：

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R^2 - \mu^2 r^2 \cos \alpha}{R^2 - \mu^2 r^2} + \sqrt{\left(\frac{R^2 - \mu^2 r^2 \cos \alpha}{R^2 - \mu^2 r^2} \right)^2 - 1}. \quad (18)$$

在多数情况下，牵引机构的两股是互相平行的，即 $\alpha = \pi$ ，此时由公式(17)可得：

$$S_1R - S_2R = \mu r (S_1 + S_2).$$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R + \mu r}{R - \mu r} = \frac{1 + \mu \frac{r}{R}}{1 - \mu \frac{r}{R}}.$$

令

$$\mu \frac{r}{R} = c, \quad \frac{S_1}{S_2} = k,$$

得

$$k = \frac{S_1}{S_2} = \frac{1+c}{1-c}. \quad (19)$$

牵引机构的弯曲阻力，由于它们的结构不同而有不同的计算方法。

链子绕经链轮时的弯曲阻力，可以导出如下公式：

$$W_2 = f \frac{\delta}{D} (S_1 + S_2) \text{ 公斤。} \quad (20)$$

式中 f —— 鏈軸處的摩擦係數;

δ —— 鏈軸的直徑;

D —— 鏈輪的直徑。

橡膠帶繞經滾筒時的彎曲阻力，可用如下經驗公式計算：

$$W_q = 0.5 \frac{\delta}{R^{1.5}} (S + 8\delta B) \text{ 公斤。} \quad (21)$$

式中 δ —— 橡膠帶的厚度(厘米);

R —— 滾筒半徑(厘米);

S —— 張力較大的那股橡膠帶上的張力(公斤);

B —— 橡膠帶的寬度(厘米)。

鋼絲繩繞經繩輪時的彎曲阻力，可用如下經驗公式計算：

$$W_q = 0.1 \frac{1 + \frac{120}{S}}{D - 10} d_1^2 S \text{ 公斤。} \quad (22)$$

式中 D —— 繩輪直徑(厘米);

d_1 —— 鋼繩直徑(厘米);

S —— 張力小的那股鋼繩上的張力(公斤)。

把旋轉軸上的阻力和牽引機構的彎曲阻力一併計入，牽引機構繞經可旋轉的曲線部分時，力矩方程式為：

$$S_1 R - S_2 R - F r - W_q R = 0. \quad (23)$$

將公式(23)化簡即可得出計算阻力的公式。

但是，這個計算很繁瑣，且很多數據也是由實驗所得來，因此在實際應用中，皆按下面的公式所給的數值取用。

繞經從動輪或滾筒時的阻力為：

$$W'_q = S_1 - S_2 = (0.05 \sim 0.07) S_2 \text{ 公斤。} \quad (24)$$

或

$$S_1 = (1.05 \sim 1.07) S_2 \text{ 公斤。} \quad (24')$$

繞經主動輪或滾筒時的阻力為：

$$W_q = (0.03 \sim 0.05) (S_1 + S_2) \text{ 公斤。} \quad (25)$$

牽引機構繞經固定的曲線部分時，如圖10所示，用歐拉公式求算其阻力。

由歐拉公式知，牽引機構繞經固定的曲線形導向體時，其張力的變化為下式的關係：

$$S_1 = S_2 e^{f\alpha} \text{ 公斤。} \quad (26)$$

式中 f —— 牽引機構與導向體之間的摩擦係數;

α —— 牽引機構在導向體上的圍抱角(弧度);

e —— 自然對數的底。

曲線部分的阻力就等於牽引機構兩端的張力

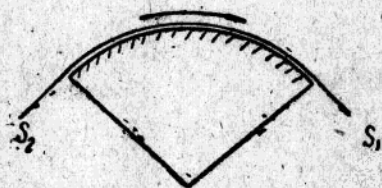


圖 10 牽引機構繞經固定的曲線部分示意圖

差。

三、牵引力及功率

具有牵引机构的运输设备的牵引力，用“逐点计算法”来计算。

所谓逐点计算法，就是将牵引机构在运行中所遇到的各种阻力，沿着牵引机构依次逐点计入。计算所遵循的规则是：按运行方向，牵引机构上某一点的张力，等于它前一点的张力加上这两点之间运行阻力的和。用公式表达可写成如下形式：

$$S_i = S_{i-1} + W_{(i-1) \sim i} \quad (27)$$

式中 S_i 和 S_{i-1} ——牵引机构上的某一点及其前一点的张力；

$W_{(i-1) \sim i}$ ——牵引机构在 $(i-1)$ 点与 i 点之间所遇到的阻力。

应用逐点计算法时，将牵引机构的直线段与曲线段的连接处作为计算点，把各计算点加以编号依次计算，通常是从牵引机构与主动轮的分离点开始，求出各点上的张力。图11所示的运输机，牵引机构在各计算点上的张力为：

$$S_2 = S_1 + W_{1 \sim 2}$$

$$S_3 = S_2 + W_{2 \sim 3} = (1.05 \sim 1.07) S_2$$

$$S_4 = S_3 + W_{3 \sim 4}$$

式中 S_1 ——牵引机构的最小张力点，它的求法因牵引机构的不同而异，以后讲各种设备时再予阐述。

用逐点计算法求出牵引机构上各点的张力后，设备运转所需要的牵引力即可用下式求出：

$$W_0 = S_y - S_i + W_g \text{ 公斤} \quad (28)$$

式中 S_y ——牵引机构与主动轮相遇点上的张力(公斤)；

S_i ——牵引机构与主动轮分离点上的张力(公斤)；

W_g ——牵引机构绕经主动轮的阻力(公斤)。

运输设备运转所需要的功率为：

$$N = \frac{W_0 \cdot v}{102\eta} \text{ 瓦} = \frac{W_0 \cdot v}{75\eta} \text{ 马力} \quad (29)$$

式中 v ——牵引机构的工作速度(米/秒)；

η ——设备的机械传动效率。



图 11 运输机计算示意图