

矿 山 运 输

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



高等学校
教学用书



· 陈 寰 主 编

化 学 工 业 出 版 社



TD5
C-394

高等学校教学用书

矿 山 运 输

陈 寰 主编

化学工业出版社

791014

(京)新登字039号

内 容 提 要

本书比较系统全面地介绍了井下、露天、有轨、无轨等各类矿山运输方式。

全书共十章，分别阐述了矿山轨道及其联接系统、窄轨矿车及其运行计算、电机车运输、轨道运输的辅助设备、竖井井底车场、斜井井底车场、井下无轨运输、胶带输送机运输、架空索道运输及汽车运输，适于作为高等学校采矿工程专业的教材，亦利于矿业工程技术人员自学与参考。

高等学校教学用书

矿 山 运 输

陈 襄 主编

责任编辑：杨 菁

封面设计：任 辉

化学工业出版社出版

(北京市朝阳区惠新里3号)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 506千字

1994年5月第1版 1994年5月北京第1次印刷

印 数 1—1500

ISBN 7-5025-1287-X/G·335

定 价 11.65元

出版前言

矿山运输作为矿山生产中的一个至关重要的环节，不但在矿山基本建设投资中占有很大的份额，而且经常是许多矿山生产能力难以充分发挥的症结，成为矿山生产降低成本提高经济效益的一大障碍，因此，无论在矿山设计还是在生产实践中，建立一个技术可靠、经济合理的矿山运输系统，一直是矿山工程技术人员所关注和为之努力的目标。显然，为了适应矿山事业的发展对科技工作者的要求，采矿专业的学生必须在这方面具有比较坚实的功底。

编写本书的目的就在于为采矿专业的学生提供一本关于矿山运输方面的教材。本教材的特点是系统性较强、覆盖面较广、取材较新、说理比较充分，有利于掌握矿山设计与管理方面的基本知识 with 技能，同时也为采矿工程技术人员提供一本较有实用价值的参考书。

为使学生能够顺利接受和牢固掌握新知识，并达到触类旁通和灵活应用知识的目的，从教材内容上即着力于让学生知其然亦知其所以然。因此也有利于自学。

此外，本教材通过论证，修正了同类教科书与工具书中的某些错误或不妥之处，并演绎出一些工程参数的新的计算公式，例如关于串车斜井提升牵引角的计算，以及斜井吊桥起重重锤的设计等等，在此，敬请同行专家予以审查。

本教材由陈寰（教授）主编，孙镇德（副教授）主审。陈寰编写出版前言、绪论、第二章、第五章、第六章和第十章；孙昭铮（副教授）编写第一章、第四章、第七章和第九章；李广辰（讲师）编写第三章和第八章。孙镇德副教授在审稿中提出了许多具体、中肯的修改意见。全书由陈寰统稿。

本教材在编写过程中，自始至终得到化学工业部人事教育司郝长江等同志与化学工业出版社有关同志的全力支持和帮助，谨此表示由衷的谢意！

由于编者业务水平所限，书中必然存在不少缺点和错误，诚恳希望读者不吝赐予批评指正。

编者

1993年5月

ABF30/0903

目 录

绪 论	1
第一章 矿山轨道及其联接系统	7
第一节 轨道的结构、轨距及线路坡度	7
第二节 弯曲轨道	11
第三节 窄轨道岔	17
第四节 轨道线路联接系统的计算	20
第二章 窄轨矿车及其运行计算	29
第一节 窄轨矿车	29
第二节 矿车运行计算	37
第三章 电机车运输	46
第一节 概述	46
第二节 矿用电机车的机械结构	48
第三节 电机车电气设备特性	51
第四节 电机车的运行理论	54
第五节 电机车运输计算	60
第六节 电机车的使用及维护	69
第四章 轨道运输的辅助设备	70
第一节 推车机	70
第二节 爬车机	77
第三节 翻车机	79
第四节 阻车器及限速器	80
第五节 罐笼承接装置	82
第五章 竖井井底车场	84
第一节 概述	84
第二节 竖井井底车场的选型	87
第三节 竖井井底车场线路(及巷道)的平面布置设计	92
第四节 竖井井底车场线路的坡度设计	116
第五节 竖井井底车场通过能力的验算	134
第六章 斜井井底车场	144
第一节 概述	144
第二节 串车提升斜井甩车场的设计	148
第三节 斜井吊桥	174
第七章 井下无轨运输	189
第一节 概述	189
第二节 地下矿用汽车的类型及运输计算	190

第三节	井下无轨运输线路	193
第四节	地下矿用柴油运输设备废气污染的控制	197
第八章	胶带输送机运输	199
第一节	概述	199
第二节	普通胶带输送机及钢绳芯胶带输送机	203
第三节	胶带摩擦传动原理及传动装置的牵引力	211
第四节	钢绳芯胶带输送机的选型计算	217
第五节	钢绳牵引胶带输送机的工作原理及组成机构	226
第六节	钢绳牵引胶带输送机的选型计算	232
第九章	架空索道运输	238
第一节	概述	238
第二节	双线循环式索道	240
第三节	索道线路选择及支架配置	264
第四节	单线索道的选择与计算特点	272
第十章	汽车运输	274
第一节	概述	274
第二节	露天矿自卸汽车选型及汽车运输计算	275
第三节	矿用公路的路基	284
第四节	矿用公路线路设计	292
	主要参考文献	316

绪 论

一、矿山运输在矿山生产经营中的重要地位

人类文明的发展导致运输手段的不断革新，运输手段的不断完善又有力地促进了人类的文明。现代化的运输手段以其高速和高效，相对地大大缩短了空间距离，为人们赢得了宝贵的时间，争得了难以计数的社会效益。在现代国民经济和社会生活中，离开物资、人员的大量快速的输送那是无法想像的。事实上，社会运力的不足一直是制约我国国民经济快速发展的重大因素。对于矿山企业，矿山运输的重要性更是显而易见的。

在矿山生产、经营活动中，不论大量矿石（原矿、精矿或其它矿产品）、岩土、尾矿（或矿石加工后的其它废料）的移送、输出或排弃，还是燃料、材料、备品备件、生活物资及人员的输入或接送，无一不需依靠矿山运输工作来完成。通过运输所维系的物流、人流，使矿山内部各工艺程序之间、各生产环节之间，以及矿山内部和外部之间成为一个互相联系、互相制约的有机整体。矿山运输工作的正常进行是矿山系统得以正常运转的前提。充足的运输能力是矿山其它环节生产能力得以发挥的保障。运输工具的创新，往往导致矿山生产工艺的变革与矿山生产力的突破。我国黑色金属矿山的统计资料表明，运输投资占矿山投资总额的40~60%；运输能耗亦占全矿能耗的40~60%，运输成本则占矿石开采成本的25~40%，可想而知，在保证同一运输效果的前提下，降低矿山运输投资与运营费，可明显降低矿山基建投资、经营费、企业能耗、矿产成本和提高矿山生产的经济效益等。同样，实现安全运输与改善劳动条件标志着矿山作业面貌的改观。因为，在矿山劳务总量中，运输劳务量约占50%。由上可见，矿山运输在矿山生产、经营活动中，占有至关重要的地位，并因此成为矿山企业技术工作与管理工作的焦点。

二、矿山运输的类别

根据不同的区分标准，矿山运输可以有多种不同的分类。

按照运输的性质，矿山运输可以分为生产运输与辅助运输（亦称服务运输）。前者以矿石及其产品、岩土、尾矿或矿石加工后的其它废料作为运输的对象；后者则以燃料、材料、备品备件、生活物资和人员的输送为目的。

按照货载起运点（或目的地）的地域或行政归属，矿山运输又可分为内部运输与外部运输。前者的起运点与目的地均属矿山管辖，其运输线路一般亦在矿区之内；后者的起运点或目的地必有一个不属于矿山，且其运输线路所在的地域通常已超出了矿山管理的范围。

按照运输线路铺设的空间，矿山运输还可分为地面运输和地下运输。前者的线路铺设于地表，为露天矿山货载的运送工作或地下矿山货载的地面运送工作服务；后者的线路则铺设于地下，为地下矿山或某些具有地下集运系统的露天矿山的生产活动服务。

按照运输作业使用的设备与设施（运输方式），矿山运输则可分为无轨运输（包括汽车、前装机、铲运机运输等）、有轨运输（铁路运输）、胶带输送机运输、绳索运输（包括架空索道、无极绳斜坡串车台车或箕斗、无极绳运输等）、溜井或溜槽重力运输、管道或渠道运输、船舶运输，以及由上列某些运输方式组合而成的联合运输。从设有行车轨线的角度看，绳索运输亦可归为有轨运输。

此外,按照被运货载的连续性,矿山运输也可分为连续运输与非连续运输。胶带、管道运输属于连续运输,其它运输方式则皆属非连续运输。前者的运输能力受运距的影响大大小于后者,但其局部故障所带来的停产威胁却又远远大于后者。

这些互不相同的运输方式各有各的特点以及一定条件下的相对优越性,并依矿山生产规模、运输距离、货载性质、自然地理状况及其它相关条件而被分别择用或取长补短组合使用。国内不同的矿山根据自身的特点采用不同的运输方式,其实例见表0-1。

表 0-1 国内部分矿山采用的运输方式

运输方式	使用矿山企业名称
汽车运输	白银露天矿、云浮硫铁矿
准轨铁路运输	歪头山铁矿、海南铁矿、阜新海州露天煤矿
窄轨铁路运输	甘井子石灰石矿、应城石膏矿
汽车-带式输送机联合运输	昆阳磷矿、渠县水泥石灰石矿
汽车-溜井平硐-带式输送机联合运输	永登水泥厂
汽车-溜井平硐-准轨铁路联合运输	南芬铁矿
汽车-溜井平硐-窄轨铁路联合运输	德兴铜矿
汽车-斜坡箕斗联合运输	新康石棉矿、坡口铁矿
汽车-架空索道-溜井平硐联合运输	把关河石灰石矿
准轨铁路-汽车联合运输	大冶铁矿、金川镍矿
窄轨铁路-斜坡串车提升-汽车联合运输	蒙阴金刚石矿
架空索道运输	红透山铜矿、凡口铅锌矿
管道运输	东山硅砂矿、北海硅砂矿

三、各种运输方式的特点及适用条件

1. 汽车运输

汽车运输是无轨运输的典型代表,与铁路运输相比其特点一方面表现在汽车的性能上,亦即其爬坡能力大,转弯半径小,机动灵活,对道路的适应性强;另一方面,则表现在汽车所需运输线路(公路)的建设上,在升程(爬高)相同的条件下,线路长度比铁路短,基建工程量少,施工较易,因而,基建工期短、基建投资省。在露天矿中使用汽车运输,掘沟速度快、新水平准备时间短;由于车位灵活,调车方便,可以提高采装设备的生产效率,并适应陡帮、横向、分期开采以及分采中分装、分运的需要;而且,排废工艺简单,效率高,堆置成本低。其缺点在于燃油、轮胎消耗大,运营费用高,经济合理的运距比较短,汽车的维修保养工作量大,所需人员较多,受气候影响大,特别是在雨季、冰雪期,其运输可靠性差。地下矿山使用汽车运输,除具有地面汽车运输的一般优缺点外,尚有所需巷道断面大、废气污染井下空气以及不能用于有沼气矿山的缺陷。

鉴于汽车运输的上述特点,汽车运输尤其适用于地形复杂、矿点分散、矿体产状多变、多品种分采、运距较短、生产年限不长、气候比较干燥的露天矿,矿体厚度大、埋藏深度小、要求强化开采的地下矿山以及各类矿山的辅助运输。

2. 铁路运输

铁路运输亦称机车运输,是有轨运输的主要型式,按轨距的不同,可分为准轨铁路(轨距1435mm)和窄轨铁路(轨距600mm、762mm、900mm)两大类,其优缺点及适用条件恰与汽车运输相反。

窄轨铁路与准轨铁路相比,其装备简单、线路质量要求较低,所占空间较小,基建工期

短，基建投资省，但是，运营费用高、运输能力小、劳动效率低，因此，只适于中、小型露天矿及地下矿山。

由于准轨铁路运输与汽车运输相比具有运量大、经济合理运距长、运营费用低、工作可靠、设备供应充足、受气候影响小等长处，因此，在周围地形较为平缓且距离国家铁路线近的大、中型矿山，这一运输方式常常用于外部运输。

3. 胶带输送机运输

胶带输送机运输简称胶带运输。与所有机械运输对比，胶带运输最明显的特点在于连续运输，理论上，其运量可以不受运距的限制，因此，其运输能力大，并成为新兴的连续或半连续开采工艺的先决条件。胶带运输还具有爬坡能力大、升程运距短、自动化程度高、操作简便、安全可靠、设备维修简单，以及能耗少，长距离运输成本低、无污染等一系列突出的优点。其不足在于胶带造价昂贵以致基建投资大，布线灵活性差，对物料性质（块度、硬度、粘结性等）的适应性弱，胶带磨损大，主干线路一旦发生故障可能导致矿山全面停产。而且，为了控制货载粒度，通常皆应在其起运点之前配置固定式或移动式的破碎机。

根据上述特点，大型胶带运输适用于货载块度、硬度较小、粘性较小、地形复杂、运输比高大、运距长且运输量大、服务年限长、运送方向单一的大型矿山。小型胶带则适用于各种短距离细粒物料的转载运输，特别是破碎厂与选矿厂。

4. 架空索道运输

架空索道运输是绳索运输的一种重要型式，其主要特点是采用架空的行车线路，爬坡能力大，因而不受沿途地形的限制；而且无需修建桥涵，土石方工程量小，支架可以预制组装，基建时间短，运输能耗低。其短处是货车容积有限并因之对货载的块度限制较严（通常应小于300mm），生产能力不如准轨铁路及胶带大，灵活性则逊于汽车，行车控制及维修、管理技术要求高。

架空索道运输多用于地形复杂的中、小型矿山，尤其适于跨越河川、狭谷、陡坡等崎岖地形的精矿外运。在我国有色金属矿山，采用这种外部运输方式比较普遍。

5. 其它形式的绳索运输

除架空索道外，其它形式的绳索运输尚有斜坡重力卷运输，斜坡串车、台车、箕斗运输以及无极绳运输。这些运输方式既需依靠钢绳传递动力，又需凭借轨道以利行车，因而兼具绳索运输与轨道运输的一些作业特点。

·斜坡重力卷运输是一种无需机械动力的运输方式，它利用一条线路上重车下放的动能，经钢绳、滚筒（或摩擦轮）的传递，牵引另一线路上的空车上提，两条线路一般并排敷设。这种运输方式结构简单，投资少，基建快，运营费低，机械操作容易，可节省能耗并缩短运输距离，但摘挂钩频繁，运输能力有限，且只可用于重车下向运输。其适用的线路坡度 $6^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，多为小型矿所使用。

·斜坡串车、台车或箕斗运输的特点与重力卷类似，主要区别在于其运输容器的运行必须依靠机械动力（提升机），既可用于重车（或箕斗）上提，亦可用于下放。三者之中，台车生产能力最低，串台适用坡度最小（一般不大于 30° ），箕斗则应有转载设施。

斜坡串车、台车或箕斗运输以及上述的重力卷运输一般均不能自成长距离的运输系统，而必须与其它运输方式配合使用。

·无极绳运输的工作原理与双线循环式架空索道相同，两者皆借驱动轮摩擦，驱动首尾相接的无极钢绳循环运转，牵引联接于其上的空、重矿车（或货车）分道运行，两者的不

同之处是索道货车运行于架空的承载索，而无极绳矿车则运行于地面的轨道之上。其设备结构简单，操作方便维修容易，对线路坡度、弯曲的适应性大，系统投资少，基建快，可以连续运转，但是，行车安全性差，钢绳损耗大，运距不宜过大（一般不超过1000m）。适于中小型矿山，适用坡度 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。

6. 溜井、溜槽运输

溜井、溜槽运输借自重溜放矿岩以达到运输的目的，能以很短的运距完成很大高差的运输，所用设备少，运输能力大，在各种运输方式中其运营费最省。缺点是建井工程量大，基建时间长，当矿岩粘结性大、含泥或大块粉矿较多时，易于堵塞，含水过多则易“跑溜”，特别是溜槽受气候影响更大。此外，由于矿石溜放过程中互相冲击、挤压，增大了粉矿率，若井壁围岩较弱则溜井易于磨蚀损坏。与斜坡（斜井）运输一样，溜井、溜槽运输一般也不能自成运输系统，通常皆借装载、卸载设施而与平硐、平巷及提升井筒联用。多用于高山型山坡露天矿、地下矿山的上山矿或坑内溜井出矿系统。

7. 管道或渠道运输

矿山管道或渠道运输一般使用水力，故亦称管、渠水力运输。运输通路或为管道，或为渠槽。靠水力或靠地形高差所形成的自然水头（供压或自流）或借水泵（或砂泵）加压，或由两者联合供水，在特殊条件下，尚可采用倒虹管水力运输。此外，管道运输有时亦用压气作为动力。管、渠运输的对象以气相、液相矿物及可转化为固液混合相的松散颗粒物料为主，其中，由管道运输的多为溶（熔）液、精矿与尾矿。砂矿开采中的水力运输则可用渠道运输，其基本特点是利用地形及冲采的同一水流完成运输工作。

管、渠运输的优点是设备简单、运距短、建设快、投资省、连续运输、成本低、占地少；管道运输对地形的适应性强，布置灵活，且无污染。其缺点是耗水耗电多，压力输送时对管道的磨损大，易堵塞，对物料粒度与浓度的要求严格，高寒地区年作业期短，适用条件的局限性较大。因此，多用于水源电力充足的露天砂矿，使用水力充填法开采的地下矿山、水力开采的煤矿、溶浸水溶热熔采矿以及盐湖矿床开采。而且，更广泛地用于选矿厂。此外，管道运输还为外运条件困难的矿山提供一种十分有益的外运手段。

四、矿山运输的发展趋势

现代科技、现代工业全方位的突飞猛进，客观上为矿山新型、大型、高效设备、装备（包括软件）的诞生和应用创造了前所未有的物质条件，矿山运输也不例外。20世纪中叶以来，新型、大型、高效的矿用运输设备和装备不断涌现，并被越来越多的国内外矿山所采用，使矿山运输呈现出一种生机勃勃的发展势头。

在矿山地面生产运输方式方面，由于铁路运输固有的长处和短处，除长途外部运输仍以铁路运输为主外，在新建的露天矿山，汽车运输已取代了铁路运输原有的主导地位，特别是自60年代初期电动轮汽车问世以来，百吨级、200吨级的大型电动轮自卸汽车正受到越来越多的大型矿山的青睐，使用日益广泛；200~300吨级以上的电动轮汽车也正在发展之中。

但是，汽车运输一方面受到其合理运距的限制，另一方面，随着露天矿采深的加大，不但运距加长，而且，重车长途爬坡，运输效率下降，运营费增加，汽车使用寿命缩短，因此，其经济合理采深也受到限制。正是在这种情势下，长运距的大型胶带运输崭露头角并迅速崛起。英国赛比尔矿所用钢绳牵引胶带输送机是目前国外升程、绳径、带速、功率均属最大的胶带输送机，其长度达15km，输送高度达990m，钢绳直径达57mm，带速达7.6m/s，功率为 $4375 \times 2 = 8750\text{kW}$ ；1983年末，澳大利亚西部一台50km长的钢绳牵引胶带输送机系

统投入生产,其中包括世界最长的两台30km与20km的单段输送机,西德的一家煤矿,其钢丝绳芯胶带输送机的运量高达30000 t/h;我国近20年,特别是80年代以来,也有许多矿山(包括煤矿、铁矿、硫铁矿、石灰石矿、磷矿、铜矿等)相继使用了长运距的大型胶带运输机,其中,冀东水泥厂所用的钢丝绳芯胶带运输机长度近4.3km。美国双峰露天铜矿能比较充分地说明,随着采深的增加,汽车运输虽然在技术上仍属可行,但其经济效果却益发不如胶带(见表0-2)。

表 0-2 双峰露天铜矿汽车运输和胶带运输的比较

运输距离 m	汽车运费, 美元		胶带运输运费, 美元		备注
	年运费	每吨运费	年运费	每吨运费	
30.48	1889000	0.0630	2252000	0.0751	汽车运输和胶带运输机 运输的年运量均为3000万 t,其中矿石1000万t、岩 石2000万t;采用载重100 t电动轮自卸汽车;重车 在8%的坡道上上坡运行
60.96	2477000	0.0862	2489000	0.0830	
91.44	3128000	0.1045	2726000	0.0909	
121.92	3846000	0.1282	2963000	0.0988	
152.40	4619000	0.1540	3203000	0.1068	
182.88	5458000	0.1819	3440000	0.1147	

轮斗铲和胶带运输相结合的露天矿连续开采工艺以及单斗铲-破碎机-胶带运输所构成的半连续开采工艺,为露天开采开创了一个全新的局面。胶带运输与胶带排土机互相结合,集岩土的高效运输和高效排弃功能于一身,为露天矿经济合理剥采比比值的增加注入了新的活力。

在地下矿山,由于埋藏深度、作业空间及通风条件的限制,迄今,其运输方式仍然以轨道运输为主,与露天开采相比,发展相对缓慢。不过,自60年代起,无轨运输设备中的铲运机即已开始用于采场至溜井之间的运搬作业,无线电遥控铲运机的使用更为加快采场投产、确保出矿安全创造了有利条件(我国凡口铅锌矿使用直视遥控距离达100m的这种设备就是一例)。地下矿用汽车亦相继兴起,瑞典一些地下开采矿山日产500~50000 t的阶段运输都采用自卸汽车运输,汽车装载量为15~50 t,单程运距达2~3km。20多年来,无轨运输的推广应用大大改变了地下矿山的面貌。地下胶带运输原来已为煤矿所广泛使用,而今,在非煤硬岩矿山也已出现推广的势头。国外的实践经验和研究表明,地下轨道运输、无轨运输及胶带运输的适用条件既与开采深度有关,也与年产规模有关,其范围如图0-1所示。

地下轨道运输向大型化发展,在我国4~10m³(载重10~25 t)的大容量梭式、底卸式、底侧卸式及固定式矿车已在不少大型地下矿山取代了传统的0.5~2m³小型矿车。架线式电机车亦已由过去的1.5~7 t加重至10~20 t,在国外(例如瑞典),其地下电机车的吨位已高达65 t以上。

管道运输用于石油、天然气的长途输送(例如俄罗斯、阿拉伯各国的跨国输气、输油)

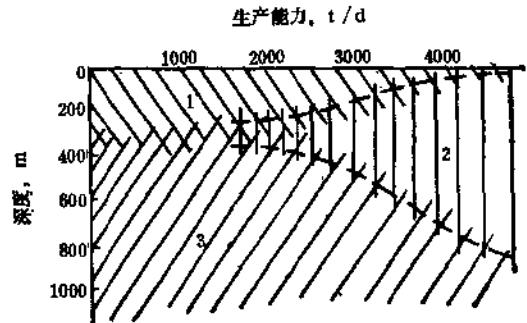


图 0-1 地下矿山运输方式与开采深度及生产能力的关系

- 1—适于斜坡道(地下矿用汽车、铲运机)运输;
2—适于带式输送机运输; 3—适于竖井提升

已属众所周知，我国大庆油田原油的输出除铁路运输外，也使用管道运输。而在开发其它地下资源的矿山，除精矿、尾矿的内部运输使用管道已十分普遍外，原矿矿砂的水力运输在砂矿开采中也带来了十分明显的经济效益。云南锡业公司的黄茅山砂矿使用水运系统的劳动生产率比机运系统提高了2.3倍，成本则降低了28%；至于在原地溶浸、水浸、热熔采矿及盐湖矿床的大规模液相开采中，使用管道运输则更是工艺流程所不可缺少的，在这方面，国内外的实例不胜枚举。此外，某些矿山地势崎岖，外运条件很差，管道运输能适应地形变化、效率高、成本低，因而已成为矿山长距离外运方式中很有竞争力的一种新的选择。

不同运输方式的组合可以互相取长补短，有效克服单一运输方式自身的不足，可以更好地适应矿山客观条件的制约和生产经营的不同需要，因此，各种各样的联合运输也成为当今矿山运输方式发展中的一个令人瞩目的趋势。

然而，各种运输方式只是在条件适合的情况下才有其相对的优越性，而且在一定条件下，各种运输方式亦皆有其自身的长处。可以断言，在今后相当长的一个历史时期中，迄今使用的种种运输方式仍各有用武之地。

电子计算机硬件、软件的不开发，为矿山运输的设计、计划、调度控制及管理提供了全新的优化手段，矿山运输计算机辅助设计系统、露天矿车铲合理配比的计算机随机模拟调度系统、铁路车站集中联锁微机控制系统、平巷无人驾驶电机车自动化运输的计算机控制系统等等层出不穷，所有这些现代化计算技术及其装备在矿山运输中的应用，为矿山运输系统的完善、效率的提高、成本的降低以及作业的安全提供了有力的保证，获得了巨大的经济效益。

第一章 矿山轨道及其联接系统

矿山轨道运输是目前我国地下矿山的主要运输方式。轨道，作为轨道运输的主要设施，其结构的合理与否、铺设质量的好坏，是运输工作能否顺利进行的重要因素。

第一节 轨道的结构、轨距及线路坡度

一、轨道的结构

轨道以道床底部为界，总体上分为上部建筑与下部建筑。上部建筑包括钢轨、轨枕、道床、钢轨联接件等。地面轨道的下部建筑包括路基、桥涵等；井下轨道的下部建筑一般为巷道底板。矿山轨道结构如图1-1所示。

1. 钢轨

钢轨用以直接支托和导引运行车辆的车轮，承受来自车轮的压力，并把压力传给轨枕、道床与路基。车轮对钢轨的作用力，主要是垂直方向的，但由行驶车辆摇摆、转弯所引起的水平方向的作用力，也不可忽视。

为适应上述受力状态，钢轨的断面呈“1”字形，如图1-2所示。这种断面形状，在垂直方向有较强的抗弯能力，在水平方向也具有足够的抗扭能力。

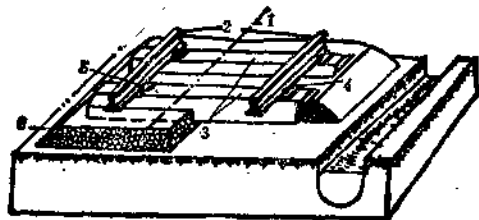


图 1-1 轨道的组成

1—轨道中心线；2—钢轨；3—枕木；4—垫板；5—道钉；6—道砟

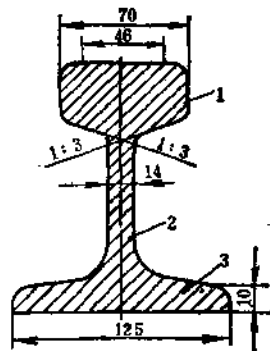


图 1-2 钢轨横断面

1—轨头；2—轨腰；3—轨底

钢轨由轨头、轨腰和轨底组成。轨头直接与车轮接触并承受车轮的压力。轨腰可以使钢轨有足够的高度，以便于钢轨的联接及车轮轮缘的顺利通过。轨底与轨枕有较大的接触面积，保证列车运行的稳定。

钢轨的型号以每米长度的质量 (kg/m) 来表示。钢轨的质量愈大，其强度愈大，稳定性愈好。矿用钢轨有8、11、15、18、24、33、38kg/m等几种型号。大型露天矿山的采场线路及某些矿山的外部运输专用线路也有使用43（甚至50）kg/m的。其规格见表1-1。使用时应依据列车质量、行车频率和运行速度加以选择。列车质量越大、行车频率越高、运行速度越快，应选择较大的轨型。在设计中可参考表2-3选用。

表 1-1 矿用标准钢轨的规格

钢轨型号 kg/m	断面尺寸, mm				断面面积 mm ²	理论质量 kg/m	标准长度 m	
	高	底宽	顶宽	腰厚				
轻轨	8	65	54	25	7	1076	8.42	5~10
	11	80.5	66	32	7	1431	11.20	6~10
	15	91	76	37	7	1880	14.72	6~10
	18	90	80	40	10	2307	18.06	7~12
	24	107	92	51	10.9	3124	24.46	7~12
重轨	38	134	114	68	13	4950	38.733	12.5
	43	140	114	70	14.5	5700	44.653	12.5, 25

2. 轨枕

轨枕的作用是直接承受来自车轮、钢轨的压力, 并将这一压力传到道床上去。轨枕借助于道钉固定钢轨, 并使之保持准确的轨距。轨枕还能依靠自身的弹性缓冲运行车辆的震动。

轨枕的材料有木质、钢筋混凝土和金属三种。

木轨枕一般称为枕木, 是一种传统的轨枕, 至今仍有较广的应用。木质轨枕弹性好, 有很好地缓冲性能, 加工与安装都很方便, 取材广泛, 其中以松、杉为佳, 其它硬杂木也可使用。木枕之缺点为易腐朽, 服务年限短, 木材消耗量大而且可燃, 维修工作量大。木轨枕规格见表1-2。

表 1-2 木轨枕规格

轨 型 kg/m	枕木厚 mm	顶面宽 mm	底面宽 mm	长 度, mm	
				轨距600	轨距762
8	100	100	100	1100	1250
11; 15; 18	120	100	188	1200	1350
24	130	100	210	1200	1350

钢筋混凝土轨枕在矿山已推广使用。这种轨枕与木轨枕比较, 强度大、坚固耐磨、服务年限长、不怕矿井水的腐蚀, 维护工作量小, 维修费低。其缺点是弹性差、重量大、施工难度大。当前, 我国的木材资源人均占有量很低, 用钢筋混凝土轨枕代替木轨枕, 是节约木材的重要措施。钢筋混凝土轨枕规格见表1-3。

表 1-3 钢筋混凝土轨枕 (II型) 主要规格

轨 型 kg/m	轨枕厚 mm	顶面宽 mm	底面宽 mm	长 度, mm		
				轨距600	轨距762	轨距900
11~15	130	120	140	1200	1360	1700
18	130	160	180	1200		
18	150	180	200			
24	145	170	200			1700
38	145	170	200			1700

国外有些矿山使用金属轨枕。国内矿山轨道的个别路段（例如吊桥）也有使用这种轨枕的。此种轨枕多为槽钢所制，强度大，轻巧，但其价格高、易腐蚀。

轨枕间距一般为0.7~0.9m。对列车载重大、行车速度快的线路，轨枕间距相对密集一些。钢轨接头应布置在相邻的两根枕木之间。两根钢轨接头处的轨枕间距应比一般间距小一些，以防钢轨接头处的挠度太大，加剧列车通过接头时的震动。表1-4中A为钢轨接头处的枕木间距，B为一般间距。

表 1-4 枕木间距及数量表

钢轨类型, kg/m	18以下				24			
	8		7		8		7	
钢轨长度, m	8		7		8		7	
枕木间距的代表符号	A	B	A	B	A	B	A	B
枕木间距, mm	560	720	675	750	650	900	690	870
一节钢轨中枕木根数, 根	12		10		10		9	
一公里轨道枕木数量, 根	1500		1430		1250		1287	

3. 道床

道床的作用是承受轨枕传来的载荷，并把它均匀地分配到路基（或巷道的底板）上。由于道床介于轨枕与路基之间，因而可起缓冲作用。道床是由块度较小的碎石构成，它可以调整路基（或巷道底板）的不平，以保证轨面的平直及线路所要求的坡度。轨枕要求埋入道床一定的深度，因此道床又可以起到阻止轨枕纵向、横向移动的作用，以保持整个线路的稳定。

道床的材料必须具有不易风化、不易潮解的性质并具有一定的强度。一般采用碎石（如破碎的石灰石及花岗岩块）。但卵石、炉渣等亦有使用。碎石的粒径以20~40mm为好。

道床的横断面尺寸包括：道床宽度、轨枕下道床厚度、道床总厚度、道床边坡角等。如图1-3所示。

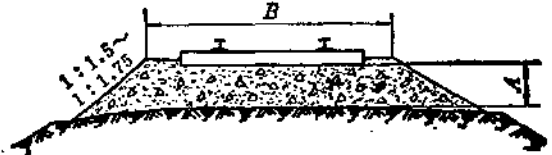


图 1-3 道床横断面
A—道床厚度；B—道床宽度

在水平或 10° 以下巷道中，道床的上部宽度，应超出轨枕长度50~100mm，轨枕下部的道床厚度不得小于100mm，轨枕高度的 $1/2 \sim 1/3$ 必须埋入道床，道床的总厚度不得小于150mm；当巷道倾角为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 时，轨枕需敷设在横向枕沟内，此时轨枕下部的道床厚度不得小于50mm，当巷道倾角大于 25° 时，需要对钢轨与轨枕采取防滑措施，例如采用混凝土浇灌的整体式道床。为保证这类道床的缓冲性，必须相应地采取一定的措施，例如，在轨枕下垫上一厚胶板等。

4. 钢轨联接件

钢轨联接件包括鱼尾板及螺栓、道钉、垫板等。利用这些零件可以联接并固定钢轨。

鱼尾板及螺栓用于钢轨的纵向联接。井下轨道一般采用四孔鱼尾板，如图1-4所示。采用架线式电机车运输时，应在鱼尾板内侧镶一接触钢片，或者在两根钢轨接头处跨焊一段导线，借以改善轨道的导电性能。

道钉用于固接钢轨与轨枕。道钉呈“T”形，其顶部称为钉帽，打入轨枕后，借助钉帽

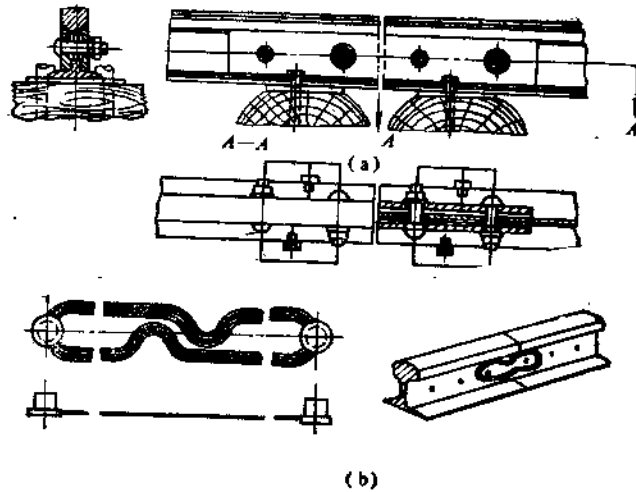


图 1-4 轨道的连接
(a) 在邻近枕木上的连接; (b) 接触片

压紧钢轨。对钢筋混凝土轨枕，道钉可打入预先嵌有木质的砵道钉孔中。

垫板安放在轨枕与钢轨之间，其作用在于增大轨枕的传压面积，加强两者之间的联接强度。垫板上有可供道钉穿过的钉孔。道钉打入后，垫板可将轨道内外侧的道钉连成一体，以增强道钉的固接作用。为发挥好垫板的作用，一般在道岔范围内，曲线路段或钢轨接头处等地方，应敷设垫板。

二、轨距

轨距系指直线轨道上，两根钢轨轨头内缘之间的距离，如图1-5中的 S_z 。同轴的一对车轮其轮缘外侧工作边之间的距离 S_L 称为轮距。一般轮距比轨距小10mm。车轮在轨道上运行时，上述这一空隙，可减少轮缘与钢轨之间的摩擦力，但也不能太大，否则会引起车辆在运行过程中水平方向的摆动，从而影响行车的平稳。

轨距分为标准轨距（简称准轨）、窄轨轨距（简称窄轨）。我国的标准轨距为1435mm。我国地下矿山使用的窄轨轨距有600mm、762mm、900mm三种。矿山地面外部运输，可选用标准轨距，以便于同国家铁道干线接轨。

三、线路坡度

线路坡度指轨道线路纵断面上两点高差与水平距离之比，如图1-6所示。轨道线路的坡

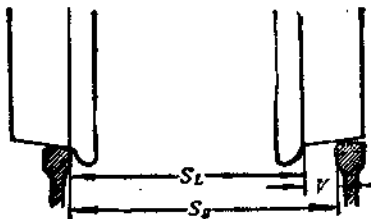


图 1-5 轨距和轮距

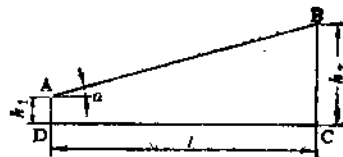


图 1-6 线路坡度值的计算图

度一般以千分数（‰）表示。设已知A点的标高为 h_1 ，B点的标高为 h_2 ，A、B两点的水平距离为 l ，则坡度 i 的计算式为：

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_2 - h_1}{l} \times 1000\% \quad (1-1)$$

式中 α ——线路所在斜面与水平面之间的夹角。

线路坡度是运输线路中的一个重要的结构参数。也是线路设计，运输设备选型等设计工作的一个非常重要的依据。关于轨道的线路坡度将在第二章第二节中介绍。

第二节 弯曲轨道

一、弯道参数的表示方法

弯曲轨道是构成轨道线路的一种重要路段形式。其中离圆心较远的钢轨称为弯道外轨，距圆心较近的称为内轨。在线路平面图上，弯曲轨道（简称弯道）用图1-7中的参数表示其特征，包括曲线中心点O；曲线（或弯道）半径R；曲线段对应的圆心角（也称曲线段转角） α ；曲线弧长L。

曲线弧长可用式（1-2）计算：

$$L = \frac{\pi R \alpha}{180} = 0.01745 R \alpha \quad (1-2)$$

切线长可用式（1-3）计算：

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (1-3)$$

由于车辆在弯曲轨道上运行的力学状态与直线运行状态不同，所以对弯曲轨道有一些特殊的要求。这些要求包括合理选择弯道半径、抬高外轨、加宽轨距等。

二、弯道半径

弯道半径系指轨道中心线的曲率半径，它是线路联接计算中一个重要参数。

车辆在直线轨道上行驶时，车轮轮缘对钢轨一般不会产生冲击作用。当车轮进入弯道后，由于车辆运行的惯性，有使车体沿其纵向中心线方向继续作直线运行的趋势，而弯曲的外轨却迫使它不断改变方向，致使车辆前轴的外轮以 φ 角不断冲击钢轨。 φ 角为车体纵轴方向与相应冲击点切线方向的夹角，如图1-8。 φ 角一般称冲击角或碰撞角。

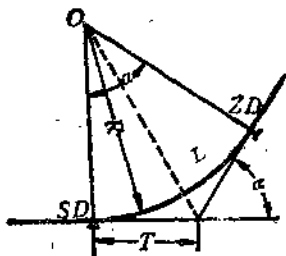


图 1-7 弯道平面图

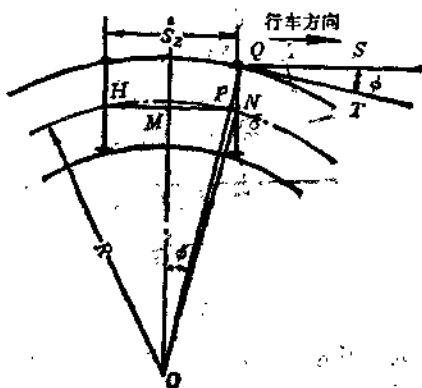


图 1-8 车辆进入弯道后的碰撞角

从图1-8中可以找出冲击角 φ 、轴距 S_2 、弯道半径 R 三者之间的关系。图中直线段 HN 为车辆之轴距（即曲率半径为 R 的圆周上的弦）， Q 点为车辆前轴外轮与弯轨的接触点，联结