

中等专业学校规划教材

井巷工程

(修订版)

林锡章 张万惠 段福民 编

煤炭工业出版社

TD26
L-299

中等专业学校规划教材

井巷工程

(修订版)

林锡章 张万惠 段福民 编

煤炭工业出版社

791564

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书系统介绍岩石的性质与分级、巷道地压、围岩爆破等基础知识,重点介绍平巷设计与施工的基本理论、施工技术和施工组织管理方面的内容。本书是煤矿中等专业学校地下采煤专业井巷工程课程的教材,也可供煤矿干部培训或煤矿工程技术人员参考。

中等专业学校规划教材

井巷工程(修订版)

林锡章 张万惠 段福民 编
责任编辑:张乃新

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm^{1/16} 印张16^{7/8}

字数400千字 印数1—1,415

1994年5月第1版 1994年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-0889-6/TD·824

书号 3654 B 0123 定价 7.75元

791564

绪 论

煤炭是工业的食粮。根据预测,在今后50年或更长的时间内,我国能源将仍是以煤炭为主体的多种能源结构,在一次能源消费结构中,煤炭仍占70%以上。煤炭工业发展的快慢,将直接关系到国计民生,具有重大的战略意义。

建国以来,我国煤炭工业发展迅速,原煤年产量已达到10.8亿t,跃居世界第一位。到本世纪末,为确保工农业生产总产值翻两番战略目标的实现,煤炭年产量应达到12亿t,这就需要加快新井建设和生产矿井的开拓延深工作。

建设新井和生产矿井的开拓延深,都离不开井巷工程。建设一对年产百万吨的矿井,按投产初期计划,必须开凿约15km长的各种巷道;生产矿井每采1万t煤需掘进200m左右巷道。不难看出,提高井巷施工进度,对煤炭产量持续、稳定的提高是至关重要的。

我国煤炭工业的迅速发展,证明了井巷施工技术、装备和管理水平有了显著提高。在立井不稳定表土施工中,成功地应用了冻结法、钻井法、沉井法和注浆法。在立井基岩施工中,先后研制、采用了6臂、9臂伞形钻架, YGZ-70型重型风动凿岩机,斗容0.4~0.6m³的中心回转、环形轨道、靠臂式或长绳悬吊等新型抓岩机,滚筒直径为3~3.5m的提升机,3~4m³吊桶,新Ⅳ、Ⅴ型金属凿井井架,16t、25t、40t的单双滚筒凿井绞车,500~750m扬程吊泵,链球式和座钩式自动翻罐装置,激光指向仪,混凝土喷射机等。这些设备的研制成功和配套使用,使立井施工机械化装备达到新水平。在邯郸万年矿立井井施工中,平均成井月进尺达92.77m。在斜井施工中,形成了以激光指向、光面爆破、锚喷支护、大耙斗装载机装岩、大箕斗提升、矸石仓储料、潜水泵排水等一整套行之有效的施工工艺和装备。从70年代起连创月成井364.5m、504m、605.2m和705.3m的世界纪录,其技术报告在第九届世界采矿大会上,引起了与会各国的高度重视。在平巷施工中,以钻装锚机为主,以凿岩台车、侧卸装载机为主的岩巷掘进机械化作业线正在积极推广。煤巷、半煤岩巷开始向综合机械化迈进,80年代后期,部分断面掘进机已有200台左右,年掘进进尺达200km以上。

支护材料的改革,使万吨坑木耗量从建国初期的250m³以上下降至1985年的71.7m³。锚喷支护已成为主要的支护型式。80年代后,锚喷巷道每年都在1000km左右。

井巷施工技术尽管有了较大的发展,但与国外先进水平相比,尚有一定的差距,如机械化水平仍然较低且不配套,平均月进度不高,掘进工效低等,急需迎头赶上。

《井巷工程》是地下采煤专业的主要专业课之一。学习本课程的目的是使学生初步具有指导巷道施工和编制掘进作业规程的能力,并掌握巷道和交岔点等单位工程的施工图设计。为此,通过本课程的学习,应该掌握:岩石性质与分级;巷道地压和钻眼爆破的理论和技巧;各种类型的支护方法,特别是锚喷支护;岩石平巷的设计和施工技术。同时还应熟悉其它巷道的施工特点,对立井的掘进与延深应有一般性的了解。

《井巷工程》是一门实践性很强的应用课程,学习本课程时,要注意理论联系实际,

要把实习、课堂教学、课程设计三个环节紧密配合，以便使学生较好的掌握其内容。考虑到煤炭中专地下采煤专业的特点，本书内容上作了主次不同的安排，在平巷、斜巷、立井三者中，以平巷设计与施工为主进行系统阐述，主次分明，重点突出。对一些具体的施工方法归纳论述，避免罗列并减少篇幅。

前 言

本书原版自1983年出版以来,基本满足了煤炭中专地下采煤专业井巷工程课程教学的需要。近几年,由于井巷施工的新技术、新材料、新设备、新工艺的出现,同时为适应中专四年制教学的需求,现修订再版。

这次修订的原则是:保持原书的体系,在内容上除旧立新、删繁就简,并符合现行规程、规范、技术政策的要求;原书中与单位有关系的公式、图表和文字说明均按法定计量单位予以改正。

本书第一章、第二章、第四章、第五章、第七章、第九章由段福民编写;第三章、第六章、第八章由张万惠编写;绪论、第十章至第十五章由林锡章编写。初稿完成后,由主编林锡章统稿,并经煤炭中专建井专业教材编审委员会审定,参加审稿的有煤炭工业部教材编审室张乃新、抚顺煤校任宝胜、辽源煤校李春显、徐州煤校杨喜增、大同煤校马志明等同志,在此表示感谢。

由于编者理论水平、实践经验和掌握资料有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1993年4月

目 录

绪 论

第一篇 基础知识

第一章 井巷的概念及分类	1
第二章 岩石的性质与工程分级	3
第一节 概述	3
第二节 岩石的物理性质	4
第三节 岩石的力学性质	6
第四节 岩石的工程分级和围岩分类	9
第三章 巷道地压	12
第一节 原岩应力	12
第二节 巷道地压	14
第四章 钻眼原理与机具	20
第一节 冲击式凿岩	20
第二节 旋转式钻眼	38
第五章 爆破器材与爆破理论基础	45
第一节 炸药与爆炸概论	45
第二节 矿用炸药	53
第三节 起爆器材及电爆网路	58
第四节 爆破理论基础和爆破技术	68

第二篇 巷道设计与施工

第六章 巷道断面与交岔点设计	74
第一节 井下窄轨轨道线路与道岔	74
第二节 巷道断面设计	80
第三节 交岔点设计	98
第七章 岩石平巷掘进	120
第一节 钻眼爆破工作	120
第二节 掘进通风与综合防尘	133
第三节 岩石装运工作	135
第八章 巷道支护	148
第一节 支护材料	148
第二节 棚式支架	163
第三节 石材整体式支架	167
第四节 锚杆支护	169
第五节 喷射混凝土支护	178

第九章 巷道施工组织与管理	189
第一节 巷道施工组织	189
第二节 巷道施工管理	195

第三篇 其他巷道施工

第十章 煤层平巷和半煤岩平巷施工	197
第一节 煤巷施工	197
第二节 半煤岩巷施工	201
第十一章 倾斜巷道施工	203
第一节 自上向下施工法	203
第二节 自下向上施工法	210
第十二章 硐室和交岔点施工	212
第一节 硐室施工	212
第二节 交岔点施工	219
第十三章 复杂地质条件下的巷道施工	224
第一节 巷道穿过松软岩层的施工方法	224
第二节 巷道通过含水岩层的施工方法	227

第四篇 立井普通施工法与井筒延深

第十四章 立井普通施工法	230
第一节 概述	230
第二节 立井井筒施工	236
第十五章 立井井筒延深	253
第一节 利用辅助水平延深井筒	253
第二节 利用梯子间或延深间延深井筒	255
第三节 利用反井延深井筒	256
第四节 井筒延深的保护设施和延深方案的选择	261
参考文献	263

第一篇 基础知识

第一章 井巷的概念及分类

为进行采掘工作,在煤层或岩层内所开凿的一切空洞,统称为井巷。构成巷道顶(底)部的岩石面,叫巷道顶(底)板,两侧的岩石面叫两帮。正在施工的井巷,其末端随掘进工作不断向前移动的岩石面称为工作面。垂直于巷道长轴线的断面称为井巷的横断面。

根据巷道长轴线与水平面所夹的角度不同,巷道可分为水平巷道、倾斜巷道和垂直巷道。这些巷道又依据其用途、是否有提升运输设备、是否有直通地表的出口以及与岩层的相互位置、角度关系而有不同的命名(图1-1)。

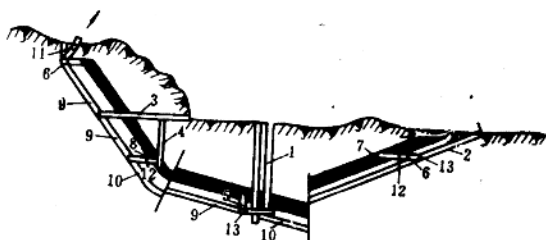


图 1-1 矿山井巷示意图

1—立井；2—斜井；3—平硐；4—暗立井；5—溜井；6—石门；7—煤门；8—煤仓；9—上山；
10—下山；11—风井；12—岩层平巷；13—煤层平巷

一、水平巷道

巷道长轴线与水平面平行的巷道,称为水平巷道。实际上,这类巷道并不是绝对水平的,为了运输、排水之便,都具有一定的坡度(一般为3‰~5‰)。这类巷道有平硐、隧道、石门、平巷等。

1. 平硐:有一个直通地面出口的水平巷道,常用作运输、通风、行人和排水用(图1-1之3)。

2. 隧道:在地层中开凿的两端有直通地面出入口的水平巷道。

3. 石门:没有直接通达地面的出口,在岩层中开凿并与煤层走向垂直或斜交的水平巷道,主要作为运输、通风、排水用(图1-1之6)。穿煤层并与煤层走向垂直或斜交的水平巷道,称为煤门(图1-1之7)。

4. 平巷:指沿岩(煤)层走向开掘且没有直通地面出口的水平巷道。依据其岩性不同可分为岩石平巷、煤层平巷和半煤岩巷(图1-1之12、13)。

二、倾斜巷道

巷道长轴线与水平面成一定倾角相交的巷道称为倾斜巷道。

1. 斜井：有直通地面的出口，一般是从地面沿煤层倾斜方向开掘。其用途是提升煤和矸石、上下人员、下放材料设备、通风、排水等（图1-1之2）。

2. 暗斜井：是没有地面出口的斜巷。其用途与斜井大体相同。

3. 上（下）山：在运输大巷上（下）方，沿煤（岩）开凿，为一个采区服务的倾斜巷道（图11-1之9、10）。按用途和装备可分为输送机上（下）山、轨道上（下）山、通风上（下）山和人行上（下）山等。

三、垂直巷道

巷道长轴线与水平面垂直的巷道称为垂直巷道。

1. 立井：是自地面往下开凿的垂直巷道（图1-1之1）。立井有主井、副井、风井之分。主井主要用于提升煤炭；副井用于提升材料、设备、矸石以及进风、排水、上下人员；风井主要用作通风。

2. 暗立井：是没有直通地面的出口而设有提升设备的垂直巷道。用以将下水平开采的煤炭提升至上水平，也可以运送材料、设备、人员或用来进行通风和排水（图1-1之4）。

3. 溜井：是没有直通地面的出口、井筒内不装置机械设备的垂直巷道，用以将上水平开采的煤炭借自重下放到下一水平（图1-1之5）。

四、硐室

凡断面较大而长度较短的巷道称为硐室，用于安装机电设备、存放材料或作其他用，其名称依据用途而定，如主变电硐室、主排水泵硐室、井下爆炸材料库、翻车机硐室、箕斗装载硐室等。

第二章 岩石的性质与工程分级

井巷施工的基本过程，就是将井巷范围内的岩石从岩体上破碎下来，形成设计所要求的断面形状和尺寸，然后对这些地下空间进行维护，防止围岩垮落而影响使用。为了有效、合理和经济地进行井巷破岩与维护，必须对岩石性质进行深入研究，并在此基础上制订出科学的岩石分级方法，以便为井巷设计、施工和成本计算提供依据。

第一节 概 述

一、岩体的组成

岩体是指地下工程周围较大范围内的岩层。它由一种或几种岩石组成，可能为岩脉或裂隙充填物所侵入，并为弱面（层理、节理、裂隙等）所切割。因此，岩体的强度比岩块（从岩体中切取的岩石小块）强度要低。

从煤矿采掘工程角度看，岩体应包含以下三部分。

（一）岩石

岩石是由一种或几种矿物组成的集合体。通常将覆盖在地壳上部的第四纪沉积物称为松散性岩石或称为表土，如黄土、流沙、砾石等；表土层下面各种固结性岩石，称为基岩，如岩浆岩、沉积岩、变质岩等。

在煤系地层中主要是沉积岩，如页岩、砂岩、石灰岩等，只是在局部地段才有岩浆岩侵入。沉积岩由形状不定、颗粒大小不均匀的矿物和岩石碎屑胶结而成。胶结强度的大小，对岩石的力学性质有明显的影响。沉积岩在结构上具有成层、多孔隙的特点，在性质上反映为非均质性和各向异性，即在不同方向其物理力学性质不同，从而使其变形与破碎规律也较为复杂。

（二）地下水

地下水常充填于岩石的孔隙、层理、裂隙和溶洞中，对井巷施工危害很大。对于松散性的表土，它可以促使其富水或流动，从而使岩体丧失稳定性；在有软弱结构面的岩体中，地下水可能带走充填物或使岩层富水，减小层间摩擦阻力促使岩体滑动；以蒙脱石为主的粘土质页岩或石膏等岩层，遇水则发生膨胀或溶解。因此，在进行岩石分级时，必须考虑地下水的影响。

（三）瓦斯

瓦斯是井下有害气体的总称。在煤系地层中，瓦斯主要是指沼气 CH_4 而言，它产生于煤层而又扩散到附近岩体裂隙或孔洞之中。在采掘过程中，必须采取可靠的技术措施，以确保工作安全。

岩体中由于瓦斯的的存在，常使其受力状态更为复杂。

二、岩体的裂隙性

岩体的物理力学性质，例如岩体的变形、强度和各向异性等，往往取决于岩体本身存在的断裂系统——裂隙性。岩体的裂隙按生成原因，可分为原生（成岩）裂隙、构造裂隙

和次生裂隙三类。原生裂隙是在岩体形成过程中, 由于温度、湿度或物理化学变化所产生的裂隙, 裂隙面通常没有擦痕及位移形迹存在, 多为非开裂式, 即裂隙面内仍有大小不等的粘结力。构造裂隙则是岩体形成后, 在地壳运动过程中, 在岩体内产生的各种裂隙。这种裂隙的特点是: 无论是沿走向或倾向, 方位都稳定, 在成分不同的岩体中仍沿着同一平面发育着, 形成了定向裂隙系统, 如节理面、断层面、劈理面及错动面等。这些裂隙面彼此之间有一定的内在联系, 它是岩体裂隙的主要部分。次生裂隙是由于风化、地下水、卸载以及人工等所作用而形成的裂隙。这种裂隙多为开裂式, 裂隙面不平坦、产状不规则, 多半不连续且延展性小。

由上可知, 岩体总是被这样或那样的裂隙切割成为块体, 这些块体之间处在既相联系而又被分割的状态。因此, 岩体既是断裂的又是连续的, 是断裂与连续的统一体, 可称为裂隙介质或准连续介质。

第二节 岩石的物理性质

岩石的物理性质是指岩石作为物体的基本特征, 以及在其他物质(如气、水等)或物理现象(如声、电、热等)作用下所表现的性质。与地下工程有关的岩石物理性质, 主要有以下几项:

(一) 岩石的相对密度、密度和重度

1. 相对密度(曾称比重)

岩石的相对密度是指岩石固体实体积(不包括孔隙体积)的质量与同体积水的质量的比值。计算公式为

$$d = \frac{G}{V_0 \rho_w} \quad (2-1)$$

式中 d ——岩石的相对密度(无量纲);

G ——绝对干燥时体积为 V_0 的岩石质量, g;

V_0 ——岩石固体实体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度; g/cm^3 。

岩石的相对密度取决于组成岩石的矿物的相对密度。例如石灰岩的相对密度与方解石的相对密度相近; 砂岩的相对密度接近于石英。

2. 密度

岩石单位体积(包括岩石内孔隙体积)的质量, 称为岩石的密度, 亦称质量密度。密度有干密度和湿密度之分, 前者是单位体积岩石绝对干燥后的质量, 后者是天然含水或饱和水状态下的密度。

$$\rho_0 = \frac{G}{V} \quad (2-2)$$

$$\rho = \frac{G_1}{V} \quad (2-3)$$

式中 ρ_0 ——岩石的干密度, kg/m^3 ;

ρ ——岩石的湿密度, kg/m^3 ;

G ——岩石试件烘干后的质量, kg;

G_1 ——岩石试件的质量（天然含水或饱水），kg；

V ——岩石试件的体积， m^3 。

岩石密度取决于岩石的矿物成分、孔隙及含水量。并与埋藏深度有关。

3. 重度（曾称容重）

单位体积岩石质量所受的重力称为岩石的重度，又称重力密度。

$$\gamma = \rho g \quad (2-4)$$

式中 γ ——岩石的重度， N/m^3 ；

ρ ——岩石密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， $9.81m/s^2$ 。

由于试件含水量不同，岩石的重度也有干重度、湿重度之分。

（二）岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石的裂隙和孔隙发育程度，它通常用空隙度 n 和孔隙比 e 来表示。空隙度是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和对于试件总体积 V 之比（常以百分数表示）；空隙比是岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和对于试件内固体矿物颗粒体积 V_0 之比。岩石的空隙度和空隙比通常是根椐岩石的相对密度 d 和干密度 ρ_c 计算求得。

$$\begin{aligned} n &= \frac{V - V_0}{V} = 1 - \frac{V_0}{V} = 1 - \frac{V_0}{G} \cdot \frac{G}{V} = 1 - \frac{\rho_c}{d\rho_w} \\ &= \left(1 - \frac{\rho_c}{d\rho_w}\right) \times 100\% \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$e = \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{V}{V_0} - 1 = \frac{d\rho_w}{\rho_c} - 1 \quad (2-6)$$

岩石的空隙度与空隙比对岩石的其它性质有显著的影响。随着岩石空隙度的增大，一方面削弱了岩石的整体性，使得岩石的密度和强度随之降低，透水性增大；另一方面由于孔隙的存在，又会加快风化速度，从而进一步增大透水性和降低力学性质。

（三）岩石的吸水率

岩石吸水率 W 是指岩石试件在标准大气压力（0.1MPa）下吸入水的质量 Q_1 与试件烘干质量 G 之比值，常以百分数表示。

$$W = \frac{Q_1}{G} \times 100\% \quad (2-7)$$

岩石吸水率的大小，取决于岩石所含孔隙、裂隙的数量、大小、开闭程度及其分布情况，并且与试验条件有关。试验表明，整体岩石试件的吸水率要比同一岩石的碎块试样吸水率小，随着浸水时间的增加，吸水率也会有所增大。吸水率对岩石力学性质有影响。

表2-1为某些岩石的相对密度、密度、重度、孔隙度、吸水率及碎胀系数数值。

（四）岩石的碎胀性

岩石破碎后因碎块间空隙增多而总体积增大的性质称为碎胀性。碎胀程度的大小可用碎胀系数 K 来表示。 K 是指岩石破碎后的总体积 V_1 与原岩破碎前体积 V 之比。

$$K = \frac{V_1}{V} \quad (2-8)$$

表 2-1 某些岩石的相对密度、密度、重度、孔隙度、吸水率及碎胀系数

岩石名称	相对密度	密度, g/cm ³	重度, kN/m ³	孔隙度, %	吸水率, %	碎胀系数
砂 岩	2.60~2.75	2.20~2.71	21.6~26.6	3~30	0.20~12.19	1.7~2.0
页 岩	2.57~2.77	2.30~2.62	22.5~25.7	10~35	1.80~3.10	1.2~1.7
石 灰 岩	2.48~2.85	2.30~2.77	22.5~27.1	5~20	0.10~4.45	2.0~2.5

表2-1中列出几种常见岩石的碎胀系数。通常岩石愈坚硬,碎胀系数愈大。但它不是一个常数,它不仅与岩石本身的性质有关,而且与破岩方式、破碎后岩块的形状和大小、以及堆放时间等有关。在井巷掘进中选用装载、运输、提升设备时,必须考虑岩石的碎胀系数。

(五) 岩石的非均质性与各向异性

岩石具有非均质性与各向异性的原因,是由于受到岩石结构与构造的影响。岩石的结构是指岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小、形状和颗粒之间的联结方式。岩石结构不同,其性质也各异。当矿物成分一定,呈现细晶、隐晶结构时,岩块强度往往较高。粒状矿物较层状矿物不易形成定向排列,因此在其它条件相同时,含片状矿物较多的岩块,往往呈现较强的各向异性,含粒状矿物较多的岩块,则常呈各向同性。沉积岩还与胶结物的性质有很大关系。硅质胶结的强度最大,铁质、铝质、泥质及泥灰质胶结的强度相继次之。岩石构造说明岩石宏观的组织特征。岩浆岩的流纹构造、沉积岩的层理构造和变质岩的片理构造,都可使岩块在力学性质上呈现显著的各向异性。

第三节 岩石的力学性质

岩石在外力作用下变形,以致破碎的特征为岩石力学性质。

一、岩石的变形特征

岩石在外荷载作用下,因应力增加而发生相应的应变。当荷载增大到破坏值,或超过某一数值而保持恒定,随着时间的推移,这两种情况均会导致岩石破坏。变形和破坏是岩石在荷载作用下的两个发展阶段。变形中包含着破坏因素,而破坏是变形发展所致。

(一) 静荷载作用下岩石的变形特征

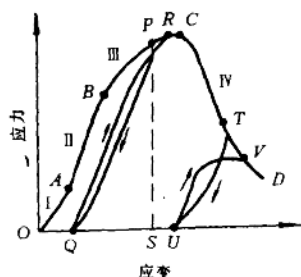


图 2-1 岩石受单向压缩时应力应变曲线

岩石在静荷载单向压缩时,应力与应变的关系如图2-1所示。

I—OA段,曲线的斜率逐渐增大,这是岩石中原有的裂隙受压后逐渐闭合所致。此段称为裂隙压密闭合阶段。

II—AB段,曲线近似直线,曲线的斜率近似常数,此段称为弹性阶段。

III—BC段,曲线的斜率逐渐减小,此段内局部破损逐渐增大而导致岩石达到强度极限C,称为破裂发展阶段。如为普通试验机,则到C值后,由于加载系统储存弹性能量的释放而很快使岩块破坏,若为

刚性试验机, 由于加载系统储存的弹性能量大大减少和试验机及时减小荷载, 则可以观察到Ⅳ阶段。

Ⅳ— CD 段, 应力随应变而下降, 在这个阶段内, 岩石仍保持整体继续抵抗荷载, 岩石破裂仍继续发展, 直到 D 点才最终破裂。 CD 曲线的存在, 说明岩石在达到强度极限以后, 仍然存在着承载能力。这符合部分矿山工程的实际情况, 如巷道围岩多数是平稳地破裂, 破裂后仍然具有一定的强度。因此, 在岩体已经开裂破坏而尚未垮落的情况下, 如能采取措施制止或缓和岩体变形, 则岩体破坏就会停止发展, 而仍然保持相当大的承载能力。锚喷支护就是制止岩体变形十分有效的措施。

OB 段为弹性变形阶段, B 点为弹性极限, BC 段为弹塑性变形阶段, C 点为极限抗压强度。

在 BC 段内任一点 P 卸载时, 曲线按 PQ 变化; 重新加载, 曲线按 QR 变化; PQR 称为塑性滞环。 QS 为弹性变形, 卸载时可恢复, OQ 为塑性变形, 卸载时不能恢复。

在 CD 内任一点卸载时, 曲线按 TU 变化, 重新加载时, 曲线按 UV 变化。

岩石受载后变形很小就破裂的性质称为脆性。永久变形或全变形小于3%者为脆性破坏。具有这种特性的岩石称为脆性岩石。永久变形大于5%者为塑性破坏。具有这种特征的岩石称为塑性岩石。永久变形或全变形为3%~5%时是过渡状态。

岩石的弹性、塑性不是绝对的, 可随受力状态、加载速度、温度等条件而变化。例如, 多数岩石在单向或三向低压力应力状态下表现出脆性, 但在三向高压应力状态下, 脆性岩石在破坏前却表现出很大的塑性; 在静荷载作用下产生塑性变形的岩石, 在冲击荷载作用下脆性显著增长; 在常温下表现为脆性的岩石, 在高温下塑性显著提高。

在岩石的弹性变形与塑性变形过程中, 要消耗能量, 这对冲击凿岩和爆破不利。如果凿岩冲击功大, 弹性大的岩石会使钎杆在孔底跳动而影响钻进速度。爆破时, 由于变形所耗能量较小, 对局部应力敏感, 易于冲击破碎; 脆性大也易于爆破碎岩, 宜选用高猛度炸药。塑性显著的岩石, 虽不利于冲击凿岩, 但对剪切应力抵抗能力差, 宜使用旋转式钻眼法破岩, 宜选用低猛度、静力作用大的炸药。

(二) 动荷载下岩石变形特性

在井巷施工中, 无论是冲击式凿岩机破岩或是爆破岩石, 岩石受的外力不是静荷载, 而是一种冲击荷载。这种荷载不是一个常数, 而是时间的函数。图2-2所示是凿岩机活塞冲击钎尾时, 作用力随时间变化的实测曲线。由图看出, 作用力在数十微秒内由零骤增到数万牛顿, 再经数百微秒又重新下降到零。

岩石在这种急剧变化的荷载作用下, 既产生运动, 又产生变形。凭肉眼是观察不出来的, 可用图2-3示意说明, 当冲击荷载 P 施于岩石的端面时, 其质点便失去原来的平衡而发生变形和位移, 而形成扰动。一个质点的扰动必将引起相邻质点的扰动。这样一个传一个地使质点的扰动连锁反应并由冲击端面向另一端传播下去, 这种扰动的传播叫做波。在此同时, 变形将引起质点之间的应力和应变, 这种应力与应变的变化传播叫做应力波或应变波。图中 Δl 为质点扰动位移, C_p 为质点扰动的传播速度(波速), Δt 为质点扰动的传播时间, 则 Δt 时间内变形范围为 $C_p \Delta t$ 。此时, 岩石试件中只有 $C_p \Delta t$ 段的变形, 其它部分仍处于原来的静止状态。因此, 在动荷载作用的变形不是整体一致的, 变形和速度都有一个传播过程。所以岩石的动荷载变形特征同静荷载变形特征有本质区别。

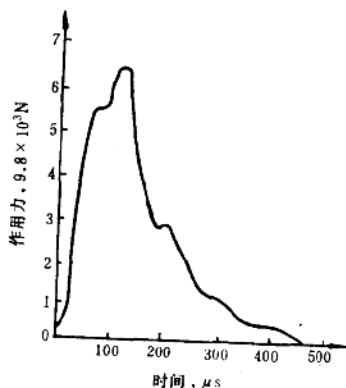


图 2-2 作用力-时间曲线

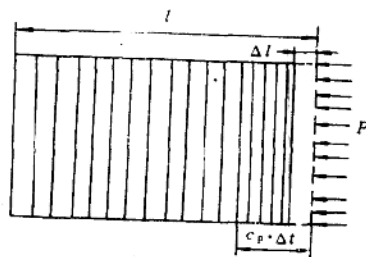


图 2-3 由冲击端面产生的变形

(三) 岩石的蠕变

岩石的蠕变性是指在恒定荷载作用下, 岩石变形随时间 t 而增长的特性(图2-4)。在开始加载时有一个瞬时的弹性应变 $\epsilon_e = \sigma/E$, 这一段所用时间极短, 可认为与时间无关。在A和B之间, 蠕变不断增加, 但蠕变速度逐渐减慢, 称为第一阶段蠕变或过渡蠕变。在B和C之间, 蠕变以恒定速率增长, 称为第二阶段蠕变或定常蠕变。在C点以后, 蠕变加速增长, 称为第三阶段蠕变或加速蠕变。达到某一数值D时岩石便破坏。立井井筒在马头门上10~15m处经常开

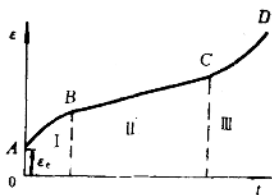


图 2-4 岩石的蠕变曲线

裂, 多是蠕变的结果。为防止其开裂, 我国常在马头门上一定距离砌筑壁座或砌筑一圈经过防腐处理的木砖。

二、岩石的强度特性

(一) 岩石在不同受力性质和状态下的强度特征

在外荷载作用下, 岩石抵抗破坏的能力称为岩石强度。岩石在静荷载作用下的强度和动荷载作用下的强度是不同的。

静荷载下岩石的强度测定方法, 是将岩石试件做成规定的形状和尺寸, 在材料试验机或三轴压力试验机上进行拉、压、剪、弯等强度试验, 或者利用点荷仪进行点荷试验。试验结果表明, 岩石的静荷载强度的主要性质是: 在大多数情况下, 岩石表现为脆性破坏, 同一种岩石的强度也并非常数。影响岩石强度的因素很多, 例如岩石的组成成分、颗粒大小、胶结情况、生成条件、层理构造、孔隙度、温度、湿度、风化程度、受力状态和时间等。在不同受力状态下, 岩石的各种强度极限不同, 并且相差悬殊。但一般符合下列规律: 从荷载性质看, 单向抗压强度>单向抗剪强度>单向抗弯强度>单向抗拉强度; 从应力状态看, 三向抗压强度>双向抗压强度>单向抗压强度。

岩石在承受静荷载达到极限前, 当外荷载卸除后, 岩石立即恢复到原来的静止状态。而在动荷载作用下, 虽然外荷载已解除, 但岩石的质点由运动恢复到静止状态还需要一个

表 2-2 几种岩石的动、静荷载强度值

岩石名称	抗压强度, MPa		抗拉强度, MPa		加载速度, MPa/s	荷载持续时间, ms
	静 态	动 态	静 态	动 态		
大理石	90~110	120~200	5~9	20~40	$10^7 \sim 10^8$	10~30
和泉砂岩	100~140	120~200	8~9	50~70	$10^7 \sim 10^8$	20~30
多湖砂岩	15~25	20~50	2~3	10~20	$10^6 \sim 10^7$	50~100
石英-闪长岩	240~330	300~400	11~19	20~30	$10^7 \sim 10^8$	30~60

持续过程。所以,岩石的动荷载强度不同于静荷载强度。岩石在动荷载作用下,其强度的增加与加速度有关。岩石在冲击荷载作用下,无论是抗压强度还是抗拉强度都比静荷载作用下大。

表2-2中列出了几种岩石的动、静荷载强度值。

(二) 岩石的可钻性与可爆性

可钻性与可爆性是表示钻眼或爆破岩石的难易程度,它是岩石物理力学性质在钻眼或爆破的具体条件下的综合反映。

岩石的可钻性与可爆性,常用工艺性指标来表示。例如,可以用钻速、钻每米炮眼所需要的时间、钻头的进尺(钎头在变钝以前的进尺数)、钻每米炮眼磨钝的钎头数、或破碎单位体积岩石消耗的能量等来表示岩石的可钻性。测定岩石的可钻性可采用东北工学院设计的岩石凿测器进行测定。岩石的可爆性,则采用爆破单位体积岩石所消耗的炸药、爆破单位体积岩石所需的炮眼长度、或单位重量炸药的爆破量、每米炮眼的爆破量等来表示岩石的可爆性。上述工艺性指标,必须在相同条件下(除岩石条件外)来测定,这样才能进行比较。

第四节 岩石的工程分级和围岩分类

从地质学的角度,按照各种岩石的不同成因和成分,对其加以质的区分,命名为岩浆岩、沉积岩、变质岩或石英岩、花岗岩、石灰岩、页岩等是需要的,但从工程的角度来看是不够的,还必须对岩石进行定量的区分,以便正确地进行工程设计,合理地选用施工方法、施工设备、机具与器材。此外还要据此进行各项技术计算和制定生产定额。

为了提高破岩效率,合理选择钻眼爆破参数,对小范围内的岩石加以量的区分,常采用“岩石分级”概念;而为了井巷稳定性并为合理选择支护类型,对较大范围的岩石加以量的区分,习惯用“围岩分类”概念。

一、岩石分级

解放后,我国矿山开始使用按岩石坚固性进行分级的方法,即普氏分级法,至今仍然使用。

苏联M.M.普洛托吉雅可诺夫于1926年提出用“坚固性”这一概念作为岩石分级的依据。坚固性不同于强度,它表示岩石在各种采矿作业(锹、镐、钻机、炸药爆破……)以及地压等外力作用下被破坏的难易程度。普氏认为,岩石的坚固性在各方面的表现是趋于一致的,难破碎的岩石用各种方法都难于破碎,容易破碎的岩石用各种方法都易于破碎。因