

新编全国煤炭高等职业教育规划教材

Jinghang Gongcheng

井巷工程

主编
杨相海

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

新编全国煤炭高等职业教育规划教材

井巷工程

主 编	杨相海		
副主编	芦广银	鲍永林	郭廷基
	曾正良	李永明	
参 编	王继聪	单忠刚	钟 帅
	吴 强	鄧荣伟	

中国矿业大学出版社

井巷工程教材编审委员会

陕西能源职业技术学院
新疆工业高等专科学校
兰州资源环境职业技术学院
郑州工业安全职业学院
山西工业职业技术学院
甘肃煤炭工业学校
安徽能源技术学校
云南能源职业技术学院
七台河职业学院
徐州能源工业学校
山西煤炭职业技术学院

杨相海
鲍永林
钟 帅
芦广银
李永明
郭廷基
王继聪
曾正良
单忠刚
吴 强
郅荣伟

前 言

随着国民经济建设的高速发展、煤炭科学技术的不断进步,煤炭工业作为我国重要能源基础工业的地位得到了进一步提升。煤炭工业的发展不仅影响电力、冶金、化工、建材等行业的发展,而且影响着整个国民经济的发展。因此,作为为煤炭行业培养生产、建设、管理和
服务第一线的高等技术应用型人才的煤炭高等职业教育,其任务十分艰巨。为了解决目前煤炭高等职业教育教材短缺问题、满足各学校教学急需,我们编写了本套教材。

本教材的编写原则是:在内容上除旧立新、删繁就简,并符合现行规程、规范和技术政策要求;注重应用性技术内容,体现井巷施工的新技术、新工艺、新材料和新设备。

本教材的编写大纲首先由陕西能源职业技术学院提出,然后由陕西能源职业技术学院、新疆工业高等专科学校、兰州资源环境职业技术学院、郑州工业安全职业学院、山西工业职业技术学院、甘肃煤炭工业学校、安徽能源技术学校、云南能源职业技术学院、七台河职业学院、徐州能源工业学校、山西煤炭职业技术学院等组成的教材编审委员会认真讨论并修改,而后进行分工编写。

本书由杨相海任主编。具体编写分工如下:第一章、第十三章由鲍永林编写;第二章由钟帅编写;第三章、第四章由芦广银编写;第五章由单忠刚编写;第六章、第十二章由曾正良编写;第七章、第八章由李永明编写;第九章由郭廷基编写;第十章、第十一章由杨相海编写;第十四章由芦广银、王继聪编写;第十五章由吴强、邳荣伟编写。初稿完成后,杨相海对各章节进行认真修改、统稿、定稿。

在本书编写过程中,得到了中国矿业大学、陕西能源职业技术学院和其他编者所在单位的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者理论水平、实践经验和掌握资料所限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。编者的电子邮件地址是:yangxianghai1965@163.com,hnnygy@126.com。

编 者
2008 年 1 月

目 录

绪论	1
----	---

第一编 基础知识

第一章 井巷的概念及分类	5
复习思考题	5
第二章 岩石的性质及其工程分级	7
第一节 概述	7
第二节 岩石的物理性质	8
第三节 岩石的力学性质	12
第四节 岩石的工程分级和围岩的分类	17
复习思考题	20
第三章 井巷矿压	22
第一节 矿压概念	22
第二节 围岩的变形及应力分布	23
第三节 围岩压力及其影响因素	29
复习思考题	32
第四章 钻眼机具	33
第一节 冲击式凿岩机具	33
第二节 旋转式钻眼机具	42
复习思考题	44
第五章 爆破器材与爆破原理	45
第一节 概述	45
第二节 矿用炸药	52
第三节 起爆材料和电爆网络	56
第四节 爆破理论基础	62
第五节 安全爆破	67

复习思考题	74
-------------	----

第二编 岩石平巷的设计与施工

第六章 巷道断面和交岔点设计	77
第一节 巷道断面设计	77
第二节 交岔点设计与施工	98
复习思考题	109
实训题	110
第七章 巷道掘进	111
第一节 钻眼爆破	111
第二节 掘进通风与综合防尘	121
第三节 岩石装运	125
第四节 岩巷掘进机	131
复习思考题	133
第八章 巷道支护	134
第一节 支护材料	134
第二节 普通支架	137
第三节 锚喷支护	140
复习思考题	147
第九章 巷道施工组织与管理	148
第一节 工作组织	148
第二节 施工管理	155
复习思考题	156

第三编 其他巷道施工

第十章 煤层平巷和半煤岩平巷施工	159
第一节 煤巷施工及配套设备	159
第二节 半煤岩巷施工	169
第三节 综采和综放工作面全煤切眼锚网支护设计和施工	170
复习思考题	174
第十一章 硐室及交岔点施工	175
第一节 硐室施工方法	175
第二节 交岔点施工	178

复习思考题	185
第十二章 特殊条件下的巷道施工	186
第一节 倾斜巷道施工	186
第二节 巷道通过松软破碎带的施工方法	196
第三节 巷道通过含水层的施工方法	198
第四节 揭开煤与瓦斯突出煤层的施工方法	201
第五节 弯道施工	208
复习思考题	211
第十三章 巷道维护与维修	212
第一节 巷道损坏分析与巷道维护原理	212
第二节 巷道维护与修复支护技术	218
第三节 巷道底鼓的防治	226
第四节 巷道修复的安全措施	228
复习思考题	229
第四编 立井施工	
第十四章 立井施工	233
第一节 概述	233
第二节 立井表土施工	234
第三节 立井基岩施工	237
复习思考题	246
第十五章 立井井筒延深	247
第一节 利用辅助水平延深井筒	247
第二节 利用梯子间或延深间延深井筒	250
第三节 利用反井延深井筒	253
第四节 井筒延深的保护措施和延深方案的选择	259
复习思考题	261
参考文献	262

绪 论

煤炭是工业的食粮。据预测,在今后 50 年或更长的时间内,我国能源仍将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 75% 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。

2004 年以来,我国煤炭工业发展迅速,原煤年产量已达到 20 多亿 t,跃居世界第一位。为确保工农业生产总产值战略目标的实现,需要加快新矿井的建设和生产矿井的开拓延深,以提高煤炭产量。

新矿井的建设和生产矿井的开拓延深,都离不开井巷工程。提高井巷施工速度,对煤炭产量持续、稳定地提高是至关重要的。

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。支护材料的改革,锚喷、锚网及锚索网喷新型支护已成为主要的支护型式。

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,尚有较大的差距,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一门实践性很强的专业课程。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,以便使学生较好地掌握其内容。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术,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,还应熟悉其他巷道的施工特点,对立井的掘进与延深也应有一般性的了解。

第一编

基础知识

第一章 井巷的概念及分类

为了勘探、开拓及开采矿床,或为达到其他开采技术的目的,如为了满足提升、运输、通风、排水、动力供应等,在有用矿物矿床或岩石中进行开凿工作时所形成的孔洞叫做矿山巷道。

矿山巷道是由几个岩面所围成的空间。其中两侧的面叫做墙帮或两帮,上面的叫做顶板,下面的叫做底板。而随着掘进工作向前推进的面叫做掘进工作面。

每条巷道均有中心线,沿着它可以测量巷道的长度或距离。垂直巷道中心线的切面叫做横断面。巷道通到地面的一端叫做巷道出口。

巷道按照其用途和服务范围的不同可分为:勘探巷道、开拓巷道、准备巷道及回采巷道。为勘查矿床赋存状态而开掘的巷道称为勘探巷道。

为全矿井、一个水平或若干采区服务的巷道,如井筒、井底车场、主要石门、运输大巷和回风大巷(或总回风巷)称为开拓巷道。

为了一个采区或数个区段服务的巷道,如采区上下山、采区车场、采区硐室称为准备巷道。

仅为采煤工作面生产服务的巷道,如区段运输平巷、区段回风平巷、开切眼(形成初始采场的巷道)叫做回采巷道。

巷道又可根据其空间形态的不同而分为:水平巷道、倾斜巷道和垂直巷道。

水平巷道——巷道的长轴线与水平面近似平行,如平硐、平巷、石门等。

倾斜巷道——巷道的长轴线与水平面有一定夹角的巷道,如斜井、上山、下山、斜巷等。

直立巷道——巷道的长轴线与水平面垂直,如立井、暗立井等。

硐室——空间三个轴线长度相差不大且又不直通地面的地下巷道,如绞车房、变电所、煤仓等。

常见的矿井巷道的布置如图 1-1 所示(见下页)。

复习思考题

1. 何谓开拓巷道和采准巷道?
2. 水平巷道与硐室的区别是什么?

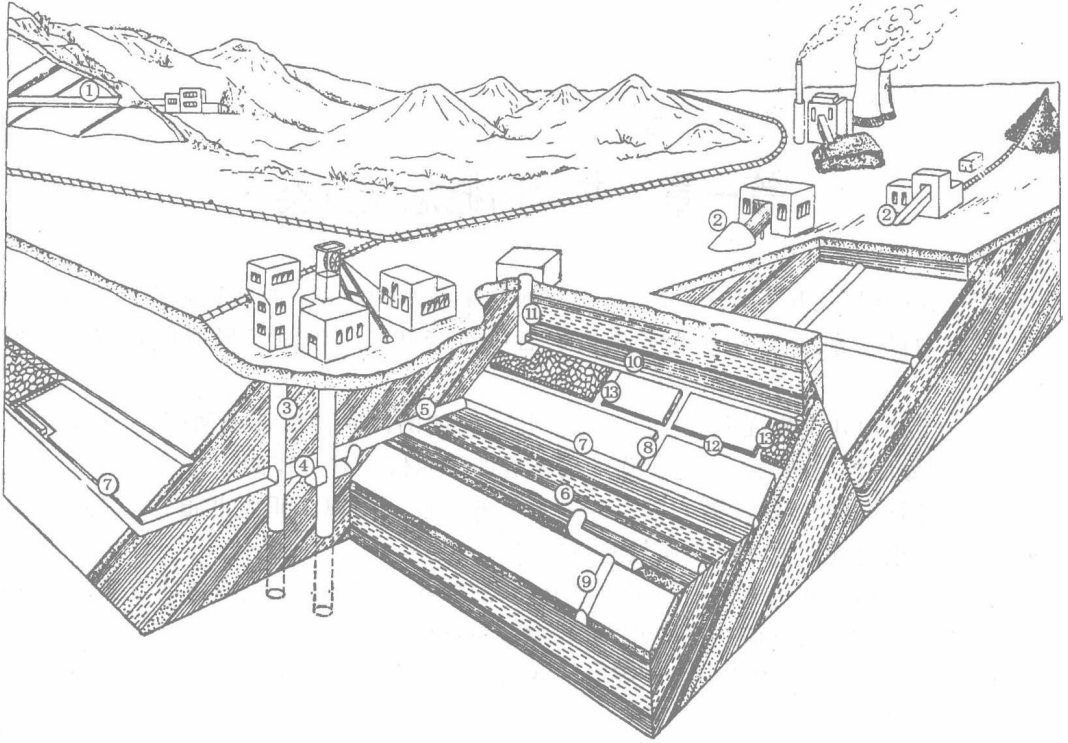


图 1-1 矿井巷道布置示意图

- ①——平硐；②——斜井；③——立井；④——井底车场；⑤——石门；⑥——主要运输大巷；⑦——煤层大巷；
⑧——上山；⑨——下山；⑩——区段回风巷；⑪——风井；⑫——区段运输巷；⑬——采煤工作面

第二章 岩石的性质及其工程分级

井巷施工最基本的过程,就是把一部分岩石从岩体上破碎下来,形成设计所要求的井筒、巷道及硐室等,接着对这些地下井巷进行必要的维护,防止围岩继续破碎或垮落。因此,破碎岩石与防止岩石破碎就成为井巷工程的主要问题。为了有效、合理地进行破岩和维护井巷,必须对岩石和岩体的物理力学性质有所了解,并在此基础上制定出科学的岩石工程分级方法,以便为井巷设计、施工和成本计算提供依据。

第一节 概 述

岩石是由一种或多种矿物组成的集合体,是各种地质作用的产物,是构成地壳的物质基础。

每种矿物都具有一定的内部结构和比较固定的化学成分,因而也各具一定的物理性质和形态。岩石的性质与其矿物组成有关。一般而言,岩块中含硬度大的粒状和柱状矿物如石英、长石、角闪石、辉石和橄榄石等越多,岩块的强度就越高;含硬度小的片状矿物如云母、绿泥石、滑石、蒙脱石及高岭石等越多,岩块的强度就越低。

研究岩石性质时,常用岩石、岩块和岩体这三个术语。一般认为:岩块是指从地壳岩层中切出来的小块体;岩体是指地下工程周围较大范围的岩石(自然地质体);岩石则是不分岩块和岩体的泛称。

由于各种地质作用,岩体中往往有明显的地质遗迹,如层理、节理、断层和裂隙面等。这些地质界面与所研究岩体的岩块相比,具有强度低、易变形的特点,称为弱面。岩体被这些弱面切割成既连续又不连续的裂隙体。由于弱面的存在,岩体强度通常小于岩块强度。

在研究岩石的力学性质时,必须注意到岩块的非均质性、各向异性和不连续等问题。由于岩块是不包含有显著弱面的岩石块体,相对于岩体而言,可以把岩块近似地视为均质、各向同性的连续介质来处理,而岩体则不能。除了少数岩体外,一般岩体均属于非均质、各向异性的不连续介质。

从煤矿采掘角度来看,岩体包括以下三部分:岩石、地下水及瓦斯。

瓦斯及地下水是煤矿主要危险源,已有不少瓦斯爆炸及突水造成人员伤亡和财产损失的惨重教训。所以,必须研究、掌握瓦斯爆炸及突水发生的规律,杜绝此类事故的发生。

建井工作者常把覆盖在地壳上部的第四纪沉积物如黄土、黏土、流沙、淤泥、砾石等统称为表土;表土以下的固结性岩石统称为基岩。在煤系地层中最常遇到的是各种沉积岩,如石灰岩、砂岩、砂质页岩、页岩等,只有局部地段才有岩浆岩侵入。

第二节 岩石的物理性质

岩石的基本性质是岩石内部组成矿物成分、结构与构造的综合反映,研究岩石的基本性质对研究工程体的稳定性具有重要意义,其研究内容包括岩石的物理性质和力学性质。其中,物理性质是自然状态下所表现出的特征,而力学性质则是在外力作用下所表现出的特征,不同的岩石,其物理力学性质是不同的,即使是同一种岩石,由于其形成过程及赋存环境等多种外界因素的不同,其所表现出的性质也有差异。

岩石的物理性质是其内部矿物基本性质、结构与构造的综合反映,主要包括以下几方面的内容。

一、岩石的结构与构造

1. 岩石的结构

岩石的结构是指岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小和形状以及彼此间的组合方式。它主要取决于成岩的环境,在同一大类岩石中,由于他们生成的环境不同,就产生了各种不同的结构。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,岩块强度往往比较高。粒状矿物较片状矿物不易形成定向排列。所以当其他条件相同时,含片状矿物较多的岩石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。沉积岩如砾岩和砂岩的力学性质,除了和砾石与砂粒的矿物成分有关以外,还与胶结物的性质有很大的关系。硅质胶结的强度最大,铁质、钙质、泥质和泥灰质胶结的强度依次递减。

对于煤矿中常见的沉积岩来说,根据岩石结构可分为以下几种:

- ① 砾状结构——粒径大于 2 mm 的岩石碎屑胶结而成的碎屑结构类型,如砾岩。
- ② 砂质结构——粒径在 2~0.05 mm 之间的碎屑结构类型,如砂岩。
- ③ 粉砂质结构——粒径在 0.05~0.005 mm 之间的碎屑结构类型,如粉砂岩。
- ④ 泥质结构——粒径小于 0.005 mm 的碎屑结构类型,如泥岩、黏土岩。

2. 岩石的构造

岩石的构造是指岩石中矿物颗粒的集合体之间,以及它与其他组成部分之间的排列方式和充填方式。岩石的构造则说明岩石的宏观组织特征。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,均可使岩石在力学性质上呈现出显著的各向异性。常见岩石的构造,有下列三种:

- ① 整体构造——岩石的颗粒互相严密地紧贴在一起,没有固定的排列方式。
- ② 多孔状构造——岩石的颗粒彼此相接并不严密,颗粒之间有许多小孔隙(微孔)。
- ③ 层状构造——岩石的颗粒相互交替,表现出层次叠置现象(层理)。

二、岩石的相对密度和密度

岩石由固体、水、空气三相组成,具有相对密度、密度和重度等指标。

1. 相对密度

岩石的相对密度,是指岩石固体实体体积的质量与同体积水的质量的比值。所谓岩石固体实体体积,是指不包括孔隙体积在内的实在体积。其计算公式为:

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

式中 d ——岩石相对密度；

G ——绝对干燥时体积为 V_c 的岩石的质量, g；

V_c ——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矿物的密度。一般而言, 如果岩石的矿物成分确定以后, 岩石的相对密度就可以粗略地进行估计。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的相对密度。

2. 密度

岩石单位体积(包括岩石内孔隙体积在内)的质量, 称为岩石的密度。岩石的密度又可分为干密度和湿密度两种。干密度是指岩石在绝对干燥时的密度; 湿密度是指岩石在天然含水或饱水状态下的密度:

$$\rho_c = \frac{G}{V_c} \quad (2-2)$$

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

式中 ρ_c ——岩石的干密度, g/cm^3 ；

ρ ——岩石的湿密度, g/cm^3 ；

G ——岩石试件烘干后的质量, g；

G_1 ——岩石试件的质量(天然含水或饱水), g；

V_c ——岩石固体实体积, cm^3 ；

V ——岩石试件的体积, m^3 。

在一般情况下, 岩石干、湿密度差别并不大, 但对于某些黏土类岩石, 区分干、湿密度却具有重要的意义。岩石密度取决于岩石的矿物成分、孔隙度和含水量。当其他条件相同时, 岩石的密度在一定程度上与埋藏深度有关, 靠近地表的岩石密度往往较小, 而深部的致密岩石一般具有较大的密度。

3. 重度

单位体积岩石所受的重力称为重度, 又称为重力密度, 用 γ 表示。

三、岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石的裂隙和孔隙发育的程度, 它通常用孔隙度 n 和孔隙比 e 来表示。孔隙度是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的总体积与试件总体积 V 之比; 孔隙比则是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的总体积与试件内固体矿物颗粒体积 V_c 之比。岩石的孔隙度和孔隙比通常由岩石的相对密度 d 和干密度 ρ_c 计算求得:

$$n = \frac{V - V_c}{V} = 1 - \frac{V_c}{V} = 1 - \frac{V_c}{G} \times \frac{G}{V} = 1 - \frac{\rho_c}{\rho_w} = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_w}\right) \times 100\% \quad (2-4)$$

$$e = \frac{V - V_c}{V_c} = \frac{V}{V_c} - 1 = \left(\frac{\rho_w}{\rho_c} - 1\right) \times 100\% \quad (2-5)$$

岩石的孔隙性对岩石的其他性质有显著的影响。随着岩石孔隙度的增大, 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强度。

四、岩石的水理性质

岩石在水作用下表现出来的性质是多方面的,对矿山工程岩体稳定性有重要影响的主要是吸水率、透水性、溶蚀性、软化性、膨胀性和崩解性等指标。

1. 岩石的吸水率

岩石吸水率用 w 表示,它是指岩石试件在大气压力下吸入水的质量 M_w 与试件烘干后的质量 M_d 之比值:

$$w = \frac{M_w}{M_d} \quad (2-6)$$

岩石吸水率的大小取决于岩石所含孔隙、裂隙的数量和大小、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比同一岩石的碎块试样吸水率要小;随着浸水时间增加,吸水率也会有所增大。

某些岩石的相对密度、密度、孔隙比和吸水率指标如表 2-1 所列。

表 2-1 某些岩石的相对密度、密度、孔隙比和吸水率指标

岩石名称		相对密度 d	密度 $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比 $e/\%$	吸水率 $w/\%$
岩浆岩	花岗岩	2.50~2.84	2.30~2.80	0.04~0.92	0.10~0.92
	闪长岩	2.60~3.10	2.52~2.96	0.25~3.00	0.30~0.48
	辉绿岩	2.60~3.10	2.53~2.97	0.40~6.38	0.22~5.00
	安山岩	2.40~2.80	2.30~2.70	1.09~2.19	0.29
	玄武岩	2.60~3.30	2.50~3.10	0.35~3.00	0.31~2.69
	凝灰岩	2.56~2.78	2.29~2.50	1.50~4.90	0.12~7.45
沉积岩	砾岩	2.67~2.71	2.42~2.66	0.34~9.30	0.20~5.00
	砂岩	2.60~2.75	2.20~2.71	1.60~2.83	0.20~12.19
	页岩	2.57~2.77	2.30~2.62	1.46~2.59	1.80~3.10
	石灰岩	2.48~2.85	2.30~2.77	0.53~2.00	1.10~4.45
变质岩	片麻岩	2.63~3.01	2.30~3.05	0.70~4.20	0.10~3.15
	片岩	2.75~3.02	2.69~2.92	0.70~2.92	0.08~0.55
	石英岩	2.53~2.84	2.40~2.80	0.50~0.80	0.10~1.45
	大理岩	2.80~2.85	2.60~2.70	0.22~1.30	0.10~0.80

2. 岩石的透水性

地下水存在于岩石的孔隙和裂隙中,而且大多数岩石的孔隙和裂隙是互相贯通的,因而在一定的水压力作用下,地下水可在岩石中渗透。这种岩石能被水透过的性能称为岩石的透水性。岩石透水性的大小除了与地下水水头和岩体内的应力状态有关外,还与岩石的孔隙度、孔隙大小及其连通程度有关。

不同岩石的透水性差别极大。对于某些岩石来说,即使是同种类型的岩石,其透水性也可以在很大范围内变化。

3. 岩石的溶蚀性

由于水的化学作用而把岩石中某些组成物质带走的现象称为岩石的溶蚀。如把试件浸在 80°C 的纯水中,经过 24 h,从水中离子的变化就可以看出水的溶蚀作用。溶蚀作用可使