

中等专业学校教学用书

井巷工程

陕西煤矿学校 编

煤炭工业出版社



中等专业学校教学用书

井巷工程

陕西煤矿学校 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了岩石性质与分级、巷道地压、凿岩爆破、巷道掘进和支护以及立井掘进、延深等有关知识,可作为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班或煤矿工程技术人员参考。

责任编辑:莫国震

中等专业学校教学用书

井 巷 工 程

陕西煤矿学校 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $15^{1/2}$

字数 368 千字 印数 1—23,120

1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷

书号15035·2535 定价1.60元

目 录

绪论	1
第一篇 基础知识	
第一章 井巷的概念和分类	2
第二章 岩石性质与分级	4
第一节 岩石的物理性质	4
第二节 岩石的力学性质	6
第三节 岩石的工程分级和围岩分类	8
第三章 巷道地压	11
第一节 概述	11
第二节 用松散体学说估算地压	13
第三节 危岩冒落产生的地压	15
第四节 巷道地压测量	17
第四章 钻眼机具	21
第一节 冲击式凿岩机具	21
第二节 旋转式钻眼机具	37
第五章 爆破器材与爆破理论基础	43
第一节 炸药与爆炸概论	43
第二节 矿用炸药	50
第三节 起爆器材及电爆网路	52
第四节 爆破理论基础	59
第二篇 岩石平巷的设计与施工	
第六章 巷道断面和交岔点设计	63
第一节 巷道断面设计	63
第二节 交岔点设计	84
第七章 巷道掘进	94
第一节 钻眼爆破工作	94
第二节 掘进通风与综合防尘	110
第三节 岩石装运	112
第八章 巷道支护	125
第一节 支架材料	125
第二节 棚式支架	137
第三节 石材整体式支架	140
第四节 锚杆支护	143
第五节 喷浆及喷射混凝土支护	153
第九章 巷道施工组织与管理	167
第一节 工作组织	167
第二节 施工管理	172

第三篇 其他巷道施工

第十章 煤层平巷和半煤岩平巷施工	175
第一节 煤巷施工	175
第二节 半煤岩巷施工	183
第十一章 倾斜巷道施工	185
第一节 由上向下施工法	185
第二节 由下向上施工法	192
第十二章 硐室和交岔点施工	195
第一节 硐室施工	195
第二节 交岔点施工	200
第十三章 特殊条件下的巷道施工	206
第一节 巷道通过松软破碎带的施工法	206
第二节 巷道通过含水岩层的施工方法	207
第三节 巷道底鼓的防治	210
第四节 弯道施工	210

第四篇 立井施工

第十四章 立井普通施工法	213
第一节 概述	213
第二节 立井施工	218
第十五章 立井井筒延深	233
第一节 利用辅助水平延深井筒	233
第二节 利用梯子间或延深间延深井筒	236
第三节 利用反井延深井筒	236
第四节 井筒延深的保护设施和延深方案选择	240

工业已有和新建矿井 第二篇

228	书外工业和新建矿井 第六卷
238	书外工业和新建矿井 第六卷
248	书外工业和新建矿井 第六卷
258	书外工业和新建矿井 第六卷
268	书外工业和新建矿井 第六卷
278	书外工业和新建矿井 第六卷
288	书外工业和新建矿井 第六卷
298	书外工业和新建矿井 第六卷
308	书外工业和新建矿井 第六卷
318	书外工业和新建矿井 第六卷
328	书外工业和新建矿井 第六卷
338	书外工业和新建矿井 第六卷
348	书外工业和新建矿井 第六卷
358	书外工业和新建矿井 第六卷
368	书外工业和新建矿井 第六卷
378	书外工业和新建矿井 第六卷
388	书外工业和新建矿井 第六卷
398	书外工业和新建矿井 第六卷
408	书外工业和新建矿井 第六卷
418	书外工业和新建矿井 第六卷
428	书外工业和新建矿井 第六卷
438	书外工业和新建矿井 第六卷
448	书外工业和新建矿井 第六卷
458	书外工业和新建矿井 第六卷
468	书外工业和新建矿井 第六卷
478	书外工业和新建矿井 第六卷
488	书外工业和新建矿井 第六卷
498	书外工业和新建矿井 第六卷
508	书外工业和新建矿井 第六卷
518	书外工业和新建矿井 第六卷
528	书外工业和新建矿井 第六卷
538	书外工业和新建矿井 第六卷
548	书外工业和新建矿井 第六卷
558	书外工业和新建矿井 第六卷
568	书外工业和新建矿井 第六卷
578	书外工业和新建矿井 第六卷
588	书外工业和新建矿井 第六卷
598	书外工业和新建矿井 第六卷
608	书外工业和新建矿井 第六卷
618	书外工业和新建矿井 第六卷
628	书外工业和新建矿井 第六卷
638	书外工业和新建矿井 第六卷
648	书外工业和新建矿井 第六卷
658	书外工业和新建矿井 第六卷
668	书外工业和新建矿井 第六卷
678	书外工业和新建矿井 第六卷
688	书外工业和新建矿井 第六卷
698	书外工业和新建矿井 第六卷
708	书外工业和新建矿井 第六卷
718	书外工业和新建矿井 第六卷
728	书外工业和新建矿井 第六卷
738	书外工业和新建矿井 第六卷
748	书外工业和新建矿井 第六卷
758	书外工业和新建矿井 第六卷
768	书外工业和新建矿井 第六卷
778	书外工业和新建矿井 第六卷
788	书外工业和新建矿井 第六卷
798	书外工业和新建矿井 第六卷
808	书外工业和新建矿井 第六卷
818	书外工业和新建矿井 第六卷
828	书外工业和新建矿井 第六卷
838	书外工业和新建矿井 第六卷
848	书外工业和新建矿井 第六卷
858	书外工业和新建矿井 第六卷
868	书外工业和新建矿井 第六卷
878	书外工业和新建矿井 第六卷
888	书外工业和新建矿井 第六卷
898	书外工业和新建矿井 第六卷
908	书外工业和新建矿井 第六卷
918	书外工业和新建矿井 第六卷
928	书外工业和新建矿井 第六卷
938	书外工业和新建矿井 第六卷
948	书外工业和新建矿井 第六卷
958	书外工业和新建矿井 第六卷
968	书外工业和新建矿井 第六卷
978	书外工业和新建矿井 第六卷
988	书外工业和新建矿井 第六卷
998	书外工业和新建矿井 第六卷

绪 论

能源是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活的物质基础之一。在今后一个相当长的时期内,煤炭都将是我国的主要能源。大力发展煤炭工业,是保证我国“四化”顺利进行的一个重要方面。

发展煤炭工业,不论是建设新井或老矿改造,都离不开井巷工程。如:设计能力为60万吨的矿井,投产前需开掘的井巷工程量达10~13万立方米,其投资约占矿井总投资的40%。在生产矿井中,为了采煤工作的持续进行,井巷工程量也很大,有的矿井每采一万吨煤就需要掘进250多米巷道。尤其是机采和综采的发展,对加快巷道掘进的要求愈来愈感到迫切。任何只顾生产、轻视掘进的作法,必将导致采掘比例失调,从而影响或破坏煤矿正常生产。

建国以来,井巷施工技术有了显著提高。立井不稳定表土施工,成功地应用了冻结法、钻井法、沉井法和帷幕法。在立井基岩施工方面,自1974年以来,研制、采用了大型凿井绞车、大抓岩机、钻架、高扬程吊泵等凿井设备,为立井机械化配套施工创造了条件。在斜井施工中,已形成了以大箕斗、大耙斗、深孔光爆、锚喷支护、激光指向为主要内容的机械化作业线,最高月进度达到705.3米,具有世界先进水平。在井巷支护技术方面,锚喷支护已由重点试验转入全面推广,从1975年以来,全国重点煤矿累计推广量达到6000多公里,90%的岩巷采用了锚喷支护。此外,岩巷、煤巷、半煤岩巷的施工技术和机械化程度也有不同程度的提高。岩巷最高月进1037.2米,半煤岩巷最高月进2535.4米,煤巷最高月进为3781.7米,不少矿区正在试验推广煤巷掘进机。目前存在的问题是施工机械化程度较低且不配套,平均月进度不高,掘进工效低,与国外先进水平相比,尚有较大差距。

《井巷工程》是研究井巷施工方法和施工技术的学科。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,并能掌握巷道和交岔点等单位工程的设计。

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能;各种类型的支护方法,特别是锚喷支护;岩石平巷的设计与快速施工技术。同时还应熟悉其它巷道的施工方法,对立井的掘进与延深应有一般性的了解。

本书是在一九七九年出版的中专《井巷工程》教材的基础上,根据一九八一年七月审定的中专地下采煤专业《井巷工程》教学大纲,由陕西煤矿学校林锡章、张万惠两位同志改编写成。

第一篇 基础知识

第一章 井巷的概念和分类

为了进行采掘工作,在煤层或岩层内所开凿的各种空硐,称为井巷。构成巷道顶部的岩石面叫巷道顶板,底部的岩石面叫巷道底板,两侧的岩石面叫帮。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成的角度不同,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)。

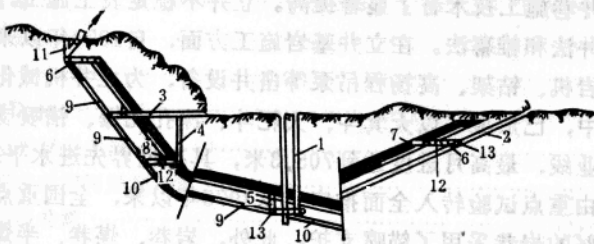


图 1-1 矿山井巷

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、排水的方便,都具有一定坡度(一般为3~5%)。属于这类巷道的有平硐、隧道、石门、平巷等。

1. 平硐: 是地面上有一个直接出口的水平巷道,作为运输、通风、行人和排水用。平硐可以沿岩层(或煤层)走向或与走向成一角度开掘(图1-1, 3)。
2. 隧道: 是地面上有两个直接出口的水平巷道,用于运输、排水、行人。
3. 石门: 是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, 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, 7)。
4. 平巷: 是指沿岩层(或煤层)走向开掘且没有直通地面出口的水平巷道。依据其层位不同有岩石平巷、煤层平巷和半煤岩巷之分。平巷的用途与石门同(图1-1, 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：有直接通达地面的出口，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1-1，2）。

2. 暗斜井：是没有地面出口的倾斜巷道。其用途与斜井大体相同。

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

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1-1，1）。立井有主井、副井、风井之分，主井用于提升煤炭；副井用于提升材料、设备、矸石以及进风、排水、上下人员；风井作为通风用。

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。用以将下部水平开采的煤炭提升至上部水平，也可以运送材料、设备、人员或用来进行通风和排水（图1-1，4）。

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。用以将上部水平开采的煤炭借自重下放到下部水平（图1-1，5）。

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、存放材料或作其它用，其名称依据用途而定，如变电所、水泵房、箕斗装载硐室、翻笼硐室、火药库、调度室等。

第二章 岩石性质与分级

井巷施工最基本的过程，就是将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，然后对这些空间进行维护，以防围岩垮落。为了有效、合理和经济地进行破岩与维护，必须对岩石性质进行深入研究，并制订出科学的岩石分级方法，作为选用破岩和维护方法的依据。

第一节 岩石的物理性质

一、岩体的组成

岩体是指地下工程周围较大范围的岩石。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，岩体的强度必然比岩块（从岩体中切取的岩石小块）强度要低。

从煤矿采掘角度来看，岩体包括以下三部分：

（一）岩石

岩石是由一种或几种矿物组成的集合体，它是岩体的基本组成部分。通常把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、流砂、砾石等；表土层以下为各种固结性岩石，称为基岩，如岩浆岩、沉积岩和变质岩等。

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、节理、裂隙和溶洞中，对井巷施工危害甚大。对于松散性的表土，它可促使其富水或流动，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，必须充分重视地下水的影响。

（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的裂隙或孔洞之中。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。

(一) 原生裂隙

它是在岩体形成过程中，由于发生温度、湿度或物理化学变化所产生的裂隙。

沉积岩中的原生裂隙与岩石的岩性成份有关。例如，垂直于层理的裂隙是石灰岩和白云岩的特点，它们使这些岩石具有呈平行六面体状的节理；如在砂岩中，除了垂直于层理的裂隙外，还会遇到有代表性的与层理成不同角度的倾斜裂隙。裂隙面的情况也与岩性成分有关，如粘土岩和泥灰岩的裂隙面是光滑的；在砂岩及砾岩中，裂隙面粗糙且有凸起的砂粒和砾石。原生裂隙面，通常没有擦痕及位移形迹存在，多为非开裂式，即裂隙面内仍存有大小不等的粘结力。

(二) 构造裂隙

它是岩体形成后，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：无论是沿走向或沿倾向，其方位都较稳定，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，是岩体裂隙的主要部分。

(三) 次生裂隙

它是由于风化、地下水、卸载以及人工等作用而形成的裂隙。岩体在风化时，出现分裂成碎块的风化裂隙面，最终分裂成大小不等的碎石堆或泥土块体。风化裂隙面的特点是方向变化不定，常有分支和曲折现象，并且随着深度加大而迅速减小。另外，岩体总是受着自重压力的，在卸除岩体上的自重压力时，岩石就会向自由空间膨胀而产生减压裂隙。这种裂隙很密集而明显，并随着深度加大，而逐渐变稀消失。

次生裂隙多为开裂式的，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。

表 2-1 某些砂岩的室内静力试验

岩石名称	弹性模量 $E \times 10^5$ (公斤/厘米 ²)		波 桑 比 μ		抗压强度 (公斤/厘米 ²)	
	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥
粗砂岩	1.93~4.19	1.73~4.54	0.10~0.45	0.12~0.36	1185~1575	1423~1760
中粒砂岩	2.87~4.19	2.68~3.37	0.12	0.10~0.22	1170~2160	1470~2060
细砂岩	2.83~4.95	2.90~4.60	0.10~0.22	0.15~0.36	1378~2410	1335~2205
粉砂岩	1.01~3.23	0.84~3.05	0.15~0.50	0.28~0.47	344~1045	554~1147
岩石名称	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)		抗弯强度 (公斤/厘米 ²)		抗剪强度 (公斤/厘米 ²)	
	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥
粗砂岩	44.3	51.4~52.5	111~172	103	483	470
中粒砂岩	77.0	52.0	162~226	131~194	336~594	482~618
细砂岩	80.7~118	60~79.5	208.5~265.3	177.5	432~595	524~649
粉砂岩	—	—	22.7~166	43.0	48~113	129~198

注：表中∥和⊥符号，是表示平行于和垂直于岩层层理方向的试验条件。

三、岩体的各向异性

岩体具有各向异性的基本原因,是由于裂隙的存在。由于组成岩石的矿物结晶程度、颗粒大小、形状以及胶结物质性质的不同,也使岩体具有各向异性的特点。

岩体的各向异性,表现在它的变形和强度特性等方面的差异,从表 2-1 中可以明显看出。

四、岩石的孔隙度和孔隙比

孔隙度(孔隙率)是指所测岩石中孔隙体积与岩石总体积之比,通常以 n 表示,用百分数计。

孔隙比是指岩石中孔隙体积与岩石中矿物颗粒体积之比,通常以 e 表示,用小数计。

设某岩石的总体积为 V , 重量为 G , 矿物颗粒体积为 V_1 。则

岩石比重

$$\delta = \frac{G}{V_1} \quad (2-1)$$

岩石容重

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

孔隙度

$$n = \frac{V - V_1}{V} = \left(1 - \frac{\gamma}{\delta}\right) 100\% \quad (2-3)$$

孔隙比

$$e = \frac{V - V_1}{V_1} = \frac{\delta - \gamma}{\gamma} \quad (2-4)$$

显然,岩石的孔隙度 n 和孔隙比 e 越大,岩石的可压缩性和透水性也就越大,抗剪强度则越小。

第二节 岩石的力学性质

一、岩石的变形特性

在荷载作用下,首先是组成岩石的基本微粒之间的相对位置发生变化,称为变形。当

作用的荷载不断增大,或者,随着超过某一数值的恒定荷载作用时间的增长,便会导致岩石的破坏。如果考虑岩石的裂隙效应,则岩石单向受压的典型应力应变关系曲线如图 2-1 所示。其曲线可划分为以下几个变形阶段:

(一) oa 段为岩石中裂隙的压密阶段

这段的特点是,单位应力的增量所引起的应变增量值,随应力的增大而逐渐减小,曲线呈上凹形,这是由岩石裂隙压密过程所决定的。

裂隙不太发育或裂隙已被胶结的固结性岩石,在

受荷载后常常见不到裂隙的压密阶段。但在岩石试件增大时,这个阶段还是会出现的,

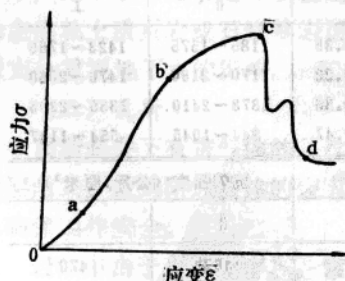


图 2-1 岩石单向受压应力应变关系曲线示意图

故在实践中应注意试件的尺寸效应。

(二) ab段为压缩变形阶段

这段的特点是,随着单位应力的增加,应变基本上是按比例增加的,即ab段接近直线,其斜率就是这一阶段的弹性模量 E (是指产生单位弹性应变所需的应力值)。若将岩石视为均质的弹性体,则 E 对矿山压力和围岩应力分布计算的实用意义较大。

表示岩石变形的特性,还常采用泊松比 μ 这一指标,即横向和纵向相对变形的比值。在这段, μ 基本上也是常数。

(三) bc段为屈服变形阶段

达到这一阶段,应力应变曲线发生由直线向曲线的转变。岩石承受荷载达到 b 点时,内部裂隙扩展加速,变形速度明显增加,最后导致岩石的破坏。 b 点应力称为弹性极限强度(起始破坏强度)。 c 点是岩石抵抗外荷载的极限能力,此时应力达到最大值,称为该岩石的单向抗压强度。一过 c 点,强度大大降低,至 d 保持为一常数,称为残余强度。由于试验设备能力和试验条件所限, cd 段常显示不出来。

不同岩石的变形规律如图2-2所示。曲线1为常见的、完整的脆性岩体的变形特征,岩体在荷载作用下,只要发生很小的变形就要破坏。如中生代以前的沉积岩就是典型。曲线2为裂隙发育的岩体的变形特征,它在低荷载时为弹性变形,在高荷载时则出现塑性变形,具有明显的屈服变形阶段。曲线3为松散岩体的变形特征,在低荷载时虽也有弹性,但不易鉴别,这种岩体受荷载后残余变形较大,如表土或断层破碎带内的岩体常以这种变形为主。

试验表明,岩石不具有绝对的弹性变形,在弹性变形阶段就已伴随着塑性变形。因此,岩石是同时具有弹、塑性的物质,与一般固体的情况是不相同的。通常只是在较小的应力范围内,才视岩石为弹性介质。

岩石的蠕变性是指在恒定荷载继续作用下,岩石变形随时间(t)而增长的特性(图2-3)。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10~15米经常开裂,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。

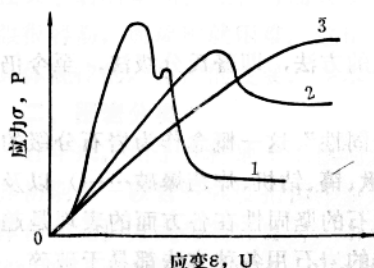


图 2-2 岩石变形的三种类型曲线

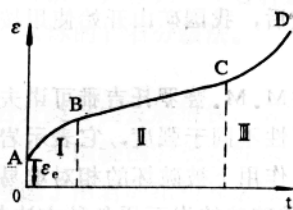


图 2-3 岩石的蠕变曲线

二、岩石的强度特性

岩石变形达到一定程度就要破坏。对巷道而言,如围岩强度小于所受应力,围岩就要破坏(冒顶、片帮甚至底鼓);如围岩强度大于所受应力,则巷道可不支护而长期稳定。因此,了解岩石的破坏形式和岩石抵抗破坏的能力(即岩石强度)是十分必要的。

在巷道中,围岩破坏主要有三种形式:

1. 脆性破坏:岩石在荷载作用下,没有明显的变形就突然破坏。巷道周围的裂隙,尤其是顶部的拉张裂隙属于此类。
2. 弱面剪切破坏:由于岩层中存在弱面(层理、节理、软弱夹层等),在外力作用下,当岩体在弱面上的剪切应力大于其抗剪能力时就要破坏。如巷道顶部岩块的冒落,两帮岩石的滑移等。
3. 塑性破坏:在双向或三向压力作用下,岩石表现出明显的塑性流动或挤出,这种破坏对于粘土类岩石尤为突出。巷道两帮的挤凸和底板岩石的隆起,就是塑性破坏的例子。

根据大量试验结果得知,岩石强度与受力状态和受力性质有关,而且相差悬殊。如抗压强度约为抗拉强度的10~50倍。造成这种现象的物理原因可能是:岩石受荷载破坏时,在压缩条件下裂隙扩展受阻止的机会比拉伸时要多得多;岩石在受拉伸情况下,内部贮存能量的释放速度要比压缩时快。一般地说,岩石强度的高低符合下列规律:

三向等压抗压强度 > 三向不等压抗压强度 > 双向抗压强度 > 单向抗压强度 > 抗剪强度 > 抗弯强度 > 单向抗拉强度 > 双向抗拉强度。

如前所述,由于弱面的存在,岩体强度必然比岩块强度为低,而对工程来说,岩体强度远比岩块强度重要得多。根据试验资料,岩体强度 $\approx \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}\right)$ 岩块强度。

第三节 岩石的工程分级和围岩分类

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,从地质学的角度来看是需要的,但从工程的观点来看,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”一词,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”一词。

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.普罗托吉雅可诺夫于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相对难易程度。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。因此他建议用一个综合性的指标“坚固性系数f”来表示岩石破坏的相对难易程度。通常称

f 为普氏岩石坚固性系数。

f 值等于岩石的单向抗压强度 R (公斤/厘米²) 除以 100 (公斤/厘米²)，即：

$$f = \frac{R}{100} \quad (2-5)$$

根据 f 值的大小，普氏将岩石分为十级共十五种 (表 2-2)。

表 2-2 普氏岩石分级表

等 级	坚固性程度	岩 石	坚固性系数 (f)
I	最坚固的岩石	最坚硬，致密而富韧性的石英岩，玄武岩和其它特坚硬的岩石	20
II	极坚固的岩石	极坚硬的花岗质岩石，石英斑岩，极坚固的花岗岩，砂质板岩，较软的石英岩。最坚硬的砂岩和石灰岩，极硬的铁矿石	15
III	坚 固 的 岩 石	致密的花岗岩类，极坚硬的砂岩和石灰岩，石英质矿脉，坚硬的砾岩，坚硬的铁矿石	10
III.		坚硬的石灰岩，不太坚硬的花岗岩，硬质砂岩，硬质大理岩，白云岩，黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	普通砂岩，中等坚硬的铁矿石	6
IV.		砂质页岩，层状砂岩	5
V	中等坚固的岩石	坚硬的粘土质页岩，不坚硬的砂岩和石灰岩，软的砾岩	4
V.		各种不坚硬的页岩，致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软页岩，很软的石灰岩，岩盐，石膏，普通泥灰岩，冻土，无烟煤，碎裂的砂岩，碎石，石化的土壤	2
VI.		混有碎石的土壤，碎裂的页岩，堆放的碎砾石，坚硬的煤，固结的粘土	1.5
VII	软 岩	密实粘土，软煤，坚硬冲积土	1.0
VII.		微砂质粘土，黄土，细砾石	0.8
VIII	土 质 岩 石	腐植土，泥炭，微砂质粘土，湿砂	0.6
IX	松 散 岩 石	砂岩屑，细砾，松土，采下的煤	0.5
X	流 砂 状 岩 石	流砂，沼泽土，富含水的黄土和富含水的土壤	0.3

普氏岩石坚固性系数 f 值十分简明，能在一定程度上反映采掘岩石难易程度的客观规律。它的问题是，由于定级标准是取代表性的小块岩石试压而得，反映不了岩体的特征。而且关于岩石坚固性在各方面表现是趋于一致的论点，对某些岩石也不适用。如在粘土中钻眼很容易，而爆破就困难。这说明单纯用 f 值进行岩石分级，是概括不了各种破岩方法的具体规律的。生产的发展，要求继续研究制定更加符合实际的岩石分级法。

二、围岩分类

近年来，由于各种地下工程的大量修建，国外在围岩分类方面发展很快，总的趋势是抛弃初期单一以岩石强度指标作为分级依据的一些方法，大多围绕围岩稳定性来划分，以选择合理支护方式为明确目的。新分类法都不同程度的考虑了围岩的结构和裂隙、岩体的强度、地下水的影响等因素。应该指出的是，日本以弹性波速度来判断围岩的破碎程度是一种很有发展前途的手段。因为它不仅能反映围岩的状态，而且也能反映出围岩的岩性及

其它一些特征，作为围岩分类的一项综合指标，值得进一步研究。

近几年，我国铁道、建工、冶金、煤炭等部门也分别提出了新的围岩分类法。《煤矿井巷工程锚杆、喷浆、喷射混凝土支护设计试行规范》根据锚喷支护设计的需要，考虑煤矿岩性的特点、构造情况和断面尺寸，将围岩划分为五类，见表2-3。显然，它是为选择锚喷支护类型及参数服务的。由于综合分类指标太少，在具体运用该分类法确定围岩类别时，仍然缺乏简单易行的现场实测手段，还有待进一步充实、完善。

表 2-3 锚 喷 围 岩 分 类 表

围 岩 分 类		岩 层 描 述	巷道开掘后围岩的稳定状态 (3~5米跨度)	岩 种 举 例
类别	名 称			
I	稳定岩层	1.完整坚硬岩层， $R_b > 600$ 公斤/厘米 ² ，不易风化； 2.层状岩层层间胶结好，无软弱夹层	围岩稳定，长期不支护无碎块掉落现象	完整的玄武岩，石英质砂岩，奥陶纪灰岩，茅口灰岩，大冶厚层灰岩
II	稳定性较好岩层	1.完整比较坚硬岩层， $R_b = 400 \sim 600$ 公斤/厘米 ² ； 2.层状岩层，胶结较好； 3.坚硬块状岩层，裂隙面闭合，无泥质充填物， $R_b > 600$ 公斤/厘米 ²	围岩基本稳定，较长时间不支护会出现小块掉落	胶结好的砂岩、砾岩，大冶薄层灰岩
III	中等稳定岩层	1.完整的中硬岩层， $R_b = 200 \sim 400$ 公斤/厘米 ² ； 2.层状岩层以坚硬岩层为主，夹有少数软岩层； 3.比较坚硬的块状岩层， $R_b = 400 \sim 600$ 公斤/厘米 ²	能维持一个月以上稳定，会产生局部岩块掉落	砂岩，砂质页岩，粉砂岩，石灰岩，硬质凝灰岩
IV	稳定性较差岩层	1.较软的完整岩层， $R_b < 200$ 公斤/厘米 ² ； 2.中硬的层状岩层； 3.中硬的块状岩层， $R_b = 200 \sim 400$ 公斤/厘米 ²	围岩的稳定时间仅有几天	页岩，泥岩，胶结不好的砂岩，硬煤
V	不稳定岩层	1.易风化潮解剥落的松软岩层； 2.各类破碎岩层	围岩很容易产生冒顶片帮	炭质页岩，花斑泥岩，软质凝灰岩，煤，破碎的各类岩石

注：1.岩层描述将岩层分为完整的、层状的、块状的、破碎的四种。
(1)完整岩层：层理和节理裂隙的间距大于1.5米。(2)层状岩层：层与层间距小于1.5米。(3)块状岩层：节理裂隙间距小于1.5米，大于0.3米。(4)破碎岩层：节理裂隙间距小于0.3米。
2.当地下水影响围岩的稳定性时，应考虑适当降级。
3. R_b 为岩石的饱和抗压强度。

第三章 巷道地压

第一节 概 述

地下岩体没有受到井巷或采场等地下工程影响的部分，称为原岩。原岩处于复杂的受力状态，承受着上部岩石自重引起的应力、地质构造引起的应力、遇水后因物理化学变化引起的应力以及温度变化引起的应力等等。但主要还是岩石自重引起的应力。

取处于地表下 Z 米深处的单位立方体岩石，分析由上部岩石重量所引起的应力状态 (图3-1)。

如忽略单位立方体岩石的自重不计，则其上下两面上的垂直应力 σ_z 均为上部岩柱的自重，即

$$\sigma_z = 1 \times 1 \times Z \times \gamma_a = \gamma_a Z \quad (3-1)$$

式中 Z ——单位立方体岩石距地表的深度，米；

γ_a ——岩柱体的加权平均容重，吨/米³。

$$\gamma_a = \frac{\gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3 + \dots + \gamma_n Z_n}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n} \quad (3-2)$$

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \dots \gamma_n$ ——顶部各层岩石的容重，吨/米³；

$Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_n$ ——各岩层的厚度，米。

当上覆岩层为表土时，取 $\gamma_a = 1.8$ 吨/米³；为岩层时，取 $\gamma_a = 2.5$ 吨/米³。

如果将单位立方体岩石从岩体中取出，则在 σ_z 的作用下，在 X 、 Y 方向上将产生膨胀变形。但在原岩体内，由于受到相邻岩石的约束，使水平方向的应变为零，即

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$$

式中 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ ——岩体在 X 方向、 Y 方向的应变。

如果将岩体视为各向同性的弹性体，则因侧向互相挤压而产生的水平方向应力 $\sigma_x = \sigma_y$ 。根据广义的虎克定律，可以得到单位立方体的水平方向应变为：

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E}$$

式中 E ——岩石的弹性模量；

μ ——岩石的波桑比。

∵

$$\sigma_x = \sigma_y \quad \text{及} \quad \varepsilon_x = 0$$

∴

$$\frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = 0$$

经化简得：

$$\sigma_x = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a Z \quad (3-3)$$

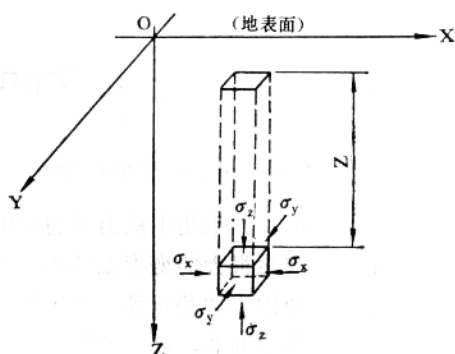


图 3-1 原岩的应力状态

同理

$$\sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma_a Z \quad (3-4)$$

式中 $\frac{\mu}{1-\mu}$ ——原岩体侧向压力系数，以 λ 表示。

$$\therefore \sigma_x = \sigma_y = \lambda \cdot \gamma_a \cdot Z \quad (3-5)$$

大多数固结岩石的波桑比 $\mu = 0.2 \sim 0.3$ ，于是 $\lambda = 0.25 \sim 0.4$ ；塑性岩石或埋藏很深的岩石， $\mu = 0.5$ ，此时 $\lambda = 1$ 。

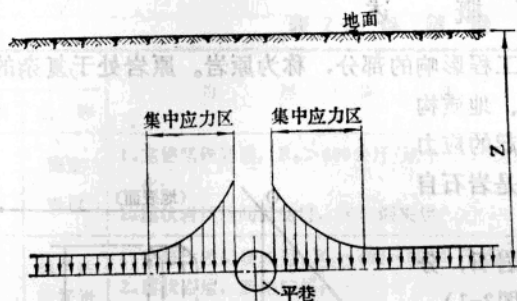


图 3-2 巷道两帮的应力集中

——应力集中。如果集中应力不超过围岩的弹性极限值，则围岩保持稳定，不会破坏；反之，围岩将产生很大的变形或破坏，必须架设支架来维护巷道。还应指出，由于岩体内弱面的存在，给围岩的稳定性带来了极为不利的影响。

在原岩体中开巷，若不进行支护，巷道往往要产生变形或破坏。在脆性岩体中，常常可以看到巷道片帮、冒顶（图3-3,a）；在塑性岩体内，围岩会向巷道内产生很大的变形和位移，如顶板下沉、两帮或底板膨胀等（图3-3,b）；架设支架的巷道，如果支架选型不当或强度不够，也会使支架遭受变形、破坏（图3-3,c）。

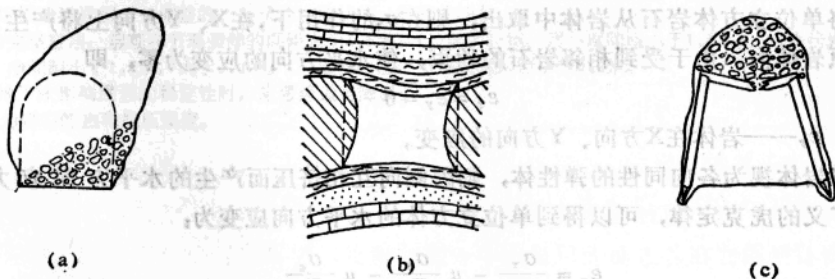


图 3-3 围岩的变形与破坏

围岩与支架的变形和破坏的现象，称为地压现象。由于围岩的变形或破坏而作用在支架上的压力，称为地压。

要想正确的选择支架，使它既安全可靠而又经济合理，必须准确地确定地压数值。但是，由于地质情况错综复杂，至今还没有准确成熟的地压计算方法。下面仅介绍几种估算地压的学说，而真正比较切合实际的办法是进行地压实测。