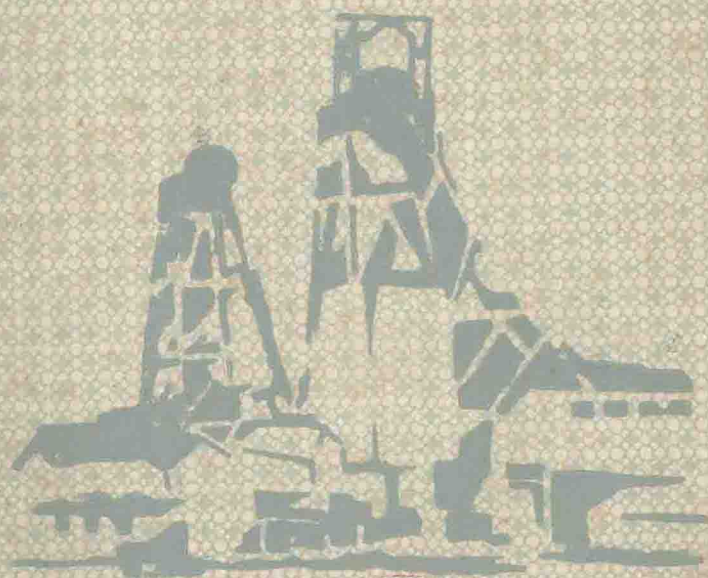


煤炭管理干部技术培训丛书

井巷工程

梁其瑯 虞锡澄



山西科学教育出版社

煤矿管理干部技术培训丛书

井巷工程

梁其瑯 虞锡澄

山西科学教育出版社

井 巷 工 程

梁其珩 虞锡澄

*

山西科学教育出版社

(太原并州北路十一号)

出版发行

太原市千峰科技印刷厂印

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 10 字数: 242千字

1986年3月第1版 1996年3月太原第1次印刷

印数: 1—8570册

*

书号: 17370.15 定价: 2.40元



出 版 说 明

为了提高煤矿管理干部素质,搞好煤矿的生产技术管理,适应煤矿生产建设发展的需要,煤炭工业部教育司组织北京煤炭管理干部学院、中国矿业学院及山西矿业学院的有关教师编写了一套煤矿管理干部技术培训教材,用于培训有高中文化程度的煤矿管理干部,同时也可作为职工中专有关专业课的代用教材或有关技术人员的参考书。

这套教材包括:《煤矿测量》《煤矿地质》《井巷工程》《采煤法》《巷道布置及其稳定性》《矿井通风与安全》《矿井技术改造》《煤矿机械》《煤矿电工》《电子计算机在煤矿的应用》。

前 言

发展煤炭工业，对于现有生产矿井、老矿技术改造以及新井建设，都离不开井巷工程。为了实现社会主义四化，煤炭产量要翻番，煤矿管理干部研究井巷施工方法和施工技术，对缩短建井期，合理设计井巷工程，不断提高施工的机械化水平，组织井巷的快速施工，都是有着重要意义的。

本书可作为煤矿管理干部技术培训教材，煤矿企业管理专业的教材和有关技术人员的参考用书。

本书由梁其瑯和虞锡澄同志编写。在编写过程中得到有关局矿的大力协助，并由煤炭部技术咨询委员会高级工程师严志才同志对本书进行了审阅，提出了宝贵意见，在此一并表示谢意。由于编者水平所限，书中的缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八五年六月

目 录

第一章 岩石性质及分级	(1)
第一节 岩石的性质.....	(1)
第二节 岩石的工程分类和围岩分类.....	(5)
第二章 巷道地压	(8)
第一节 岩体应力与地压显现.....	(8)
第二节 井巷地压估算与测量.....	(13)
第三章 破岩方法	(21)
第一节 钻爆法破岩.....	(21)
第二节 机械法破岩.....	(35)
第四章 巷道支架	(39)
第一节 棚式支架.....	(39)
第二节 砌块整体支护.....	(45)
第三节 锚杆支护.....	(50)
第四节 喷射混凝土支护.....	(53)
第五节 锚喷支护.....	(57)
第五章 水平巷道设计与施工	(60)
第一节 平巷断面形状与设计.....	(60)
第二节 岩巷钻爆法施工.....	(65)
第三节 煤巷施工.....	(85)
第四节 半煤岩巷施工.....	(88)
第六章 倾斜巷道设计与施工	(90)
第一节 斜井井筒断面形状与设计.....	(90)
第二节 倾斜巷道由上向下施工.....	(94)
第三节 倾斜巷道由下向上施工.....	(105)
第七章 峒室和交岔点设计与施工	(108)
第一节 峒室施工.....	(108)
第二节 交岔点设计与施工.....	(110)

第三节	弯道施工特点	(118)
第八章	立井井筒设计、施工与延深	(121)
第一节	立井井筒断面形状与设计	(121)
第二节	施工前的准备工作	(126)
第三节	立井表土施工	(127)
第四节	立井基岩施工	(131)
第五节	立井井筒延深施工	(148)

第一章 岩石性质及分级

井巷施工最基本的过程，就是把岩石破碎下来，形成如设计所要求的井筒，巷道及硐室等空间，并对这些空间进行必要的维护，以防止围岩的垮落。因此，破岩与维护就成为井巷工程的主要任务。为了使破岩与维护最有效、合理与经济，首先就要对岩石的性质进行深入的研究，并在此基础上制定出科学的岩石分级法，作为选用破岩与维护方法的依据。

第一节 岩石的性质

岩石一般是指尺寸不大的岩块，是由比较稳定的一种或几种矿物组成的集合体。岩体是指地下工程周围较大范围的岩石，可由一种或几种岩石组成，并可能为岩脉或裂隙充填物所侵入，可能包括地质构造作用的明显影响，并为层理、节理、裂隙所切割。

一、岩石的物理性

(一) 比重与容重

比重：单位致密体积岩石（除去孔隙体积）的重量 G ，即：

$$G = \frac{G_1}{V_1} \quad \text{吨/米}^3$$

式中 G_1 —体积 V_1 的岩石重量，吨；

V_1 —不包括孔隙的岩石体积，米³。

容重：单位体积岩石的重量 G_0 ，即：

$$G_0 = \frac{G_2}{V} \quad \text{吨/米}^3$$

式中 G_2 —岩石重量，吨；

V —包括孔隙在内的岩石体积，米³。

求算同一岩石的比重与容重时，由于 $V > V_1$ ，所以 $G_0 < G$ ，如表1—1所示。煤矿生产常用容重计算。

岩石的比重和容重 表1—1

岩石名称	比重(吨/米 ³)	容重(吨/米 ³)
花岗岩	2.58—2.69	2.56—2.67
砂岩	2.59—2.72	2.11—2.14
石灰岩	2.71—2.85	2.46—2.68

(二) 孔隙度

孔隙度或称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。

$$n = \frac{V - V_1}{V} \times 100\%$$

式中 V —测定岩石的总体积（外形体积）， 米^3 ；

V_1 —实体岩石的体积， 米^3 。

岩石的孔隙度 n 值越大，岩石的可压缩性和透水性也越大，则抗剪强度越小。

（三）碎胀性

岩石被破碎后的堆积体积比破碎前原体积增大的性能叫岩石的碎胀性。破碎后堆积体积比原岩体积增大的倍数叫碎胀性系数，如表 1—2 所示。

岩石的胀性系数 表 1—2

岩石名称	碎胀性系数
纯砂	1.05—1.2
中等坚固的煤	1.4
石灰岩、砂岩	1.25—1.5
坚固的岩石	1.8—2.5

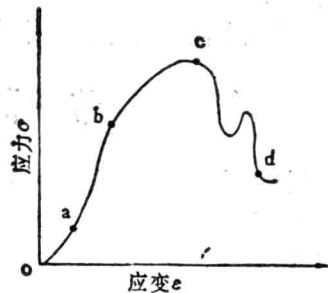


图1-1 岩石单向受压应力应变关系曲线示意图

岩石的碎胀性系数与岩石的硬度，碎块形状，大小及均匀程度有关，同时也和堆积时间和干湿度有关。

根据岩石的碎胀性可估算爆破后的装运量。

（四）硬度

物体抵抗其它较硬物体压入的阻力，单位为公斤/毫米²。

一般根据岩石的硬度粗略估计岩石的性质。例如：硬度大于400公斤/毫米²的，为脆性岩石；硬度大于100公斤/毫米²而小于400公斤/毫米²的，为弹塑性岩石；硬度小于100公斤/毫米²的，为塑性岩石。但也有小硬度和中等硬度的脆性岩石，或高硬度的弹塑性岩石。

二、岩石的力学性

（一）岩石的变形特性

在荷载的作用下，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。随后当作用的荷载不断增大，或者超过某一数值的恒定荷载随着作用时间的增长，便会导致岩石的破坏。在室内进行试验研究，若考虑岩石的裂隙效应，则岩石单向受压应力应变的典型规律，如图 1—1 所示。

1. oa 为岩石中裂隙压密阶段，其特点：单位应力的增量所引起的应变增量值，随应力增大而逐渐减小，曲线呈上凹形，这是由岩石裂隙压密过程所决定的。对于裂隙已被胶结的固结性岩石，在受荷载后常见不到裂隙压密阶段。但当试件增大时，这个阶段还会出现。

2. ab 为压缩变形段，其特点：随着单位应力增加，应变基本上按比例增加，即 ab 段接近直线，其斜率就是这一阶段的弹性模量 E 。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，通常采用波松比 μ 这一指标，在这段， μ 基本上也是常数。

3. bc为屈服变形阶段，其特点：应力应变曲线发生由直线向曲线的转变。岩石承受荷载到达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。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有限，cd段常显示不出来。

不同岩石的变形规律为：常见的脆性岩石的变形特征，岩石在荷载作用下，只发生很小的变形就要破坏；裂隙发育的岩石的变形特征，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；松散体的变形特征，在低荷载时虽也有弹性，但不易鉴别，这种岩石受荷载后残余变形较大，如表土或断层破碎带内的岩石常以这种变形为主。

试验表明，岩石在较破坏荷载的2~3%的作用下，就会出现显著的不可逆变形。因此岩石变形可以分为两大类：一是卸载后可复形的弹性变形；二是卸载后不可复形的塑性变形。而塑性变形总是伴随着岩石内部的局部破损。

（二）岩石的强度特性

岩石变形达到一定程度就要破坏。对巷道来说，如围岩强度小于所受应力，围岩就要冒顶、片帮或底鼓；如围岩强度大于围岩所受应力，则巷道可不支护而能长期稳定。因此，有必要了解岩石的破坏形式和岩石抵抗破坏的能力，即岩石强度。

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此类。

2. 弱面剪切破坏：由于岩层中存在层理、节理、软弱夹层等弱面，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，如巷道两帮的挤凸和底板岩石的隆起。

根据大量的试验结果可知：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。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的机会比拉伸时要多得多；岩石在受拉情况下，内部贮存能量的释放速度要比压缩时快。一般来说，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。

三、岩体的强度

（一）岩体的组成

从采矿角度来看，岩体主要由以下四部分组成：

1. 岩石。岩石是由一种或几种矿物组成的，它是岩体的基本组成部分。黄土、粘土、流

沙、淤泥、砾石等覆盖在地壳上部的第四纪沉积物称为松散性岩石或统称为表土；表土层以下的各种固结性岩石，统称为基岩。

在含煤系地层中多是各种沉积岩，如页岩、砂质页岩、砂岩、石灰岩等，在局部地区才有岩浆岩的侵入。沉积岩是由形状不定，颗粒大小不均匀的矿物和岩石碎屑胶结而成。岩石的坚固性取决于矿物颗粒的大小、排列的状况及胶结物的强弱，如组成岩石的矿物颗粒较小，排列紧密，胶结物的胶结力很强，则这种岩石就比较坚固；反之，则坚固性差，胶结能力的大小主要取决于胶结物的成分，如硅质胶结最坚固，氧化铁质及石灰质胶结较差，粘土质胶结最差。通常用：“致密”及“松散”来说明岩石的组织情况，致密岩石都比较坚固；松散岩石则坚固性较差。

2.弱面。由于岩体受到不同的构造运动，产生了层理、节理、劈理、隐微裂隙、断层等各种各样的结构面（弱面）。使岩性在弱面处首先表现出强度降低，并使岩体产生各向异性。

3.地下水。地下水有可能使岩质软化，对坚固性较差的固结性岩石尤其明显。对松散性的表土，地下水有可能促其富水或流动，从而使岩体丧失稳定性。对粘土质页岩等，遇水可能发生膨胀，因此水大的岩体，有时要比同类水小的岩体降低一级。

4.瓦斯。瓦斯的的存在，使岩体受力状态复杂。在采掘过程中必须注意瓦斯的大量喷出或发生煤、岩和瓦斯的突然涌出。

（二）岩体结构

岩体被各种结构面切割而成的岩块称为岩体的结构体。目前国内外多以岩体的结构体类型作为岩体工程分类的依据。

1.完整岩层。围岩稳定性好，掘进后不必采用专门支护措施。对易风化而又坚固性略差的完整岩层需及时喷射混凝土，以防止剥落。

2.层状岩层。结构体呈大型板块或长条状，块度体积较大，岩石坚固均一、较稳定，但对掘进爆破松动的板状岩体，及坚固性略差的岩体，必要时应用锚杆锚固处理。

3.块状岩层。结构体呈团块状，块度体积大，岩石较坚固，掘进后应及时进行锚喷支护。

4.破碎岩层。构造变形剧烈，由坚固程度不同的岩层相间组成，稳定性较差。在此类岩层施工时，应考虑较合适的支护措施。

（三）岩体强度

由于岩体中存在着裂隙、层理、节理等弱面，因此有必要对岩块强度和岩体强度进行区分。也就是说，由于弱面的存在，必须使岩体强度比岩块强度有所降低。而对工程来说，岩体强度远比岩块强度重要得多。但目前岩体强度的研究远远落后于岩块强度的研究。

在工程中一般采用近似估计岩体强度：

$$\text{岩体强度} \approx \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \right) \text{岩块强度}$$

第二节 岩石的工程分类和围岩分类

在采掘工业中,引用地质学中的对岩石按成因分类是需要的,但从工程来讲,还必须对岩石进行定量的区分,以便正确进行工程设计,合理选用施工方法、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,常称为“岩石分级”;为了井巷稳定性并为合理选择支护类型,对较大范围的岩体加以量的区分,则称为“围岩分类”。

一、岩石分级

我国目前采用苏联普氏分级法。普氏分级法的主要依据是破碎岩石的难易程度。实践证明,破岩的难易用单纯的强度、硬度、韧性来表示特征是不够的,因此普氏提出用岩石坚固性这一概念来表示特征破岩的难易程度,就概括得较广泛、确切。

普氏对大量实测数据分析与总结后,得出岩石分级法的基本观点:大多数岩石的坚固性在各方面表现是趋向一致的,即难破碎的岩石用各种方法都难破碎;容易破碎的岩石,不论用哪种方法都容易破碎。比如钻眼时,甲种岩石较乙种岩石坚固多少倍,那么爆破时,甲种岩石也比乙种岩石坚固多少倍。由此可知,一种岩石的坚固性在各方面表现具有同一个比例系数。为此,普氏用岩石坚固性系数“ f ”来综合体现岩石破碎难易程度,常简称为普氏系数。

f 值确定:普氏以岩石单向抗压强度;按每凿眼一立方厘米的耗功;按钻眼工每班生产率;按每爆破一立方米岩石所耗炸药量;按掘进工每掘一立方米岩石所需工班数;按在地表挖掘一立方米岩石需工数;按巷道每月掘进速度等七种,整理出求算“ f ”值的经验公式,最后取平均数,即为该岩石的坚固性系数。

现在所用钻眼工具,爆破器材和施工方法已与普氏当时的情况大不相同,故上述计算方法不再适用,只有按岩石试件单向抗压强度 R (公斤/厘米²)计算 f 的公式仍在继续使用,即:

$$f = \frac{R}{100}$$

式中 R —实测试件的抗压强度,公斤/厘米²。

如某种岩石的试件(磨成 $5 \times 5 \times 5$ 厘米或 $7 \times 7 \times 7$ 厘米的立方体或直径和高度均为5厘米左右的岩芯)的单向抗压强度为800公斤/厘米²,则其坚固性系数 $f=8$ 。

普氏根据不同的 f 值将岩石进行了工程分级,如表1—3所示。

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 值进行分级,是概括不了各种破岩方法的具体规律的。

普氏岩石分级法

表 1—3

级别	坚固性程度	岩 石	坚固性系数f
I	最坚固的岩石	最坚固,最致密的石英岩及玄武岩。其他最坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩类;石英斑岩,很坚固的花岗岩,硅质片岩;坚固程度较I级岩石稍差的石英岩;最坚固的砂岩及石灰岩	15
III	坚固的岩石	花岗岩(致密的)及花岗岩类岩石;很坚固的砂岩及石灰岩;石英质矿脉,坚固的砾岩;很坚固的铁矿石	10
III _α	坚固的岩石	坚固的石灰岩;不坚固的花岗岩;坚固的砂岩;坚固的大理岩;白云岩;黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩;铁矿石	6
IV _α	相当坚固的岩石	砂质页岩;泥质砂岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩;不坚固的砂岩及石灰岩;软的砾岩	4
V _α	坚固性中等的岩石	各种(不坚固的)页岩;致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软的页岩;很软的石灰岩;白垩;岩盐;石膏;冻土;无烟煤;普通泥灰岩;破碎的砂岩;胶结的卵石及粗砂砾;多石块的土	2
VI _α	相当软的岩石	碎石土;破碎的页岩;结块的卵石及碎石;坚硬的烟煤;硬化的粘土、	1.5
VII	软 土	粘土(致密的);软的烟煤;坚固的表土层,粘土质土壤	1.0
VII _α	软 土	轻砂质粘土(黄土、细砾石)	0.8
VIII	壤土状土	腐植土;泥炭;轻亚粘土;湿砂	0.6
IX	松散土	砂;小的细砾石;填方土;已采下的煤	0.6
X	流动性土	流砂;沼泽土;含水黄土及其他含水土壤	0.3

二、围岩分类

近年来, 由于地下工程的大量修建, 国内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, 以选择围岩合理的支护方式为明确的目的。新的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。

近几年, 我国铁路、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、喷射砼支护试行规范》根据锚喷支护设计的需要, 煤矿岩性的特点, 地质构造情况和断面尺寸, 将围岩划分为五类, 如表 1—4 所示。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, 还有待充实和完善。

煤矿围岩分类表

表 1—4

围岩分类		岩 性 描 述	稳 定 程 度 (3—5米跨度)	岩 石 种 类
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. 层状岩层胶结较好, 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 $R_b = 400—600$ 公斤/厘米 ² 2. 层状岩层胶结好 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, $R_b = 200—400$ 公斤/厘米 ² 2. 层状岩层以硬为主, 夹有少数软岩层 3. 比较坚硬的块状岩层, $R_b = 400—600$ 公斤/厘米 ²	能维持一个月以上稳定, 会产生局部岩块掉落的	砂岩、砂质页岩、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, $R_b = 200—400$ 公斤/厘米 ²	围岩的稳定时间仅有几天	页岩, 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. 将岩层分为完整的(层理和节理裂隙的间距大于1.5米)、层状的(层与层间距离小于1.5米)、块状的(节理裂隙间距小于1.5米, 大于0.3米)、破碎的(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 为岩石的极限单轴抗压强度。

第二章 巷道地压

在地下的原始岩体内，开掘井巷后，如果不加任何支护，井巷围岩就会发生变形、破坏和片落，如图 2—1 所示。

为了阻止围岩发生过大变形和破坏，在巷道中一般要架设支架来进行维护，如砌碛、锚杆、喷混凝土、金属棚以及木棚等等。假如所选支护结构类型不当或强度不够，支护同样会遭到破坏，井巷同样会坍塌。

上述井巷围岩和支护的变形和破坏，统称为井巷地压现象。由于井巷围岩变形和破坏，作用到支护上的力称为地压。

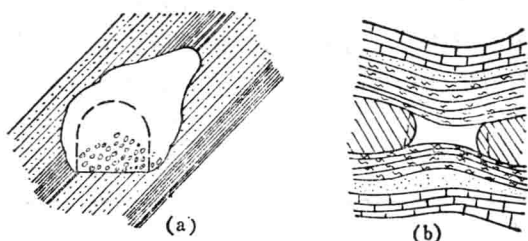


图2—1 井巷围岩的变形与破坏

(a) 围岩从弱面开始冒落；(b) 围岩向巷道挤压

第一节 岩体应力与地压显现

一、原岩体应力状态

原岩体处于复杂的受力状态，它不仅要承受上部岩层引起的自重应力，还可能受到地壳中的构造应力，某些岩体遇水后物理化学性质引起的膨胀应力，以及由于温度变化所引起的温度应力作用，但主要的，长期起作用的是自重应力，有时对构造应力也不能忽视。

(一) 自重应力

在地表以下深度为 Z 处取单位立方体，如图 2—2 所示，它的顶面和底面作用垂直应力 σ_z ，显然， σ_z 等于上覆岩层的自重，即：

$$\sigma_z = 1 \times 1 \times Z \times \gamma = \gamma Z$$

式中 γ —岩体的容重，吨/米³；

Z —所研究单位立方体的埋藏深度，米。

当上覆岩层不是单一岩层时，应取各岩层的加权平均容重 γ_a ：

$$\gamma_a = \frac{\gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \cdots + \gamma_n Z_n}{Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n}$$

式中 $\gamma_1, \gamma_2, \cdots, \gamma_n$ —第一至 n 层岩石容重；

$Z_1, Z_2, \cdots, Z_n$ —第一至 n 层岩石厚度。

一般地说，当上覆层为岩层时可取 $\gamma_a \approx 2.5$ 吨/米³；上覆层为表土时可取 $\gamma_a \approx 1.8$ 吨/米³。

在垂直应力 σ_z 作用下,如果单位立方体是孤立地存在于岩体之外,必然产生水平方向的膨胀变形。但实际上单位立方体是处于原始岩体中,在各个水平方向都受到其相邻岩体的约束,使它不可能自由膨胀,所以它的水平应变 $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$,因而产生了侧向相互挤压的水平应力 σ_x, σ_y 。当地表成水平时,任一铅垂剖面对原始岩体来讲都是对称面。由此可知,上述单位立方体的六个面都是主平面,每个主平面上的法向应力都是主应力。所以 $\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y$ 就是主应力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 。如果把岩体看成各向同性的弹性体,则水平应力 $\sigma_x = \sigma_y$ 。此时利用广义胡克定律求立方体水平方向的应变,并令其等于零,即:

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

式中 μ —岩石的波桑比;

E —岩石的弹性模量。

由上式可求得水平应力:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z = \lambda \gamma z$$

式中 $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$

原始岩体的测压系数。

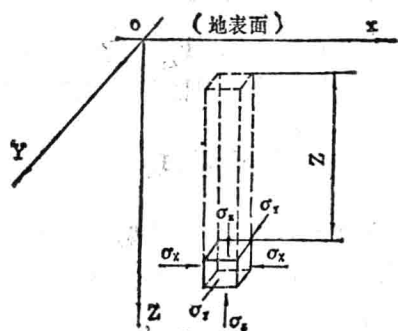


图2-2 原始岩体应力状态示意图

对大多数固结岩石的波桑比 $\mu = 0.2 \sim 0.3$, 所以 $\lambda = 0.25 \sim 0.4$; 岩石已达塑性状态, 即 $\mu < 0.5$, $\lambda < 1$; 对流动性岩石时 $\mu = 0.5$, 其 $\lambda = 1$, 这时候 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma z$, 这种各向等压的应力状态就称为静水压应力状态。

由上可知,在原始岩体内,垂直应力和水平应力与深度成正比例增加。在同一深度的平面上,各点的应力是相等的。

如图2-3所示,煤层呈水平状态赋存,地表也是平坦的。在无构造残余应力的地层压力,其原始压力值的大小,决定于煤层的埋藏深度和上覆岩层的容重。我国煤系岩层的容重常为 $2.3 \sim 2.9$ 吨/米³。例如,我们取平均值为 2.5 吨/米³,则在煤层的埋藏深度为 100 米的情况下,煤层顶板处,单位面积上所受的应力值应为 $100 \text{米} \times 2.5 \text{吨/米}^3 = 250 \text{吨/米}^2$ 。这就是说,在图2-3的煤层剖面图中,煤层顶板上各点所受的应力值都是 250吨/米^2 。如果我们把这个力用带箭头的线段表示出来,箭头的方向表示压力的方向,线段的长短(取一定的比例尺,并且以煤层顶板线为零值)表示压力值的大小。显然,在上述条件下,画出的箭头方向是一致的,线段的长短是相同的。把线段的尾部用一段线联接起来,就成了一条平行于煤层顶板线的直线。该线距煤层顶板线的垂距就是原始压力值的大小。正因为如此,它距煤层顶板线距离的远近,反映了原始压力值的大小,所以把它叫做原始压力线。如果图2-3中的原始压力线反映了压力值为 250吨/米^2 时,则当煤层埋藏深度为 200 米时,其原始压力线的值应比前者大一倍。

(二) 构造应力

在岩体自重作用下,岩体的水平应力是由垂直应力引起的,因而水平应力一般小于、最多等于垂直应力的数值。在有些地区,对岩体应力测量结果表明,有时会出现水平应力大于垂直应力的情况。这说明该地区的岩体除有自重应力还有部分构造应力。构造应力:是由于

在漫长的地质年代里发生的构造运动，在岩体内残留下来的应力，或是最近的地壳运动在岩体内积累起来的应力。地壳所发生的一切变形，都是地壳遭受构造应力作用的显现，如褶皱、断裂等一系列的地质构造现象。构造应力的存在，使得原始岩体的受力状态复杂化了。它不仅增加了巷道维护的困难，而且还可能造成其它的危害和事故，如煤与瓦斯突出等。所以在构造应力较大的地区，在煤矿建设和生产中，都应重视构造应力的作用，并应研究和制定预防其造成危害的技术措施。

（三）其它应力

水和瓦斯的作用也能引起应力，例如巷道的底鼓，瓦斯突出现象。
大气气温的差别所引起的热应力，地震应力对井巷施工影响较小。

二、地压显现

在原岩体内开掘井巷后，岩体内就出现了空间，井巷围岩就有了变形、移动、破坏的自由面，这就破坏了原岩应力状态，使井巷围岩内发生应力重新分布。

掘进巷道后，在巷道周边会产生明显的应力集中现象。使巷道周边围岩的应力比原始压力增加 2 ~ 3 倍。我们把因井巷掘进而使应力发生显著变化的区域叫井巷影响范围或井巷影响圈，它的直径一般为井巷直径的 3 ~ 5 倍。

在井巷影响范围内，当集中应力大于巷道周边岩石强度时，围岩就会产生变形、断裂、直至垮落。这就是矿山压力的显现。但这种现象往往并不是持续发展下去，而是当塌落一定高度，形成自然拱形后就处于暂时稳定状态，这种现象称自然平衡拱。如图 2—4 及图 2—5 所示。

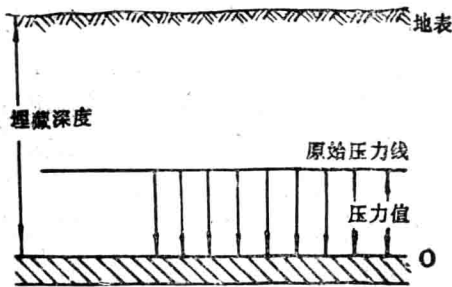


图2—3 煤层顶板处的原始压力

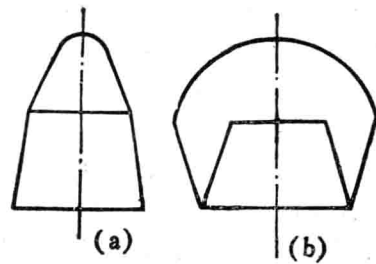


图2—4 对称冒落拱

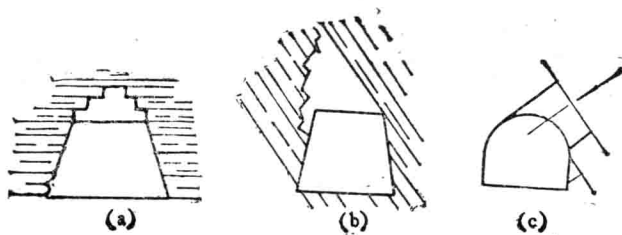


图2—5 不对称冒落拱