



全国高等职业教育“十三五”规划教材

巷道施工

李开学 张建超 陈拓琪 主编

Hangdao Shigong



中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

“十三五”规划教材

巷道施工

主 编 李开学 张建超 陈拓琪

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本教材依据巷道施工课程标准,基于工作对象、施工过程和高职学生学习特点构建教材的项目、任务,将教材分为岩石性质分析与工程分级方法、巷道断面设计、施工技术与设备选择、水平岩巷施工、煤巷与半煤岩巷施工、硐室与交岔点施工、斜井与上山施工、立井施工、特殊条件下的施工等九个项目,彰显职业教育模式,将教、学、做高度融为一体。

本书适合高职院校相关专业使用,也可作为有关工种的培训教材,还可供现场工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

巷道施工 / 李开学, 张建超, 陈拓琪主编. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2018. 5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3990 - 7

I. ①巷… II. ①李… ②张… ③陈… III. ①煤矿开采—巷道施工—教材 IV. ①TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 119178 号

书 名 巷道施工

主 编 李开学 张建超 陈拓琪

责任编辑 耿东锋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 22 字数 548 千字

版次印次 2018年5月第1版 2018年5月第1次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材的编写,充分考虑了行业发展、煤炭高等职业教育的教学要求与学生职业生涯规划等实际情况,在满足教学要求的前提下,尽可能降低教材的难度,基础知识以“必需、够用”为度,突出教材的实用性,突出实用技能培养、职业资格鉴定与教学一体化教学模式,体现高等职业教育的特色与人才培养目标。

本书依据巷道施工课程标准,基于工作对象、施工过程和高职学生学习特点构建教材的项目、任务,将教材分为岩石性质分析与工程分级方法、巷道断面设计、施工技术与设备选择、水平岩巷施工、煤巷与半煤岩巷施工、硐室与交岔点施工、斜井与上山施工、立井施工、特殊条件下的施工等九个项目,彰显职业教育模式,将教、学、做高度融为一体。

本书由李开学、张建超、陈拓琪任主编,康建新、王毅、张耀辉任副主编。具体编写分工如下:李开学编写项目一、四、七、九,陈拓琪编写项目二,王毅编写项目三,张建超编写项目五,张耀辉编写项目六,康建新编写项目八。初稿完成后,由李开学统稿。

在本书的编写过程中,得到重庆能投渝新能源公司、重庆工程职业技术学院各级领导的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!

由于本教材改革力度大,编者理论水平与实践经验有限,时间紧,任务重,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请专家、读者指正。

编 者

2018年2月

目 录

项目一 岩石性质分析与工程分级方法	1
任务一 岩石的物理力学性质分析	1
任务二 岩石分级和围岩分类	7
项目二 巷道断面设计	13
任务一 巷道断面形状选择	13
任务二 巷道断面尺寸计算	15
任务三 断面设计案例	34
项目三 施工技术与设备选择	39
任务一 钻眼设备选择	39
任务二 爆破器材选择与爆破技术	54
任务三 装运设备选择	69
任务四 支护材料与方式选择	77
任务五 施工组织与管理	105
项目四 水平岩巷施工	118
任务一 炮眼布置与要求	118
任务二 爆破参数确定与爆破图表绘制	125
任务三 装药连线与爆破	132
任务四 岩石装运	145
任务五 巷道支护	152
任务六 掘进通风与防尘	159
任务七 机械化掘进作业线	166
项目五 煤巷与半煤岩巷施工	172
任务一 煤巷综合机械化施工	172
任务二 半煤岩巷钻爆法施工	187
项目六 硐室与交岔点施工	195
任务一 硐室设计	195

任务二 硐室施工·····	205
任务三 交岔点设计与施工·····	220
项目七 斜井与上山施工·····	236
任务一 斜井施工·····	236
任务二 上山施工·····	253
任务三 安全技术措施·····	259
项目八 立井施工·····	264
任务一 立井表土施工·····	264
任务二 立井基岩施工·····	273
任务三 立井延深施工·····	288
项目九 特殊条件下的施工·····	294
任务一 软岩巷道施工·····	294
任务二 探放水工程施工·····	326
任务三 巷道维修·····	335
参考文献·····	345

项目一 岩石性质分析与工程分级方法

任务一 岩石的物理力学性质分析



知识要点

岩石分类、结构与构造；岩石的物理、力学性质。



技能目标

能陈述岩石主要物理、力学性质及在矿山中的应用。



任务导入

巷道施工的对象是岩石或岩体，在学习施工之前，应分析岩石主要物理、力学性质，充分利用岩石的客观性质和力学特征，以指导巷道施工。岩石有哪些主要物理、力学性质需要掌握呢？



任务分析

- (1) 理解岩石与岩体的概念，岩石的分类、结构与构造。
- (2) 能陈述岩石的密度、孔隙比、碎胀性和压实性、水胀性和水解性、软化性、硬度和耐磨性等客观性质，并结合矿山实际进行应用分析。
- (3) 能陈述岩石的抗压、抗拉和抗剪切等力学特征，并结合矿山实际进行应用分析。



相关知识

一、区别岩石与岩体

岩石是指颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理、裂隙，由各种造岩矿物颗粒组成的集合体。岩石是组成整体地壳的自然材料而非经搬运后的一块巨石。

岩体是指地下工程较大范围内的岩石，它可由一种或几种岩石组成。岩体内存在的层理、节理、不规则裂纹等称为结构。岩体的性质除决定于岩石性质外，在很大程度上受其结构的影响。从煤矿采掘工程角度来看，岩体包括岩石、地下水、瓦斯三部分。

(一) 岩石的分类与构造

1. 岩石的分类

岩石按其生成原因不同可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩等三大类。煤系地层多属沉

积岩。

沉积岩是由沉积物经过压紧、脱水、胶结等固结成岩作用而形成的岩石,是一种经过一系列地质作用的产物。

需要注意的是:

(1) 自然界长期暴露在地表的多种岩石,由于受到各种物理、化学、风化、剥蚀和搬运等破坏作用,成为碎石、细砂、泥土及溶解于水的物质。这些风化剥蚀的产物,被流水或风搬运并在海洋、湖泊及地表其他低洼地带沉积下来,称为沉积物。

(2) 在建井工程中常把固结性岩石统称为基岩,而把覆盖在基岩上的松散性沉积物称为表土,如黄土、黏土、砂砾等。

煤矿井下最常见的沉积岩有角砾岩、石灰岩、砾岩、砂岩、泥岩和页岩等。煤层本身就是由动植物遗体转变而成的沉积岩。煤层的顶板和底板多由沉积岩组成,煤矿的井巷工程绝大多数都布置在沉积岩中。因此,沉积岩与煤矿掘进工作的围岩管理关系极为密切。

2. 岩石的结构

岩石的结构是指决定岩石组织的各种特征的总和,即岩石中矿物颗粒的结晶程度,矿物或岩石碎屑颗粒的形状和大小,颗粒之间相互联结的状况,以及胶结物的胶结类型等特征。

对于煤矿中常见的碎屑沉积岩来说,根据岩石结构可分为以下几种:

- (1) 砾状结构:指粒径大于 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:指粒径变化在 2~0.05 mm 之间的碎屑结构类型,如砂岩。
- (3) 粉砂质结构:指粒径变化在 0.05~0.005 mm 之间的碎屑结构类型,如粉砂岩等。
- (4) 泥质结构:指粒径小于 0.005 mm 的碎屑结构类型,如泥岩、黏土岩等。

3. 岩石的构造

岩石的构造是指岩石中矿物颗粒集合体之间,以及与其他组成部分之间的排列方式和充填方式。岩石的构造常见的有下列三种:

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

(二) 地下水

地下水是充填于岩石的孔隙、层理、节理、裂隙、断层甚至溶洞之中的水。地下水可使岩质软化,强度降低,不仅对井巷工程的设计方案、施工方法与工期、工程投资与工程长期使用有着密切的关系,而且,若对地下水处理不当,还可能产生不良影响,甚至发生水灾事故。因此,在含地下水岩层中进行井巷施工时必须采取探、排水措施。

(三) 瓦斯

瓦斯是由煤层气构成的以甲烷为主的有害气体的总称。在煤系地层中,瓦斯主要指的是甲烷(CH_4)。甲烷是无色、无味、无臭(简称“三无”)气体;相对密度为 0.554,比空气轻,易积聚于巷道顶部;扩散能力是空气的 1.6 倍,扩散与渗透性强。

瓦斯是煤矿安全生产的主要自然灾害之一。其主要危害有瓦斯窒息、瓦斯爆炸、瓦斯喷出、煤与瓦斯突出。国内外已有不少矿井,由于瓦斯危害而造成人员伤亡和矿井严重破坏的惨痛教训。因此,必须掌握瓦斯事故的发生条件、发展规律及其预防措施,杜绝或减少瓦斯

事故的发生,确保安全生产。

二、分析岩石的物理性质

1. 岩石的密度

岩石的密度是指单位体积(包括岩石内孔隙体积)岩石的质量。因岩石由固体、水、气体组成,故岩石的密度可分为湿密度和干密度。一般指的是湿密度。

湿密度是岩石在天然含水或饱水状态下,单位体积岩石的质量。依定义计算式为:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——岩石的湿密度,kg/m³或 g/cm³;

m ——岩石试件在天然含水或饱水状态的质量,kg 或 g;

V ——岩石试件的体积,m³或 cm³。

干密度是岩石在绝对干燥时,单位体积岩石的质量。依定义计算式为:

$$\rho_g = \frac{m_g}{V} \quad (1-2)$$

式中 ρ_g ——岩石的干密度,kg/m³或 g/cm³;

m ——岩石试件烘干后的质量,kg 或 g。

2. 岩石的孔隙比

岩石的孔隙比(p)是指岩石中各种孔隙、裂隙体积占试件内固体矿物颗粒体积(V_0)的百分比。它反映岩石中孔隙和裂隙的发育程度。依定义计算式为:

$$P = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\% = \left(\frac{V}{V_0} - 1\right) \times 100\% = \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 V ——试件总体积,m³;

V_0 ——试件内固体矿物颗粒体积,m³。

煤矿中常见岩石的密度和孔隙比见表 1-1。

表 1-1 煤矿中常见岩石的密度和孔隙比

岩石名称	密度 $\rho/g \cdot cm^{-3}$	孔隙比/%
砾岩	2.42~2.66	0.34~9.30
石灰岩	2.30~2.77	0.53~2.00
砂岩	2.20~2.71	1.60~2.83
页岩	2.30~2.62	1.46~2.59
花岗岩	2.30~2.80	0.04~0.92
大理石	2.60~2.70	0.22~1.30

岩石的孔隙比显著影响岩石的其他性质。岩石孔隙比增大,削弱岩石的整体性,使岩石的密度和强度降低,透水性增大,岩石的风化速度加快等。

3. 岩石的碎胀性和压实性

岩石的碎胀性是指岩石破碎以后的体积比处于整体状态下的体积增大的性质。两种状态下的体积比称为碎胀系数,用 α 来表示,按下式计算:

$$\alpha = \frac{V''}{V} \quad (1-4)$$

式中 α ——岩石的碎胀系数；

V'' ——岩石破碎膨胀后的堆积体积, m^3 ；

V ——岩石处于整体状态下的体积, m^3 。

碎胀系数与岩石的物理性质、破碎后块度的大小及其排列状态等因素有关。

岩石破碎后,在其自重和外加载荷的作用下将逐渐压实,体积随之减小,这种压实后的体积与破碎前原始体积之比,称为残余碎胀系数。残余碎胀系数反映破碎岩石被压实的程度,它与岩石本身的物理力学性质、外加载荷大小及破碎后经历的时间长短有关。煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数见表 1-2。

表 1-2 煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数

岩石名称	碎胀系数	残余碎胀系数
砂	1.06~1.15	1.01~1.03
黏土	<1.20	1.03~1.07
碎煤	<1.20	1.05
泥质页岩	1.40	1.10
砂质页岩	1.60~1.80	1.10~1.15
硬砂岩	1.50~1.80	1.15~1.17

在巷道施工中选用装载、运输、提升等设备容器时,应考虑岩石的碎胀系数。

4. 岩石的水胀性和水解性

岩石的水胀性是指软岩遇水膨胀的性质。岩石的水胀性指标的测试方法是:将试件浸入水中后,计算厚度膨胀量与原始厚度之比。

岩石的水解性是指软岩遇水崩解、破裂的性质。岩石的水解性指标的测试方法是:将试件浸入水中,计算崩解后剩余的试件质量与原始质量之比。

水胀性和水解性主要是松软岩石所表现的特征,如巷道底鼓、滑坡等。

5. 岩石的软化性

岩石的软化性是指岩石浸水后的强度明显降低的特征,用软化系数来表示。

软化系数是吸水饱和状态下岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度的比值,表示水分对岩石强度的影响程度。按下式计算:

$$K_R = \frac{R_b}{R_g} \quad (1-5)$$

式中 K_R ——岩石的软化系数；

R_b ——吸水饱和状态下岩石试件的单向抗压强度, MPa；

R_g ——岩石试件在干燥状态下的单向抗压强度, MPa。

煤矿中常见岩石的软化系数见表 1-3。

岩石浸水后的软化程度,与岩石中亲水性矿物和易溶性矿物的含量、孔隙发育情况、水的化学成分以及岩石浸水时间的长短等因素有关。亲水矿物和易溶矿物含量愈多,开口孔隙愈发育,岩石浸水时间愈长,则岩石浸水后强度降低程度愈大。

表 1-3 煤矿中常见岩石的软化系数

岩石名称	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数
黏土岩	20.3~57.8	2.35~31.2	0.08~0.87
页岩	55.8~133.3	13.4~73.6	0.24~0.55
砂岩	17.1~245.8	5.6~240.6	0.44~0.97
石灰岩	13.1~202.6	7.6~185.4	0.58~0.94

研究岩石的软化系数对湿式作业、高压注水软化控制坚硬难冒顶板等有着重要意义。

6. 岩石的硬度和耐磨性

岩石的硬度是指岩石表面抵抗其他较硬物体压入或刻划的能力。岩石的硬度常采用刻划法测定,硬度愈大,则其耐磨性愈好,加工愈困难。

岩石的耐磨性是指岩石表面抵抗磨损的能力。岩石的耐磨性用磨损率来表示,可按下式计算:

$$N = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-6)$$

式中 N ——岩石的磨损率, g/cm^2 ;

m_1 ——岩石磨损前的质量, g ;

m_2 ——岩石磨损后的质量, g ;

A ——岩石试件受磨面积, cm^2 。

岩石的硬度和耐磨性对合理选择钻机、钎头有重要意义。

三、分析岩石力学性质

岩石受到外部载荷时,会发生变形;当载荷增加且超过岩石极限强度时,就会导致岩石破坏。因此变形和破坏是岩石在载荷作用下力学性质变化过程中的两个阶段。

(一) 岩石的变形特性

岩石的变形特性与岩石类型、加载方式、载荷大小、加载时间、岩石的物理状态等因素有关。

1. 岩石的弹性和塑性

岩石的弹性是指在外力作用下产生变形,撤销外力后能立即恢复到原形状的性质。这种立即能恢复的变形,称为弹性变形。

岩石在弹性变形范围内,其应力(σ)与应变(ϵ)的比值是一个常数,这个常数称为岩石的弹性模量(E),即:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1-7)$$

弹性模量是衡量岩石抵抗变形能力的一个指标,其值越大,则岩石越不易变形。

岩石的塑性是指在外力作用下产生变形,撤销外力后仍保持变形后的形状和尺寸的性质。这种不能恢复的永久变形,称为塑性变形。塑性变形具有不可逆性。

注意:岩石与一般固体材料不同,往往是同时出现弹性变形和塑性变形。例如,岩石在弹性变形阶段就已伴随或多或少的塑性变形,甚至在刚开始出现弹性变形的时刻,便出现了塑性变形。因此岩石是兼有弹性和塑性的材料。

2. 岩石的流变性质

岩石的流变是指岩石的应力应变随时间变化的特性。岩石的流变性质表现为蠕变、弹性后效变形和松弛三个方面。

(1) 蠕变

蠕变是指在恒定载荷持续作用下,应变随时间变化而增长的现象。蠕变有两种情况:

- ① 当岩石应力较小时,经过一定时间,应变能稳定下来,不再增加,称稳定蠕变。
- ② 当岩石应力较大时,应变随时间变化而不断增加,直至岩石破碎,称不稳定蠕变。

不超过其间的临界应力即为岩石长期稳定的必要条件。井下某些含有黏土矿物的岩石,蠕变相当突出,例如位于一些软岩中的巷道,经过几天甚至几小时以后,就使巷道断面缩小到难以通行的程度。

(2) 弹性后效变形

弹性后效变形是指岩石在弹性变形阶段,卸载以后,有一部分变形立刻恢复,还有一部分变形不能立刻恢复,但是经过一定时间仍能完全恢复。弹性后效变形的发展很缓慢,而且变形量所占的比重较小,通常只占弹性变形的百分之几,很少超过10%。尽管如此,研究弹性后效变形在巷道支护中仍有重要意义。

(3) 松弛

松弛是指在应变保持一定的条件下,应力随时间逐渐减小的现象。

利用岩石的松弛性质可以合理地选择井下支护形式与确定支护时间。

(二) 岩石的强度特性

岩石发生破坏时所能承受的最大载荷叫极限载荷,单位面积上的载荷称为极限强度。对掘进巷道而言,当围岩强度小于所受应力时,围岩要被破坏,可能发生冒顶、片帮和底鼓等现象;当围岩强度大于所受应力时,巷道不支护也可以长期处于稳定状态。

岩石强度受很多因素的影响,如岩石的性质和构造特征、加载速率、受力状态等。岩石强度常用抗压强度、抗拉强度、抗剪强度表示。

1. 岩石的抗压强度

岩石试件在压缩时所能承受的最大压应力值,称为岩石的抗压强度。它是目前井下采矿工程中使用最广泛的岩石力学特性。

岩石的抗压强度分为两类:岩石试件在单向压缩时所能承受的最大压应力值称为岩石的单轴抗压强度;岩石试件在三向压应力作用下所能承受的最大轴向应力(或称最大的主应力)称为岩石的三轴抗压强度。

通常,岩石中含强度高的矿物多,矿物颗粒间的联结力大、孔隙度小,则岩石抗压强度大。此外,在一定变化范围内,试件尺寸愈小,加载速度愈大,则抗压强度愈大。

2. 岩石的抗拉强度

岩石试件在拉伸时能承受的最大拉应力值称为岩石的抗拉强度。

岩石的抗拉强度主要受其内部因素的影响,如果组成岩石的矿物强度高,颗粒之间的联结力强,孔隙不发育,则其抗拉强度高。

3. 岩石的抗剪强度

岩石的抗剪强度是指岩石抵抗剪切作用的能力。

煤矿中常见岩石的单向抗压强度、抗拉强度和抗剪强度见表1-4。

表 1-4

煤矿中常见岩石强度值

单位: kg/cm²

岩石名称		抗压强度	抗拉强度	抗剪强度
煤		50~500	20~50	11~165
砂岩类	细砂岩	1 060~1 460	56~180	178~545
	中砂岩	875~1 360	61~143	136~372
	粗砂岩	580~1 260	55~119	126~310
	粉砂岩	370~560	14~25	70~117
砾岩类	砂砾岩	710~1 240	29~99	72~294
	砾岩	820~960	41~120	67~269
页岩类	砂质页岩	490~920	40~121	210~305
	页岩	190~400	28~55	160~238
灰岩类	石灰岩	540~1 610	79~141	100~310

4. 岩石各种强度之间的关系

岩石受力状态不同,其极限强度相差很悬殊。根据实验研究结果可知:岩石在不同应力状态下的各种强度值,一般符合下列顺序: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>抗拉强度。

从岩石强度之间的关系知:在破碎岩石时应使岩石处于拉伸或剪切的状态,在维护井巷时使岩石处于受压状态。



任务实施

教师先分析讲解本任务的基本知识,学生分组讨论,总结岩石的物理、力学性质在矿山的应用,提交实训成果或总结。



思考与练习

1. 列表说明岩石的物理性质,总结其在矿山中的应用。
2. 列表说明岩石的力学性质,总结其在矿山中的应用。

任务二 岩石分级和围岩分类



知识要点

普氏系数与普氏岩石分级法;锚喷支护巷道围岩分类法、围岩松动圈分类法、围岩变形量分类法。



技能目标

能陈述岩石分级法与围岩分类方法及其在矿山中的应用。



任务导入

对岩石分级是为了合理地选择钻眼爆破参数和施工设备,对围岩分类是为了判定巷道周围岩体的稳定性并合理选择支护类型。



任务分析

- (1) 掌握普氏系数与普氏岩石分级法。
- (2) 掌握锚喷支护巷道围岩分类法、围岩松动圈分类法、围岩变形量分类法等围岩分类方法的类别与稳定性判定。



相关知识

在巷道施工中,为了提高破岩效率,合理地选择钻眼爆破参数和施工设备,对小范围内的岩石加以量的区分,称为岩石分级;为了判定巷道周围岩体的稳定性并合理选择支护类型,对一定工程范围内的岩体加以量的区分,称为围岩分类。

我国煤矿普遍应用的是以坚固性为基础的普氏岩石分级法和以围岩稳定性为基础的围岩分类法。

一、普氏岩石分级法

1926年,苏联采矿工程师 M. M. 普罗托季亚科诺夫(简称普氏)提出用一个综合性的指标“坚固性系数”来划分岩石等级。坚固性系数表示的是岩石在各种采矿作业以及地压等外力作用下被破坏的相对难易程度。该方法以岩块的强度为基础,应用于岩石破碎方面。

岩石的坚固性系数用 f 来表示,亦称为普氏系数。 f 值的计算式为:

$$f = \frac{R}{10} \quad (1-8)$$

式中 R ——岩石的单轴抗压强度,MPa。

根据 f 值的大小,将岩石分为 10 级共 15 种。普氏系数分类见表 1-5。

表 1-5 岩石坚固性系数分类

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 _a	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 _a	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

续表 1-5

级别	坚固性程度	岩 石	坚固性系数 f
V _a	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;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 _a	相当软的岩石	碎石土,破碎的页岩,结块的卵石及碎石,坚硬的烟煤硬化的黏土	1.5
VII	软土	致密的黏土;软的烟煤,坚固的表土层;黏土质土壤	1.0
VII _a	软土	轻砂质黏土(黄土、细砾石)	0.8
VIII	壤土状土	腐殖土;泥炭;轻亚黏土;湿砂	0.6
IX	松散土	砂;小的细砾石;填方土;已采下的煤	0.5
X	流动性土	流砂;沼泽土;含水黄土及其他含水土壤	0.3

需要注意的是:

(1) 将某一种岩石划分到不同等级时,不仅需要按照其力学性质,而且还必须按照岩石的物理状态、坚固性与分级表中列出的其他岩石进行比较。如风化的、破碎的、打碎成个体的、经断层挤压过的、接近于地表的等状态的岩石,一般说来,应当把它划分到比处于完整状态的同种岩石稍低的等级中。

(2) 上述的岩石坚固性系数,可以认为是对所有各种不同方面岩石相对坚固性的表征,它在采矿工程中的意义表现为:手工开采时的采掘性;浅眼以及深眼孔的凿岩性;应用炸药时的爆破性;冒落时的稳定性及作用于支架上的压力;等等。

(3) 分级表中给出的数值,是对某一类岩石中所有岩石而言的(如页岩类、石英岩类、石灰岩类等),而不是对此类个别岩石而言的。因而,在特定情况下确定 f 值时,必须十分慎重,因为 f 数值在不同的情况下是不一样的。

普氏岩石分级法的优点是指标单一简便、分类方法简单易行,给设计与施工带来了方便,被广泛应用,在我国矿山工程中至今仍使用。但它只反映了岩石开挖的难易程度。由于定级的标准是以岩块强度为基础的,不能反映岩体的稳定性和完整性等特征,而决定岩体稳定性的主要因素是岩体的完整性;由于分类等级较多,使用起来不很方便。一般来讲,对于松散岩体比较适用,而在坚固的裂隙发育较少的岩体中因计算结果偏大则不适用。

二、围岩分类

以选择合理支护方式为目的,综合考虑工程地质构造特征、节理和裂隙的发育程度、风化程度、层状岩层的层厚、岩块的强度、围岩稳定性的围岩分类方法主要有锚喷支护巷道围岩分类法、围岩松动圈分类法、围岩变形量分类法。

1. 锚喷支护巷道围岩分类法

我国煤炭、冶金和铁路等部门的地下工程系统,提出了岩体稳定性的分类方法。其中对煤矿锚喷支护巷道,根据锚喷支护设计需要,结合煤矿岩体的特点,可将围岩划分为五类,见表 1-6。

锚喷支护巷道围岩分类法充分考虑了围岩的节理、裂隙影响,为选择锚喷支护类型和确定锚喷支护参数提供了依据,但缺少综合性的分类指标,缺乏简单易行的现场实测手段,有待改进。

表 1-6

煤矿锚喷支护巷道围岩分类表

围岩分类		岩 层 描 述	巷道开掘后围岩的稳定 状态(3~5 m 跨度)	岩 种 举 例
类别	名称			
I	稳定岩层	1. 完整坚硬岩层, $R_b > 60$ MPa, 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	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, $R_b = 40 \sim 60$ MPa; 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, $R_b > 60$ MPa	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, $R_b > 20 \sim 40$ MPa; 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, $R_b = 40 \sim 60$ MPa	围岩能维持一个月以上稳定, 有时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, $R_b < 20$ MPa; 2. 中硬的层状岩层; 3. 中硬的块状岩层, $R_b = 20 \sim 40$ MPa	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	碳质页岩, 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 m。② 层状岩层: 层间距小于 1.5 m。③ 块状岩层: 节理裂隙间距小于 1.5 m, 大于 0.3 m。④ 破碎岩层: 节理裂隙间距小于 0.3 m。

(2) 当地下水影响围岩的稳定性时, 应考虑适当降级。

(3) R_b 为岩石的单轴饱和抗压强度。

2. 围岩松动圈分类法

围岩松动圈系指巷道开挖而使围岩应力平衡状态破坏, 产生变形松动的范围。原始状态下的围岩处于应力平衡状态, 巷道开挖后, 破坏了围岩的原始应力平衡状态, 当围岩应力超过围岩强度时, 围岩即产生变形松动现象, 如不及时支护, 任其发展, 就会产生岩层破坏、围岩冒落等现象。

围岩松动圈的大小与工程因素(巷道断面的形状和大小、施工方法和支护形式等)和地质因素有关。因此, 围岩松动圈是一个综合指标。

围岩松动圈分类法采用超声波仪测定松动圈范围值, 比较简单、实用。用围岩松动圈进行围岩分类, 确定支护结构和参数, 是一种行之有效的方法。

围岩松动圈巷道支理论, 把岩石破碎后破裂发展过程中的岩石碎胀变形和碎胀力作为支护结构的重要对象。地应力与围岩相互作用会产生大小不同的围岩松动圈, 松动圈越大, 支护越困难。由此得出松动圈是围岩强度、地应力函数的结论。这一分类方法, 科学地

反映了支护的难度,明确了支护的对象,提出了合理的支护结构及参数,促进了锚喷支护技术的发展。

经过大量的现场松动圈测试及其与巷道支护难易程度相关关系的研究之后,结合锚喷支护机理,依据围岩松动圈的大小,将围岩分成小松动圈(0~40 cm)、中松动圈(40~150 cm)、大松动圈(>150 cm)三大类,六小类,见表 1-7。

表 1-7 围岩松动圈分类表

围岩类别	分类名称	围岩松动圈/cm	支护机理及方法	备注	
小松动圈	I	稳定围岩	0~40	喷混凝土支护	围岩整体性好,不易风化的可不支护
	II	较稳定围岩	40~100	锚杆悬吊理论; 喷层局部支护	
中松动圈	III	一般围岩	100~150	锚杆悬吊理论; 喷层局部支护	刚性支护有局部破坏,采用可缩性支护
	IV	一般不稳定围岩 (软岩)	150~200	锚杆组合拱理论; 喷层,金属网局部支护	刚性支护大面积破坏,采用可缩性支护
大松动圈	V	不稳定围岩 (较软围岩)	200~300	锚杆组合拱理论; 喷层,金属网局部支护	围岩变形有稳定期
	VI	极不稳定围岩 (极软围岩)	>300		围岩变形在一般支护下无稳定期

该分类法的主要特点是用锚喷支护机理划分围岩类别,分类区间是根据支护的难易程度及锚喷支护机理而确定的。锚喷支护是指锚、喷、网,锚网、网梁等以锚杆为支护主体的支护的总称。

3. 围岩变形量分类法

按围岩变形特征和围岩变形量大小对围岩进行分类,判断巷道的稳定状态,其目的就是阻止围岩变形。围岩变形理论是围岩分类的理论基础和重要依据,也是巷道支理论的主要组成部分。在这个基础上制定的围岩分类可以使锚喷支护结构、参数合理化,把设计、施工与监控量测紧密结合起来,真正做到“三位一体”。它具有技术先进、经济合理、安全可靠的特点,可极大地促进锚喷支护技术的完善与提高。

工程实践和应用表明,按变形量的围岩分类方法符合多因素影响、单一综合指标发展方向,据此判定围岩的稳定性具有现实的意义。具体分类见表 1-8。

表 1-8 按围岩变形量判断巷道的稳定状态及支护结构参数表

开挖后围岩变形量 /mm	围岩稳定类别	支护结构	
		巷道宽度 $B < 5$ m	$5 \text{ m} < B < 10$ m
<5	I	不支护	30~50 mm 厚喷浆或喷射混凝土
6~10	II	50 mm 厚喷射混凝土	80~100 mm 厚喷射混凝土,必要时,设局部锚杆