



国家示范性高等院校核心课程规划教材

煤矿开采技术专业及专业群教材

巷道施工

(第2版)

HANGDAO SHIGONG

主 编 李开学 吴再生

副主编 田卫东 李大发 王 毅



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

巷道施工

(第2版)

主 编 李开学 吴再生
副主编 田卫东 李大发 王 毅

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括水平巷道施工、倾斜巷道施工、采区煤仓施工、硐室及交岔点施工、软岩巷道施工和含水层巷道探放水施工6个项目,基本涵盖了巷道施工涉及的知识和技能,特别对工程施工实际作了比较有针对性的阐述和分析,突出职业能力培养,适用于采矿类职业教育用书,也可作为采矿类本科、大中专教育参考书。

图书在版编目(CIP)数据

巷道施工/李开学,吴再生主编.—2版.—重庆:
重庆大学出版社,2014.2

煤矿开采技术专业及专业群教材

ISBN 978-7-5624-5237-9

I. ①巷… II. ①李…②吴… III. ①巷道施工—高等学校—教材 IV. ①TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 008213 号

巷道施工

(第2版)

主 编 李开学 吴再生

副主编 田卫东 李大发 王 毅

责任编辑:曾令维 文 鹏 版式设计:曾令维

责任校对:贾 梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆联谊印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:587千

2014年2月第2版 2014年2月第3次印刷

印数:5 501—8 500

ISBN 978-7-5624-5237-9 定价:45.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

编写委员会

编委会主任 | 张亚杭

编委会副主任 | 李海燕

编委会委员

唐继红

黄福盛

吴再生

李天和

游普元

韩治华

陈光海

宁望辅

栗俊江

冯明伟

兰玲

庞成

序

本套系列教材是重庆工程职业技术学院国家示范高职院校专业建设的系列成果之一。根据《教育部 财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划 加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件精神,重庆工程职业技术学院以专业建设大力推进“校企合作、工学结合”的人才培养模式改革,在重构以能力为本位的课程体系的基础上,配套建设了重点建设专业和专业群的系列教材。

本套系列教材主要包括重庆工程职业技术学院五个重点建设专业及专业群的核心课程教材,涵盖了煤矿开采技术、工程测量技术、机电一体化技术、建筑工程技术和计算机网络技术专业及专业群的最新改革成果。系列教材的主要特色是:与行业企业密切合作,制定了突出专业职业能力培养的课程标准,课程教材反映了行业新规范、新方法和新工艺;教材的编写打破了传统的学科体系教材编写模式,以工作过程为导向系统设计课程的内容,融“教、学、做”为一体,体现了高职教育“工学结合、校企合作”的特色,对高职院校专业课程改革进行了有益尝试。

我们希望这套系列教材的出版,能够推动高职院校的课程改革,为高职专业建设工作作出我们的贡献。

重庆工程职业技术学院示范建设教材编写委员会
2013年12月

前言

为满足煤矿开采技术专业高等职业教育发展的要求,重庆工程职业技术学院、重庆煤矿企业联合组织了《巷道施工》教材的编著工作。《巷道施工》是煤矿开采技术专业的核心课程之一,是重庆市采矿类大学生职业资格鉴定的6个模块之一。

本教材的特点是按《巷道施工》的课程标准,基于工作对象构建教材的学习项目,将教材分为水平巷道施工、倾斜巷道施工、煤仓施工、硐室与交岔点施工、软岩巷道施工、含水层巷道探放水施工6个项目,打破了按传统的知识体系构建教材内容的模式。学生在教师指导下完成实训任务中学习课程内容,培养职业能力;实施技能培养、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。

本书由李开学、吴再生任主编,田卫东、李大发、王毅任副主编。具体编著情况如下:项目1、5由李开学修编;项目2由吴再生修编;项目3由李大发、李东修编;项目4由王毅修编;项目6由田卫东修编。全书由李开学统稿。

在本书的编写过程中,得到松藻煤电有限责任公司、南桐矿业公司、中梁山矿业公司各级领导的大力支持与帮助,得到冯明伟、王琳、瞿万波、陆春昌、贺洪才、梁勇、周华龙等的大力协助,在此表示衷心感谢!

由于此次教材改革力度较大,编者理论水平与实践经验有限,编写时间紧,任务重,书中有不妥和错误之处,恳请专家、读者指正。

编者

2013年12月

目 录

项目 1 水平巷道施工	1
任务 1 巷道断面设计	1
1.1 巷道断面形状选择	1
1.2 巷道断面尺寸计算	13
1.3 断面设计案例与实训	29
任务 2 施工准备	34
2.1 钻眼设备选择	34
2.2 装岩设备选择	45
2.3 支护材料选择	52
2.4 巷道支护与实训	64
2.5 施工组织与管理	94
2.6 现场检查与实训	103
任务 3 岩巷钻爆法施工	106
3.1 炮眼布置与实训	106
3.2 装药与爆破实训	122
3.3 岩石装运	144
3.4 支护方式	151
3.5 掘进通风	157
3.6 安全管理	163
任务 4 煤巷及半煤岩巷钻爆法施工	168
4.1 炮眼布置与施工组织	168
4.2 煤(岩)装运	171
4.3 支护方式	171
4.4 施工案例分析	175
4.5 实训	181
任务 5 综合掘进机械化施工	182
5.1 综合掘进机械化作业线	182

5.2	综合掘进机械化发展方向·····	189
5.3	施工案例分析·····	193
5.4	实训·····	198
任务6	资料收集与档案管理·····	199
6.1	资料内容与种类·····	199
6.2	资料收集与管理·····	200
项目2	倾斜巷道施工·····	201
任务1	施工技术准备·····	201
1.1	施工特点分析·····	201
1.2	掘进作业规程编制内容·····	202
1.3	提升设备选择·····	203
1.4	施工设备布置·····	203
1.5	巷道定向·····	206
任务2	施工工序与技术·····	212
2.1	破岩·····	212
2.2	装运·····	213
2.3	支护·····	217
2.4	大倾角巷道施工技术·····	218
任务3	安全措施与管理·····	221
3.1	安全技术措施·····	221
3.2	安全管理·····	226
任务4	案例分析·····	228
4.1	上山施工案例·····	228
4.2	暗斜井施工案例·····	230
4.3	实训·····	236
项目3	采区煤仓施工·····	238
任务1	施工准备·····	238
1.1	采区煤仓设计·····	238
1.2	施工图的识读·····	248
1.3	施工人员与组织·····	251
任务2	煤仓施工·····	254
2.1	普通反井法施工·····	255
2.2	深孔爆破法施工·····	257
2.3	反井钻机法施工·····	258
2.4	实训·····	270

项目4 硐室及交岔点施工	271
任务1 技术准备	271
1.1 硐室与交岔点设计	271
1.2 交岔点设计示例分析与实训	287
任务2 硐室及交岔点施工	291
2.1 硐室施工	291
2.2 交岔点施工	296
2.3 实训	302
项目5 软岩巷道施工	303
任务1 技术准备	303
1.1 软岩及其分类	303
1.2 软岩巷道围岩控制	312
任务2 软岩巷道施工	331
2.1 支护施工方法选择	331
2.2 施工工艺与管理	339
任务3 软岩巷道支护工程实践	340
3.1 工程地质概况	340
3.2 变形力学机制及支护对策	342
3.3 支护方案及其优点	343
3.4 支护效果分析	344
项目6 含水层巷道探放水施工	349
任务1 技术准备	349
1.1 分析含水层的性质	349
1.2 探放水工程设计内容	352
任务2 含水层巷道探放水施工	354
2.1 探放水施工	354
2.2 安全技术措施	358
任务3 探放水设计案例与实训	359
3.1 概述	359
3.2 超前距离的确定	360
3.3 探放水技术方案	360
3.4 探水前准备工作	361
3.5 排水安全措施	362
3.6 实训	362
参考文献	363

项目 **I**

水平巷道施工

水平巷道是煤矿生产与建设中最常见的巷道之一。根据用途不同,水平巷道可分为平硐、石门、水平运输大巷、水平回风大巷、区段运输顺槽、区段回风顺槽等。

基于工作任务不同,水平巷道施工分为巷道断面设计、施工准备、岩巷钻爆法施工、煤巷及半煤岩巷钻爆法施工、煤巷及半煤巷综合机械化施工、资料整理 6 个任务。

通过本项目的教学与实训,使学生学习水平巷道施工的所需理论知识,培养实践技能,能按规定与要求完成实训任务。

任务 1 巷道断面设计

《煤矿安全规程》第十五条规定:单项工程、单位工程开工前,必须编制施工组织设计和作业规程,并组织每个工作人员学习。因此,巷道施工前,必须进行巷道断面设计。

巷道断面设计的基本原则是在满足安全 and 生产要求的条件下,设计合理的巷道断面尺寸,提高巷道断面利用率,利于安全、高效与快速施工,降低掘进、支护与维护成本。

巷道断面设计的内容与步骤:①选择断面形状,初步确定支护方式;②计算断面的净尺寸;③选择道床参数与轨道铺设,计算净断面尺寸与实际掘进断面尺寸;④布置水沟和管线;⑤计算每米巷道工程量及材料消耗量;⑥按比例绘制巷道断面图,编制巷道特征表。

巷道断面设计是矿山井巷工程设计的主要内容之一,以此作为井下巷道施工、工程概预算的依据。因此,巷道断面设计合理与否,直接影响煤矿安全生产和经济效益。

本任务的一体化教学,将使学生学习巷道断面设计所需基本知识、要求、依据,能按断面设计内容分组或独立完成巷道断面设计。

1.1 巷道断面形状选择

巷道断面形状的选择取决于岩石(体)和围岩的物理力学性质、巷道用途、服务年限等因素,同时要考虑巷道运输、行人、通风、支护、布置水沟与管线等。

1.1.1 分析岩石物理性质

1) 区别岩石与岩体

岩石是指由各种造岩矿物颗粒组成的集合体,其颗粒间牢固联结、呈整体或具有节理、裂隙。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。矿物是组成岩石的细胞,它是地壳中具有一定化学成分和物理性质的自然元素或化合物。组成岩石的矿物称为造岩矿物,分原生矿物和次生矿物两大类,常见的主要造岩矿物仅 30 多种。

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 3 部分。

(1) 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 3 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。

注意:沉积物是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,由于流水或风的搬运作用而在海洋、湖泊及地表其他低洼地带沉积下来,称为沉积物。

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是由沉积岩组成,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合,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:

- a. 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。
- b. 砂质结构:指粒径变化在 2 ~ 0.05 mm 的碎屑结构类型,如砂岩。
- c. 粉砂质结构:指粒径变化在 0.05 ~ 0.005 mm 的碎屑结构类型,如粉砂岩、页岩等。
- d. 泥质结构:指粒径小于 0.005 mm 的碎屑结构类型,如泥岩、页岩、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 3 种:

- a. 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。
- b. 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)。
- c. 层状构造:岩石颗粒互相交替,表现出层次叠置现象(层理)。

(2) 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,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。若对地下水处理不当,可能产生不良影响,甚至发生水灾事故。因此,在地下水中进

行井巷施工时必须采取探、排水措施。

(3) 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(CH₄)。甲烷是无色、无味、无臭(简称“三无”)气体;比重为0.554,比空气轻,易积聚于巷道顶部;其扩散能力是空气的1.6倍,扩散性与渗透性强。

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、煤与瓦斯突出等。国内外已有不少矿井,由于瓦斯危害造成人员伤亡和矿井严重破坏的惨痛教训。因此,必须努力地学习瓦斯事故的发生、发展规律及其预防措施,杜绝瓦斯事故的发生,确保安全生产。

2) 分析岩石的物理性质

(1) 密度和表观密度

岩石的密度是指在绝对密实状态下的单位体积内的岩石质量。依定义,计算式为:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-1-1}$$

式中 ρ ——岩石的密度,kg/m³或g/cm³;
 m ——岩石在干燥状态下的质量,kg或g;
 V ——岩石在绝对密实状态下的体积,是指不包含岩石内部孔隙的实体体积,m³或cm³。
岩石的表观密度是指在自然状态下的单位体积内的岩石质量,依定义,计算式为:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \tag{1-1-2}$$

式中 ρ_0 ——岩石的表观密度,kg/m³;
 m ——岩石在干燥状态下的质量,kg;
 V_0 ——岩石在自然状态下的体积,m³,是指包括实体体积和孔隙体积在内的体积。
煤矿中常见岩石的密度和表观密度,见表1-1-1所示。

表 1-1-1 煤矿中常见岩石的密度和表观密度

岩石名称	密度/(kg· m ⁻³)	表观密度/(kg· m ⁻³)
砂 岩	2 200 ~ 2 710	2 000 ~ 2 600
页 岩	2 300 ~ 2 620	2 000 ~ 2 400
石灰岩	2 380 ~ 2 770	2 200 ~ 2 600
煤	1 200 ~ 2 200	1 200 ~ 1 400

由表1-1-1可以看出:对同一岩石而言,岩石的密度大于或等于表观密度。

(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,用 p 来表示,计算式为:

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

式中 V ——试件总体积,m³;
 V_0 ——试件内固体矿物颗粒体积,m³。

煤矿中常见岩石的空隙比,见表1-1-2所示。

表 1-1-2 煤矿中常见岩石的孔隙比

岩石名称	孔隙比/%
砾 岩	0.34 ~ 9.3
石灰岩	0.53 ~ 2.00
砂 岩	1.60 ~ 2.83
页 岩	1.46 ~ 2.59

岩石的孔隙比显著影响岩石的其他性质。随着岩石孔隙比的增大,一方面削弱岩石的整体性,使岩石的密度和强度降低、透水性增大;另一方面由于孔隙的存在,加快岩石的风化速度,从而进一步增大透水性和降低力学强度。

(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将比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:

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

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。残余碎胀系数反映了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 1-1-3 所示。

表 1-1-3 煤矿中常见岩石的碎胀系数

岩石名称	碎胀系数	残余碎胀系数
砂	1.06 ~ 1.15	1.01 ~ 1.03
粘 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,必须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而膨胀的性质。岩石水胀性指标的测试方法是:以试件浸入水中后,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。

(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,其表示水分对岩石强度的影响程度。按下式计算:

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

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 1-1-4 所示。

表 1-1-4 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	20.7 ~ 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

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、空隙发育情况、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,开口空隙愈发育;岩石浸水时间愈长,则岩石浸水后强度降低程度愈大。

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:

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

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。

1.1.2 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。

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岩石会产生变形,但当撤销外力后,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:

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

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。

岩石的塑性是指岩石在外力作用下产生变形,当撤销外力后,其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

岩石的流变就是指岩石的应力应变随时间因素而变化的特性。岩石的流变性质表现为蠕变、弹性后效变形和松弛 3 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:

- a. 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。
- b. 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。

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,巷道断面会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,应力卸载以后,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,应力将随时间而逐渐减小的现象。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。

1.1.3 分析岩石的强度特性

岩石在载荷的作用下会产生变形,当载荷达到一定载荷时就会破坏岩石,此时的最大载荷叫极限载荷,单位面积上载荷称为极限强度。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,巷道不支护仍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、构造特征、加载速率和受力状态等。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。它是目前井下采掘工程中使用最广泛的岩石力学特性。岩石的抗压强度又分为两类: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,空隙度小则岩石抗压强度大,反之亦然。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,它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,且空隙不发育,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轴抗压强度、抗拉强度和抗剪强度,见表1-1-5所示。

表 1-1-5 煤矿中常见岩石强度值 单位: kg/cm^2

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

岩石因受力状态不同,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

针对岩石强度的特点,在破碎岩石时应使岩石处于拉伸或剪切的状态,在维护井巷时应使岩石处于受压状态。

1.1.4 领会岩石分级和围岩分类

在巷道施工中,为了提高破岩效率,应合理选择钻眼爆破参数,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。

1) 普氏岩石分级法

在 1926 年,苏联采矿工程师 M. M. 普洛托吉雅可诺夫(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。坚固性系数是表示岩石在各种采矿作业(如钻眼、爆破等)以及地压等外力作用下被破坏的相对难易程度,它不同于岩石的硬度、强度、可钻性和可爆性等指标。该方法是以岩块的强度为基础的,适用于岩石破碎方面的应用。

岩石的坚固性系数表示岩石破坏的相对难易程度,常用 f 来表示,亦称为普氏系数。 f 值的计算式为:

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

式中 R ——岩石的单轴抗压极限强度,MPa;

10——标准岩石的抗压极限强度,MPa。

根据 f 值的大小,普氏将岩石分为 10 级,共 15 种。普氏系数分类,见表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 普氏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
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;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 _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 岩	致密的黏土;软的烟煤,坚固的表土层;黏土质土壤	1.0