



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

掘进工程

● 主 编 温永康



● 煤炭工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

掘 进 工 程

主 编 温永康
副 主 编 郭廷基 王 浩
参编人员 吴新利 张进贤

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

掘进工程/温永康主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2006

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5020-2906-7

I. 掘… II. 温… III. 巷道掘进-专业学校-教材
IV. TD263.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 058153 号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

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 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 13

字数 304 千字 印数 1—5,000

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

社内编号 5693 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书是教育部中等职业学校勘探与掘进工程专业的规划教材之一。

全书共 10 章，系统地介绍了掘进工程的基础理论和技术管理知识，主要内容包括总论、凿岩爆破、通风与排水、装岩运输与提升、围岩稳定与支护、掘进施工与管理、掘进施工安全、地下工程、地质灾害、掘进项目管理。每章之后附有复习题。

本书也可作为在职培训、就业前培训的教材，或供工程技术人员参考。

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，以满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本套教材是中国煤炭教育协会和煤炭工业出版社受教育部职业与成人教育司委托,根据2000年教育部《面向21世纪职业教育课程改革和教材建设规划》勘探与掘进专业教学指导方案,结合目前工程实际情况,组织部分职业教育院校的教师编写而成。教材编审委员会于2005年8月在河北省北戴河召开了教材编写大纲审定会议,2006年4月在江苏省镇江召开了书稿审定会,会后各书主编根据提出的意见进行修改与完善。各书主审人员对书稿进行了认真的审阅。

勘探与掘进专业中等职业教育国家规划教材全套书共7本,可作为中等专业学校、技工学校 and 职业中学勘探与掘进专业及相关专业的通用教材,可作为企业在职人员的培训教材,也可作为从事矿山勘探与掘进、矿井地质的技术人员以及生产组织管理者的参考用书。

本套教材力求内容先进性、实用性和系统性的统一,同时考虑中等职业教育的特点,人员培养的基本规格和知识、能力、素质结构的要求,注重学生生产实践能力培养。使学生在牢固掌握勘探与掘进专业必需的文化基础知识和专业知识的基础上,具有综合职业技能和全面素质,具有继续学习和创业创新能力。

《掘进工程》一书是勘探与掘进专业中等职业教育国家规划教材中的一本,江苏省徐州机电工程高等职业学校的温永康、王浩编写了总论,第一章,第五章,第七章,第九章;甘肃煤炭工业学校的郭廷基编写了第二章,第六章的第一、二节;宁夏第一工业学校的吴新利编写了第三章,第四章,第八章;石家庄工程技术学校的张进贤编写了第六章的第三、四、五、六节和第十章;陕西能源职业技术学院的李永怀担任此书主审。在此,对在本教材成书过程中提供帮助的人士深表感谢!

中等职业学校“勘探与掘进专业”

教材编审委员会

2006年12月

目 录

第一章 总论	1
第一节 绪论	1
第二节 掘进工程的类型与掘进工艺	3
第三节 岩石与岩体	5
第二章 凿岩爆破	11
第一节 凿岩破碎机理及凿岩机具选择	11
第二节 凿岩生产率计算	17
第三节 爆破作业方法	20
第四节 爆破参数选择与装药量计算	25
第三章 通风与排水	29
第一节 掘进通风	29
第二节 掘进排水	37
第四章 装岩运输与提升	42
第一节 装岩设备	42
第二节 运输系统	50
第三节 提升系统	56
第五章 围岩稳定与支护	63
第一节 影响掘进工程的地质因素	64
第二节 岩体应力场及变化规律	66
第三节 围岩稳定与监控测量	74
第四节 围岩支护	78
第六章 掘进施工与管理	100
第一节 掘进工程的断面设计	100
第二节 钻爆法掘进施工与管理	119
第三节 非钻爆法掘进施工与管理	136
第四节 新奥法施工与管理	144
第五节 不良地层中施工	148

第六节 掘进工程报告的编写	150
第七章 掘进施工安全	156
第一节 安全法规与安全标准	156
第二节 掘进安全管理	162
第八章 地下工程	170
第一节 地下工程的分类	170
第二节 地下工程的施工技术	171
第九章 地质灾害	176
第一节 煤矿矿震	176
第二节 地表塌陷	179
第三节 煤和瓦斯突出	181
第四节 煤矿突水	184
第十章 掘进项目管理	187
第一节 概预算方法	187
第二节 项目的招标与投标	189
第三节 合同管理	193
第四节 工程监理	195
参考文献	200

第一章 总 论

第一节 绪 论

一、掘进工程在国民经济中的地位和作用

掘进工程从广义上讲,就是在地下开挖出各种不同形状的空间,以达到不同用途的目的。掘进工程是研究井巷掘进方法及工艺的应用技术。

实现现代化,增加国民收入,增强国力,提高人民生活水平和改善生活条件,都需要加强和发展矿产开发、水利水电、铁路交通、国防建设等。这些都离不开掘进工程,特别是地质勘探和矿山开采,需要完成大量的掘进工程量才能达到目的。在地质勘探过程中,利用掘进巷道来揭露矿体和围岩,地质调查研究人员可进入矿体和围岩内部,进行直接观察与研究矿体产状的变化规律,追索矿体、采集样品,来验证其他探矿手段所取得的有关资料。对于分散、稀有、贵金属矿的勘探,井巷探矿更是必不可少的手段。在地下采矿过程中,首先要从地表向矿体掘进各种地下通道,形成开采矿体所必备的运输、提升、通风、排水、供水、供电及供风等完整的开拓体系。在随后的矿体划分、矿块的采准与切割,以及回采所需的工程,都离不开掘进工作。

综上所述,掘进工程既是完成地质勘探工作、保证地质勘探质量的重要手段,又是采矿工业的“先行官”,是生产矿山保证三级矿量平衡,实现稳产、高产的重要手段。因此,按计划高质量、低成本地完成掘进工作,对促进地质勘探、矿山开采具有非常重要的意义。

二、掘进技术的发展概况

掘进工程是一门古老而又年轻的学科,在几千年前我们的祖先就会用简单的工具来开挖各种不同用途的洞室。这种简单的方法一直沿袭了几千年之久。随着欧洲的工业革命和进入资本主义时代,掘进技术与其他生产技术一样发展很快。1813年英国人查理德·特里维锡克发明了以蒸气为动力的冲击式凿岩机,从而开始了利用机械打眼的历史,不仅大大提高了凿岩效率,而且使当时的炸药在掘进、采矿生产中发挥了更大的效率,这是采掘工业的一场大革命。

随着科学技术的发展,特别是近几十年来人类社会对采矿工业提出了更高的要求,掘进工程量也不断地增大,对采掘工业技术进步给予了应有的重视。从世界范围来看,无论从掘进机械、材料、施工技术及工艺等方面都得到了高速的发展。

新中国成立前,我国由于长期遭受帝国主义列强的侵略和腐朽政府的统治,采、掘工业技术十分落后。新中国成立后我国的采掘工业才得到了迅速发展,逐步建立了专门的工艺研究所,以及采、掘机械生产厂和配套的教学系统。在掘进机具方面,近年来,设计研

究部门和有关院校及采掘机械制造厂等单位，在吸取国内外先进经验的基础上，结合我国采掘工业发展的特点，研制了大批高效能的采掘机械。例如，在凿岩设备方面，研制了新型风动、电动、内燃、液压凿岩机和全液压凿岩台车；在装岩方面，研制了铲斗式、前端式、顶耙式、蟹爪式、立爪式等类型的装载机；在转载运输方面，研制了液压控制的梭式矿车、内燃运输机车、可控硅控制的架线式机车、小型内燃装运机等；在提升方面，研制了大、中、小型缠绕式提升机和大型多绳摩擦轮式提升机等；在凿岩工具方面，研制了各种系列的新型硬质合金钎头、新型整体钎子等。近年来对联合掘进机也做了大量的研究工作。

掘进工艺技术方面研究和推广的新技术、新工艺：在爆破方面，研制了塑料导爆管、无起爆药系列雷管，推广了井巷光面爆破和深眼直线掏槽的爆破方法等；在施工方面，推广新奥法施工、浅眼多循环快速掘进法施工，液压技术、激光技术、计算机及电子技术等在采掘工程中得到了不同程度的应用。

以上新设备、新技术、新工艺的应用，对提高我国的掘进生产水平起了很大的作用，获得了较好的技术经济效益，促进了采掘工业的发展。但与国外先进水平比较尚有差距，如掘进机械化设备配套还不够完善，质量也不够稳定，掘进工艺技术的研究与生产组织管理的改善仍需进一步加强。我们的任务是在采掘工业的全体科技人员和工人的共同努力下，力争在不远的将来赶上世界先进水平。

三、掘进工程学习的内容、要求和方法

掘进工程按其工艺过程来说，内容涉及岩石与岩体力学、钻眼与爆破、通风与排水、装岩、运输与提升、巷道维护、井巷设计与施工管理等。

掘进工程是在不同的岩石中进行的，所以要懂得岩石的结构、岩石的物理力学性质及岩石的工艺性质。例如，岩石的可钻性、岩石的可爆性、岩石的坚固性、岩体的稳定性以及岩石的分类和分级方法。由于目前的掘进破岩方式主要是采用钻眼爆破法，即首先要在岩石中钻眼，这就要求知道各种凿岩方法破碎岩石的原理和破碎过程，能合理地选择凿岩工具和凿岩方法，确定凿岩生产率，寻求提高凿岩生产率的途径。同时，也要求了解工业炸药性质及爆破破碎岩石的原理、炸药的爆轰理论、炸药特性、起爆器材的性能、起爆方法种类和特点、爆破施工工艺等，以期能够正确地选择起爆器材、炸药、起爆方法和爆破方法。

为及时向井巷内送入足够量的新鲜空气，排除爆破后产生的炮烟（有害气体）与粉尘，为井巷内工作人员提供良好的气候条件，就要了解和掌握巷道风流参数、通风方法、通风设备及其选型计算、风筒的类型和阻力计算等。

在掘进中，巷道内涌水或地表水渗入都将给掘进造成困难或灾害，所以及时地排水也是非常重要的。因此，就要学习有关井巷的排水、防水方法，学会排水设备和管道的选型计算。

爆破崩落下来大量的岩（矿）石，堆积在掘进工作面附近，要把这些岩（矿）石运至地表，是一项繁重而又耗费工时的工序。为了减轻劳动强度，节省工时，就要学习选择装岩、运输、提升的方法及设备选型计算，以便充分地发挥各种工艺方法和设备的生产能力。此外，还要学习生产率的计算，设备的安装，以及牵引和提升力学等内容。

正在掘进施工的巷道和该巷道在服务期间都必须进行有效的维护，使其保持一定的形状并能处于安全状态以保证正常生产，这就要学习岩体力学方面的基本知识和井巷维修的方法和技术，学会地压计算的方法，正确选择支架材料、支架类型及施工工艺等。

本课程还将重点阐述井巷断面的掘进施工，以达到将各章所学内容进行综合应用的目的。

通过本课程的学习，最终目的是能运用专业知识对井巷掘进工程进行设计、组织施工，并在组织施工中对存在的问题及时进行分析，提出解决问题的方法和具体措施。因此，学习者在学习方法上必须理论联系实际，认真搞好该课程所涉及的实验、实习等教学环节，以便为提高专业知识的综合应用能力奠定基础。

第二节 掘进工程的类型与掘进工艺

一、矿山井巷工程的类型和特点

为了把地下矿石开采出来，必须从地表向矿体开掘各种地下通道，其中包括在矿体范围内开掘的一系列开拓采准巷道，如图 1-1 所示。这些井巷种类很多，按其空间位置不同，可分为垂直巷道、水平巷道和倾斜巷道。矿山井巷和探矿井巷的类型大体相同，只是在用途、规格以及数量上有所不同，下面将以煤矿为例进行阐述。

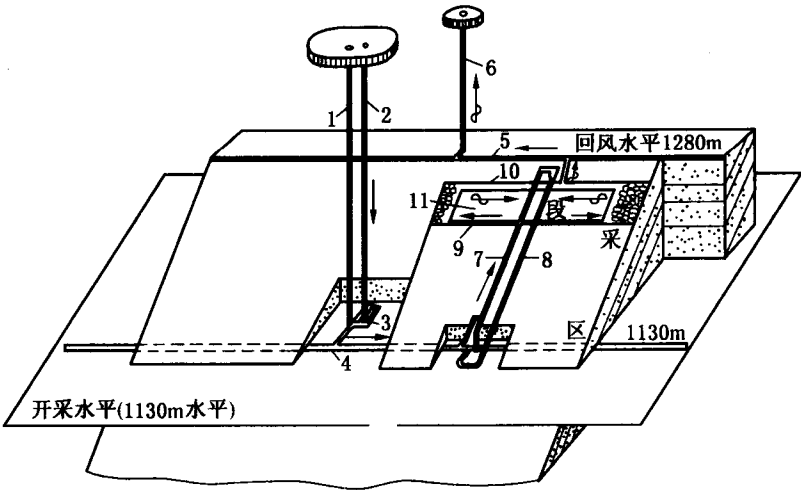


图 1-1 矿井巷道示意图

1—主井；2—副井；3—井底车场；4—阶段运输大巷；5—阶段回风大巷；6—回风井；
7—运输上山；8—轨道上山；9—区段运输平巷；10—区段回风平巷；11—采煤工作面

1. 垂直巷道

立井——有直接通达地面出口的垂直巷道，又称竖井。立井一般位于井田中部，担负全矿煤炭提升任务的叫主立井，担负人员升降和材料、设备、矸石等辅助提升任务的为副

立井。

暗立井——没有直接通达地面的出口的立井。暗立井装有提升设备，也有主、副暗立井之分。暗立井通常用作上、下水平之间的联系，即将下水平的煤炭通过主暗井提升到上一个水平，将上一个水平中的材料、设备和人员等转运到下水平。

溜井——担负自上而下溜放煤炭任务的暗井。

2. 倾斜巷道

斜井——有直接出口通达地面的倾斜巷道。主要担负全矿井下煤炭提升任务的斜井叫主斜井；只担负矿井通风、行人、运料等辅助提升任务的斜井叫副斜井。主要作回风（兼作安全出口）用途，一般布置在井田浅部的斜井叫通风斜井。

暗斜井——没有直接通达地面的出口，用作相邻的上、下水平联系的倾斜巷道。其任务是将下水平的煤炭运到上一个水平，将上一个水平的材料、设备等运到下水平。暗斜井和斜井一样，也有主、副井之分。

上山——没有直接出口通往地面，位于开采水平以上，为本水平或采区服务的倾斜巷道。用它从上向下运送煤炭、矸石，从下向上运送材料、设备、人员等。上山中安设输送机运煤的称为运输上山；铺轨，有绞车运输物料的称为轨道上山；专为通风（兼行人）的上山，称为通风上山。服务于采区的上山叫做采区上山，服务于阶段的上山称为主要（或阶段）上山。

下山——位于开采水平以下，为本水平或采区服务的倾斜巷道。从下向上运煤、矸石等，从上向下运材料、设备，其他与上山相同。

3. 水平巷道

平硐——有出口直接通到地表的水平巷道。一般以一条主平硐担负全矿运煤、出矸、运送材料及设备、进风、排水、供电和行人等任务。专作通风用的平硐称为通风平硐。

石门——开掘在岩层中并和岩层走向垂直或斜交的水平岩石巷道。服务于全阶段、一个采区、一个区段的石门，分别称为阶段石门（又称主石门或集中石门）、采区石门、区段石门。作运输用的石门称为运输石门，作通风用的石门称为通风石门（都指主要用途）。例如，阶段运输石门、采区回风石门等。

煤门——开掘在煤层中并与煤层走向垂直或斜交的水平巷道。煤门的长度取决于煤层的厚度，只有在厚煤层中才有必要掘进煤门。

平巷——没有出口直接通达地表，沿煤层走向开掘的水平巷道。开掘在岩层中的叫岩石平巷，开掘在煤层中的叫煤层平巷。根据平巷的用途，可将平巷分为运输平巷、通风（进风或回风）平巷等。按平巷服务范围，将为全阶段、分段、区段服务的平巷分别称为阶段平巷（习惯上也称阶段大巷）、分段平巷、区段平巷等。

二、掘进方法及工艺简述

巷道掘进有不同的掘进方法。掘进方法的选择，应根据巷道穿过的岩石性质、巷道掘进方向、断面尺寸大小和巷道深度、巷道用途及服务年限、规定的完工期限和当地的技术经济条件等因素来决定。

根据挖掘和支护的程序，掘进方法分为普通掘进法、特殊掘进法和联合掘进机掘进法

3种。

1. 普通掘进法

通常是指在岩层稳定及涌水量不大的情况下掘进巷道的方法。也就是说,在这种岩层中掘进巷道可采用普通的凿岩爆破和支护方法就能进行顺利的掘进。掘进时,井巷的涌水对掘进工作影响不大,支护也可视岩层情况而定。

普通掘进法的掘进工艺过程包括凿岩、爆破、通风、装岩、运输(提升)、支护、排水、照明等。在实际生产中,要根据巷道类型及所穿过的岩石性质、特殊技术要求等来确定其主要工序和辅助工序。

通常主要工序为凿岩、爆破、通风、装岩、运输。而在松软的岩层中掘进时,支护也可变成主要工序。若在涌水量很大的井巷施工,则排水成为主要工序。因此,主要工序和辅助工序只是相对而言,两者之间是紧密联系、相互配合的。主要工序完成的好坏,固然对掘进工程质量、速度和成本起着决定作用,但若辅助工序不能及时而又密切地配合,则将会大大影响主要工序的顺利进行。所有工序既有独立性,又有连续性。只有在时间上和工序上相互衔接、紧密配合,才能保证掘进工作的顺利进行。

2. 特殊掘进法

在地质和水文条件复杂的不稳定岩层,或岩层虽较稳定但涌水量很大(如松软破碎带、断层带、含水砾石层或流砂层等)时,普通掘进法在这些地层无法施工,此时必须采取特殊的掘进和支护方法,否则便不能顺利进行各项作业。

常用的特殊掘进方法有撞楔法、穿梁护顶法、铁道送梁法、喷锚网联合支护法,还有沉井法、冻结法、化学注浆法等。

3. 联合掘进机掘进法

近年来由于机械、钻进工具和材料工业的发展,国内外研制了多种形式的全断面岩石掘进机、天井钻机。它们通过强大的机械动力和切削刀具一次钻凿成井、成巷,从而改变了普通掘进法所用的工艺与工序。由于这种掘进方法所使用的机械设备笨重、动力消耗较大、成本很高,目前仅在少数矿山使用。

第三节 岩石与岩体

一、岩石的物理力学性质

在矿山生产的掘进过程中,既要进行掘进破岩,又要对井下的空间进行必要的维护。为了有效、合理地进行破岩与井巷维护,就要对岩石的物理力学性质有所了解,并在此基础上对围岩进行分类,以便为设计、施工和成本计算提供根据。

(一) 岩石的物理性质

1. 岩石的密度

岩石的密度是指单位体积的岩石(不包括空隙)的质量。岩石的密度取决于岩石的矿物成分。一般的,岩石的密度接近岩石矿物成分的密度。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,而深部的岩石一般具有较大的密度。煤矿中常见的岩石密度见表1-1。

表 1-1 煤矿中常见的岩石密度

岩石的种类	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
石灰岩	$(2.48 \sim 2.85) \times 10^3$
砂 岩	$(2.6 \sim 2.75) \times 10^3$
页 岩	$(2.57 \sim 2.77) \times 10^3$

表 1-2 煤矿常见岩石的吸水率

岩石种类	吸水率/%	岩石种类	吸水率/%
砂 岩	0.20~12.19	花岗岩	0.1~0.92
页 岩	1.8~3.0	石灰岩	0.1~4.45

2. 岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石中孔洞和裂隙的发育程度，它通常用孔隙度表示。孔隙度就是岩石中的各种孔洞、裂隙体积的总和与岩石总体积之比。

岩石的孔隙性对岩石的其他性质有显著的影响。孔隙率增大可使岩石的密度和强度降低，塑性变形和透水性增大。在掘进施工中，裂隙常导致发生冒顶片帮，同时裂隙也是导水和泄出瓦斯的通道。

3. 岩石的吸水性

岩石的吸水性是指遇水不崩解的岩石在一定的试验条件下吸入水分的能力，通常以岩石的吸水率表示。岩石的吸水率就是岩石在大气压力下吸入水的质量与岩石烘干质量的比值。

岩石吸水率的大小，取决于岩石所含的孔隙、裂隙的数量、大小、开闭程度及其分布情况。在工程上往往用吸水率的大小来评价岩石的抗冻性能。当吸水率小于 0.5% 时，一般认为岩石是耐冻的。煤矿常见岩石的吸水率见表 1-2。

4. 岩石的碎胀性

岩石破碎后的体积将比整体状态下增大，这种性质称为岩石的碎胀性。岩石的碎胀用碎胀系数表示，就是岩石破碎后处于松散状态的体积和破碎前处于整体状态下的体积之比。

在井巷掘进中选用装载、运输、提升等设备的容器时，必须考虑岩石的碎胀系数。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。如坚硬岩石破碎后块度较大且排列整齐，则碎胀系数较小；反之，如破碎后块度较小且排列较杂乱，则碎胀系数较大。煤矿中常见岩石的碎胀系数见表 1-3。

表 1-3 煤矿中常见的岩石的碎胀系数

岩石种类	碎胀系数	岩石种类	碎胀系数
碎 煤	<1.20	黏 土	<1.20
砂质页岩	1.60~1.80	硬砂岩	1.50~1.80
砂	1.06~1.15	黏土页岩	1.40

(二) 岩石的力学性质

1. 岩石的变形性质

岩石的变形性质是岩石的主要力学性质。岩石受载时首先发生变形，当载荷增大超过某一数值（极限强度）时，就会导致岩石的破坏。所以岩石的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。

岩石的变形主要有以下 3 种状态：

(1) 岩石的弹性变形。岩石在载荷作用下发生变形，卸载后岩石变形能完全恢复的变形。

(2) 岩石的塑性变形。岩石在载荷作用下发生变形，卸载后岩石变形仍然保留不能恢复的变形。

(3) 岩石的脆性破坏。岩石在载荷作用下，在破坏前没有明显的塑性变形就突然破坏。

岩石的弹性、塑性和脆性不是绝对的，可随受力状态、加载速度、温度等条件而变化。例如，多数岩石在单向或三向低压应力状态下表现出脆性，但在三向高压应力状态下，脆性岩石在破坏前却表现出很大的塑性；在静荷载作用下产生塑性变形的岩石，在冲击荷载作用下脆性显著增长；在常温下表现为脆性的岩石，在高温下塑性显著提高。

岩石是兼有弹性与塑性的材料。岩石受力后既可能出现弹性变形，也可能出现塑性变形，而且弹性变形与塑性变形往往同时出现。

2. 岩石的强度性质

在外荷载作用下岩石抵抗破坏的能力称为岩石的强度。岩石的强度性质也是岩石的主要力学性质。岩石试件在单向压缩时能承受的最大压应力值叫做岩石的单向抗压强度；岩石试件在单向拉伸时能承受的最大拉应力值叫做岩石的单向抗拉强度；岩石试件能承受的最大剪应力值叫做岩石的单向抗剪强度。

岩石的单向抗压强度是目前在煤矿中研究岩石分类、确定破坏准则以及表达围岩坚硬强度时常采用的指标。

由于岩石的抗拉强度远小于抗压强度，在受载不大时就可能出现拉伸破坏，因此岩石的单向抗拉强度对井下巷洞失稳等问题有重要的意义。

根据实验研究，岩石在不同受力状态下的各种强度值，一般符合下列由大到小的顺序：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，单向抗拉强度。

岩石的强度越高，其抵抗外力使其变形、破坏的能力越强，则巷道越稳定。有的巷道就利用围岩本身的强度而不支护，就可以维持巷道的稳定。

3. 岩石的硬度

岩石的硬度，一般理解为岩石抵抗其他较硬物体侵入的能力。硬度与抗压强度有联系又有区别。对于凿岩，岩石的硬度比单向抗压强度更具有实际意义，因为钻具对孔底岩石的破碎方式多数情况下是局部压碎，所以硬度指标更接近反映钻凿岩石的实质和难易程度。

4. 岩石的可钻性和可爆性

可钻性和可爆性是用来表示钻眼或爆破岩石的难易程度的一种概念，是岩石物理力学性质在钻眼或爆破的具体条件下的综合反映。

岩石的可钻性和可爆性，常用工艺性指标来表示。例如，可以采用钻速、钻每米炮眼所需要的时间、钻头的进尺、钻每米炮眼磨钝的钎头数或破碎单位体积岩石消耗的能量来表示岩石的可钻性；采用爆破单位体积岩石所消耗的炸药、爆破单位体积岩石所需的炮眼长度、单位质量炸药的爆破量或每米炮眼的爆破量来表示岩石的可爆性。

二、岩石的工程分级

为了能有效地破岩和合理地进行井巷支护,就必须在研究岩石与岩体的物理力学性质的基础上对岩石进行工程分级,并以此作为选择破岩和井巷支护方法的科学依据,以便进行工程设计,选择施工方法、设备、机具与器材,制定生产定额和材料消耗定额等。

1. 强度分级法

岩石工程分级的方法很多。我国矿山普遍沿用的岩石工程分级方法是按岩石坚固性进行分级的方法,即所谓普氏岩石分级法。

前苏联学者 M. M. 普罗托奇雅可诺夫于 1926 年提出用“坚固性”这一概念作为岩石工程分级的依据。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,普氏提出用一个综合性的指标“坚固性系数”来表示岩石破坏的相对难易程度,通常称为普氏岩石坚固性系数。根据系数值的大小,将岩石分为 10 级共 15 种,见表 1-4。

普氏岩石工程分级法来自实践,简单明确,使用方便,因而多年来在前苏联、中国及一些东欧国家得到广泛地应用。不过它没有反映岩体的特征。关于岩石坚固性在各方面表现趋于一致的观点,对于少数岩石也不尽适用,如黏土就钻眼容易,而爆破困难。如何研究制定出一种既科学简明又易于测定的岩石分级法,是矿山科研工作的一项重要任务。

表 1-4 普氏岩石工程分级

类别	坚硬程度	特 征	普氏系数 f
I	极硬岩石	极硬、极致密、韧性最大的石英岩与玄武岩,及其他特坚硬的岩石	20
II	很硬岩石	很硬的花岗岩、石英斑岩、硅质页岩,比上述石英岩略弱的石英岩,最硬的砂岩和石灰岩	15
III	硬岩石	花岗岩(紧密的)、花岗质岩石,很硬的砂岩和石灰岩,石英质矿脉,硬的砾岩,很硬的铁矿石	10
III a	硬岩石	石灰岩(坚硬的),不硬的花岗岩,硬的砂岩,硬大理岩,黄铁矿、白云岩	8
IV	相当硬的岩石	普通砂岩,铁矿石	6
IV a	相当硬的岩石	砂质页岩,片状砂岩	5
V	中硬岩石	硬质黏土页岩,不坚硬的砂岩和石灰岩,软的砾石	4
V a	中硬岩石	各种不坚硬的页岩,致密的泥灰岩	3.0
VI	相当软的岩石	软页岩与软的石灰岩,白垩、岩盐、石膏、冻土、无烟煤,普通的泥灰岩,破碎的砂岩,胶结的卵石和砂砾,掺粘土	2.0

续表

类别	坚硬程度	特 征	普氏系数 f
VIa	相当软的岩石	碎石土, 破碎的页岩, 结块的卵石和碎石, 坚硬的煤, 硬化黏土	1.5
VII	软岩石	致密的黏土, 中硬的煤, 硬的冲积土, 黏土质土壤	1.0
VIIa	软岩石	轻砂质黏土, 黄土、砾石, 软煤 ($f=0.6\sim1$)	0.8
VIII	土质岩石	腐殖土、泥煤, 轻砂质黏土, 湿砂	0.6
IX	松散岩石	砂、岩屑、小砾石、堆积土、松散土, 开采出的煤	0.5
X	流砂性岩石	流砂, 沼泽土, 含水黄土, 其他含水土壤 ($f=0.1\sim0.3$)	0.3

2. 围岩分类法

根据成因的不同, 岩石分为岩浆岩、沉积岩、变质岩。对于采掘工程来说, 还要对岩石进行定量的区分, 以便能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。

工程实践与理论研究得出, 围岩的稳定性主要取决于岩体的结构和岩体强度, 煤矿部门根据锚喷支护与施工的需要和煤矿岩层的特点, 制定了围岩分类, 见表 1—5。

表 1—5 围 岩 分 类

围岩分类		岩 层 描 述	巷道开掘后围岩的稳定状态 (3~5m 跨度)	岩 种 举 例
类别	名称			
I	稳定岩层	1. 完整坚硬岩层, $R_b>60\text{MPa}$, 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	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. 完整且比较坚硬岩层, $R_b=40\sim60\text{MPa}$ 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, $R_b>60\text{MPa}$	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