

煤矿主体专业远程教育系列教材



JINGHANG GONGCHENG

井巷工程

主 编 刘 刚



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

井巷工程

主 编 刘 刚
副主编 王仁庭
主 审 董方庭

中国矿业大学出版社

前 言

《井巷工程》教材的任务是:以反映煤矿井巷工程施工图设计、施工技术及施工组织与管理的基本知识为主,适当介绍其他系统井巷工程或隧道工程涌现出来的新技术、新成就和新经验。用此教材指导学生学习,使学生比较全面地、系统地掌握和运用上述专业基本理论和基本知识,进而获得结合矿山具体情况分析和解决有关井巷工程实际问题的能力。

《井巷工程》是一门实践性很强的应用性专业课程。学习本课程应当做到“三要”:要注意理论联系实际;要学习研究技术理论知识同学习研究科学组织管理并重,从而较好地掌握课程内容;要做到学习知识和培养分析问题解决问题的能力并重。

本书内容共 11 章,由刘刚任主编,王仁庭任副主编,董方庭任主审。各章编写人员分工如下:第一章、第二章、第三章为东兆星和郑进贤;绪论、第四章、第五章、第八章、第九章为刘刚;第六章、第十章为韩立军;第七章为张剑;第十一章为刘志强;另外,赵建民和牛小国提供了部分章节编写资料。

本书在编写过程中得到了许多老师和专家的关心与支持并提出了许多宝贵的建议,在此谨向他们致谢。

本书编写过程中参考了众多的文献资料,在文后参考文献中可能并没有一一列出,在此向所有的文献作者致谢。

由于编者水平所限,书中不可避免存在缺点或错误,敬希读者指正。

编 者

2005 年 7 月

目 录

前 言	1
绪论 井巷工程施工技术的发展	1
一、井巷工程在煤炭工业中的地位	1
二、井巷工程的范畴	1
三、井巷施工技术的发展	2
四、井巷施工展望	5
第一章 岩石的性质及其工程分级	6
第一节 概 述	6
第二节 岩石的物理性质	7
一、岩石的相对密度和密度	7
二、岩石的孔隙性	8
三、岩石的水理性质	8
四、岩石的碎胀性	10
第三节 岩石的力学性质	10
一、岩石的变形特征	10
二、岩石的强度特征	12
三、岩石的硬度	14
四、岩石的可钻性和可爆性	15
第四节 岩体工程分级	15
一、普氏分级法	15
二、RQD 分级	16
三、原煤炭部制定的围岩分级	17
四、围岩松动圈分级法	18
五、按围岩变形量大小分级	19
本章思考题	20
第二章 井巷凿岩技术与设备	21
第一节 凿岩机的构造和工作原理	21
一、风动凿岩机	21

二、液压凿岩机	25
三、凿岩机的架支机构	26
三、电钻	28
第二节 钻眼工具	30
一、凿岩机的钎子	30
二、煤电钻的钻具	32
第三节 空气压缩机和压风供应	33
一、空气压缩机及其附属装置	34
二、压风管网的布置	36
本章思考题	37
第三章 井巷爆破理论与技术	38
第一节 炸药爆炸理论	38
一、炸药爆炸的基本特征	38
二、炸药及其分类	39
三、炸药的氧平衡和爆热	39
四、炸药的爆轰	41
五、炸药的猛度和爆力	43
六、炸药的敏感度	43
第二节 工业炸药	45
一、单质猛炸药	45
二、硝铵类炸药	46
三、含水炸药	48
第三节 起爆器材和起爆方法	50
一、雷管	50
二、导爆索和继爆管	54
三、电雷管起爆法	54
四、导爆索起爆法	57
第四节 破岩原理和爆破技术	58
一、爆破作用下的岩石破碎机理	58
二、柱状装药的爆破特点	59
三、瓦斯矿井的安全爆破	59
四、微差爆破	60
五、光面爆破	60
本章思考题	62
第四章 巷道断面设计	63
第一节 选择巷道断面形状	63
第二节 确定巷道断面尺寸	64

一、巷道净宽度的确定	65
二、巷道净高度的确定	66
三、巷道的净断面面积	67
四、巷道风速验算	67
五、巷道设计和计算掘进断面面积	70
六、拱形巷道断面计算公式	72
七、巷道断面内水沟和管线布置	72
第三节 巷道断面设计示例	78
一、选择巷道断面形状	78
二、确定巷道净断面尺寸	78
三、布置巷道内水沟和管线	80
四、计算巷道掘进工程量和材料消耗量	80
五、绘制巷道断面施工图、编制巷道特征表和每米巷道掘进工程量及 材料消耗量表	81
本章思考题	81
第五章 水平岩巷施工	83
第一节 钻眼爆破	84
一、炮眼布置	84
二、爆破器材和爆破参数的确定	88
三、装药结构和起爆	90
四、爆破说明书和爆破图表	92
五、钻眼工作	94
六、钻眼爆破安全技术	95
第二节 掘进通风和综合防尘	96
一、通风方式	96
二、掘进通风设施	98
三、独头长距离巷道通风	100
四、综合防尘技术	101
第三节 装岩和转运	102
一、装岩工作	102
二、调车工作	109
三、运输工作	116
四、提高装岩工作效率的途径	117
第四节 岩巷机械化作业线	118
一、我国岩巷机械化施工的发展历程	118
二、我国的岩巷掘进机械化作业线	119
第五节 岩巷全断面掘进机	124
一、岩巷掘进机的构造	124

二、岩石全断面掘进机作业线	126
三、岩巷全断面掘进机在煤矿的应用前景	127
四、全断面掘进机在隧道工程中的应用	127
本章思考题	128
第六章 巷道支护	129
第一节 支护材料	129
一、水泥	129
二、混凝土	133
三、木材	139
四、钢材	140
第二节 锚杆支护	142
一、锚杆的结构类型	142
二、锚杆支护作用原理	147
三、锚杆支护参数设计	149
四、锚杆支护施工及其检测和监测	151
第三节 喷射混凝土支护	153
一、喷射混凝土支护的作用原理	154
二、喷射混凝土材料	154
三、喷射混凝土主要性能指标	155
四、喷射混凝土施工	155
五、喷射混凝土质量检测	158
第四节 锚杆联合支护	158
一、锚喷支护	159
二、锚网支护	159
三、锚杆桁架支护	161
四、小孔径预应力锚索支护	162
五、锚注支护	164
第五节 普通支架支护	164
一、木支架	164
二、金属支架	165
三、石材整体支护	166
本章思考题	167
第七章 巷道施工组织和管理	169
第一节 一次成巷及其作业方式	169
一、掘进和永久支护平行作业	169
二、掘进和永久支护顺序作业	170
三、掘进和永久支护交替作业	170

第二节 一次成巷施工组织和管理	171
一、正规循环作业	171
二、多工序平行交叉作业	171
三、循环图表的编制	172
四、劳动组织形式和基本管理制度	173
第三节 岩巷机械化作业线的施工组织和管理	176
本章思考题	179
第八章 采区巷道施工	180
第一节 概 述	180
一、采区巷道施工的特点	180
二、采区巷道的掘进顺序	180
三、我国煤层巷道掘进现状	181
第二节 煤巷掘进	181
一、钻眼爆破法掘进煤巷	182
二、掘进机掘进煤巷	183
第三节 煤巷快速掘进成巷技术	192
一、连续采煤机掘进煤巷	192
二、采掘锚一体化快速掘进成巷技术	193
三、掘锚一体化快速掘进成巷技术	195
四、采掘锚和掘锚一体化快速掘进成巷之比较	197
五、煤巷快速掘进和支护技术发展趋势	197
第四节 煤巷锚杆支护技术	197
一、我国煤巷锚杆支护技术的发展过程	198
二、煤巷锚杆支护成套技术	198
三、综采和综放工作面全煤切眼锚网支护设计和施工	202
四、煤巷锚杆支护技术的发展方向	204
第五节 半煤岩巷道施工	204
一、半煤岩巷采石位置的选择	204
二、钻眼爆破法掘进	205
三、掘进机掘进	206
第六节 倾斜巷道施工	207
一、自上向下施工法——斜井施工	207
二、上、下山施工特点	212
三、斜井施工实例	214
本章思考题	217
第九章 特殊条件下的巷道施工	218
第一节 软岩巷道施工	218

一、软岩的概念	218
二、松软岩层巷道施工中的几个问题	219
三、松软岩层巷道施工实例	229
第二节 揭露煤与瓦斯突出煤层的施工方法	232
一、煤与瓦斯突出概述	232
二、石门揭露突出煤层的施工方法	233
三、沿突出煤层掘进平巷的技术措施	237
第三节 巷道的维护和修复技术	240
一、维护和修复的一般原则	240
二、冒顶片帮的处理	241
三、砌碛巷道的修复	241
四、岩巷的修复改造	243
五、锚喷支护巷道的修复	244
本章思考题	246
第十章 硐室和交岔点施工	247
第一节 井底车场主要硐室的形式和结构	247
一、主要运输线路(巷道)	247
二、辅助线路(巷道)	247
三、硐室	247
第二节 硐室施工	250
一、我国硐室施工技术的发展	250
二、硐室施工的特点	251
三、硐室施工的方法	252
四、与井筒相连主要硐室的施工方法	254
第三节 交岔点设计和施工	259
一、交岔点的类型	259
二、道岔的概念	260
三、交岔点设计	262
四、交岔点施工方法	266
五、济宁三号煤矿井底车场交岔点施工	269
第四节 煤仓施工	270
一、用反井钻机施工煤仓	271
二、深孔掏槽爆破法	275
本章思考题	276
第十一章 立井井筒的设计和施工	277
第一节 概 述	277
第二节 立井井筒断面设计	278

一、立井井筒断面的布置形式	278
二、立井提升容器的选择	278
三、立井井筒装备	279
四、立井井筒断面尺寸的确定	283
第三节 立井井筒表土施工	285
一、立井表土普通施工法	285
二、立井表土特殊施工法	286
第四节 立井井筒基岩施工	292
一、钻眼爆破工作	292
二、装岩提升工作	295
三、井筒支护工作	298
四、井筒涌水的处理	300
五、立井施工辅助工作	302
六、立井施工设备的布置	303
七、立井井筒安装工作	306
八、立井井筒施工作业方式	307
第五节 立井施工机械化作业线	310
一、立井施工机械化配套	310
二、立井井筒快速施工实例	311
第六节 立井井筒延深	316
一、利用辅助水平延深井筒	316
二、利用延深间延深井筒	317
三、利用反井延深井筒	318
四、延深井筒的保护设施	320
五、立井井筒延深方案的选择	320
本章思考题	322
参考文献	324

绪论 井巷工程施工技术的发展

一、井巷工程在煤炭工业中的地位

煤炭在我国一次性能源结构中处于绝对主要地位,20世纪50年代所占比重曾高达90%。随着大庆油田、渤海油田的发现和开发,一次性能源结构才有了一定程度改变,但煤炭仍占70%以上。据2002年出版的《中国统计年鉴》,2001年中国能源生产总量、消费总量的构成中,煤炭的比重仍分别达68%和67%。在《中国可持续能源发展战略》研究报告中,20多位院士一致认为,2010年煤炭在我国一次性能源生产和消费中将占60%左右;2050年,煤炭所占比例仍不会低于50%。2004年以来,国务院先后三次召开常务会议专题研究煤炭工业改革和发展问题。2004年6月30日,国务院常务会议讨论并原则通过了《能源中长期发展规划纲要(2004~2020年)》(草案),确定了“以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展”的战略方针。煤炭在我国能源结构中的主体地位得到了普遍认同。

1994年,中国原煤产量12.4亿t,跃居世界第一位。从2001年到2004年,我国煤炭产量每年增长2亿t以上,这在世界煤炭工业史上是前所未有的,但仍满足不了国内经济快速发展的需求。2003年全国原煤产量完成16.7亿t,比上年增加2.8亿t;2004年原煤产量突破19亿t,成为名副其实的产煤大国。同时,煤炭出口量达8800万t,仅次于澳大利亚而居世界第二位。

煤炭工业发展取决于煤炭工业基本建设和开拓延深工作能否及时地、持续不断地提供生产煤炭的场所。为了将煤从地下采出,首先要开凿一系列井筒、硐室和巷道到达地下煤层,这即是矿山基本建设的主体工程——矿建工程。移交生产后,随着采煤工作面和采区不断推进,还要及时准备好巷道,以保证采煤工作面 and 采区的正常接续。在上一生产水平煤层采完之前,就要着手进行井筒延深和新水平开拓,以保证水平及时接替。同时,由于矿井生产是地下作业,受自然地质条件影响,随时要与水、火、瓦斯等灾害作斗争,因而在开辟新采煤工作面的同时还需要开凿一系列供运输、排水、通风、行人等使用的巷道,以保证安全生产。掘进工作需贯彻“以掘保采,以采促掘,采掘并举,掘进先行”的方针,同时要合理布置开拓方案,在掘进工作中严格遵守质量标准,积极采用先进技术以加快掘进速度,这些对于保持采掘之间合理比例关系具有重要意义。

因此,采煤和掘进工作是煤炭产品生产过程中最基本、最主要的环节,只有合理和有效地组织采掘工作、保持采掘平衡,达到技术上先进、经济上合理、生产上安全和时间上节省的整体优化,提高劳动生产率、降低原煤成本,才能保证煤炭工业可持续发展,满足国民经济不断增长的需要。

二、井巷工程的范畴

1. 井巷工程概念

井巷工程(shaft sinking and drifting),是研究地层中井筒、巷道、硐室设计和施工基本理

论、方法和技术的应用技术学科。井筒、巷道、硐室等工程是煤矿矿山建设和矿井生产准备的重要组成部分,在矿井建设总工程量中占 50%~70%,是决定矿井建设质量和工期的主要因素。随着矿井开采技术和装备的发展以及开采地质条件的复杂化,对井巷施工技术和装备亦提出了更高要求,施工难度日益增大,因此有效、安全、经济地破碎井巷断面内的岩体并维持围岩的稳定性成为井巷工程研究的核心问题。除煤炭行业外,其他地下采矿行业的井巷、铁路隧道、地铁站线、地下厂房和涵洞的建设均属于井巷工程范畴。

井巷工程的基本理论主要研究井巷破岩机理和围岩压力,为进行工程设计和施工做理论准备。工程设计,是指按照矿井生产需要、服务年限、围岩性质等经济技术条件,经济合理地确定井巷的断面形状、尺寸和支护结构等。而施工则是按照设计要求和施工条件采用不同方法和手段开凿井筒、巷道或硐室等。

2. 井巷施工方法

按照围岩的强度、整体性、含水量及其地质赋存环境,井巷施工方法可以分为普通施工法(普通法)和特殊施工法(特殊法)。

普通施工法,是指在稳定或含水较少的地层中采用钻眼爆破或其他常规手段掘凿井巷。钻眼爆破法施工的主要工序有钻眼、装药、爆破、通风、排水、装岩、排矸和支护等。提高井巷施工速度和效率的主要途径是:提高各工序中主要是钻眼、装岩、排矸、支护等施工机械的性能和配套水平,形成高效能机械化作业线;采用先进的掘进和支护工艺技术;完善施工组织管理,实现各工序平行交叉作业和正规循环作业。

特殊施工法,是指在不稳定或含水量很大的地层中采用特殊措施和工艺完成井巷开挖和支护。特殊措施和工艺的主要技术措施一般包括临时或永久地加固不稳定地层、封堵围岩涌水、降低水位、超前(或同时)支护等,以改善施工作业环境,使掘进和支护可以在安全的条件下正常进行。

按照破岩方法,井巷施工可分为钻眼爆破法和掘进机(钻井机)法。掘进机(钻井机)法是利用掘进机(钻井机)刀具的截割、碾压、楔劈作用破碎岩石的掘进方法。

3. 井巷工程研究方法

井巷工程的研究方法分为科学试验和理论研究两方面。科学实验包括现场观测和室内试验。现场长期观测,积累实测数据并结合室内试验找出岩体破碎和稳定性的有关参数,可为理论研究提供依据。理论研究是对井巷断面内岩体破碎的规律、围岩压力和稳定性等进行定性研究和定量分析与计算。理论研究主要以爆破学、岩石力学的理论为指导。20 世纪 60 年代以来,计算机和计算机模拟技术的发展和广泛应用,使井巷工程理论研究的成果更接近于实际,对井巷设计和施工起了重要的指导和推动作用。

三、井巷施工技术的发展

我国煤矿建设技术,总体上已进入世界先进行列。井巷施工技术的发展在我国主要表现在以下五个方面。

1. 井巷施工机械化水平显著提高

20 世纪 70 年代,通过三部联合攻关,先后研制成功伞形钻架及其配套的重型风动凿岩机,斗容为 0.4 m³ 和 0.6 m³ 机械操纵的抓岩机,容积为 2.0~5.0 m³ 的吊桶,卷筒直径为 3.0 m、3.5 m、4.0 m 的提升机,悬吊能力为 25~40 t 的凿井绞车,扬程为 500 m、750 m 的吊泵和重型金属井架等成套凿井设备,信号和井内设备升降实现集中控制,立井井筒施工技

术装备水平实现新的飞跃。立井施工速度从 20 世纪 80 年代的月平均不足 30 m 上升至 2001 年的 55.68 m, 2002 年一跃突破 70 m 大关。

20 世纪 70 年代以来,我国先后研制成功了凿岩台车、耙斗装岩机、转载机、胶带输送机、梭式矿车、仓式列车等机械设备,使打眼、装岩、转载、运输等工序基本实现机械化,有力地推动了岩巷快速掘进的发展,2001 年全国岩巷平均月进尺已达 83 m。在煤巷和煤—岩巷道中,采用了部分断面掘进机和刮板输送机、吊挂式胶带输送机等配套设备,取得了很好的效果;全断面掘进机也在少数长距离平巷施工中得到应用。以上设备和技术的应用,大大推动了巷道快速施工的发展,曾分别创造岩石巷道、煤—岩巷、煤巷月成巷 741 m、1 434 m 和 2 211 m 的优异成绩,平均月成巷分别达到 80~100 m、150 m 和 300 m 水平。

1970 年,在峰峰通二东风井施工中摸索的斜井机械化配套和施工工艺,经湖南、陕西几个工程处的改进、完善,逐步形成了包括激光指向、光面爆破、耙斗机装岩、箕斗提升、矸石仓储矸、潜水泵排水、长距离输料、锚喷支护等一整套行之有效的施工装备和工艺,使斜井月成井在 2001 年达到平均 65 m。1972 年,湖南基建公司三处在利民斜井施工中创了月成井 364 m 的纪录,打破了当时日本创造的月成井 352 m 的世界纪录。1991 年大同燕子山工程处在马脊梁新高山斜井施工中,在断面 15.02 m²、斜长 950 m 的情况下,采用 1.2 m³ 耙斗装岩机、8.0 m³ 箕斗和 40 m³ 矸石仓,锚喷支护,应用电子计算机和工业电视监控管理,最高月成井达 376 m,积累了大断面斜井施工的新经验。

2. 爆破技术不断取得进步

20 世纪 50 年代,工程中使用的炸药基本上是硝铵类炸药和甘油炸药,品种单一,安全性能差。60 年代先后研制成功不含梯恩梯的铵油炸药和铵沥腊炸药,对节约梯恩梯起了很大作用。70 年代又研制了浆状和小直径浆状炸药。1980 年开始研制水胶炸药并推广使用。1982 年研制成功煤矿乳化炸药,1984 年研制成功岩石乳化炸药,1985 年又研制成功硬塑型煤矿乳化炸药。

煤矿用的雷管,建国初期只有火雷管、瞬发电雷管和秒延期电雷管。20 世纪 60 年代研制成功岩石毫秒电雷管,70 年代研制成功岩石型 10 段高精度延期电雷管,80 年代研制成功各种型号煤矿许用瞬发电雷管和煤矿许用毫秒电雷管。国产的电容式发爆器已形成系列,并建立起一整套炸药、雷管性能的测试装置和测试检验方法。

巷道掘进的爆破技术方面,20 世纪 70 年代开始试验 2.0~3.0 m 深孔光面爆破,1982 年鉴定后在全国推广。从 70 年代开始,对井筒掘进的深孔爆破、光面爆破进行大量研究工作。高精度毫秒延期电雷管和铵黑、水胶、乳化等高威力炸药的研制成功,为光面爆破、大直径深孔爆破技术的发展提供了物质基础。1977 年,在峰峰万年矿中部立风井施工中,成功地进行了孔径 55 mm、孔深 4.2~4.4 m 的光面爆破,连续 44 个循环进尺 189 m,平均循环进尺 3.86 m,爆破率达 88.9%,接近国际先进水平。80 年代在国际招标的摩洛哥杰拉达亚号井和淮南谢桥矸石井井筒工程施工中,采用眼深 3.6~4.0 m 光面爆破,也取得了优异成果,现已普遍推广采用。

3. 锚喷支护得到广泛应用

建国初期,井巷工程基本上采用木支护,不仅安全性差,而且木材消耗量大,木材供需矛盾十分突出。从 20 世纪 50 年代起逐步发展料石砌碛、钢筋混凝土支架和锚杆支护。目前,锚喷支护、金属支架、混凝土或钢筋混凝土支护已成为主要支护形式。

我国于1956年开始试用锚杆支护巷道,60年代初期在岩巷中使用锚杆和喷浆支护,60年代中期随着喷射机具改进又发展为喷射混凝土支护,70年代起光面爆破和锚喷技术结合形成光爆锚喷支护。锚杆从钢筋、钢丝绳水泥砂浆锚杆发展到快硬水泥锚杆、树脂锚杆、管缝锚杆、长锚索等,逐步形成一套比较完善的光爆锚喷和光爆锚网喷支护方式,锚喷支护方式的应用范围从岩石巷道发展到半煤岩巷、煤巷和井筒工程。在立井施工中,已有80多个井筒采用锚喷和锚网喷作永久支护,最大井深已超过1 000 m。

由于锚喷支护机理、设计方法、检测手段不断发展,锚喷机具和施工工艺不断完善,锚喷支护技术逐步配套,使用范围不断扩大,锚喷支护在全国煤矿巷道支护中的比重已超过50%,部分矿井可高达80%以上。

4. 井巷特殊施工技术迅速发展

中国的华东、华北、东北等大部分矿区的煤系地层上部均覆盖着含水量大、不稳定的第三系、第四系表土层,厚度一般为几十米,有的达几百米。为了解决井筒通过这类地层的技术难关,广大科研人员和设计、施工人员付出了极大努力,使井巷特殊施工技术从无到有、从易到难得到了迅速发展。

我国目前已是世界上使用地层冻结法凿井最多的国家之一,冻结施工法已成为中国煤矿穿过深厚表土不稳定含水流砂层的主要方法。由中煤五建公司、中煤三建公司和特殊工程公司施工完成的冻结井深度已达488 m。正在建设施工的山东巨野矿区第三系地层深达500 m,冻结深度达650 m,三圈冻结孔冻结壁厚达12 m,均为国际领先水平。

钻井法凿井作为我国施工深厚不稳定含水地层的主要方法,综合技术已达到世界先进水平,最大钻深达582 m。典型工程有:淮南潘三西风井,钻井深508 m,通过表土层440 m,最大钻井直径9 m,成井直径6 m;淮北许疃矿,主、副、风三个井筒都采用钻井法施工,其中主井和风井成井偏斜率分别为0.02%和0.01%,副井钻井直径9 m,成井直径6.8 m。

为保证井壁施工质量和使用功能,国家规范明确规定,井筒施工期间涌水量大于 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 时必须先注浆后施工,建成后的井筒涌水量不得大于 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。因此,注浆现已成为含水地层井巷施工中不可缺少的工艺。

5. 地面建筑施工技术、机电设备安装技术有了长足进步

地面建筑施工装备已从20世纪五六十年代的手工操作,逐步发展成场内运输车辆化、垂直运输提升化,使建筑施工向半机械化迈进。1978年后,对施工设备进行更新,施工机械化水平迅速提高。针对煤矿地面工业建筑地质条件复杂、现浇钢筋混凝土结构的比重占90%以上的特点,积极发展人工地基加固和抗滑防滑新技术,在筒仓和井塔施工中普遍采用组合钢模和液压滑模、爬模、大模板施工新工艺,创造了钢筋混凝土井塔(架)预建整体平移新方法。改革了选煤厂浓缩池等构筑物的施工工艺,设计建造了直径40 m、容积3万 m^3 的亚洲最大煤仓。

随着全国新建矿井规模不断扩大和矿井装备水平不断提高,煤矿机电设备的安装技术也不断发展。广大施工人员逐步掌握了提升机、通风机、空气压缩机、水泵、井下装载硐室设备、井上下变电所设备和选煤厂设备以及大型金属永久井架的安装技术。20世纪70年代以来又掌握了双滚筒大直径多绳轮提升机和斜井运煤大型胶带输送机 etc 自动化、半自动化设备的安装和调试技术,并取得了组装、调试和试运转一次成功的好成绩。井筒装备材料、结构、施工工艺和测试技术也获得突破性进展,玻璃钢梯子间、树脂锚杆固定井筒装备和各种

防腐材料和技术已在井筒安装工程中普遍应用。

四、井巷施工展望

随着开采深度增加、新井开凿和老矿改扩建,矿井施工正向深井过渡,“十五”期间将有近 200 个井筒施工,其中有近 20 个是千米深井井筒,利用短段掘砌混合作业法为基础的深井机械化凿井,已成为凿井施工建设发展的基本趋势,立井机械化作业线配套将进一步完善并加大能力。同时,全国煤矿施工巷道约 1 万 km/a,其中岩巷 1 500 km/a,在钻爆法施工中平巷将更广泛地应用各种性能的钻车和钻装机并实现动力单一化,提高转载、运输、支护等配套的机械化、自动化程度。

为适应日产万吨级综采工作面快速推进需要,20 世纪 90 年代初期发达国家研制开发了集快速掘进、锚杆支护为一体的掘锚机械化平行作业装备——掘锚联合机组。该设备在英、澳等国应用取得良好效果,在大断面煤巷掘进中年进尺高达 1.5 万~2 万 m。掘锚机组在国外已趋成熟并得到广泛应用,但我国目前还没有生产和引进国外的采掘锚一体化快速掘进成巷设备。因此,在大力推广并在实践中不断提高现有井巷设备的性能和可靠性的同时,引进、研究、开发新工艺、新技术、新设备必将使我国井巷施工技术和装备能满足煤矿建设的需要。

第一章 岩石的性质及其工程分级

本章提要

井巷工程的基本工作就是破岩和维护。这一章主要讲述岩石的物理性质和力学性质,为破岩与维护准备基础知识。另外,围岩的工程分级是工程设计的基本依据之一,在本章最后进行介绍。本章重点是岩石的力学性质和围岩分级。

井巷施工的基本过程,是把岩石从岩体上破碎下来,形成设计所要求的井筒、巷道和硐室等空间,接着对这些地下空间进行必要的维护,防止围岩继续破碎或垮落。因此,破岩和井巷维护是井巷工程的主要问题。为了有效、合理地进行破岩和井巷维护,必须对岩石和岩体的物理力学性质有较深的了解并在此基础上进行科学的岩石工程分级,以便为设计、施工和成本计算提供依据。

第一节 概 述

岩石是由一种或多种矿物组成的。每种矿物都有其一定的内部结构和固定的化学成分,因而各具一定的物理性质和形态。岩石性质与其矿物组成有关。一般而言,岩块中含硬度大的粒状和柱状矿物如石英、长石、角闪石、辉石和橄榄石等愈多,岩块的强度愈高;含硬度小的片状矿物如云母、绿泥石、滑石、蒙脱石和高岭石等愈多,岩块的强度就愈低。

岩石的结构和构造对岩石的性质有重要影响。岩石的结构说明岩石的微观组织特征,是指岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小、形状和颗粒之间的联结方式。岩石结构不同,其性质各异。当矿物成分一定,呈现细晶、隐晶结构时,岩块强度往往比较高。粒状矿物较片状矿物不易形成定向排列,所以当其他条件相同时,含片状矿物较多的岩石往往呈现较强的各向异性;而含粒状矿物较多的岩块则常呈各向同性。沉积岩如砾岩和砂岩的力学性质,除了与砾石和砂粒的矿物成分有关外,还与胶结物的性质有很大的关系。硅质胶结的强度最大,铁质、钙质、泥质和泥灰质胶结的强度依次递减。而岩石的构造则说明岩石的宏观组织特征,岩浆岩的流纹构造、沉积岩的层理构造和变质岩的片理构造,均可使岩石在力学性质上呈现出显著的各向异性。

研究岩石性质时,常用到岩石、岩块和岩体这三个术语。一般认为,岩块是指从地壳岩层中切取出来的小块体;岩体是指地下工程周围较大范围的自然地质体;岩石则是不分岩块和岩体的泛称。由于各种地质作用,岩体中往往有明显的地质遗迹,如层理、节理、断层和裂隙面等。这些地质界面具有强度低、易变形的特点,称为弱面。由于弱面的存在,岩体强度通常小于岩块强度,也就是说,弱面的性质决定着岩体的性质。

在研究岩石的力学性质时,必须注意到岩体的非均质性、各向异性和不连续等问题。但岩块是不包含显著弱面的岩石块体,相对于岩体而言可以把岩块近似地视为均质、各向同性的连续介质,而岩体则不能。除了少数岩体以外,一般岩体均属于非均质、各向异性的不连续介质。

建井工作者常把覆盖在地壳上部的第四纪沉积物如黄土、粘土、流砂、淤泥、砾石等统称为表土;表土以下的固结性岩石统称为基岩。在煤系地层中最常遇到的是各种沉积岩,如石灰岩、砂岩、砂质页岩、页岩等;只有局部地段才有岩浆岩侵入。

第二节 岩石的物理性质

一、岩石的相对密度和密度

岩石由固体、水、空气三相组成,具有相对密度和密度等指标。

1. 相对密度

岩石的相对密度,是指岩石固体实体体积的质量与同体积水的质量之比值。所谓岩石固体实体体积,是指不包括孔隙体积在内的实在体积。其计算公式为:

$$d = \frac{G}{V_c \rho_w} \quad (1-1)$$

式中 d ——岩石相对密度;

G ——绝对干燥时体积为 V_c 的岩石质量, g;

V_c ——岩石固体实体体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 。

岩石的相对密度取决于组成岩石的矿物的相对密度。一般而言,岩石的矿物成分确定以后,岩石的相对密度就可以粗略地进行估计。例如,石灰岩的相对密度与方解石的相对密度相近,砂岩的相对密度接近于石英的相对密度。

2. 密度

岩石单位体积(包括岩石内孔隙体积在内)的质量,称为岩石的密度。岩石的密度又可分为干密度和湿密度两种。干密度是指单位体积岩石绝对干燥时的密度,湿密度是指天然含水或饱水状态下的密度。

$$\rho_c = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

$$\rho = \frac{G_1}{V} \quad (1-3)$$

式中 ρ_c ——岩石的干密度, g/cm^3 ;

ρ ——岩石的湿密度, g/cm^3 ;

G ——岩石试件烘干后的质量, g;

G_1 ——岩石试件的质量(天然含水或饱水), g;

V ——岩石试件的体积, cm^3 。

在一般情况下,岩石干、湿密度差别并不大。但对于某些粘土类岩石,区分干、湿密度却具有重要意义。岩石密度取决于岩石的矿物成分、孔隙度和含水量。当其他条件相同时,岩