

高职高专煤炭专业系列教材

Guangya Guance Yu Kongzhi Jishu

矿压观测与控制技术

淮南职业技术学院组织编写

主编 程云岗 宋永斌

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

专业系列教材

要 容 提

矿压观测与控制技术

淮南职业技术学院组织编写

主 编 程云岗 宋永斌

副主编 李俊斌 曹 祺 柴永兴

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要包括矿山压力的形成、矿山压力观测技术、矿山压力显现规律、矿山压力控制技术、煤矿动压现象及其防治五个方面的内容。简要介绍了矿山岩石和岩体的基本性质、原岩应力及其重新分布,较系统地介绍了采煤工作面和巷道的矿山压力观测、矿山压力显现规律、矿山压力控制三个方面的内容,对煤矿动压现象及其防治也做了较详细的论述。

本书是煤炭高等职业技术院校、高等专科学校煤矿开采技术、矿井通风与安全、矿山安全技术与监察等煤矿主体专业的通用教材,也可用于中等专业学校、成人教育和技工学校煤矿类专业的教学用书,亦可作为煤矿在职人员的培训资料 and 工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿压观测与控制技术 / 程云岗,宋永斌主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1594 - 9

I. ①矿… II. ①程… ②宋… III. ①矿山压力—测试技术—高等职业教育—教材②矿山压力—控制方法—高等职业教育—教材 IV. ①TD326

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 186063 号

书 名 矿压观测与控制技术

主 编 程云岗 宋永斌

责任编辑 耿东锋 孟 茜

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 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 485 千字

版次/印次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定 价 29.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭是支撑我国国民经济发展的主要能源,预计到2050年,我国一次能源生产和消费结构中煤炭仍将占到50%以上。我国煤炭生产以井工开采为主,而井工开采要受到矿山压力(顶板)、瓦斯、水害、火灾、煤尘等自然灾害的威胁。近年来,虽然我国煤炭开采与生产技术取得了巨大进步,安全生产状况也呈现出相对稳定并趋向好转的态势,但是随着开采规模与强度的不断加大,加上我国经济的快速增长,对煤矿的安全提出了更高的要求,因此必须加强安全生产管理。我国在矿山压力观测与控制领域的研究历史悠久,取得了丰硕的成果,学科理论和技术都得到了快速发展,已形成比较完整的理论体系和成套的控制技术。从事井工开采的所有人员,都应学习和掌握有关矿山压力观测及控制的理论、规律、技术、方法。为了满足煤炭高等职业教育教学的需求,我们编写了《矿压观测与控制技术》一书。

教材编写中尽量反映当前最新最有代表性的理论、规律、技术等,充分反映了矿山压力理论和实践的最新研究成果,如矿山压力观测、深井开采巷道和采场的矿压显现与矿压控制、软岩巷道的矿压显现与支护措施、顶板事故的预防与处理等,并结合矿区生产实际融入大量实例。本书知识结构清晰完整,内容由浅入深、浅显易懂、实用性强,是煤炭高等职业技术学院、高等专科学校煤矿开采技术、矿井通风与安全、矿山安全技术及监察等煤矿主体专业的通用教材,也可作为相关专科学校煤矿类专业的教学用书和煤炭工程技术人员的学习资料。

本书由程云岗、宋永斌任主编,李俊斌、曹祺、柴永兴任副主编。具体编写分工如下:第一章第一节由淮南职业技术学院曹祺编写,第三章由淮南职业技术学院宋永斌编写,第四章第三节由淮南矿业集团生产部李俊斌编写,第五章第一节由淮南职业技术学院柴永兴编写,其余章节由淮南职业技术学院程云岗编写。全书由程云岗统稿,曹祺、柴永兴对教材进行了初稿校对。

本书是编者在多年教育教学工作的基础上,广泛参阅相关专著、论文资料

以及网络资源等编写而成的,在此谨向这些书籍和论文的作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有缺点、错误与不足之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

绪论	1
第一节 基本概念	2
第二节 学习意义	3
第三节 矿山压力研究简况	4
第一章 矿山压力的形成	7
第一节 矿山岩石和岩体的基本性质	7
第二节 矿山岩体的原岩应力及其重新分布	26
习题	38
第二章 矿山压力观测技术	39
第一节 矿山压力观测仪器	39
第二节 矿山压力观测方法	52
第三节 矿山压力观测数据的分析与处理	77
习题	85
第三章 矿山压力显现规律	86
第一节 巷道矿山压力显现规律	86
第二节 采煤工作面矿山压力显现规律	110
习题	142
第四章 矿山压力控制技术	144
第一节 巷道围岩控制技术	144
第二节 采煤工作面顶板控制技术	205
第三节 顶板事故的预防与处理	255
习题	279

第五章 煤矿动压现象及防治	281
第一节 冲击地压	281
第二节 坚硬顶板大面积来压	297
习题	304
参考文献	305

绪 论

在我国的能源工业中,煤炭占我国一次能源生产和消费结构中的 70% 左右,预计到 2050 年仍将占 50% 以上,因此煤炭在相当长的时期内仍将是我国的主要能源。我国煤炭生产最大的特点之一是以井工开采为主,井工开采除生产过程复杂、环节多、工作地点需经常移动等特点外,还要受到矿山压力(顶板)、瓦斯、火灾、水害、煤尘等自然灾害的威胁。随着矿井机械化程度的不断提高,开采强度的不断加大,加上我国经济的快速增长,对煤炭工业发展提出了更高的要求,安全问题日趋突出,因此必须加强煤矿安全生产管理,确保煤炭工业持续、稳定、健康发展。

根据 1950~2003 年煤矿各类事故发生次数及伤亡人数的统计结果来看,瓦斯煤尘爆炸事故次数占事故总数的 29.5%,伤亡人数占总伤亡人数的 52.31%,居各类事故之首;其次是顶板事故,发生次数占事故总数的 23.5%,伤亡人数占总伤亡人数的 8.81%;水害事故占事故总数的 12.72%,伤亡人数占总伤亡人数的 11.28%。由此可见,顶板事故的防治与瓦斯煤尘爆炸、水灾事故的防治一样,均是降低煤矿百万吨死亡率的重点。需要指出的是,如果把伤亡 1~2 人的顶板事故统计在内,无论是事故发生的起数,还是死亡人数,顶板事故均居各类事故之首。根据对 2001~2003 年煤矿事故的统计,顶板事故占煤矿事故总起数的 49.86%,死亡人数占总死亡人数的 35.67%。

加强顶板管理,减少或杜绝顶板事故的发生仍然是降低百万吨死亡率,扭转煤矿安全生产形势的重点工作之一。1980~2002 年,我国煤矿事故死亡率从 8.17 人/百万吨降到 4.63 人/百万吨,其中国有重点煤矿从 4.53 人/百万吨降到 1.26 人/百万吨。2009 年,全国煤炭生产百万吨死亡率平均下降到 0.892,历史性地降到了 1 以下。最新发布的煤矿安全生产“十二五”规划提出,到 2015 年我国要将煤矿百万吨死亡率下降至 0.55 以下。据不完全统计,2011 年上半年全国各类煤矿事故起数和死亡人数中,顶板事故分别占 18% 和 10%,相对于煤矿瓦斯爆炸、透水等事故而言,虽然每次死亡人数较少(有的为 0),但其事故发生的频率还是较高的。

有关煤矿顶板事故的统计数据显示,人为因素导致事故发生的比例约占 91.57%,这足以说明加强顶板管理的重要性。特别是中小型煤矿,由于井型小,勘探资料不详,地质条件复杂,规划、设计及施工措施简陋,技术力量薄弱,机械化程度低,安全投入不足,甚至管理不规范等原因,顶板事故屡有发生。要想降低煤矿百万吨死亡率,必须提高认识,加强顶板管理,这是安全生产的最基本要求。煤炭开采需要有工作面,煤炭运输需要通过巷道,完好的顶板支护应是系统畅通、安全生产的前提。为此,支护形式和材料,支架的刚度、强度、柔度和密度,采掘设备和工艺,采高、控顶距、煤柱尺寸,释放压力的方法和手段,采掘工程设计的合理性和科学性,作业规程编制、审批的严密性和执行的实效性,都是搞好顶板管理需要注意的问题。

研究矿山压力的形成、矿山压力显现以及矿山压力控制,目的就是为保证安全生产和取得良好经济效益。在煤矿开采的全过程中,从巷道掘进和支护到采煤工作面采煤和顶板管理、井下巷道的布置和维护、煤矿各部分的合理开拓部署、采煤机械化和“三下”采煤的实现以及露天矿边坡稳定的控制等,都离不开对矿压显现规律的认识和利用。对矿压显现规律的认识越深刻,就越能利用它来改善开采技术及方法,就越有利于有效地控制矿山压力。

煤矿开采过程中,顶板事故频繁或巷道时常需要维修,这些情况必然影响井下正常运输、通风和行人,给生产带来极大的危害,甚至造成停产或成套设备损坏等,这就迫使我们必须重视矿压显现规律的研究和岩层控制方面的问题。

第一节 基本概念

地下岩体在未受到采掘影响以前,岩体中存在的应力处于平衡状态。当在岩体中开凿井巷或进行开采工作时,这种应力的平衡状态遭到破坏,应力必然重新分布,以达到新的平衡状态,如图 0-1 所示。这种由于在地下煤岩体中进行采掘活动而在井巷、硐室以及采煤工作面周围煤岩体中和其中的支护物上引起的力就称为矿山压力(简称矿压,有些文献中称为地压)。

矿山压力作用会引起种种力学现象,如顶板下沉、底板鼓起、巷道断面变形缩小、岩体破坏甚至大面积冒落、支架变形或损坏,以及岩层移动和地表塌陷等,如图 0-2 所示。这些由于矿山压力作用,在围岩、煤体和各种人工支撑物上产生的种种力学现象统称为矿山压力显现(简称矿压显现)。

大多数情况下,矿压显现会给开采工作带来不同程度的危害,为了使矿压显现不影响采掘工作的正常进行和保证安全生产,必须通过矿压观测,探索、掌握矿压显现的规律,并据此提出合理的矿山压力控制的手段、方法,采用恰当的技术和安全措施,实现矿压的有效控制。人们对矿压的控制不仅在于消除和减轻

矿压造成的危害,还包括有效利用矿压的作用为开采工作服务,如依靠矿压的作用压松煤体以利于落煤工作,借助岩层压力作用压实冒落的矸石以形成自然再生顶板等。所有人为地减轻、调节、改变和利用矿山压力作用的各种措施统称为矿山压力控制(简称矿压控制)。

上述三个基本概念既反映了矿压观测与控制技术课程的体系,也涵盖了矿压观测与控制技术课程的主要内容,同时也说明了该课程是煤矿开采的重要基础,是基础理论学科与工程技术学科相互交叉、相互渗透的独立的分支学科。

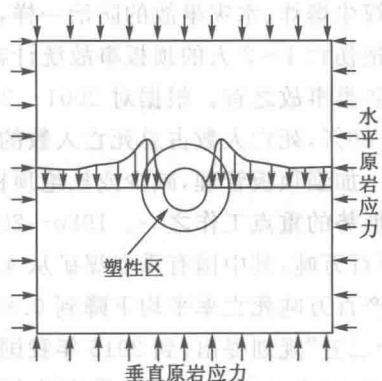


图 0-1 采矿开挖引起的应力集中

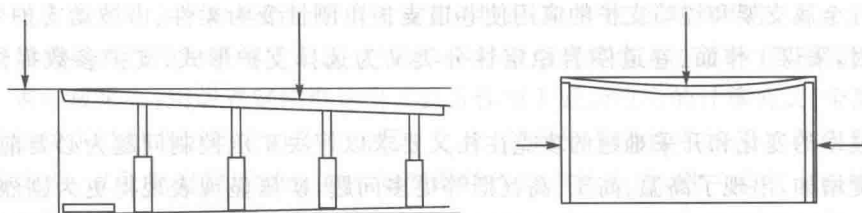


图 0-2 工作面和巷道的矿压显现

第二节 学习意义

矿压观测与控制已成为我国采矿工业各历史阶段技术变革的重要保障,主要表现在以下几方面。

一、保证安全和正常生产

煤矿开采中顶板岩层垮落、露天开采边坡稳定问题,一直是令人关注的重要问题。顶板事故频繁发生和巷道的维护状况差将直接影响到井下正常运输、通风和行人,给生产带来极大危害,甚至难以正常生产。岩层控制理论与技术为大幅度降低顶板事故作出了突出贡献;边坡稳定性研究使边坡设计既能达到经济上可采纳的陡度,又足以维持安全的缓度;巷道围岩控制理论和技术为合理支护各种巷道提供了保障。

为认真贯彻落实“安全第一,预防为主”的方针,扭转煤矿顶板事故频发的状况,促进煤矿强化顶板管理,实现煤矿安全生产形势持续稳定好转,根据《煤矿安全规程》的有关规定,各矿区结合实际制定了相应的煤矿顶板管理制度,以期实现以下目标:杜绝顶板重大事故;采掘工作面质量标准化达到精品矿井标准;提升各类巷道和工作面矿压监测手段,抓好矿压监测、数据分析和应用;开展好掘进及开采巷道支护状况和顶板管理资料的建档工作;积极开展职工现场操作技能培训,进一步提高顶板管理水平。

二、生态环境保护

煤矿开采会引发地表沉陷,带来煤矸石和瓦斯排放等与生态环境保护密切相关的问题。采煤工作面上覆岩层移动是产生这些现象的根本原因。岩层控制理论为实现保水采煤,完善条带开采、充填技术,进行井下矸石处理和抽采瓦斯奠定了理论基础。

三、减少地下资源损失

在煤矿开采过程中,为了保护巷道或管理采煤工作面顶板,常常需留设各种煤柱(如工广煤柱、井田边界煤柱、护巷煤柱等)。据统计,煤柱造成的损失一般占可采储量的 20%~40%,是造成资源损失的主要原因之一。通过对开采引起的围岩应力重新分布规律的研究,实现无煤柱护巷,提出跨巷开采等技术措施,不仅可显著减少资源损失,还有利于消除由煤柱引起应力集中造成的灾害和对采矿工作的不利影响。

四、改善地下开采技术

对采煤工作面、巷道支架—围岩相互作用的深刻认识,围岩支护方法的进步,矿压控制手段的改善均促进了开采技术的发展。如自移式液压支架的应用实现了综合机械化采煤,

巷道可缩性金属支架和锚喷支护的应用使巷道支护由刚性变为柔性、由被动支护变为主动支护。同时,采煤工作面、巷道围岩稳定性分类又为选择支护形式、支护参数提供了理论依据。

开采技术的变化和开采难题的攻克往往又要求以解决矿压控制问题为必要前提,如随着开采深度增加,出现了高温、高压、高瓦斯等更多问题,矿压显现表现得更为剧烈,带来一系列新的矿压控制问题,只有不断解决这些问题才能使未来复杂条件下的工作得以顺利进行。这说明,随着开采条件日益困难和新技术的发展,要更深入地研究矿压显现规律及其新的控制方法。

五、提高采煤经济效果

为了维护巷道和管理顶板,每年要消耗大量人力、物力,例如,一般矿井的巷修人员占井下生产工人的 10%~20%,而且为了进行矿压控制,每年都要消耗大量坑木、水泥等材料,很明显这些都会增加开采费用,使吨煤成本上升。有的甚至由于矿压控制不当发生大规模的顶板事故,造成人员伤亡、设备损坏、生产中断,给全矿井带来更大的经济损失。

在分析研究采煤工作面各种类型顶板、巷道及矿山边坡各类围岩活动规律以及各种控制技术的基础上,较完整地提出从围岩稳定性分类、矿压显现预测、支护设计和顶板动态监测、信息反馈直至确定最佳设计的一整套理论、方法与技术,可以创造良好的社会效益和经济效益。

第三节 矿山压力研究简况

一、对矿山压力的早期认识阶段

我国是世界上采矿最早的国家之一,有文字可考的采矿始于商代。春秋至南北朝时期采矿技术已有全面发展,竖井可达 50~60 m,断面 1.4~2.0 m²,平巷高度 1.5~1.8 m,开始使用框式支架,说明已认识到矿压的危害及需加以控制。随着采矿规模日益扩大,经常出现矿井内顶板冒顶、巷道堵塞或地表塌陷等事故,迫使人们重视和研究矿压问题。欧洲国家对矿压的认识大约始于 15 世纪,因地下开采而发生破坏庙宇及城市供水的事件增多,于 1487 年在欧洲出现了防止采矿工作破坏地表的协定。到 19 世纪 30 年代以后,在比、德、法等国家,为了防止地面房屋建筑遭到破坏,也曾提出过一些确定保护煤柱的方法。

二、建立早期矿压假说阶段(19 世纪后期至 20 世纪初)

这一时期开始利用一些简单的力学原理解释生产实践中出现的一些矿压现象,并提出一些矿压假说。其中最具有代表性的是压力拱假说,即认为巷道上方能形成自然平衡拱,并开始进行有关分析计算,同时提出了以岩石坚固性系数 f (普氏系数)作为定量指标的岩石分类方法,至今都广泛应用。在这个阶段中,对巷道围岩破坏机理和支架所受的岩层压力大小开始了初步的理论研究,尽管提出的一些理论和假说尚存在许多不足之处,使用条件具有局限性,但它在矿压研究发展的进程中仍起过重要作用。在研究岩层和地表移动等方面,通过精确的仪器测量,进行了地面及井下观测,研究得到地表建筑物的损坏不是仅仅由于地表下沉,而是由水平移动和地表下沉共同作用造成的结果。

三、以连续介质力学为基础的研究阶段(20世纪30年代至50年代)

该阶段使用弹性理论研究矿山压力问题,即将整个岩体作为连续的、各向同性的弹性体来考虑。典型成果有:用胡克定律推导出了自重作用下原岩应力的计算公式(金尼克解),用弹性理论解决了圆形巷道的应力分布问题。后来,又研究了岩体非均质和各向异性对理想弹性体的影响,以及把岩层看做具有不同变形特性的弹性介质,进一步研究岩体层理的影响,此外还用连续介质力学方法研究了岩层移动问题。在进行理论研究的同时,矿压研究的实验手段也有了发展,其中较为常用的是利用相似材料进行的相似模型研究和利用光敏感材料进行的光弹性模拟研究。

矿山压力控制手段也取得一些突破,出现U型钢拱形可缩性金属支架(德国,1932年)、摩擦式金属支架(德国,20世纪30年代)、锚杆支架(美国,1940年)、自移式液压支架(英国,20世纪50年代初),这些支护技术的进步,为煤矿此后的矿压控制技术走向现代化奠定了基础。

四、矿压研究的近代发展阶段(20世纪60年代至今)

(一) 理论研究方面

从20世纪60年代开始,除继续应用连续介质力学方法研究问题外,进一步发展考虑岩石真实特性的各种理论研究。岩体是有各种弱面切割的裂隙体,具有与一般固体所不同的特征。从这个观点出发,引用相关学科中现代研究成果,出现了一系列边缘学科分支和方法,如岩石断裂力学、岩石块体力学、岩石流变学、块体稳定理论等,其中的岩石流变学即是将流变理论引入岩石力学的结果,它考虑应力随时间的变化,岩石流变的扩容、膨胀的机理等。这些研究对于服务年限较长的巷道,尤其是软岩巷道的维护有着重要的指导意义。

在研究方法方面,主要是在现代计算技术基础上发展起来的一些新的数值分析方法:有限元、边界元、离散元法等。这些方法可以考虑岩体复杂的力学属性,进而分析巷道和硐室围岩体中的应力变化和位移分布,确定其稳定性等,使矿压理论研究有可能获得更符合实际的数值解答。

在地表岩层移动研究方面,进行了大量的现场观测,掌握了不同条件下岩层移动基本规律。在此基础上建立了更为完善的因开采造成的地表移动和变形值的计算和预测方法,以及开展了因开采工作引起的煤层上覆岩层运动机理及有关规律的研究。

(二) 应用研究方面

配合地下开采技术和支护技术的发展,在不同煤层条件下进行了不同支护类型的采煤工作面矿压显现规律的研究,在各类巷道中开展了有煤柱护巷和无煤柱护巷的矿压显现规律的研究,以及进行了有冲击矿压、煤和瓦斯突出危险煤层开采的有关研究,从而为改善采煤工作面的矿压控制、合理布置和维护巷道以及保证安全生产,提供了大量的科学依据。

(三) 实验研究方面

结合各类研究课题的进行,逐步应用和改善了现场观测、室内实验的各种仪器与设备,广泛发展了包括力学、声学、电学、光学、磁学等各种常规和新的测试手段及方法。对岩石和岩体开展各种力学特性的实验室研究和现场研究,有代表性的是井下钻孔电视应用和真三轴岩石试验机以及刚性试验机,为矿山压力的进一步研究和完善提供了必要的原始数据和资料。另外还出现了大型模拟试验台、先进的多点数据采集仪器等。

(四) 矿压控制方面

进一步改善了巷道支护技术,如使用了大断面、大可缩量和高支撑力的可缩性金属支架,广泛发展应用锚杆支护(锚喷支护),开发了各种类型的锚杆(有树脂锚杆、快硬水泥锚杆、可伸缩锚杆等),采用注浆方法加固不稳定煤层和围岩。采煤工作面中使用的自移式液压支架日趋完善,架型增多,适用范围扩大。对难以控制的坚硬顶板,通过高压注水、超前爆破等手段,比较有效地避免了在采空区突然大面积冒落造成的危害。对井下冲击矿压的预测和控制效果也大为提高。

(五) 我国地下采煤领域中的矿压研究

为了有序地开展矿压研究及推动煤矿科技进步,1979年煤炭部批准在中国矿业大学建立煤炭工业部矿山压力情报中心站,作为全国矿压研究与实践方面的重要学术组织,定期组织召开全国性矿山压力理论与实践研讨会,并下设8个各分站:综采矿压分站、单体支柱分站、井巷地压分站、矿压仪表分站、冲击地压分站、矿山支护与设备分站、软岩工程分站、放顶煤矿压分站。

钱鸣高、牛锡倬、平寿康、刘天泉、宋振骐等学者对推动我国矿压理论研究与工程应用作出了突出贡献,如著名的砌体梁理论、关键层理论、锚杆支护技术等。目前一批中青年学者、专家已迅速成长。

第一章 矿山压力的形成

第一节 矿山岩石和岩体的基本性质

岩体力学中将岩石分为岩块和岩体。岩块是指从地壳岩层中切取出来的、无显著软弱面的岩石块体,如由钻探取得的岩芯、用爆破或其他方式获得的岩样等。岩体是指天然埋藏条件下大范围分布的、由结构面和结构体构成的地质体。一般说来,广义的岩石乃是岩块和岩体的泛称,而狭义的岩石则专门指岩石块体或称为岩石材料。

围岩是指采掘空间周围(包括顶板、底板及两帮岩层)的岩体。巷硐开掘后的应力分布、巷硐稳定性与围岩的力学性质有密切的关系,有些条件下围岩有助于提高巷道及工作面的稳定性,而有些条件下围岩会成为巷道及工作面支架承受的载荷。所以,了解围岩的基本性质是研究矿山压力形成的基础。

一、岩石的基本性质

(一) 概述

岩石是组成地壳的基本物质,是由各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律(通过结晶联结或借助于胶结物黏结)组合而成的。它可以是尺寸很小的矿物颗粒,也可以是相当大的岩体。岩石与处于自然状态下的岩体有所区别,大多数岩石力学文献中,岩石是指从岩体中取出的、尺寸不大的块体物质,有时又称岩块。

岩石按不同标准可分为不同的类型,常见分类方案如下:

(1) 按岩石成因分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。煤田是在地质历史上沉积运动中形成的,煤矿绝大多数遇到的是沉积岩。

(2) 按岩石固体矿物颗粒之间的结合特征,分为固结性、黏结性、散粒状和流动性岩石(如流砂)四大类。煤矿大多遇到的是固结性岩石,即造岩矿物的固体颗粒之间成刚性联系,破碎后仍可保持一定形状的岩石,常见的有砂岩、砂质泥岩、砂质页岩、石灰岩、泥岩、粉砂岩等,比较少见的有砾岩、泥灰岩等。所以对于采矿工程,重点是研究固结性岩石的有关性质。

(3) 按岩石的力学强度和坚实性,常把矿山岩石分为坚硬岩石和松软岩石。一般将饱水状态下单向抗压强度大于 5 MPa 的岩石称为坚硬岩石,而把低于此值的胶结岩石叫做松软岩石(如泥岩、泥质页岩、泥灰岩、硅化黏土等)。实践中常把单向抗压强度低于 10 MPa 的岩石看做松软岩石。松软岩石具有结构疏松、视密度小、孔隙率大、强度低、遇水易于膨胀及有明显流变性等特点,从矿压控制的角度来看,这类岩石往往给采掘工作造成很大困难。

根据岩石的构成特征,可以区分出岩石的结构和岩石的构造这两个概念。

岩石的结构是指决定岩石组织的各种特征的总和,通常指岩石中的矿物颗粒的结晶程度,矿物或岩石碎屑的形状和大小,颗粒之间的相互联结及胶结物的胶结类型等特征。对于

煤矿常见的碎屑沉积岩来说,根据岩石粒径可分为多种岩石结构,见表 1-1。

表 1-1 按粒径划分的岩石结构

岩石结构	砾状结构	砂质结构	粉砂质结构	泥质结构
粒径/mm	>2	2~0.05	0.05~0.005	<0.005
常见岩石	砾岩	砂岩	粉砂岩、页岩	泥岩、黏土岩

岩石的构造则指的是岩石中矿物颗粒集合体之间以及它与其他组成部分之间的排列方式和充填方式。从矿山岩石力学观点来看,主要有以下几种构造。

- (1) 整体构造:岩石颗粒互相紧密连接,无固定排列方向。
- (2) 多孔状构造:岩石颗粒彼此相接不严密,有许多微孔。
- (3) 层状构造:岩石颗粒互相交替,表现出层次叠置现象(层理)。

岩石的构造特征对岩石的力学性质具有明显影响。例如,层理的存在使岩石具有明显的各向异性;在垂直于层理面的方向上,岩石抗拉性能就很差,沿层理面的抗剪性能也很弱;岩石受压时,加载方向与层理面交角不同,强度也有较大差别。

(二) 岩石的物理性质

用某种数值来描述岩石的某种物理性质,这些数值就是岩石的物理性质指标。在工程上常用的岩石物理性质指标有密度和体积力、孔隙性、碎胀性和压实性、吸水性和透水性、软化性、膨胀性和崩解性等。为了测得这些指标,一般都采用岩样在实验室进行试验,必要时还得在现场(如天然露头、探井时)进行试验。选择岩样时应选择具有代表性的地质单元,并能保持其天然结构,最好采用同一岩样逐次测定岩石的各种物理性质指标。下面分别叙述各种物理性质。

1. 密度和体积力

岩石的密度是指单位体积的岩石(不包括空隙)的质量,视密度则是指单位体积的岩石(包括空隙)的质量。

岩石密度的大小取决于岩石的矿物密度,而与岩石的空隙和吸水多少无关。一般来说,岩石的密度接近于岩石矿物成分的密度,例如,硅质胶结的石英砂岩的密度接近于石英(SiO_2)的密度,而石灰岩的密度接近于方解石(CaCO_3)的密度;矿物的密度越大,岩石的密度也越大。

岩石视密度与岩石的矿物密度、空隙、吸水多少有关。根据岩石试样含水状态的不同,岩石的视密度分为:天然视密度(天然含水状态下)、干视密度(在 $105\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ 下干燥 24 h 后)、饱和视密度(岩石在吸水饱和状态下)。当岩石中能进入水的空隙不多时,岩石的三种视密度之间差值很小。实验室一般只提供干视密度指标,如果没有说明含水状态时通常即指干视密度。对于遇水容易膨胀的松软岩石,区分干视密度和饱和视密度有重要意义。

岩石的视密度是研究矿压问题常用的指标,根据岩石的密度和视密度可计算出岩石的孔隙度和孔隙比。岩石的密度一般在 $2.7\times 10^3\text{ kg/m}^3$ 左右,煤矿常见岩石的视密度见表 1-2。

表 1-2 煤矿常见岩石的相对密度、干视密度、孔隙率以及孔隙比

岩石种类	砂岩	页岩	石灰岩	板岩	煤
相对密度	2.60~2.75	2.57~2.77	2.48~2.85	—	—
密度 ρ_d' /kg·m ⁻³	2~2.6	2~2.4	2.2~2.6	—	1.2~1.4
孔隙率 n /%	3~30	10~35	5~20	0.1~1.0	
孔隙比 e	0.031~0.429	0.111~0.538	0.053~0.25	0.001~0.010	1

说明：岩石的相对密度是指岩石固体部分实体积(不包括空隙体积)的重量与相同体积的 4℃水的重量之比，其大小取决于矿物的相对密度，与岩石的空隙和吸水多少无关，且随岩石中重矿物含量增多而增大。

应该指出，长期以来，在岩石力学文献中广泛地应用了岩石的容重这个术语，现在常称为体积力，并以符号 $\gamma(\text{kN/m}^3)$ 表示，其含义为单位体积(包括空隙体积)内岩石的质量所受的重力。为便于计算，工程实践中，可根据岩石的密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$ 换算出岩石的体积力。

2. 孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石中孔洞和裂隙的发育程度，常用孔隙度(率) n 表示。所谓孔隙度是指各种孔洞、裂隙体积的总和与岩石总体积之比，常用百分数表示。孔隙度增大，岩石的视密度和强度降低，同时使塑性变形和透水性增大。

有时，岩石的孔隙性用孔隙比 e 来表示。孔隙比指的是岩石中各种孔洞和裂隙体积的总和与岩石内固体部分实体体积之比。它和孔隙度之间有如下关系：

$$e = \frac{n}{1 - n} \tag{1-1}$$

式中 e ——孔隙比；
 n ——孔隙度，%。

孔隙率是反映岩石致密程度和岩石质量的重要参数。煤矿常见岩石的孔隙率和孔隙比见表 1-2。

3. 碎胀性和压实性

岩石的碎胀性是指岩石破碎以后体积将比整体状态增大的性质。常用岩石的碎胀系数 K_p 来表示，即岩石破碎后处于松散状态下的体积与岩石破碎前处于整体状态下的体积之比。碎胀系数与岩石物理性质、破碎后块度大小及排列状态有关。岩石的碎胀系数对矿压控制，尤其是对采煤工作面的顶板管理有非常重要的意义。煤矿中常见岩石的碎胀系数见表 1-3。

表 1-3 煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数

岩石种类	碎胀系数 K_p	残余碎胀系数 K_p'
砂	1.06~1.15	1.01~1.03
黏土	<1.20	1.03~1.07
碎煤	<1.20	1.05
黏土页岩	1.40	1.10
砂质页岩	1.60~1.80	1.10~1.15
硬砂岩	1.50~1.80	—

岩石的压实性是指岩石破碎后,在其自重和外加载荷作用下逐渐压实使体积逐渐减少的性质。常用岩石的残余碎胀系数 K_p' 来表示(见表 1-3),即压实后的体积与岩石破碎前的原始体积之比。破碎岩石被压实的程度与其本身物理力学性质、外载、经历的时间长短有关,如图 1-1 所示,在采煤工作面后方 50~60 m 处,矽石带的总压缩量达到了其原始高度的 40%~50%。

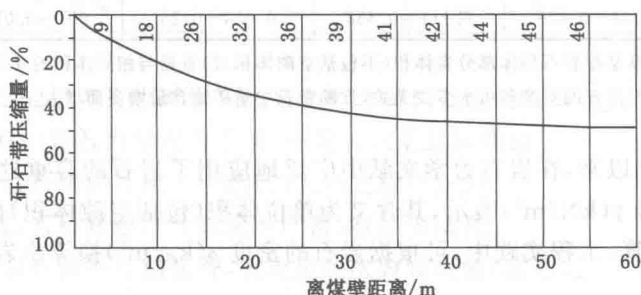


图 1-1 采煤工作面后方矽石带的压实情况

4. 吸水性和透水性

岩石的吸水性是指遇水不会崩解的岩石在一定的试验条件下(规定的试样尺寸和试验压力)吸入水分的能力,通常以岩石的自然吸水率和强制吸水率表示。自然吸水率是试件在大气压力作用下吸入水分的质量与试件的干质量之比;强制吸水率是试件在真空或加压(一般为 15 MPa)条件下吸入水分的质量与试件的干质量之比,也称为饱和吸水率。如果没有专门指明,则岩石的吸水率指自然吸水率。吸水率的大小取决于岩石所含孔洞和裂隙的数量、大小和张开程度,同时与试验方法、时间因素也有关。

在工程上往往用吸水率的大小来评价岩石的抗冻性能,一般当吸水率小于 0.5% 时,就认为岩石是耐冻的。由于吸水率能有效反映岩石孔隙的发育程度,因此它是评定岩石性质的一个重要指标。

地下水存在于岩石的孔隙和裂隙中,而且大多数岩石的孔隙和裂隙是相互连通的,因而在一定的压力作用下,地下水可以在岩石中通过(渗透)。这种岩石能被水透过的性能称为岩石的透水性。岩石透水性的大小除了与地下水水头和岩体内的应力状态有关外,主要与岩石的孔隙率、孔隙大小及其连通程度有关。衡量岩石透水性的指标为渗透系数 $K(m/s)$,由达西定律 $Q=KA I$ (单位时间内的渗水量 Q 与渗透面积 A 和水力坡度 I 呈正比关系)可求得比例系数 K ,即渗透系数。渗透系数一般通过在钻孔中进行抽水试验或压水试验测定。不同岩石的透水性有很大差别,即使同一类型岩石在不同条件下其透水性也有很大不同。

5. 软化性

岩石的软化性是指岩石浸水后其强度降低的性质,通常用软化系数来表示水分对岩石强度的影响程度。软化系数即水饱和岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度之比。岩石浸水后的软化程度,与岩石中亲水矿物和易溶性矿物的含量、孔隙发育情况、水的化学成分及浸水时间长短等因素有关。亲水矿物和易溶性矿物含量越多,孔隙越发育,