

巨厚松散层下开采及地表移动

陈祥恩 李德海 勾攀峰 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

全书分两篇。第一篇,巨厚松散层下开采。在分析岩体分类特征的基础上,结合巨厚松散层下开采实践,论述了综采工艺、炮采工艺的特点及提高工作面产量、效益的途径。论述了采准巷道支护的方向——锚杆支护的有关设计思想及实施效果。第二篇,开采沉陷。论述了巨厚松散层下开采引起的上覆岩层及地表移动变形的基本规律和特征,覆岩及地表移动变形的连续介质理论,巨厚松散层下开采及保护,开采影响的评价及其治理。

本书可供从事煤炭工业科研、设计、教学、工程技术人员参考。

责任编辑 马跃龙 姜志方

责任校对 杜锦芝

图书在版编目(CIP)数据

巨厚松散层下开采及地表移动 / 陈祥恩,李德海,勾攀峰编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2001.9
ISBN 7-81070-388-9

I. 巨… I. ①陈… ②李… ③勾… II. 煤矿开采—沉陷性 IV. TD821

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第056400号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编号 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 417 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

印数 1~1300 册 定价 26.00 元

前 言

随着我国煤矿建设和生产的发展,经常遇到地面有建筑物、水体、铁路等影响地下开采,尤其是在具有巨厚松散层地层结构的矿区,此类问题对煤矿的建设和生产影响更为严重。遇到这类问题,一般情况下,往往是留设煤柱予以解决,严重影响了矿井的统筹规划,造成了大量的煤炭资源浪费。

世界各国对这种特殊情况下压煤开采问题很重视,并进行了大量的研究工作。但针对巨厚松散层下的开采问题及地表移动问题研究的很少。为了总结我们多年来针对巨厚松散层地层条件所进行的开采及地表移动研究成果,推动这方面理论及技术研究的发展,我们编著了《巨厚松散层下开采及地表移动》一书。

全书共分两篇。第一篇,巨厚松散层下开采。在分析岩体分类特征的基础上,结合巨厚松散层下开采实践,论述了综采工艺、炮采工艺的特点及提高工作面产量、效益的途径。论述了采准巷道支护的方向——锚杆支护的有关设计思想及实施效果。第二篇,开采沉陷。论述了巨厚松散层下开采引起的上覆岩层及地表移动变形的基本规律和特征,覆岩及地表移动变形的连续介质理论,巨厚松散层下开采及防护,开采影响的评价及其治理。

本书由李德海博士、教授总编审。书中第一、二、四章由勾攀峰博士、副教授编著,第三、五、六、十章由陈祥恩硕士、高级工程师编著,第七、八、九章由李德海博士、教授编著。

本书在编著过程中,得到了长期同我们密切合作的永城煤电(集团)公司、鹤煤(集团)公司、焦煤(集团)公司、郑煤(集团)公司、平煤(集团)公司、焦作方庄煤矿、辉县市吴村煤矿、安阳矿务局、新峰矿务局、禹州市中峰(集团)公司等许多有关单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书编著过程中,得到了我们的老师、前辈的指导和支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指出。

作 者

2001年5月

目 录

前言	1
----	---

第一篇 开采方法及巷道支护

第一章 煤层顶板力学特征及分类	1
第一节 岩体力学特征	1
第二节 工程岩体分级	6
第三节 采面顶板分类	9
第二章 回采巷道围岩稳定性分类	11
第一节 煤矿巷道围岩稳定性分类的特点	11
第二节 我国缓倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类	12
第三章 合理回采工艺及支护参数确定	17
第一节 炮采工艺系统及支护参数确定	17
第二节 综合机械化开采工艺及参数选择	38
第四章 采准巷道支护	51
第一节 采准巷道支护类型	51
第二节 锚杆支护机理	61
第三节 锚固体的力学特性及变形特性	65
第四节 锚杆支护巷道围岩稳定性	72
第五节 锚杆支护系统设计方法	79
第六节 锚杆支护系统结构优化	90

第二篇 开采沉陷及治理

第五章 地下开采覆岩移动变形及破坏	94
第一节 覆岩破坏的基本规律	94
第二节 地表移动的基本模式	100
第三节 采动影响与损害	105
第四节 影响覆岩变形破坏的主要因素	109
第六章 巨厚松散层下开采沉陷机理	123
第一节 厚含水松散层下开采沉陷特性	123
第二节 巨厚松散层下开采沉陷的机理	125
第三节 影响开采沉陷土体固结变形的因素	128
第四节 影响地表移动的主要因素	129

第七章 开采沉陷的连续介质理论	137
第一节 地表移动理论研究及进展	138
第二节 水平层状介质中的下沉盆地	140
第三节 开采速度和时间对地表变形的影响	158
第四节 倾斜层状介质中的下沉盆地	160
第五节 开采影响的叠加	163
第八章 开采沉陷预计及参数确定	165
第一节 地表移动预计方法及分类	165
第二节 国外的一些开采沉陷预计经验方法	167
第三节 地表移动与变形最大值的计算	170
第四节 概率积分法	172
第五节 基本参数及其确定方法	179
第九章 巨厚松散层下开采沉陷的防治	190
第一节 保护煤柱留设	190
第二节 建筑物下开采对建筑物的影响	197
第三节 建筑物下开采的防护措施	203
第四节 建筑物下条带开采	212
第五节 水体下开采	223
第六节 铁路下开采	231
第十章 巨厚松散层下开采沉陷对环境的影响评价及其治理	246
第一节 概述	246
第二节 开采沉陷引起的环境影响评价	247
第三节 开采沉陷对土地影响的治理	251
第四节 建筑物的采动破裂与保护等级	254
第五节 保护建筑物的措施决策	259
第六节 建筑物的抗变形措施	263

第一篇 开采方法及巷道支护

第一章 煤层顶板力学特征及分类

第一节 岩体力学特征

岩体是一种地质介质,在它成岩或变质过程中,大都经历过许多次强烈程度不同的构造运动。这些构造运动在地层中形成了一系列的构造形迹,大型的如断层、褶曲等,小型的有构造性节理、小型断裂、裂隙以及几何尺寸大小不等的间断面、接触面,片理、层理、劈理、夹层等结构面。这些结构面以其本身的产状、彼此组合的形式将岩体切割成形态不一、大小不等以及成分各异的岩石块体。被各种结构面分割而成的岩石块体又称为结构体。所以我们将岩体看作结构面和结构体组合而成的复合体。它是非连续的,并常具有非均质和各向异性的工程性质。

岩体内部构造特征的性质和分布称为岩体结构。显然,岩体结构对于岩体对开采的影响具有决定性的作用。在采场及巷道周围的支承压力区,构造特征通常是我们最关心的问题,岩体结构可能影响着开采方法的选择和巷道布置,它可控制着巷道的宽度,支护要求,地面沉降等。而在支承压力区以外,构造的影响不太明显,我们更多的是要考虑到矿井的开拓布置问题。

一、岩体结构

1. 岩体构造特征的主要类型

煤系地层多为沉积岩层。在井下,我们常见的岩体构造特征主要有以下几种:

(1) 层面:将沉积岩分为岩层或地层。它们表示岩体沉积过程中的间断。尽管由于风或水流的剧烈作用使迅速产生的沉积层中可包含横切的或不整合层面,但层面通常仍然是高度贯通的结构面。层面可包含有颗粒尺寸不同于形成岩体的沉积物的夹层材料,或可通过低度变质作用而部分地得到愈合。在这两种情况下,岩层之间都会有某种粘结力;否则,层而上的抗剪力就会是纯摩擦性的。由于沉积过程的作用,岩石颗粒可能有一个优先方向,这是形成平行于层面的软弱面的原因。

(2) 褶皱:它的层面势态的变化是由于沉积后构造力作用产生的挠曲的影响所致。褶皱可以是矿区或采区范围内的大构造,也可以是局部的规模较小的小构造。褶皱的主要影响是它可以局部改变岩层的方位,而且某些其他构造特征也与其有关。特别是清晰的节理组可以在褶皱隆起部位或凹陷部位和褶皱两翼处形成。图 1-1 表明一背斜岩层中节理的典型发育情况。

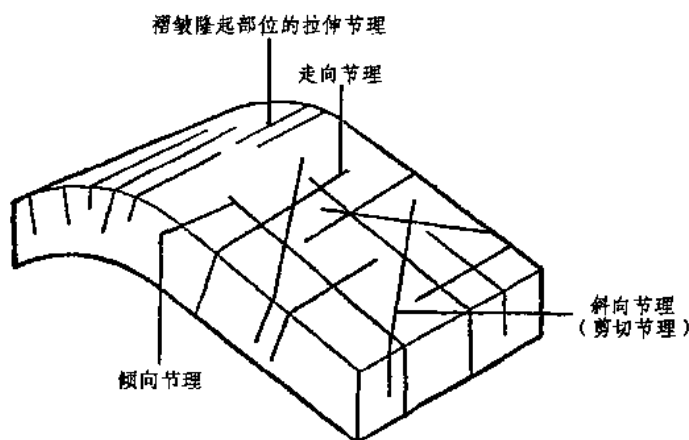


图 1-1 褶皱岩层中的节理

(3) 断层:发生明显剪切位移的断裂面。可以由断层面两边岩体的相对位移识别出断层。断层可以是穿过整个采区的构造,也可以是数米范围内的局部构造。断层常常是阶梯式或成群地发生。断层厚度可以从大的区域性构造时的数米变化到局部断层情况时的数毫米。断层厚度可包含诸如断层泥(粘土)、断层角砾层(重新胶合的)、岩粉或角碎块之类的软弱材料。断层两壁岩面上常常有擦痕,并可能有诸如石墨和绿泥石之类的低摩擦强度的矿物薄膜层。临近断层的岩层有可能被诸如牵引褶皱或次生断层等有关构造所扰动和削弱。这些因素使断层成为抗剪强度很低的区域,容易产生滑动。

(4) 剪切带:指以前曾发生岩石局部破坏的达到数米厚的材料带,它们是在未受其他影响的岩体中的应力释放带,在整个岩体中剪切带可以不规则的发生。剪切带中破裂面可以有擦痕或者是由于应力释放过程或风化过程产生的低摩擦材料所覆盖。和断层一样,剪切带具有低的抗剪强度,但更难于用肉眼直接识别。

(5) 岩脉:细颗粒火成岩的长而窄的侵入体、具有陡峭或垂直的近乎平行的侧壁。由于其强度较高,它的存在直接影响着矿井的开拓布置。

(6) 节理:岩石中最普遍、工程上最有意义的构造特征。节理是原始地质体中的裂缝,沿节理面没有明显的位移。一组平行的节理称为节理组,交叉节理组形成节理系。节理可以是张开的、充填的或闭合的,节理常常平行于层理、叶理或石板状劈理时,它们就可以称为层面节理、叶理节理或劈理节理。沉积岩体常常包含彼此近乎正交并与层面大致正交的两组节理。这些节理有时到层面就尖灭了,面称为主要节理的节理可穿过几个层面。

在工程应用中,通常把抗拉强度为零或抗拉强度较低的节理、断层、剪切面、软弱层面和接触面之类的岩体中所有破裂面或结构面统称为不连续面。有时也把它称为弱面。

断层、节理等不连续面对岩体强度、变形性能、各向异性、力学上的连续性及各岩体内应力分布等均有明显影响,断层可以改变顶板垮落规律,使顶板沿断层切下,可使顶底板移近量加大,甚至造成冒顶事故。因此,它与采掘工程有密切关系。一般而言,断层影响一般是有限的和局部的,而裂隙和层理的影响是经常和普遍的,其影响程度取决于弱面指标的数值。

2. 岩体结构

在实际应用中,按照岩体被结构面分割的程度或结构体的形态特征,可以将岩体结构分

为以下五类:整体结构、层状结构、块状结构、碎裂结构和散体结构。各种结构的地质特征如表 1-1 所列。

表 1-1 岩体结构分类

岩体结构类型	地质特征	结构体几何特征及其工程尺寸的关系	力学介质模型
整体结构	岩浆岩、变质岩及厚层沉积岩等形成的岩体,构造影响轻微,结构面不发育	结构体尺寸大于工程尺寸,或虽小于工程尺寸,但相互配合紧密,形成整体	均质、各向同性的弹性连续介质
层状结构	层状或薄层状沉积岩或变质岩体,层面及层间错动发育,将岩体切割成板	在工程范围内,一组弱面明显发育,呈板状、片状,结构体相互叠合	各向异性,层内均质的弹塑性连续介质
块状结构	岩浆岩、变质岩及厚层沉积岩形成的岩体,受地质构造影响较严重,节理较发育,将岩体切割成块	在工程范围内,二组及二组以上的弱面发育。相对于工程来讲,结构体尺寸较大时易整体滑移破坏,结构体尺寸较小时易组成砌体,岩体在结构面滑移的同时,往往伴随着转动	不连续介质
碎裂结构	风化破碎岩体,压碎岩体,断裂密集式,叠瓦式或交叉式断裂影响带、褶皱带等,受地质构造影响严重	断裂交叉发育,裂隙张开,充填夹泥,局部夹有几何尺寸不一的岩石结构体,划分结构类型时可不考虑工程尺寸	不均一的不连续介质
散体结构	剧烈风化或挤压破碎的各种岩体或土体,结构面充分发育,使岩体极度破碎成碎块、碎屑或颗粒状,有大量断层泥充填	颗粒尺寸与工程尺寸相比极小,划分结构类型时可不考虑工程尺寸	不均一的松散连续介质

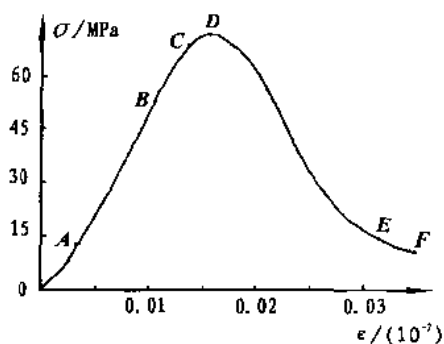


图 1-2 页岩全应力应变曲线

二、岩块力学特征

图 1-2 是某页岩的单轴压缩全应力应变曲线,各区段的特征如表 1-2 所列。

岩块之所以有以上的变形特征,主要是岩石具有多裂隙、多弱面和非均质的特点。开始时,压力加大,空隙和裂隙被压紧,使变形增长比应力增长来的快,压力进一步增大,空隙和弱面均被压实,变形增长变缓,峰值后,变形增加而应力下降。至残余强度后,应力不会增加而变形无限增长。

岩石强度是在外力作用下抵抗破坏的能力。由于外力作用条件不一,表示岩石破坏的指标分别有:岩石的单向与三向抗压强度、抗拉、抗剪强度及岩石硬度和韧性。我国开滦、大同、京西、平顶山、永城等地的煤层顶底板岩石单向抗压强度测定值如表 1-3 所列。由表 1-3 可知,无论什么岩石,其抗压强度大于抗剪强度,抗剪强度大于抗拉强度。因此,常以抗压强度作为岩石强度指标。

表 1-2 岩石全应力应变曲线特征表

特征	OA	AB	BC	CD	DE	EF
斜率	渐增	不变	渐减	速减	变号	变为零
裂隙状况	原始裂隙闭合,试件与压板间隙调整	微量新裂隙产生	应力达 $0.5\sigma_p$, 新裂隙产生渐多(σ_p , 峰值压力)	应力达 $0.95\sigma_p$, 新裂隙急增并相互贯穿	贯穿裂隙继续发展	裂隙停止发育
声发射	微量	少量	明显增多	急增	继续变化	停止变化
残余应变	无	无	有	有	有	有

表 1-3 岩石强度实测值

岩石种类		抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	抗剪强度/MPa
砂岩类	细砂岩	106~146	5.6~18	17.8~54.5
	中粒砂岩	87.5~136	6.1~14.3	13.6~37.2
	粗砂岩	58~126	5.5~11.9	12.6~31
	粉砂岩	37~56	1.4~2.5	7~11.7
砾岩类	砂砾岩	71.6~124	2.9~9.9	7.2~29.4
	砾岩	82~96	4.1~12	6.7~26.9
页岩类	砂质页岩	40~92	4.0~12.1	2.1~30.5
	页岩	19~40	2.8~5.5	16~23.8
灰岩	石灰岩	54~161	7.9~14.1	

三、岩体强度的特征

岩体的强度决定于结构面的强度和岩石的强度, 岩体的抗剪强度包络线是介于结构面强度包络线和岩石强度包络线之间的曲线, 如图 1-3 所示。结构面对岩体强度的影响可用图 1-4 作概括说明。若岩体为同种岩石分层所组成, 或者岩体只含有一种岩石, 但有一组发育弱面(如层理等), 当最大主应力 σ_1 与弱面垂直时, 岩体强度与弱面无关, 此时, 岩体的强度就是岩石的强度; 当 $\beta = 45^\circ + \varphi_f/2$ 时, 岩体将沿弱面破坏, 岩体的强度就是弱面的强度。当最大主应力与弱面平行时, 由于弱面的抗拉强度小, 岩体将因弱面的横向扩张而破坏, 此时, 岩体的强度将介于前述两种情况之间, 如果以极坐标幅角表示弱面与最大主平面的夹角 β , 径向长表示岩体的强度, 则岩体强度随 β 角的变化情况如图 1-4 所示。

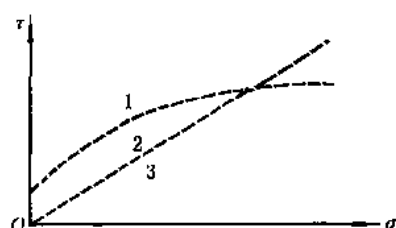


图 1-3 岩体强度
1—岩石; 2—岩体; 3—结构面

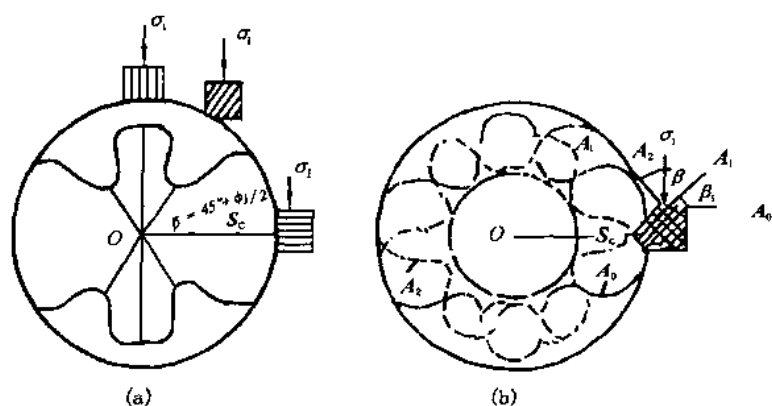


图 1-4 岩体强度的各向异性及其与岩石强度的关系

- (1) 当 $\beta = n\pi$ 时, $S_c = \frac{2C \cdot \cos\phi}{1 - \sin\phi}$
- (2) 当 $\beta = n\pi \pm \left(45^\circ + \frac{\phi_j}{2}\right)$ 时, $S_c = \frac{2C_j \cdot \cos\phi_j}{1 - \sin\phi_j}$
- (3) 当 $\beta = \left(n \pm \frac{1}{2}\right)\pi$ 时, $\frac{2C_j \cdot \cos\phi_j}{1 - \sin\phi_j} < S_c < \frac{2C \cdot \cos\phi}{1 - \sin\phi}$

式中 ϕ, ϕ_j ——分别表示岩石及弱面的内摩擦角;

C, C_j ——分别表示岩石及弱面的内聚力。

显然, 没有弱面时岩体的强度即为图 1-4(a) 中的外圆半径。

当岩体中有多组弱面, 例如, 有 A_0, A_1, A_2 三组弱面。 A_0 与 A_1 的交角为 β_1 , A_0 与 A_2 的交角为 β_2 , 则此时岩体的强度图像将为各单组弱面岩体强度图像的叠加, 如图 1-4(b) 中的阴影部分。这时, 岩体的强度基本决定于弱面的强度。可见, 当岩体中还有 3 组以上弱面, 且弱面分布匀称, 强度大体相同时, 岩体强度图像很接近于图 1-4(b) 中的内圈, 这时, 岩体又恢复了各向同性, 但强度却大大削弱了。

当岩体由不同的薄层岩石所组成时, 其强度的大小将变化于最弱岩层岩石的强度与弱面强度之间。常见的各类弱面的抗剪强度参数如表 1-4 所列。

表 1-4 各类弱面的抗剪强度参数变化范围

弱面类型		内摩擦角 ϕ_i / (°)	摩擦因数 $f_i / \tan\phi_i$	内摩擦力 C_i / MPa
泥化面		10~20	0.18~0.36	0~0.05
层理	粘土、泥灰、凝灰、页岩层面	20~30	0.36~0.58	0.05~0.1
	砂岩、砾岩和石灰岩层面	30~40	0.58~0.84	
片理	滑石片岩、云母片岩片理面	12~20	0.18~0.36	0~0.05
	一般片理面	20~30	0.36~0.58	
光滑破裂面		30~40	0.58~0.84	0.05~0.1
粗糙破裂面		40~48	0.84~1.11	0.08~0.3

第二节 工程岩体分级

一、国内外岩体分类概况

由于组成岩体的岩石性质不同以及岩体中弱面发育情况的差异,致使岩体的力学性质比较复杂。为了岩体工程设计、施工和管理工作的需要,围岩压力的研究,以及便于对岩体的范畴进行鉴别和评价,必须将工程范围内的岩体进行分类,其目的在于对岩体稳定性进行统一评价时,提供一种客观的比较手段和衡量标准,以便根据岩体的质量情况,为工程设计提供可靠的计算参数和实用指标。

近几十年来,由于各种岩体工程的大量修建和工程地质力学理论的发展,工程岩体分类的研究已成为岩石力学和工程地质界普遍重视的重大课题。国内外学者对岩体的分类进行了大量的科学研究工作,提出了许多工程岩体分类方法。1926年前苏联采矿工程师M. M. 普洛托基雅可诺夫提出用反映岩石坚固性的系数“ f ”划分所有岩石的等级,这个方法20世纪50年代初期传入我国,至今还在国内一些矿山工程中沿袭使用。后来,美国D. U. 迪尔提出RQD岩体质量分类法,南非的Z. T. 比尼伍斯科提出RMR分级法,以及挪威的N. 巴顿提出岩体质量指标Q分类法。20世纪70年代以后我国有关部门和单位也纷纷开展了岩体分类的研究,从不同角度提出了各种岩石和岩体分类方法。几十年来,国内外岩石和岩体分类法多达数十种,国内不少部门和单位的岩石力学工作者致力于工程岩体分类研究,取得了可喜的成果,提出了很多工程岩体的分类方法,使得这项研究得到了迅速发展。分类方法上已从过去单一、较粗略、定性评价逐渐向综合、较详细、半定量—定量评价方向发展。可以肯定,今后工程岩体分级的针对性和专业性会越来越强,考虑的因素会越来越全面,勘查的手段会越来越科学,指标会越来越定量。

到目前为止,不论国内还是国际上,至今没有一个为权威机构制定并受到广泛认可的统一的工程岩体分级标准。

二、我国工程岩体分级标准

1991年我国制定了工程岩体分级的国家标准——《工程岩体分级标准》。该标准采用分两步进行的方法为工程岩体定级。即先不考虑工程类型的差别,按照一般岩体的基本稳定特性,对岩体基本质量进行评价和分级,然后再考虑各类岩石工程的特点,根据影响工程岩体稳定性的其他因素,修正原来对岩体基本质量做出的评价,最后确定具体工程岩体的级别。

1. 岩体基本质量分级

《工程岩体分级标准》规定:岩体基本质量应按岩石坚硬度和岩体完整程度确定,并以它们作为岩体基本质量的分级因素。岩石坚硬程度及其与岩石单轴饱和抗压强度(R_c)的经验对应关系如表1-5所列。岩体完整程度及其与岩体完整系数(K_v)经验对应关系如表1-6所列。

岩体完整性系数(K_v)应采用实测值,如因条件限制,可用岩体体积节理数(J_v),按表1-7确定相应的值。

《工程岩体分级标准》还强调应根据岩体基本质量的定性特征和岩体基本质量指标(Q)相结合的方法,按表1-8确定岩体质量级别。

表 1-5 岩石坚硬程度的定性划分及其与岩石单轴饱和抗压强度的经验对应关系

坚硬程度	R_c/MPa	定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	极坚硬岩及坚硬岩	>120 $120\sim70$	>120 $120\sim70$
	极坚硬岩	$70\sim30$	$70\sim30$
软质岩	较软岩	$30\sim15$	$30\sim15$
	软岩	$15\sim5$	$15\sim5$
	极软岩	<5	<5

表 1-6 岩体完整程度的定性划分及其与岩体完整性系数(K_v)的经验对应关系

完整程度	K_v	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
		组别	平均间距			
完整	>0.75	1~2	>1.0	结合好	节理、裂隙	整体状或巨厚层状结构
较完整	$0.75\sim0.55$	2~3	$1.0\sim0.4$	结合好	节理、裂隙	块状或厚层状结构
较破碎	$0.55\sim0.35$	≥ 3	$0.4\sim0.2$	结合好	结构节理、小断层	镶嵌破碎结构
				结合一般		中、薄层状结构
破碎	$0.35\sim0.15$	>3	≥ 0.2	结合差	结构断裂含小断层 构造节理、软弱层面等	裂隙块状结构
			<0.2			破裂结构
极破碎	<0.15			结合很差		散体状结构

注:岩体完整性系数(K_v),是岩体声波速度与岩石声波速度之平方比。

表 1-7 J_v 和 K_v 对照表

J_v (条/ m^3)	<3	$3\sim10$	$10\sim20$	$20\sim35$	>35
K_v	>0.75	$0.75\sim0.55$	$0.55\sim0.35$	$0.35\sim0.15$	<0.15

表 1-8

岩体基本质量分级

基本质量级别	岩体基本质量的定性特征	岩体基本质量指标(Q)
I	岩石极坚硬~坚硬,岩体完整	>550
II	岩石极坚硬~坚硬,岩体较破碎 岩石极坚硬,岩体完整	550~450
III	岩石极坚硬~坚硬,岩体较破碎 岩石极坚硬,或软硬岩互层,岩体较完整 岩石为较软岩,岩体完整	450~350
IV	岩石极坚硬~坚硬,岩体破碎 岩石较坚硬,岩体较破碎~破碎 岩石为较软岩或软硬岩互层,软岩为主, 岩体较完整~较破碎 岩石为软岩,岩体完整~较完整	350~250
V	岩石为较软岩,岩体破碎 岩石为软岩,岩体较破碎~破碎 全部极软岩及全部极破碎岩	<250

岩体基本质量指标(Q),可根据分级因素的定量指标 R_c 和 K_c ,按式(1)计算:

$$Q = 93 + 3R_c + 250K_c \quad (1)$$

2. 工程岩体级别的确定

《工程岩体分级标准》规定地下工程岩体遇有下列情况之一时,应对岩体基本质量指标(Q)进行修正,并以修正后的值确定岩体级别。

- (1) 有地下水;
- (2) 岩体稳定性受软弱结构面影响,且有一组起控制作用;
- (3) 存在岩爆、构造应力及巷道开掘过程中围岩显著位移等高初始应力。

岩体基本质量指标修正值([Q])按式(2)计算:

$$[Q] = Q - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (2)$$

式中 Q ——岩体基本质量指标;

K_1 ——地下水修正影响系数;

K_2 ——主要软弱结构面产状影响修正系数;

K_3 ——初始应力状态修正影响系数。

K_1 、 K_2 、 K_3 值可分别按表 1-9、表 1-10、表 1-11 确定。

表 1-9

地下水修正影响系数 K_1

地下水出水状态	Q			
	>450	450~350	350~250	<250
潮湿或点滴出水	0	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6
淋雨状或涌流状出水, 水压≤0.1 MPa 或单位出水量≤10 L/min·m	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6	0.7~0.9
淋雨状或涌流状出水, 水压>0.1 MPa 或单位出水量>10 L/min·m	0.2	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0

表 1-10

主要软弱结构面产状影响修正系数 K_2

结构面产状及其与 硇轴线的组合关系	结构面走向与硇轴线夹角 $<30^\circ$, 结构面倾角 $30^\circ\sim75^\circ$	结构面走向与硇轴线夹角 $>60^\circ$, 结构面倾角 $>75^\circ$	其他组合
K_2	0.4~0.6	0~0.2	0.2~0.4

表 1-11

初始应力状态修正影响系数 K_3

初始应力状态	Q				
	>550	550~450	450~350	350~250	<250
极高应力区	1.0	1.0	1.0~1.5	1.0~1.5	1.0
高应力区	0.5	0.5	0.5	0.5~1.0	0.5~1.0

第三节 采面顶板分类

原煤炭部颁布的《缓倾斜煤层工作面顶板分类》对认识顶板运动规律,搞好顶板管理,指导生产起到了十分积极的作用。

一、直接顶分类

按反映直接顶稳定的岩石单向抗压强度(σ_c)、节理裂隙间距(I)和分层厚度(h)综合而成的强度指数(D)作为岩性指标,将直接顶分为四类。如表 1-12 所列。

表 1-12

直接顶分类表

类 别	1. 不稳定	2. 中等稳定	3. 稳定	4. 坚硬
强度指数 D/MPa	$D \leq 30$	$30 < D \leq 70$	$70 < D \leq 120$	$D > 120$
直接顶初次垮落步距 L_c/m	$L_c \leq 8$	$8 < L_c \leq 18$	$18 < L_c \leq 25$	$L_c > 25$

强度指数:

$$D = \sigma_c \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (1-1)$$

式中 σ_c ——岩石单向抗压强度,MPa;

C_1 ——节理裂隙影响系数,见表 1-13;

C_2 ——分层厚度影响系数,见表 1-14。

在采用 D 分类时,用直接顶初次垮落步距(L_c, m)作为参考指标。

表 1-13

节理裂隙间距影响系数表

I/m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
C_1	0.3	0.32	0.34	0.37	0.39	0.41	0.43	0.46	0.48	0.5	0.52	0.55

表 1-14

分层厚度影响系数表

h/m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
C_2	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.39	0.41

现场测量的 I 、 h 是任意的,因此,直接用表 1-13、表 1-14 的结果有困难,为此,对两张表中的数据进行回归分析后得到了如下回归关系式(1-2),方便使用。

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.2255(I+1) + 0.0503 \\ C_2 &= 0.154(h+1) + 0.0697 \end{aligned} \quad (1-2)$$

由于开采条件多变,直接顶分类表中 D 与 L_1 并不总是对应的,当指标不一致时,以低类别到高类别为序(1~4),两个条件只要满足一个,就属于该类直接顶。

二、老顶分级

老顶来压强度主要根据直接顶厚度和采高的比值(N)及老顶初次来压步距(L_1),将老顶分成四级。如表 1-15 所列。

$$N = \frac{H}{M} \quad (1-3)$$

式中 H ——直接顶厚度, m;

M ——采高, m。

直接顶厚度与采高的比值 N 应根据构成老顶的条件和地质柱状图找出所在位置和直接顶的厚度计算而得。

表中所列 N 之中的 3~5,系指直接顶冒落后能基本充满采空区所需的倍数比。对于 1、2、3 类顶板可分别取 $N=3$ 、4、5 或根据实测确定。

老顶初次来压步距(L_1)可根据现场实测或矿压显现特征确定。

表 1-15 老顶分级方案

指 标	I	II	III	IV
初次来压显现	不明显	明 显	强 烈	极强烈
直接顶厚度与采高比值 N	$>3 \sim 5$	$0.3 < N \leq 3 \sim 5$	$0.3 < N \leq 3 \sim 5$ ≤ 0.5	>0.3
老顶初次来压步距/ L_1	<25	25~50	25~50	>50

第二章 回采巷道围岩稳定性分类

巷道围岩稳定性分类的目的在于合理地进行巷道支护,在一定的地质和技术条件下,给出巷道的稳定状况以及保持巷道稳定所需要的支护强度、支护形式、主要支护参数及其他与巷道支护有关的问题。

早在 18 世纪,在矿山开采及各种地下工程的建设中就开始用分类的方法来研究地下工程围岩的稳定性,并指导地下工程的开挖与支护。以后随着采矿和其他地下工程的发展,出现了各种岩石及地下工程围岩稳定性分类,由于工程的目的不同,分类的方法也不同,如岩石坚固性系数分类法、RQD 分级法等。对各种分类方法进行综合分析可以看出,大体上有四类:① 单因素岩性指标分类;② 多因素定性定量相结合的分类方法;③ 多因素综合指标分类;④ 多因素复合指标分类—岩体质量系数分类。

本章简要介绍煤矿巷道围岩稳定性分类的特点、回采巷道围岩稳定性分类方案以及合理的巷道支护技术。

第一节 煤矿巷道围岩稳定性分类的特点

煤矿巷道围岩稳定性分类属于工程性分类的范畴,是直接为巷道设计、施工服务的。因此,它应以巷道围岩移近量作为客观标准,所有与巷道围岩移近量有重要影响的因素,都应作为巷道围岩稳定性的分类指标。

煤矿巷道有其自身的特点,首先,它的施载体系与承载体系之间无严格的界限,在一定的条件下,施载体系可以转化为承载体系,同样,承载体系也可以转化为施载体系。人为的加固、支护围岩仅起到部分支撑作用,保持巷道稳定更重要的是促进施载体系向承载体系转化。与地面工程中承载体系和施载体系的作用截然分开相比,巷道支护则要依靠支架与围岩的相互作用关系,所以选择合理的支护方式具有更突出的意义。

第二,与一般的地下工程不同,煤矿巷道在其服务时间内,必须重视采动影响问题。回采空间周围应力重新分布,由中心向四周形成压应力降低区、压应力升高区和原岩应力区,同时在围岩中向四周形成围岩破坏的“三带”。随着回采工作的推移,这种应力分布的“三区”和围岩破坏的“三带”也相应移动,对巷道维护方式产生严重影响。因此,巷道布置的位置、掘进、维护时间、支护方式和参数都与回采工作面有密切的关系。这种内在关系即是巷道矿山压力及其显现的基本规律。

第三,巷道工程的工作对象是岩体,而岩体是极其复杂的结构物,由结构面和结构体组成,巷道周围的结构面主要有节理、裂隙、断层等,其力学性质比较复杂。结构体的组成、形状差别很大,造成巷道周围岩石具有很大的不均匀性。通常,根据研究对象的不同,可划分为块裂、板裂、碎裂及连续四种力学介质和多种力学模型。因此,在进行巷道工程力学分析时,除应用解析方法、数值分析方法外,模糊分析、概率分析、随机分析也愈来愈表现出强大的生命力。

煤矿巷道的上述三个特点在煤矿巷道围岩稳定性分类研究中,是选择分类方法、研究分类指标、进行原始数据预处理、挑选预测方法的基础。因此,煤矿巷道围岩稳定性分类应体现这三个方面的突出特点。

第二节 我国缓倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类

一、分类方法

模糊聚类分析自问世以来,发展十分迅速,它将模糊数学的理论、方法引入到聚类分析中,从而形成了模糊聚类分析,并且成功地应用到选矿、气象、地震、林业、农业、环境科学等多方面。巷道围岩的稳定性是一个复杂的问题,它受到多种因素的影响,例如围岩性质、围岩结构、构造和破坏的情况、围岩应力、地下水、巷道位置、巷道断面的形状及大小、巷道支护方式等,对于回采巷道和某些巷道还要受到采动影响(包括固定支承压力、移动支承压力和压力降低等)。对于如此错综复杂的问题,必然要采用多指标分类,多指标分类的突出问题是各指标分类档次的不一致性。对各指标分类档次综合分析后选用的类别不一定符合客观实际等。对此,人们把聚类分析引入到巷道围岩分类中来。其实质是运用数学方法研究样本之间的亲疏程度及类的划分。对于巷道围岩稳定性分类,在影响因素取舍的界限、分类指标数值的确定以及样本之间亲疏界限等方面都具有很强的模糊性。因此,对于模糊性强、多因素、多指标的回采巷道围岩稳定性分类,采用模糊聚类分析是适宜的。

二、分类指标的确定

回采巷道围岩稳定性分类是直接为生产服务的,因此,选取分类指标应遵循的原则是:分类指标是影响回采巷道围岩稳定性的主要因素,能定量表示;在煤矿现场容易测取,便于现场使用和分类方案的推广。也就是说,所选择的指标应具有科学性和实用性。

已有的研究表明,回采巷道围岩稳定性受多种因素的影响,它不仅取决于地质因素,同时也取决于生产技术因素。巷道围岩变形是其稳定性的综合反映,是多种因素综合影响的结果。如果以 K 表示围岩移近率,则选择 K 作为各分类指标的函数:

$$K=f(\sigma_{\text{顶}}, \sigma_{\text{煤}}, \sigma_{\text{底}}, H, l, N, x)$$

式中 $\sigma_{\text{顶}}$ ——直接顶单向抗压强度;
 $\sigma_{\text{煤}}$ ——煤的单向抗压强度;
 $\sigma_{\text{底}}$ ——直接底的单向抗压强度;
 H ——巷道埋藏深度,m;
 l ——直接顶初次垮落步距,m;
 N ——直接顶厚度与采高的比值;
 x ——护巷煤柱宽度。

上述分类指标在煤矿中较易测取,且是影响巷道围岩稳定性的主要因素,因此是较为科学和实用的。

由于采用了围岩移近率,即顶、底板(或两帮)移近量与巷道高度(或宽度)比值,所以巷道断面积在分类指标中未作为单独的分类指标。

这里还需指出,地下水对相对数量的岩石有软化和泥化作用。尤其对软岩,地下水容易使其崩解或膨胀。对有些“硬岩”,地下水对其也有软化作用。地下水是影响巷道围岩稳定性