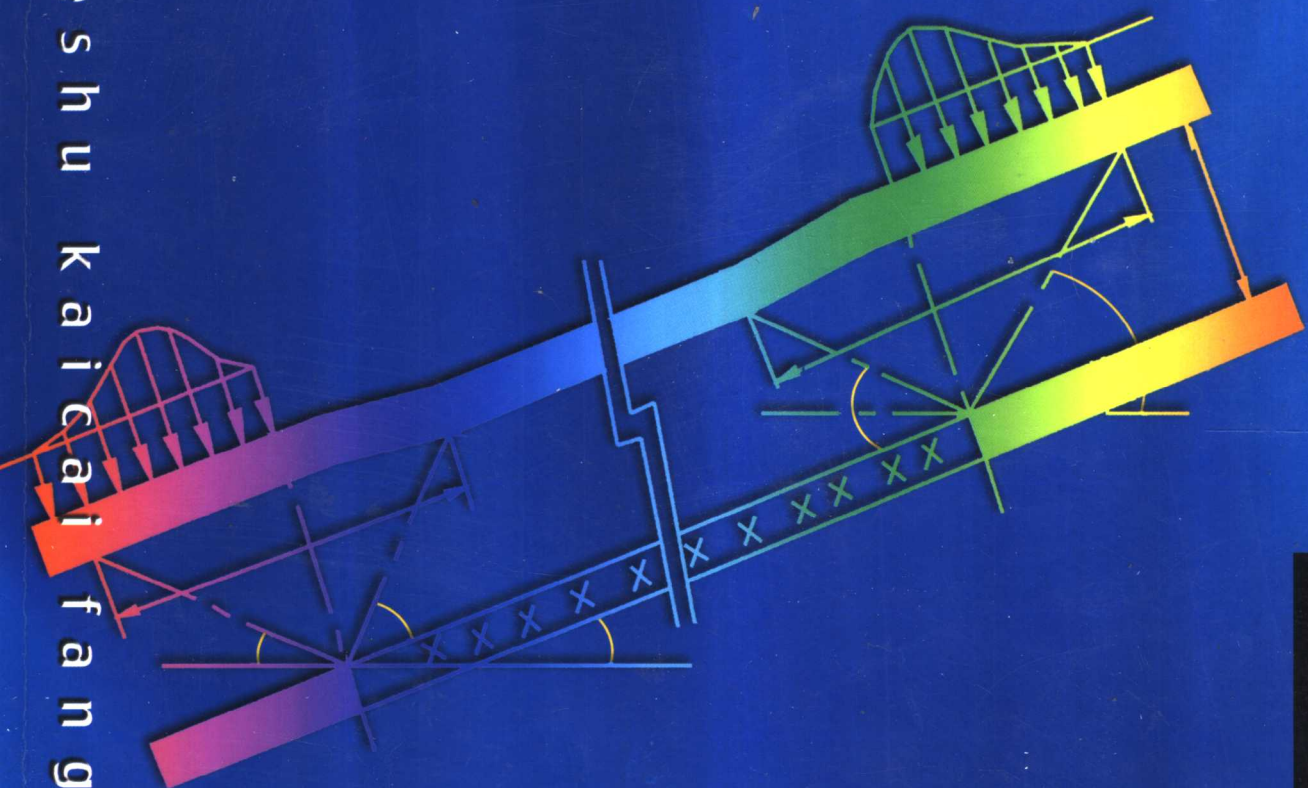


meikuang
teshu
kaicai
fangfa

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

煤矿特殊开采方法

杜计平 汪理全 编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

煤矿特殊开采方法

杜计平 汪理全 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书讲述了煤炭地下开采引起的上覆岩层及地表移动的基本理论,建筑物下、村庄下、铁路下、水体下和承压水上开采的相关规定、判别方法和应采取的技术措施;介绍了上行开采的条件及判别方法,深矿井开采的巷道布置、开采部署和矿压控制对策,难采煤层开采的途径,以及水力采煤、充填采煤及煤层气开采的特色。

本书是为采矿工程专业学生编写的教材,也可供相关专业的研究人员、生产技术人员和设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿特殊开采方法/杜计平,汪理全编著. —徐州:

中国矿业大学出版社,2003.10

ISBN 7 - 81070 - 787 - 6

I. 煤… II. ①杜… ②汪… III. 三下采煤

N. TD823.83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 079362 号

书 名 煤矿特殊开采方法

编 著 杜计平 汪理全

责任编辑 朱明华

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 312 千字

版次印次 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数 1~1000 册

定 价 15.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

煤矿特殊开采方法是指在特殊或困难条件下,或采用特殊开采工艺方式,或在长壁、垮落和下行开采体系之外开采煤炭的方法。

特殊开采方法课程内容涉及开采引起的上覆岩层及地表移动、建筑物下开采、铁路下开采、水体下开采、承压水上开采、上行开采、有冲击地压和煤与瓦斯突出危险的煤层开采、边角煤开采、难采煤层开采、深矿井开采、水力采煤、充填法采煤和煤与煤层气共采等开采方法,其内容选择的指导思想是:

一、基于煤矿生产现场的特殊和困难条件

煤炭地下赋存的复杂性和由于生产矿井遵循先近后远、先浅后深、先易后难、先优后劣的开采原则,煤矿企业在开采过程中遇到的特殊和困难条件必然愈来愈多,特别是近十几年来更加明显。我国建筑物下、铁路下、水体下和承压水上积压着大量的煤炭资源,多数矿井或多或少都有“三下一上”开采的问题;有些矿井在浅部就存在着“三软”煤层开采的问题;在机械化水平较高的矿井中存在着一定数量的边角煤;在我国的煤炭资源储量中,有相当一部分属于难采煤层、不稳定煤层和极薄煤层。随着采深增加,一些老矿区,特别是东部矿区的一些深矿井出现了矿压显现强烈,地温升高,勘探、提升和通风困难,经济效益下降,有冲击地压和煤与瓦斯突出危险等问题。

煤矿特殊开采方法课程的一部分内容是针对煤矿生产现场遇到的以上问题编著的,特殊开采方法讲授特殊和困难条件下开采遇到的问题、造成的影响和可能带来的后果,在保证安全生产和合理生产的前提下应采取的技术措施。

二、拓宽煤矿开采方法的知识体系

《煤矿开采学》课程讲授的内容是在长壁、垮落和下行体系下的采矿原理、矿井开拓、准备方式、采煤方法等,这些内容是采矿知识基础,学生接受这些知识是完全必要的,就采矿知识结构来讲,地下采矿工程专业的学生仅仅掌握这些知识是不够的或不完全的。

煤矿特殊开采方法课程的另一部分内容是在长壁、垮落和下行体系之外编著的,内容涉及到上行开采技术、条带采煤法、充填采煤法以及水力采煤和煤与煤层气共采等特殊开采工艺。这些开采方法是和生产条件密切相关的。一定条件下采用上行开采顺序不仅能保障矿井安全生产,而且能带来较好的技术经济效果;矿区的地表塌陷和生态环境变差在一定程度上是和垮落开采连在一起的,随着国家对矿区环境保护的要求提高和“三下”开采规模的扩大,充填采煤法和条带采煤法具有良好的应用前景;一定条件下在不规则煤层中采用水力采煤法是非常有效的;而煤与煤层气共采是煤炭开采技术的发展方向之一。煤矿特殊开采方法讲授上行开采的判别方法、条带采煤法的条带宽度设计、充填采煤法、水力采煤法和煤与煤

层气共采的巷道布置特点和工艺特色。

三、加强技术基础理论

地下开采引起的岩层移动和地表变形规律是建筑物下、铁路下和水体下开采的技术理论基础,所涉及和应用的数学较深。煤层大面积开采后,在其围岩体中产生采动影响,在所采煤层的上面岩层内的采动影响谓之“顶三带”、“横五区”;在所采煤层下面岩层内的采动影响谓之“底三带”。水体下开采、上行开采和承压水上开采的技术基础理论是“三带”理论。这两方面的内容都得到加强。

四、反映煤矿生产现场工程实际

煤矿特殊开采方法涉及的内容多是煤矿生产现场遇到并需要解决的问题,在讲述基本原理的基础上,注重联系煤矿生产现场工程实际,既给出有关规定,又给出生产现场处理这些问题的技术参数,以利于处理类似问题时参考。

五、引入近年来的科研成果

教材中涉及的有关名词以国家最新公布的煤炭科技名词为准,相关规定参照了2000年6月出版的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》,部分内容引入了近年来的科研成果。

本书由杜计平完成了第一章~第五章、第七章和第八章的初稿,汪理全完成了第六章、第九章和第十章的初稿,赵建平完成了所有的插图,汪理全、杜计平对全书的内容进行了审定和修改。

煤矿地下开采的困难和特殊问题是不断出现的,就现有的技术问题而言,也远没有全部解决,一些问题仍然是科研的前沿,由于作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请读者不吝指正,以促进采矿学科不断发展。

作 者

2003年8月

目 录

前 言	(1)
第一章 开采引起的岩层与地表移动	(1)
第一节 开采引起的岩层移动	(1)
第二节 开采引起的地表移动	(9)
第三节 地表移动与变形预计	(22)
第四节 地表移动与变形参数分析	(41)
第二章 建筑物下采煤	(50)
第一节 开采引起的地表移动和变形对建筑物的影响	(50)
第二节 地表建筑物和构筑物的保护煤柱设计	(54)
第三节 建筑物下采煤的井下开采技术措施	(62)
第四节 条带采煤法	(69)
第五节 村庄下采煤	(77)
第六节 水力充填采煤法	(79)
第七节 建筑物下采煤的地面技术措施	(82)
第三章 铁路下采煤	(84)
第一节 铁路下采煤概述	(84)
第二节 地表移动和变形对线路的影响	(85)
第三节 铁路下采煤的技术措施	(87)
第四章 水体下采煤	(89)
第一节 影响水体下安全开采的因素	(89)
第二节 水体下采煤的安全煤岩柱留设	(92)
第三节 水体下采煤的安全技术措施	(96)
第五章 承压含水层上采煤	(100)
第一节 影响底板突水的主要因素	(100)
第二节 煤层下方承压水体采动等级及防水安全煤岩柱留设方法	(106)
第三节 底板突水预测	(108)

第四节 承压含水层上安全采煤的技术措施·····	(110)
第六章 上行式开采顺序采煤·····	(112)
第一节 厚煤层分层恒底式上行顺序采煤·····	(112)
第二节 煤层间垮落上行顺序采煤·····	(117)
第七章 难采煤层开采·····	(122)
第一节 极薄和薄煤层开采·····	(122)
第二节 不稳定和极不稳定煤层开采·····	(127)
第三节 岩浆岩侵蚀区煤层开采·····	(132)
第四节 坚硬顶板条件下煤层开采·····	(135)
第五节 破碎软弱围岩条件下煤层开采·····	(144)
第八章 深矿井开采·····	(148)
第一节 深矿井开采概述·····	(148)
第二节 深矿井巷道布置与开采部署·····	(149)
第三节 深矿井采场矿压控制·····	(153)
第四节 冲击地压及深矿井冲击地压防治·····	(155)
第五节 深矿井开采的热害治理及合理开采深度·····	(165)
第九章 水力采煤·····	(167)
第一节 水力采煤的生产系统·····	(167)
第二节 水力落煤与水力采煤方法·····	(171)
第三节 水力采煤评价及其发展趋势·····	(175)
第十章 煤与煤层气共采·····	(179)
第一节 煤层气开发与开采概述·····	(179)
第二节 井下抽放煤层气·····	(182)
第三节 地面钻井开采煤层气·····	(189)
参考文献·····	(193)

第一章 开采引起的岩层与地表移动

地下开采破坏了岩体内部原有的力学平衡状态,使上覆岩层不同程度地变形和破坏。当开采面积达到一定范围之后,起始采场附近的岩层移动和变形将扩展到地表,此时的地表移动和变形将影响到位于开采影响范围内的房屋建筑、工程、河流、湖泊、铁路及管线,会改变它们原有的状态,甚至破坏。同样,在移动岩体内的井巷也可能受到开采影响而遭受破坏。

第一节 开采引起的岩层移动

因采矿引起采空区附近及上覆岩层的移动、变形和破坏的现象与过程称为岩层移动。岩层移动是十分复杂的物理力学现象,其特性取决于地质因素和采矿因素的综合影响。其中最主要的是:岩石的结构、力学性质及含水性;煤层的倾角、厚度与埋深;采煤方法及开采范围大小等因素。为了便于讲述和理解,在采用垮落法处理采空区的长壁开采体系条件下,先以有足够埋深的近水平或缓倾斜煤层为例,说明围岩的应力状态和上覆岩层的破坏与移动过程。

一、充分采动区、岩石压缩区、最大弯曲区和底板隆起区

长壁工作面从开切眼采煤后,随着工作面不断地移架或回柱,直接顶从工作面至开切眼的跨度逐渐增加,当跨度超过一定距离后,在自重和上覆岩层作用下,煤层之上的直接顶岩层开始断裂、破碎,垮落在煤层底板上。

直接顶初次垮落后,随着采煤工作面继续推进,采空区的直接顶将不断地垮落。直接顶之上的基本顶岩层则以先双支梁、后悬臂梁弯曲的形式沿层面的法线方向移动、弯曲,进而产生断裂、离层。当采空区范围很大时,由下而上的岩层移动逐渐发展到地表,在地表形成一个比井下开采范围大的洼地。

无论在岩层移动期间,还是在岩层移动结束后,由于采空区上方岩层悬顶的存在和形成力学结构过程中的运动,采空区上方一部分岩层重量将由工作面前方和采空区周围的未采煤体承担,从而引起采空区周围岩体内的应力重新分布,在煤体内形成应力增高区(支承压力区)、应力降低区(卸压区)和原岩应力区。

如图 1-1 所示,根据岩层移动的形式、变形特性和引起移动的原因,在移动过程终止后的顶板岩层内,可划分成充分采动区Ⅰ、最大弯曲区Ⅱ与Ⅱ'(和顶板压缩区Ⅲ与Ⅲ',在底板岩层中可划分成底板压缩区Ⅳ与Ⅳ'、底板不均匀隆起区Ⅴ及Ⅴ'和底板均匀隆起区Ⅵ。

充分采动区 COD 位于采空区中部上方,该区内的岩层垮落与沉降已趋于停止,但范围仍随开采范围扩大而不断扩大。岩层移动过程结束后,此区内上部下沉的岩层仍平行于它的原始层位,层内各点的移动向量与煤层法线方向大致一致,在同一层内的移动向量彼此相

等,达到该地质条件和开采技术条件下的最大程度。随着采空区范围扩大,各点的移动值不会再增加。

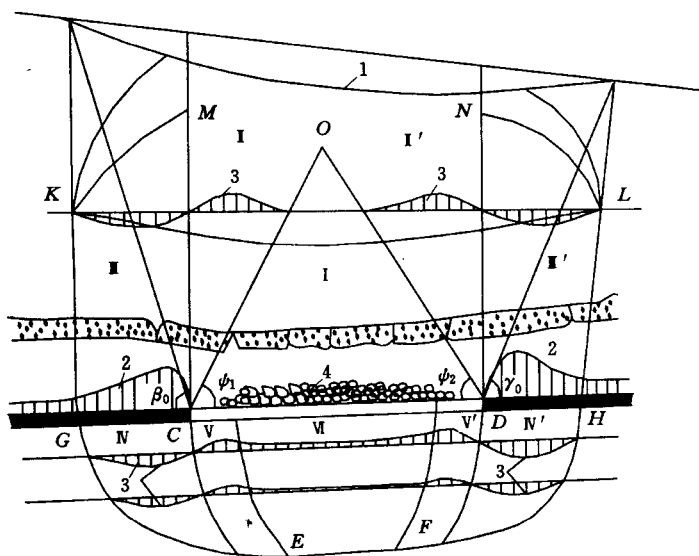


图 1-1 开采影响范围内各影响带的划分

- 1——地表下沉曲线;2——支承压力分布曲线;3——沿层面法向岩石变形曲线;4——垮落带
I——充分采动区;II、II'——最大弯曲区;III、III'——顶板压缩区;N、N'——底板压缩区;
V、V'——底板不均匀隆起区;VI——底板均匀隆起区

充分采动区顶点 O 的位置取决于煤层埋藏深度和采空区的尺寸。开采范围有限,采空区尺寸较小时,上覆岩层内充分采动区小,充分采动区顶点 O 的位置就低;相反情况下,若开采范围较大,而煤层埋藏深度相对来说又比较浅时,充分采动区的范围就大,充分采动区的顶点就会超出地表,使地表在一定范围内都受到充分采动。

顶板压缩区位于实体煤上方 $CMKG$ 和 $DNLH$ 范围内。煤体内的支承压力按照衰减和扩展的规律,不仅在煤层底板岩层中传播,而且也在顶板岩层中一定范围内传播,在顶板岩层中同样形成应力增高区、应力降低区和原岩应力区。顶板压缩区是受顶板支承压力作用而形成的。

受支承压力的影响,煤壁附近的煤体被压碎后脱离煤壁,这种现象称为煤壁片帮。

位于支承压力区内的煤体和岩层因压力增高而产生一定的垂直压缩变形,相当于受高应力压缩后煤体和岩层变薄。下部煤体和岩层变薄将导致上部岩层沉降,因此,在支承压力影响范围内,自地表以下的各岩层均表现出不同程度的下沉变形。上部岩层的下沉值是自身的压缩值和其下各岩层压缩量的叠加。因此,距地表愈近,其下沉值也就愈大。

在充分采动区 I 和顶板压缩区 III 、 III' 之间是最大弯曲区 II 和 II' ,此范围内岩层向下弯曲的程度最大。由于岩层弯曲的原因,在岩层内产生沿层面方向的拉伸和压缩变形。由于岩石的抗压强度大于抗拉强度,岩层层面上将出现较多的拉伸裂隙,甚至使整层岩层断裂。

煤层底板岩层内的应力也发生相应变化。未采煤体下方支承压力区内的岩石受到压缩,

形成底板压缩区Ⅳ和Ⅳ'。

在应力降低区范围内,应力最低点位于采空区边界处附近,朝采空区中间方向,应力逐渐恢复。当采空区的范围足够大和岩层移动过程结束后,应力又接近于正常压力 γH 。

由于卸压结果,原来受支承压力压缩的岩层体积发生膨胀,同时,还要受水平方向的压缩,这将导致采空区底板岩层中出现底臃区,Ⅴ为底板不均匀隆起区,Ⅵ为底板均匀隆起区。

底板岩层沿层面法向方向的变形见图 1-1 中的曲线 3。

二、垮落带、断裂带和弯曲带

采用垮落法处理采空区的长壁工作面煤层采出后,从煤层直接顶板开始,由下向上依次垮落、断裂、离层、弯曲,经过若干时间后终止移动,在地表一定范围内形成洼地。从开采需要出发,对移动期间和移动稳定后的上覆岩层,按其破坏程度不同,大致可划分为垮落带、断裂带和弯曲带,如图 1-2 所示。

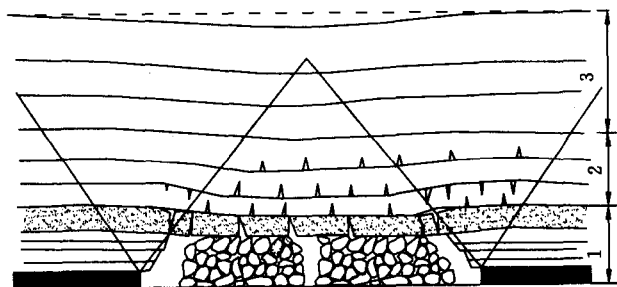


图 1-2 上覆岩层移动、变形和破坏分带

1——垮落带;2——断裂带;3——弯曲带

1. 三带的形成

(1) 垮落带

由采矿引起的上覆岩层破坏并向采空区垮落的岩层带称为垮落带。很多情况下垮落带是由直接顶垮落后形成的。当直接顶较薄,而基本顶分层厚度又较小时,与直接顶毗邻的一部分基本顶也可能进入垮落带。

垮落带岩层的破坏特点及其判别:

① 长壁工作面回柱放顶或移架后,与煤层毗邻的直接顶失去支撑力,破碎成大小不一和形状各异的岩块,逐层垮落堆积在底板上,愈是靠近煤层的直接顶岩层,其垮落后愈是破碎和紊乱。

根据垮落岩块的破坏和堆积状况,垮落带分为不规则垮落带和规则垮落带两部分。在不规则垮落带内,岩层完全失去原有的层位,呈杂乱堆积。不规则垮落带上部是规则垮落带,该带内的岩块堆积排列较整齐。

垮落带岩块由于不能传递水平力,因此,该带不能将其上的岩层重量一端传递给煤壁,另一端则由采空区支撑。生产期间,控顶范围内垮落带的岩层重量应由支柱或支架支撑。

② 岩石的碎胀性使垮落带岩石的体积明显增大,生产期间,垮落后的直接顶岩层的碎胀系数一般可达到 1.3~1.5。由于碎胀,随着垮落带高度增加,未垮落顶板岩层下方的自由空间将变得愈来愈小,最终垮落过程将自行停止。

垮落带内岩块间间隙较大,连通性好,矿井水、水砂和泥浆容易通过。

垮落带内岩块之间的间隙随着时间延续和采动程度加大,在一定程度上可得到压实,压实后的碎胀系数仍然要大于1。

③ 垮落带高度取决于采出厚度、上覆岩层的岩性、碎胀系数和煤层倾角,对于中倾斜及以下的煤层,当直接顶厚度较大,能充满采空区时,垮落带的高度可由(1-1)式计算。

$$H_k = \frac{M}{(k-1)\cos\alpha} \quad (1-1)$$

式中 H_k ——垮落带高度,m;

M ——煤层采高,m;

k ——岩石碎胀系数;

α ——煤层倾角,(°)。

当直接顶的厚度较小,不能充满采空区时,靠近煤层的基本顶可能进入垮落带。生产期间基本顶能否进入垮落带取决于直接顶的厚度、基本顶的分层厚度和顶板岩层垮落后的碎胀系数。

岩石的碎胀系数取决于岩石性质,坚硬岩石碎胀系数较大,松软岩石碎胀系数较小。

(2) 断裂带

垮落带上方的岩层产生断裂或裂缝,但仍保持其原有层状的岩层带称之为断裂带,曾称为裂隙带。

从采场围岩控制角度分析,断裂带内的下位岩层就可形成力学平衡结构,开采期间,能传递水平力,能将自身及上覆岩层重量一端传递给煤壁,另一端支撑在采空区垮落的矸石上。

断裂带岩层的破坏特点是:

① 垮落带之上的各分层岩层在弯曲下沉过程中,若承受的拉应力大于其抗拉强度,则岩层层面上将出现垂直于层面的拉伸裂隙。当裂隙深度较大时,岩层发生整体断裂,失去连续性。

② 各岩层之间产生平行于层面的离层,离层裂缝的宽度靠下部较大,靠上部较小。离层的主要原因是岩层间力学性质差异较大,岩层向下弯曲移动不同步所致。

③ 断裂带中的岩层分布着大致平行于层面和垂直于层面的裂隙,这些裂隙相互沟通,明显地降低了岩体的隔水性能。断裂带中的岩层一般情况下能够导水,我国习惯上将其称为导水断裂带。

④ 断裂带随开采空间扩大而向上发展,当开采空间扩展到一定范围后,断裂带高度达到最大,开采范围继续扩大时,断裂带高度不再发展,并随时间推移,岩层趋于稳定,断裂带上部裂隙逐渐闭合,其高度也随之降低。

⑤ 厚煤层第一分层以后的分层开采时,断裂带高度上升,但上升的幅度较初次采动大为减小。

(3) 弯曲带

断裂带上界至地表的岩层称为弯曲带,曾称弯曲下沉带或整体移动带。

弯曲带岩层移动的特点是:

① 带内岩层在自重作用下产生沿层面法向方向的弯曲,在水平方向处于双向受压状

态,因而压缩程度较好,一般情况下具有隔水性,当岩性较软时,隔水性能更好。

② 该带内的岩层移动过程是连续和有规律的,并保持整体性和层状结构,不存在或极少存在离层裂隙。

③ 该带的高度主要受采深影响,当采深较大时,弯曲带的高度可能大大超过垮落带和断裂带高度之和。

④ 弯曲带上方地表一般要形成地表下沉盆地,盆地边缘往往要出现张裂隙,其深度约3~5 m,一般小于10 m,裂隙宽度向下渐窄,至一定深度后闭合消失。

以上划分的三个岩层移动带,在开采近水平或缓倾斜煤层时表现比较明显。另外,尽管各带的特征明显不同,但带间的界面是逐渐过渡的。

根据顶板管理方法、采空区大小、开采厚度、岩石性质及开采深度不同,上覆岩层中的上述三带不一定同时存在。当开采的煤层埋深较浅而采厚又较大时,有可能没有弯曲带,而采用充填法处理采空区时,只有断裂带和弯曲带。

2. 三带的空间轮廓形状

三带的空间轮廓形状主要与被开采煤层的倾角有关。

(1) 近水平煤层、缓倾斜煤层和倾角较小的中倾斜煤层($0^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$)

对于这类煤层,垮落带的边界在采空区上方开采边界以内,其上边界是一个大致平行于岩层层面的平面。开采期间,垮落岩块就地堆积,垮落带的高度在采空区范围内基本上是相同的,开采完毕后,在上部岩层重量作用下逐渐被压实,最终形成中间较低,而两端较高的枕形轮廓。

除了特别坚硬的岩层以外,断裂带两端边界往往超出开采边界,呈马鞍形,中间较低,两端较高,最高点位于采空区斜上方。

垮落带、断裂带和弯曲带沿走向和倾向均为基本对称的下沉盆地,它们的空间轮廓如图1-3(a)所示。

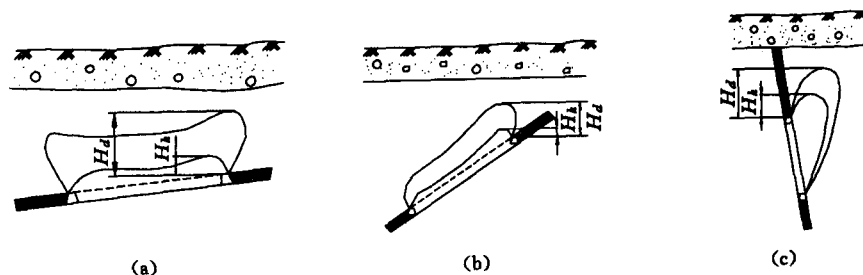


图 1-3 垮落带、断裂带和弯曲带的空间轮廓

(a) $0^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$ 煤层; (b) $36^\circ \leq \alpha \leq 54^\circ$ 煤层; (c) $\alpha = 55^\circ \sim 90^\circ$ 煤层

(2) 倾角较大的中倾斜煤层和倾角较小的急倾斜煤层($36^\circ \leq \alpha \leq 54^\circ$)

随着煤层倾角加大,采空区上部垮落的岩块沿着煤层底板向下滑动或滚动,充填到采空区下部。采空区上部未垮落的岩层不能很快得到支撑,因而继续离层、断裂、破碎和垮落,从而导致采空区上端垮落带高度大于下端。与此相反,由于采空区下部未垮落的岩层很快得到下滑岩块的支撑,垮落带高度较小。

对于这类倾角的煤层,如图 1-3(b)所示,垮落带的轮廓形状上下不对称,但边界仍在采空区内,上方略大于下方。断裂带呈上大下小的不对称形状,上部的轮廓大致呈抛物线,马鞍形消失或残留不明显,与采空区边界齐或略偏外。弯曲带沿倾向为不对称下沉,沿走向一般仍为对称下沉。

(3) 倾角较大的急倾斜煤层($\alpha=55^{\circ}\sim 90^{\circ}$)

开采倾角较大的急倾斜煤层时,由于垮落岩块滚动下滑加剧,迅速充填采空区下部空间,限制了该处垮落带和断裂带向上发展。另一方面,在采空区上部,边界煤柱片帮、碎裂、抽冒,使垮落带和断裂带上边缘急剧向上发展,以致大大超过采空区上边界。如图 1-3(c)所示,垮落带呈耳形或上大下小的不对称拱形。断裂带轮廓形状与垮落带类似。

3. 垮落带与断裂带的高度

(1) 影响垮落带和断裂带高度的主要因素

垮落带与断裂带的高度与上覆岩层的岩性结构、煤层倾角、采高及厚煤层分层次数、采空区范围大小和采煤方法等因素有关。

到目前为止,采用长壁垮落采煤法开采后,垮落带高度及其上部的断裂带高度计算大多采用经验公式,这些公式是根据大量的钻孔和巷道观测资料用数理统计方法获得的,使用这些公式时要注意适用条件。垮落带和断裂带的高度与上覆岩层的岩性及结构有密切关系。

① 顶板岩性

当直接顶和基本顶都比较坚硬的条件下,岩层垮落后块度大,碎胀系数也大。基本顶由于坚硬而下沉缓慢,下沉量小,使垮落过程充分发展,垮落带和断裂带高度较大,两带高度之和可达到开采厚度的 18~28 倍。

当直接顶和基本顶都比较松软破碎时,由于顶板稳定性差,采空区回柱放顶或移架后能迅速被垮落岩块填满,在垮落发生和发展过程中,覆岩下沉量较大,开采空间和已垮落的空间由于覆岩下沉而不断缩小。因此,垮落过程不能充分发展,垮落带和断裂带的高度均较低,一般为采厚的 9~12 倍。

垮落带和断裂带高度比较小的另一种情况是靠近煤层的岩层比较坚硬,且垮落后碎胀系数较大,而之上的岩层较软且易于弯曲。此时,开采空间易于填满,再加上上位软岩层的迅速下沉,导致垮落过程不充分。

当直接顶为软弱岩层,而基本顶为坚硬岩层时,直接顶易垮落,而基本顶不易弯曲下沉,垮落带的高度受直接顶和基本顶厚度控制。

② 煤层倾角

煤层倾角对垮落带和断裂带的影响十分显著。煤层倾角所以能引起两带高度变化,主要原因在于垮落岩块随倾角加大在采空区发生运动。采空区垮落的岩块有三种状态。

煤层倾角小于 35° 时,垮落岩块就地堆积。因此,同一采空区内各个部位的垮落带和断裂带上边界离煤层的高度基本上是相等的。

煤层倾角在 $35^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 时,垮落岩块下滑到采空区下部,导致采空区上端的垮落带和断裂带高度大于采空区下端的垮落带和断裂带高度。

煤层倾角大于 54° 时,垮落的岩块及煤向下滚动,使采空区下部垮落的发展很小,上部发展很高,而且影响到采空区上部煤柱。

③ 采高及厚煤层分层次数

一次采全高或分层初次开采时,垮落带和断裂带的高度与采高呈近似直线关系。水平至倾斜厚煤层分层开采或近距离煤层群重复开采条件下,垮落带和断裂带高度随分层次数增加而递减。

④ 采空区范围大小

采空区范围决定了开采充分程度,当采空区范围足够大时,垮落带和断裂带得到充分发展,反之两带的高度发展将受到限制。

⑤ 采空区处理方法

我国通常采用的顶板管理方法有:全部垮落法、充填法和煤柱支撑法,不同的顶板管理方法引起两带的高度明显不同。

我国普遍采用全部垮落法管理顶板,这种处理采空区的方法使上覆岩层破坏发展得最充分,上覆岩层发生弯曲、离层、断裂、垮落等破坏,并达到一定高度。

用充填法处理采空区时,上覆岩层仅仅遭受开裂性破坏,一般不发生垮落性破坏。因而,断裂带高度也就明显降低。

用煤柱支撑法处理采空区时,两带的高度介于上述的两种方法之间。

(2) 垮落带与断裂带高度的确定

采用长壁垮落采煤法时可参考下述垮落带与导水断裂带高度的计算公式。

① 倾角为 $0^\circ \sim 35^\circ$ 及 $36^\circ \sim 54^\circ$ 的煤层

垮落带高度:

a. 若煤层顶板覆岩内有极坚硬岩层,开采后能形成悬顶,垮落带最大高度 H_k 按(1-1)式计算。

b. 当煤层顶板覆岩为坚硬、中硬、软弱岩层或其互层时,考虑顶板下沉因素,开采单一煤层的垮落带最大高度 H_m 可按(1-2)式计算:

$$H_k = \frac{M - w}{(k - 1)\cos\alpha} \quad (1-2)$$

式中 w ——垮落过程中顶板下沉值。

其他符号同(1-1)式。

c. 采用厚煤层分层开采时,垮落带最大高度 H_k 可按表 1-1 的公式计算。

导水断裂带高度:

若煤层覆岩为坚硬、中硬、极软弱或其互层,采用单一薄及中厚煤层或厚煤层分层开采时,导水断裂带高度 H_d 可按表 1-2 中的公式计算。

表 1-1 厚煤层分层开采时垮落带高度计算公式

覆岩岩性 (单向抗压强度及主要岩石名称)	计算公式/m
坚硬(40~80 MPa, 石英砂岩、石灰岩、砂质页岩、砾岩)	$H_k = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5$
中硬(20~40 MPa, 砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩)	$H_k = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2$

续表 1-1

覆岩岩性 (单向抗压强度及主要岩石名称)	计算公式/m
软弱(10~20 MPa, 泥岩、泥质砂岩)	$H_k = \frac{100 \sum M}{6.2 \sum M + 32} \pm 1.5$
极软弱(<10 MPa, 铝土岩、风化泥岩、粘土、砂质粘土)	$H_k = \frac{100 \sum M}{7.0 \sum M + 63} \pm 1.2$

注: $\sum$ ——累计采厚;公式应用范围:单层采厚 1~3 m, 累计采厚不超过 15 m; $\pm$ 号项为中误差。

表 1-2 薄及中厚煤层和厚煤层分层开采时导水断裂带高度计算公式

岩性	计算公式之一/m	计算公式之二/m
坚硬	$H_d = \frac{100 \sum M}{1.2 \sum M + 2.0} \pm 8.9$	$H_d = 30 \sqrt{\sum M} + 10$
中硬	$H_d = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6$	$H_d = 20 \sqrt{\sum M} + 10$
软弱	$H_d = \frac{100 \sum M}{3.1 \sum M + 5.0} \pm 4.0$	$H_d = 10 \sqrt{\sum M} + 5$
极软弱	$H_d = \frac{100 \sum M}{5.0 \sum M + 8.0} + 3.0$	

注: $\sum M$ ——累计采厚;公式应用范围:单层采厚 1~3 m, 累计采厚不超过 15 m; $\pm$ 号项为中误差。

② 倾角为 55°~90°的煤层

煤层顶板为坚硬、中硬、软弱岩层,用垮落法开采时,垮落带及导水断裂带高度,可选用表 1-3 中的公式计算。

表 1-3 倾角 55°~90°煤层垮落带与导水断裂带高度计算公式

岩性	垮落带高度计算公式/m	导水断裂带高度计算公式/m
坚硬	$H_k = (0.4 \sim 0.5) H_d$	$H_d = \frac{100Mh}{4.1h+133} \pm 8.4$
中硬、软弱	$H_k = (0.4 \sim 0.5) H_d$	$H_d = \frac{100Mh}{7.5h+293} \pm 7.3$

注: h ——区段或分段垂高, m; M ——煤层法线厚度, m。

③ 近距离煤层

当上下煤层距离较近时,上下煤层开采形成的垮落带和断裂带范围可能重叠一部分,重叠的范围和程度取决于上下煤层的层间距。

a. 上下两层煤的最小层间距大于下煤层开采形成的垮落带高度

如图 1-4(a)所示,上下两层煤的层间距 h 较小,但还大于下煤层开采形成的垮落带高度 H_m ,上下煤层的垮落带高度不重合,而断裂带高度可能重合,上下煤层的断裂带最大高度可按近距离上下煤层的厚度分别计算,取其中标高值大者作为两层煤的断裂带高度;上下煤层的垮落带高度则取上煤层的垮落带高度。

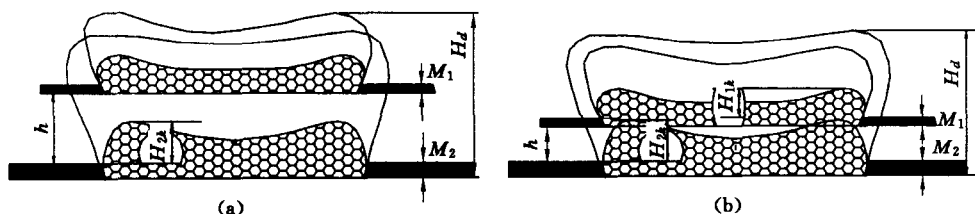


图 1-4 近距离煤层垮落带和断裂带高度计算

(a) 层间距大于下位煤层开采形成的垮落带高度; (b) 层间距小于下位煤层开采形成的垮落带高度

b. 上下两层煤的最小层间距小于下煤层开采形成的垮落带高度

如图 1-4(b) 所示, 上下煤层的层间距 h 小于下位煤层开采形成的垮落带高度 H_m 时, 上煤层的断裂带最大高度按该层的厚度计算, 下煤层的断裂带最大高度按上下两煤层的综合开采厚度计算, 取其中标高最大值作为两层煤的断裂带最大高度。

上下煤层的综合开采厚度可按(1-3)式计算。

$$M_z = M_2 + \left(M_1 - \frac{h}{y_2} \right) \quad (1-3)$$

式中 M_z ——上下煤层综合开采厚度, m;

M_2 ——下煤层厚度, m;

M_1 ——上煤层厚度, m;

h ——上下煤层层间距, m;

y_2 ——下煤层的垮落带高度与采厚之比。

当上下煤层的层间距很小时, 综合开采厚度取上下煤层厚度之和, 即

$$M_z = M_1 + M_2 \quad (1-4)$$

求出综合开采厚度后, 可按单一煤层开采的条件计算垮落带和断裂带的高度。

三、岩层或煤层的抽冒与切冒

在一些特殊条件下, 开采空间附近的岩层或煤层可能出现抽冒或切冒现象。

抽冒指的是在浅部厚煤层、急倾斜煤层及断层破碎带和基岩风化带附近采煤或掘巷时, 顶板岩层或煤层本身在较小范围内垮落超过正常高度的现象。

切冒指的是当厚层极硬岩层下方采空区达到一定面积后发生直达地表的岩层一次性突然垮落和地表塌陷的现象。

第二节 开采引起的地表移动

一、地表移动和破坏的形式

因采矿引起的岩层移动波及到地表, 使地表产生移动、变形和破坏的现象及过程称为地表移动。

开采引起的地表移动过程受多种地质因素和开采因素影响, 随着采深、采厚、采煤方法及煤层产状等因素不同, 地表移动和破坏的形式有可能完全不同。

采深与采厚的比值小于 30, 或虽大于 30, 但地表覆盖的表土层很薄, 且采用非正规采煤

法开采时,或有较大的地质构造时,地表可能出现较大的裂缝或塌陷坑。地表的移动和变形在时间上或空间上将是不连续的,移动和变形的规律性不强,在渐变中有突变,目前尚无严密的数学方法表示这种变形的指标。

当采深与采厚的比值较大时,地表移动和变形在时间上和空间上是连续的、渐变的,具有明显的规律性,变形的指标可用数学方法表示。显然,连续型的地表移动对保护地面建筑物有利。

地表移动和破坏的主要形式有以下几种:

1. 地表移动盆地

开采影响波及到地表后,受开采影响的地表开始沉降,在采空区上方地表形成一个比采空区面积大的沉陷区域,该沉陷区域称为地表移动盆地,又称地表下沉盆地。

在地表移动盆地的形成和发展过程中,原有地形的标高和位置发生了改变,对位于影响范围内的道路、管线、沟渠、工程和建筑物带来了不同程度的影响。在地下水位较高的地区,地表移动盆地内常年积水,这会影响土地使用或使耕地荒废。

2. 裂缝

在地表移动盆地外边缘区,地表可能出现裂缝。裂缝的深度和宽度与有无第四纪松散层及其厚度、性质和变形值大小密切相关。若第四纪松散层为塑性大的粘性土,一般拉伸变形值超过 $6\sim 10\text{ mm/m}$ 时地表才出现裂缝,塑性小的砂质粘土、粘土质砂或岩石,地表拉伸变形值达到 $2\sim 3\text{ mm/m}$ 时,即可产生裂缝。

地表裂缝一般平行于采空区发展,当采深与采厚的比值较小时,在推进的长壁工作面前方的地表,可能产生平行于工作面的裂缝。随着工作面向前推进,裂缝先张开而后又逐渐闭合。裂缝一般在地面以下 5 m 左右就消失了,个别的裂缝深度能达到 10 m 。在采深和采厚比值较小时,地表裂缝的宽度可达数百毫米,如图 1-5 所示,形成台阶状较大裂缝两侧的地表,往往有一定落差,落差大小取决于地表移动的剧烈程度。



图 1-5 地表台阶状裂缝

3. 塌陷坑

急倾斜煤层开采时,煤层露头处附近地表呈现出严重的非连续性破坏,往往会出现漏斗状塌陷坑,北票矿区地表塌陷漏斗如图 1-6 所示。

缓倾斜或中倾斜煤层浅部开采的条件下,地表出现非连续性破坏时,也可能出现塌陷坑。鹤岗富力矿浅部开采引起的地表漏斗状塌陷坑如图 1-7 所示。

地表出现的裂缝、台阶或塌陷坑,对位于其上的建筑物、铁路和水体危害极大,因此,在建筑物下、铁路下和水体下采煤时,应避免其出现。

二、地表移动盆地的形成及其特征

1. 地表移动盆地的形成

地表移动盆地是在工作面推进过程中逐渐形成的。

一般情况下,当采煤工作面距开切眼的距离达到平均采深的 $1/4\sim 1/2$ 时,开采影响可能会波及到地表,引起地表下沉。习惯上把开采影响开始波及到地表的开采空间宽度称为启动距。随着工作面继续推进,地表的影响范围不断扩大,下沉值不断增加,在地表形成一个比