

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

矿山开采沉陷 及其防治

主 编 郭广礼
副主编 查剑锋

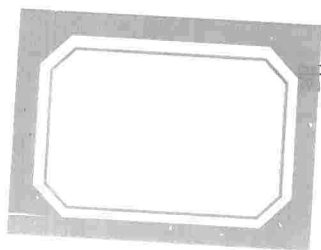
Kuangshan Kaicai Chenxian

Jiqi Fangzhi

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



世纪教材建设工程资助教材

矿山开采沉陷及其防治

主 编 郭广礼

副主编 查剑锋

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地论述了矿山开采沉陷的基本理论、显现规律以及控制技术。全书共分九章,围绕开采沉陷介绍了开采沉陷基本概念、开采沉陷监测方法、地表移动一般规律、地表沉陷预计方法、保护煤柱留设以及建筑物、水体、铁路下压煤开采的技术方法。

本书为煤炭高校测绘工程专业本科生教材,也可供有关专业研究生、生产技术人员、设计人员和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山开采沉陷及其防治 / 郭广礼主编. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1579 - 6

I. ①矿… II. ①郭… III. ①矿山开采—沉陷性—防治 IV. ①TD327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 185728 号

书 名 矿山开采沉陷及其防治
主 编 郭广礼
责任编辑 王美柱
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 13 字数 324 千字
版次印次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材是在何国清、杨伦、凌赓娣等编写的《矿山开采沉陷学》一书的基础上,吸收近年矿山开采沉陷研究及相关学科研究的新技术、新成果和教学经验编写而成。本书突出开采沉陷防治的应用,突出相关规程、规定对开采沉陷防治的指导作用,可作为煤炭高校测绘工程专业本科生教材,也可供有关专业研究生、生产技术人员、设计人员和研究人员参考。

开采沉陷及其防治属于地质、采矿、测绘等多个学科的交叉学科,涉及面较广,学生在学习本课程之前,应先修测量学、采煤概论、矿井地质、开拓与开采、矿山测量、弹性力学、误差理论与测量平差等课程。

全书共分九章,围绕开采沉陷介绍了开采沉陷基本概念、开采沉陷监测方法、地表移动一般规律、地表沉陷预计方法、保护煤柱留设以及建筑物、水体、铁路下压煤开采的技术方法。

本书由郭广礼担任主编,查剑锋担任副主编。同时,本书编写、录入以及相关文献整理工作还得到了研究生马洪浩、王明柱、赵自强、朱晓峻、王启春等的支持和帮助。

由于编者学识所限,书中难免存在缺点甚至错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年3月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 矿山开采岩层移动与变形的概念	3
第一节 地下开采引起的岩层移动与变形	3
第二节 地下开采引起的地表移动与变形	7
第三节 地表移动与变形指标及其计算方法	15
第四节 地表移动盆地范围及其确定方法	17
第三章 岩层移动与地表变形监测方法	20
第一节 岩层与地表移动观测站的种类	20
第二节 地表移动观测站的设计	22
第三节 地表移动观测站的观测工作	27
第四节 观测成果的数据处理	29
第五节 采动区建筑物变形观测方法	34
第六节 GPS 技术在矿区变形监测中的应用	39
第七节 地下开采引起的岩层移动变形监测方法	45
第四章 地表移动与变形一般规律	50
第一节 地表沉陷稳定后主断面内地表移动与变形分布规律	50
第二节 采动过程中的地表移动与变形的一般规律	55
第三节 地质采矿因素对覆岩破坏和地表沉陷规律的影响	62
第五章 地表移动与变形预计的基本方法	69
第一节 地表移动与变形预计方法概述	69
第二节 概率积分法的数学模型和预计方法	70
第三节 概率积分法预计参数的求取方法	87
第四节 典型曲线法	100
第六章 建(构)筑物保护煤柱留设	103
第一节 概述	103
第二节 保护煤柱留设所用参数	103
第三节 保护煤柱留设方法	104
第四节 各种类型煤柱的留设方法	109

第五节 保护煤柱留设工作的管理·····	115
第七章 建筑物下采煤技术 ·····	116
第一节 建筑物下压煤开采的有关规定·····	116
第二节 地表移动与变形对建(构)筑物的影响和评估·····	120
第三节 建筑物下采煤地表和建筑物变形控制的基本方法·····	127
第四节 建筑物下采煤设计·····	138
第五节 岩层移动控制的条带开采方法·····	139
第六节 机械化固体充填采煤地表移动与变形控制技术及其应用·····	143
第七节 采动区抗变形建筑物设计措施·····	149
第八章 铁路下采煤和工程治理 ·····	152
第一节 概述·····	152
第二节 地下开采引起的路基的移动与变形·····	155
第三节 地下开采引起的线路上部建筑的移动与变形·····	157
第四节 铁路下采煤的技术措施·····	159
第五节 铁路压煤的开采设计·····	167
第九章 近水体安全采煤 ·····	168
第一节 概述·····	168
第二节 覆岩破坏规律·····	175
第三节 近水体采煤的技术措施·····	182
参考文献 ·····	198

第一章 绪 论

有用矿物被采出以后,开采区域周围岩体的原始应力平衡状态受到破坏,应力重新分布,达到新的平衡,在此过程中,岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏,这种现象称为开采沉陷(mining subsidence)。从广义上讲,有用矿物的开采可以是井工开采,也可以是露天开采,开采矿物既可以是层状岩体,也可以是非层状岩体。考虑本书主要面向煤炭系统学生,这里所阐述的有用矿物主要是指煤炭资源,开采沉陷也特指地下煤炭资源井工开采后的覆岩破坏和地表沉陷问题;但本书所提出的一些研究方法和模型也适用于其他非层状介质的研究。

研究由于煤矿开采所引起的岩层移动及地表沉陷的现象、规律预测和控制等相关问题的科学称为矿山开采沉陷学。矿山开采沉陷学的主要任务是:揭示有用矿物开采引起的岩层移动和地表沉陷规律;研究采动区上方岩层及地表移动的计算方法;研究岩层与地表移动作用于建筑物、结构物和井巷的应力的计算方法;研究合理的开采方法、结构保护措施和各种建筑物在矿区内的合理布局等,以减小开采沉陷的有害影响。

从矿山开采沉陷学的任务可以看出,矿山开采沉陷学属于典型的边缘学科,为测量工程、工程地质、工程力学、采矿工程、岩土工程等多个学科的交叉和融合。要求学生具有测量工程、工程力学、开拓与开采、地质学基础等先期知识基础。拟通过本课程的学习,使学生掌握开采沉陷的基本概念和基本规律、岩层与地表移动的预计方法及建筑物下、水体下、铁路下采煤的设计方法。

矿山开采沉陷研究是一个古老的课题。早在 15~16 世纪,比利时就曾经发布过一项法令,对因开采而使烈日城的水源受到破坏的责任者处以死刑。但由于对开采沉陷研究不够,地下开采使铁路、房屋遭到破坏,井下透水造成人员死亡的惨案时有发生。1875 年在德国的约汉·载梅尔矿,由于地表塌陷使铁路钢轨悬空,影响列车运行。据 1895 年德国的《幸福》杂志记载,在波希米亚的柏留克城发生了地下开采危及地面的严重事件,地面的突然崩塌毁坏了 31 所房屋。1916 年日本在海底下采煤时,海水沿着由于开采影响而扩大的构造裂缝溃入井下,2 h 内淹没了矿井,死亡 237 人。以上事例足以说明,开采沉陷给人类带来很大危害,因此,世界各主要产煤国的矿山技术人员越来越重视对开采沉陷的研究。前苏联、波兰、德国和英国等对开采沉陷的理论及预测控制技术都进行了深入的研究,做了大量试验研究工作,并取得了丰硕成果。

我国矿山开采沉陷的研究工作是在新中国成立后开始的。开滦、峰峰、淮南、阳泉等矿区在 20 世纪 50 年代就开始了地表移动观测工作,通过大量的地表移动实测数据统计分析,基本掌握了本矿区的地表移动规律,形成了一系列的地表移动沉陷预计方法。

我国在开展地表移动规律研究的同时,也积极开展建筑物、铁路和水体下(简称“三下”)采煤试验研究工作,取得了很大成绩,积累了较为丰富的经验。1986 年制定了符合我国实际情况的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》,2000 年又进行了

修订再版(以下简称《规程》)。该《规程》标志着我国在开采沉陷理论及“三下”采煤技术方面已接近或达到世界先进水平。

随着我国经济建设的快速发展,煤炭行业开采规模不断扩大,相应也推动开采沉陷学科不断发展,近些年在一些特殊地质采矿条件下的地表沉陷机理、沉陷控制方面获得长足发展。实时总结这些新技术、新方法对推动我国开采沉陷学科发展具有重要意义。

第二章 矿山开采岩层移动与变形的概念

第一节 地下开采引起的岩层移动与变形

一、岩层移动的过程

因采矿引起采空区附近及上覆岩层的移动、变形和破坏的现象和过程称为岩层移动(strata movement)。为了方便理解,以水平煤层为例,说明覆岩移动和破坏过程以及其应力状态的变化。当地下矿体采出后,直接顶板岩层在自重力和上覆岩层的压应力下,向下移动和弯曲;当其内部的应力超过岩层的强度时,直接顶板岩层发生破坏,相继破碎垮落到采空区;而上覆基本顶板岩层以梁、板形式沿层面法线方向移动和弯曲,进而产生断裂和离层。随着工作面的继续推进,采动影响的岩层范围不断扩大,当开采范围足够大时,岩层移动发展到地表,在地表形成一个比采空区范围大得多的下沉盆地,如图 2-1 所示。

由于采矿使采空区上方顶板岩层悬空,其部分重力传递到周围未采动的岩体上,从而引起采空区周围岩体内应力重新分布,形成增压区(支承压力区)和减压区(卸载压力区)。在采空区边界煤柱及其边界上、下方岩层内形成支承压力区,其最大支承压力为原始岩层应力的 3~4 倍。在支承压力的作用下,采空区边界的岩层和煤柱部分被压碎,挤向采空区,如图 2-2 所示,ab、cd 是原煤柱边界, a_1b_1 、 c_1d_1 是挤压后的煤柱边界。煤柱部分被压碎后,支承荷载能力下降,支承压力向远离采空区的煤壁深处转移。在采空区的顶、底板岩层内形成减压区,其应力小于开采前的原岩应力。在顶板岩层中,由于减压使下部岩层发生弹性恢复变形,在上部岩层形成离层。而底板岩层在受减压影响的同时受水平方向的压缩,因此可能出现底板隆起现象。

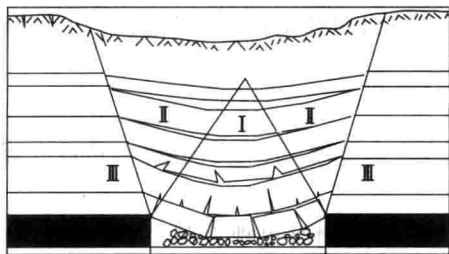


图 2-1 采空区上覆岩层和地表移动示意图

I——充分采动区; II——最大弯曲区; III——岩石压缩区

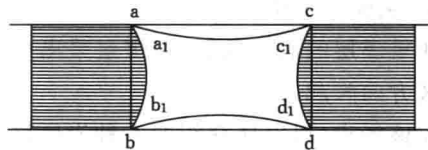


图 2-2 采空区周围岩层的移动和破坏

根据岩层移动变形特征以及应力分布情况,在应力重新达到平衡后,岩层内可以划分为三个移动特征区(图 2-1): I——充分采动区(减压区); II——最大弯曲区; III——岩石压缩区(支承压力区)。

上述是水平煤层开采时岩层移动的特征。在倾斜煤层和急(倾)斜煤层开采条件下,岩层移动的主要特征还有岩体沿着层面的滑移。采空区边界上方,岩层和煤柱在自重力的作用下,顶板岩层除产生法向弯曲外,在沿层面分力的作用下产生沿层面向采空区方向的错动和滑落。当煤层倾角接近或大于 50° 时,这种现象可扩展到煤层底板岩层。若顶、底板岩层的强度较小,则同时产生沿层面的下滑。

二、岩层移动的形式

根据观测和研究的结果分析,在矿物采出后岩层移动过程中,开采空间周围岩层的移动破坏形式主要有以下6种。

1. 弯曲

弯曲是岩层移动的主要形式。当地下矿物采出后,从直接顶板开始岩层整体沿层面法线方向弯曲,直到地表。此时,有的岩层可能会出现断裂或裂缝,但始终保持基本连续性和层状结构。

2. 垮落

垮落是岩层移动过程中最剧烈的形式,通常只发生在采空区直接顶板岩层中。煤层采出后,采空区上方岩层弯曲而产生拉伸变形,当拉伸变形超过岩层抗拉强度时,岩层破碎成大小不一的岩块,充填到采空区。

3. 煤的挤出

采空区边界煤层在巨大的支承压力作用下,部分煤体被压碎挤向采空区,这种现象称为煤的挤出(又称片帮)。

4. 岩层沿层面滑移

开采倾斜煤层时,岩层在自重力的作用下,在产生沿层面法线方向弯曲的同时沿层面向下山方向滑动。岩层的倾角越大,其沿层面滑移越明显。岩层沿层面的滑移,使得采空区上山方向的部分岩层受拉伸甚至断裂,而下山部分的岩层则受压缩。

5. 垮落岩石下滑

矿物采出后,采空区被垮落岩块充填。当矿层倾角较大而且开采自上而下进行时,下山部分继续开采形成新的采空区,采空区上部已经垮落的岩石可能下滑填充新的采空区,从而采空区上部空间增大、下部空间减小,使采空区上山部分岩层移动加剧、下山部分岩层移动减弱。

6. 底板岩层隆起

如果煤层的底板软弱,在煤层采出后,底板在垂直方向减压、水平方向受压,造成底板向采空区方向隆起。

应该指出,以上所介绍的6种岩层移动破坏形式不一定同时出现在某一个具体的移动过程中。另外,松散层的移动形式主要是垂直弯曲,它不受煤层倾角的影响。在水平煤层条件下,松散层和岩层的移动形式相同。

三、采动岩层的“上三带”和“下三带”

地下矿物采出后,采空区周围的岩层发生较为复杂的移动和变形。根据采矿工程以及水体上安全采煤需要,将采动影响后的上覆岩层划分为“上三带”:Ⅰ——垮落带(caving zone),Ⅱ——断裂带(fractured zone),Ⅲ——弯曲带(sagging zone)(图2-3);将底板岩层分

为“下三带”：Ⅰ——底板采动导水破坏带(water conducting failure zone of floor)，Ⅱ——底板阻水带(water stopping zone of floor)，Ⅲ——底板承压水导升带(pressurized water rising zone of floor)(图 2-4)。下面分别予以叙述。

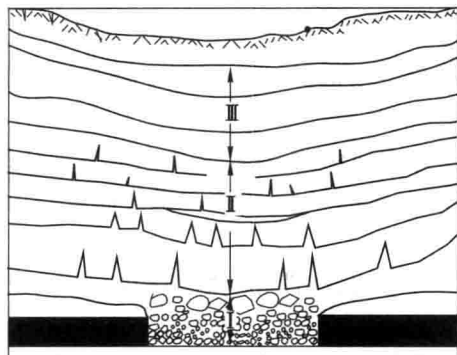


图 2-3 采空区上覆岩层内移动分带示意图

Ⅰ——垮落带；Ⅱ——断裂带；Ⅲ——弯曲带

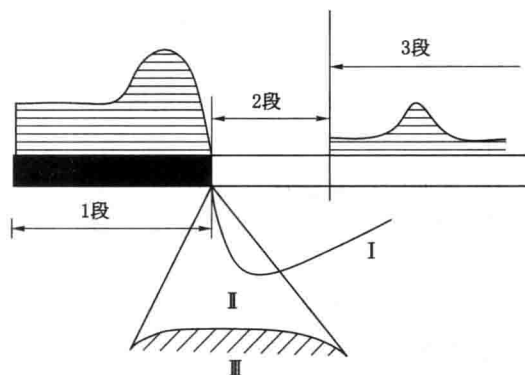


图 2-4 采空区底板岩层移动分带示意图

Ⅰ——底板采动导水破坏带；Ⅱ——底板阻水带；

Ⅲ——底板承压水导升带；1段——支承压力带；

2段——减压带；3段——压力恢复带

1. 垮落带

垮落带，是指由采煤引起的上覆岩层破裂并向采空区垮落的岩层范围。垮落带岩体破坏特点如下。

① 垮落带具有分层性，它分为不规则垮落和规则垮落两部分。在下部不规则垮落部分，岩层完全失去其原有层位，在靠近煤层附近，岩石破碎，堆积紊乱。规则的垮落部分，垮落岩层基本保持其原有层位，处于不规则垮落部分之上。

② 垮落带岩石具有一定的碎胀性，垮落岩块间的空隙较大，有利于水、砂、泥土通过。垮落后岩石体积大于垮落前岩石体积。

③ 垮落带岩石具有可压缩性，垮落岩块间的空隙随着时间的推移和工作面的推进在一定程度上可以压实，一般时间越长，压实性越好，但永远恢复不到垮落前原岩体的体积。

④ 垮落带的高度取决于采出厚度和上覆岩石的碎胀系数。通常为采出厚度的 3~5 倍。薄煤层开采时垮落带高度较小，一般为采出厚度的 1.7 倍。顶板岩石坚硬时，垮落带高度为采出厚度的 5~6 倍；顶板为软岩时，垮落带高度为采出厚度的 2~4 倍。

2. 断裂带

断裂带，是指在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范围。断裂带位于垮落带上方，岩层发生较大的弯曲、变形和破坏。其破坏特征是：不仅发生垂直于层理面的断裂或裂缝，而且产生顺层理面的离层裂缝。

根据垂直层理面裂缝的大小及其连通性的好坏，断裂带可分为严重断裂区、一般断裂区和微小断裂区三部分。严重断裂部分岩层大多断开，但仍保持其原有层位，裂缝、透水严重；一般断裂部分的岩层很少断开，透水程度一般；较小断裂部分的岩层裂缝连通性较差。

断裂带和垮落带之间没有明显的分界线，在水体下采煤时这两者合称导水裂缝带(water conducting fractured zone)，均属于破坏性影响区，一般是上覆岩层距离采空区越近破坏

性越大。在采深较浅、采厚较大、采用全部垮落法管理顶板时,导水裂缝带可以发展到地表,地表和采空区连通,地表呈现出塌陷坑或崩落。

导水裂缝带发育高度与岩性有关,一般情况下,软弱覆岩形成的导水裂缝带高度为采厚的9~12倍,中硬覆岩为采厚的12~18倍,坚硬覆岩为采厚的18~28倍。

3. 弯曲带

弯曲带,是指断裂带上方直至地表产生弯曲下沉的岩层范围。弯曲带内岩层的移动特点如下:

① 弯曲带内岩层在自重力的作用下产生沿层面法方向弯曲,在水平方向受双向压缩,压实程度较好,具有良好的隔水性。当岩性较软时隔水性更好,为水体下采煤时良好的隔水层。

② 弯曲带内岩层的移动过程是连续有规律的,保持其整体性和层状结构,不存在或极少存在采动裂缝。

③ 弯曲带的高度主要受开采深度的影响。当采深较小时,导水裂缝带高度直达地表,不存在弯曲带;当采深较大时,弯曲带的高度可大大超过导水裂缝带的高度。

“上三带”在水平或缓(倾)斜煤层开采时表现比较明显。根据采空区大小、开采厚度、顶板管理方法、岩石性质以及开采深度的不同,上覆岩层中不一定同时出现“上三带”。

4. 底板采动导水破坏带

底板采动导水破坏带,是指煤层底板岩层受采动影响而产生导水裂缝的岩层范围。其深度为自煤层底板至采动导水裂缝最深处的法线距离。煤层采出后,在煤柱形成集中压力区(1段),在采空区形成减压区(2段),在垮落矸石下方形成压力恢复区(3段)(图2-4)。在这些力的作用下,使底板向采空区移动,导致底板岩体在采空区边界附近出现破坏。

底板采动导水破坏带包含层向裂缝带和竖向裂缝带,它们互相穿插、无明显界限。层向裂缝主要是底板受到矿压作用和竖向裂缝带形成压缩—膨胀—压缩反复位移造成的,主要表现为岩层面离层,一般发育较浅。由下部断裂导升的承压水进入层向裂缝并以均布荷载向上作用,有时可以形成底鼓,并在适当位置突破底板形成突水。竖向裂缝主要是剪切和层向拉伸破坏所致,有时剪切破坏带与下部构造连通而形成导水通道。

底板采动导水破坏带的深度主要与采煤工作面尺寸、开采方法、顶板管理方法、煤层厚度、煤层倾角以及岩体结构有关。采用全部垮落法管理顶板时,最主要的影响因素是工作面尺寸,其次是开采深度,再次是煤层倾角和岩性。

5. 底板阻水带

底板阻水带,是指矿层底板采动导水破坏带以下、底部含水体或底板承压水导升带以上的隔水层在底部含水体的水压力作用下不发生破坏的岩层范围。底板阻水带的厚度不确定,有时可能不存在。足够厚度的底板阻水带是水体上安全采矿的必备条件之一。

6. 底板承压水导升带

底板承压水导升带,是指煤层底板承压含水层的水在水压力和矿压作用下上升到其底板岩层中的岩层范围。该部分岩体在破裂时位移量较小,发生原位张裂。如果底板承压水导升带和底板采动导水破坏带之间不存在阻水带,则承压水将直接进入矿井引起底板突水事故。

由于底板岩层所受采动压力不同,底板承压水导升带的上界不平行于矿层底板,一般在

采煤工作面前方支承压力变化处和未垮落岩石工作面一侧较高,到工作面矸石垮落堆积段逐渐减小。

第二节 地下开采引起的地表移动与变形

一、地表移动的形式

地表移动(surface movement),是指因采矿引起的岩层移动波及地表而使地表产生移动、变形和破坏的现象和过程。开采引起的地表移动受诸多因素的影响,随开采深度、开采厚度、采煤方法以及煤层产状等因素的不同,地表移动和破坏的形式也不完全相同。在采深与采厚比值(简称深厚比)较大时(一般大于 30),地表移动与变形在空间和时间上是连续的、渐变的,具有明显的规律性。当采深和采厚比值较小或具有较大的地质构造时,地表的移动和变形在空间和时间上将是不连续的,地表移动与变形的分布没有严格的规律性,地表可能出现较大的裂缝或塌陷坑。地表移动破坏形式归纳为以下几种。

1. 地表移动盆地

地表移动盆地(subsidence basin),是指当地下采煤工作面推进到一定距离后(采深的 $1/4 \sim 1/2$ 时),开采影响到地表,受采动影响的地表从原有的标高向下沉降,从而在采空区上方形成一个比采空区大得多的沉陷区域,或称下沉盆地(图 2-1)。地表移动盆地的形成改变了地表原有的形态,引起高低、坡度及水平位置的变化,对下沉盆地范围内的道路、管道、河渠、建筑物、耕地、生态环境等可产生不同程度的影响。

2. 裂缝及台阶

在地表移动盆地的外边缘,地表受拉伸变形影响,可能会产生裂缝(图 2-5),裂缝深度和宽度与有无第四纪松散层及松散层的厚度、性质有关。若松散层为塑性较大的黏土,地表拉伸变形值超过 $6 \sim 10 \text{ mm/m}$ 时,地表出现裂缝;松散层为塑性较小的砂质黏土、黏土质砂时,地表拉伸变形值超过 $2 \sim 3 \text{ mm/m}$,地表即产生裂缝。地表裂缝一般平行于采空区边界发展。当采深与采厚比较小时,推进工作面前方地表可能出现垂直于推进方向的裂缝,这种裂缝随着工作面的推过,一般先张开后闭合。地表裂缝的形状为楔形,开口大,随深度增加而减小,到一定深度尖灭。当地表有松散层时裂缝发育深度一般不大于 5 m ;而在基岩露头的地表,裂缝深度可达数十米。

在采深与采厚比较小时,地表裂缝的宽度可达数百毫米,裂缝两侧的地表可能产生落差,从而形成台阶。在急(倾)斜煤层条件下,地表移动取决于基岩的移动特征,特别是松散层较薄时,地表可能出现裂缝或台阶。

3. 塌陷坑

塌陷坑多出现在急(倾)斜煤层开采条件下,在煤层露头附近地表呈现出严重的非连续性破坏,往往也会出现漏斗状塌陷坑(图 2-6)。在某种特殊的地质采矿条件下也容易产生塌陷坑,如:采深很小、采厚很大时,由于采厚不均匀造成覆岩破坏高度不一致,形成漏斗状塌陷坑;在有含水层的松散层下采煤时,不适当地提高回采上限也会引起地表产生漏斗状的塌陷坑。

二、地表移动盆地的形成

地表移动盆地是在工作面推进的过程中逐渐形成的。一般是当工作面自开切眼向前推

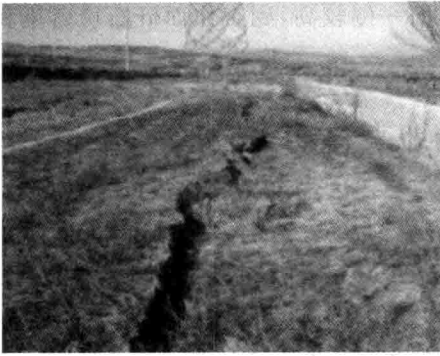


图 2-5 采动引起的地表裂缝



图 2-6 采动引起的塌陷坑

进相当于采深的 $1/4 \sim 1/2$ 距离时,开采影响波及地表,引起地表下沉。接着随着工作面继续向前推进,采空区面积增大,地表的影响范围不断扩大,下沉值不断增加,地表移动盆地逐渐扩大。如图 2-7 所示,当工作面推进到 1、2、3、4 位置时,相继在地表形成地表移动盆地 W_1 、 W_2 、 W_3 和 W_4 ,这种移动盆地是在工作面推进过程中形成的,故称动态移动盆地。

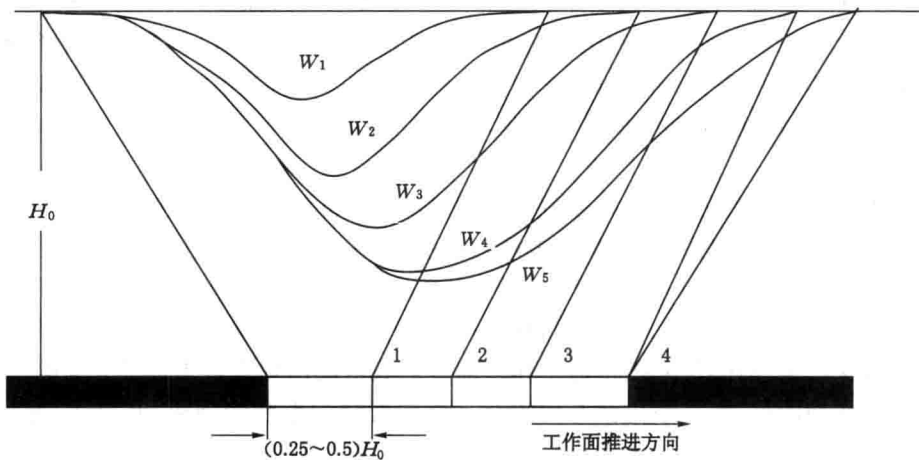


图 2-7 地表移动盆地形成过程

当采空区的尺寸增大到一定程度时,盆地范围继续扩大,最大下沉值不再增加,从而形成一个平底的下沉盆地。工作面停采后,地表的移动并不会马上停止,而是要延续一段时间,然后才稳定下来,形成最终的地表移动盆地 W_5 ,此时的地表移动盆地又称静态移动盆地。

三、地表移动盆地的充分采动程度

采动程度(mining degree),是指采区尺寸对岩层移动和地表下沉影响的状态。根据不同的采动程度,可以将地表移动盆地分为三种类型。

1. 充分采动下沉盆地

充分采动(critical mining),是指地表最大下沉值不随采空区尺寸增大而增加的临界开采

状态,又称临界开采。此时形成的地表移动盆地称为充分采动下沉盆地(critical subsidence basin),盆地内只有一个点的下沉值达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值。地表移动盆地呈碗形(图 2-8),根据现场实测资料,一般当采空区的长度和宽度均达到 $(1.2 \sim 1.4)H_0$ (H_0 为平均开采深度)时,达到充分采动。

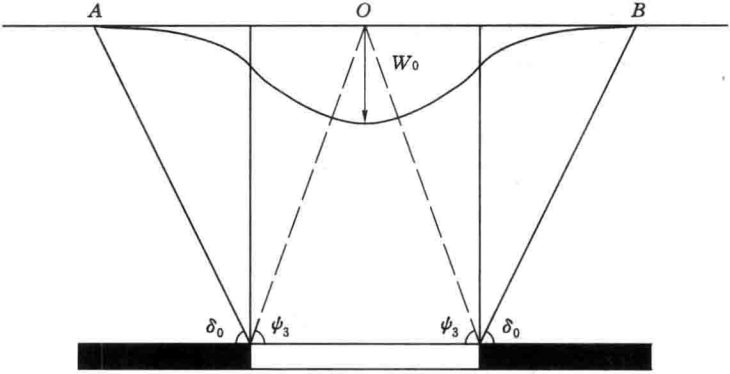


图 2-8 充分采动地表移动盆地

A,B——地表移动盆地的边缘;O——地表移动盆地的最大下沉点;
 W_0 ——地表移动盆地最大下沉值; δ_0 ——走向边界角; ψ_3 ——走向充分采动角

2. 非充分采动下沉盆地

非充分采动(subcritical mining),是指地表最大下沉值随采空区尺寸增大而增加的开采状态。此时形成的地表移动盆地称为非充分采动下沉盆地(subcritical subsidence basin),采空区的尺寸小于该地质采矿条件下的临界开采尺寸,地表任意点的下沉值均未达到该地质采矿条件下应有的最大值。地表移动盆地形状为漏斗状(图 2-9)。

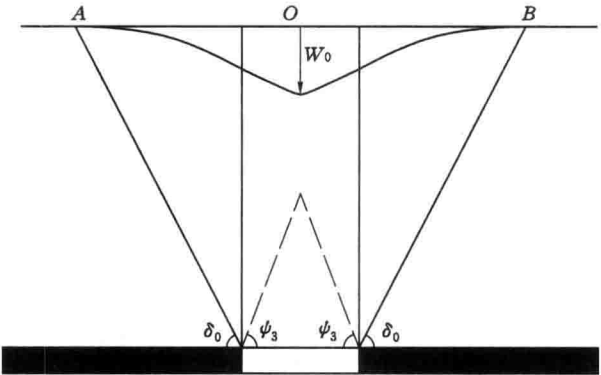


图 2-9 非充分采动地表移动盆地

工作面沿一个方向(走向或倾向)达到临界开采尺寸,而另一个方向未达到临界开采尺寸的情况也属于非充分采动,此时的地表移动盆地为槽形(图 2-10)。

3. 超充分采动下沉盆地

超充分采动(supercritical mining),是指地表最大下沉值不随采区尺寸增大而增加,且超出临界开采的状态,又称超临界开采。此时形成的地表移动盆地超充分采动下沉盆地

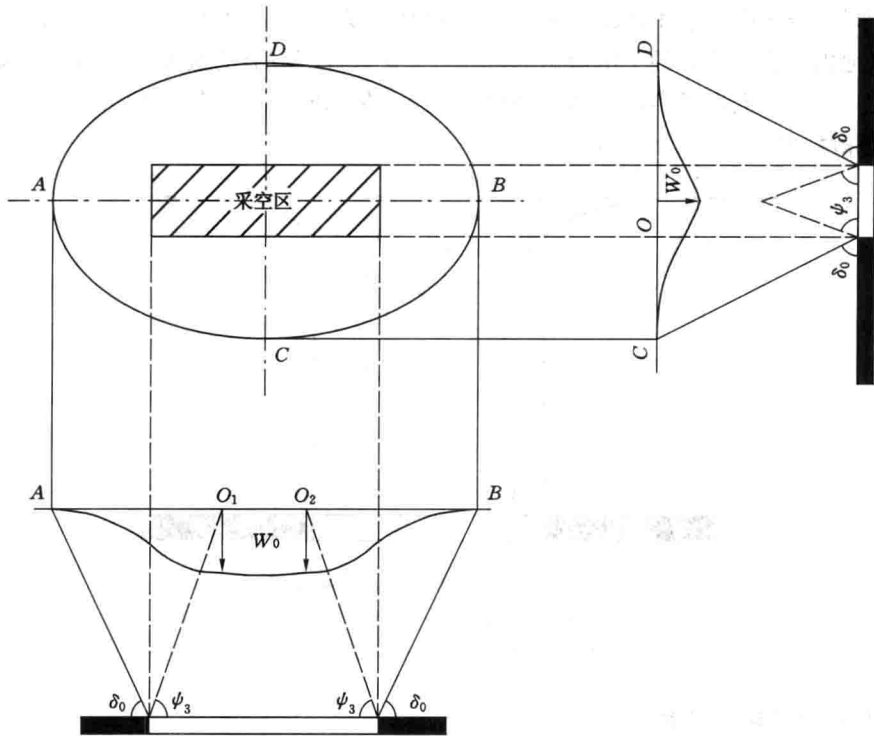


图 2-10 槽形盆地示意图

(supercritical subsidence basin), 采煤区的尺寸再继续扩大, 下沉盆地的范围扩大, 但地表最大下沉值不再增加, 盆地中央出现平底。平底部分地表点的下沉值均达到最大下沉值, 形状呈盆形(图 2-11)。

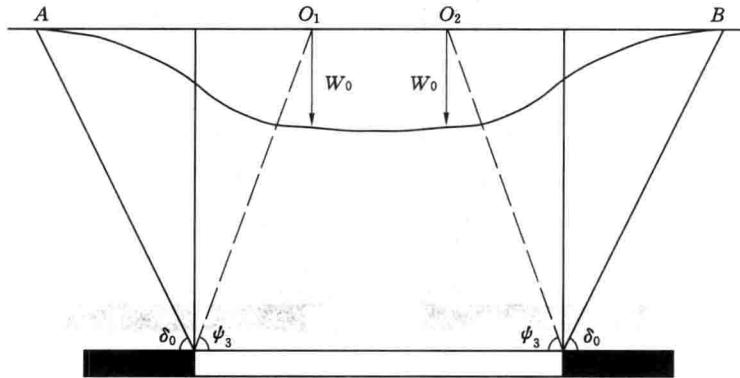


图 2-11 超充分采动地表移动盆地

引入充分采动的概念, 主要是为了研究地表移动盆地的性质。地表充分采动的范围用充分采动角(常用 ψ 表示)来确定。充分采动角(angle of critical mining), 是指在充分采动条件下, 地表移动盆地主断面的最大下沉点(或盆地平底边缘点)在地表面上投影点和同侧采空区边界点的连线与煤层底板在采空区一侧的夹角。其确定方法如图 2-8 和图 2-11 所

示。下山方向的充分采动角用 ψ_1 表示,上山方向的充分采动角用 ψ_2 表示,走向方向的充分采动角用 ψ_3 表示。

四、地表移动盆地的主断面

1. 主断面的概念

移动盆地的主断面(major section of subsidence basin),是指通过地表移动盆地最大下沉点沿煤层倾向或走向的垂直断面。如图 2-10 中 AB, CD 所示。沿煤层走向的主断面称为走向主断面,沿煤层倾向的主断面称为倾向主断面。

地表移动盆地内主断面的个数,取决于最大下沉点的个数。在非充分采动或临界充分采动时,盆地内只有一个最大下沉点,沿走向和倾向分别只有一个主断面;当达到超充分采动时,盆地中央平底部分点的下沉值均达到最大下沉值,此时通过盆地平底的沿煤层走向或倾向的垂直断面,都可称为主断面,此时主断面有无数个;假如移动盆地为槽形,即一个方向达到充分采动,另一个方向未达到充分采动,则达到充分采动的方向只有一个主断面,未达到充分采动的方向存在无数个主断面。

2. 主断面的特征

实测表明,地表移动盆地主断面有下列特征:

- ① 主断面上地表移动盆地的范围最大;
- ② 主断面上地表移动最充分、移动变形量最大;
- ③ 主断面上的点通常不产生垂直于主断面方向的水平移动。

由于主断面具有上述特征,在研究开采引起的地表移动与变形分布规律时,为了简单和方便起见,首先研究主断面上的地表移动与变形。

3. 主断面位置的确定

主断面的位置一般位于采空区中间,但与采动程度和煤层倾角有关。在非充分采动情况下,若煤层为水平煤层,主断面一般位于采空区中心,如图 2-10 所示。在倾斜煤层开采条件下,倾向主断面通过采空区中心,走向主断面偏向煤层下山方向,用最大下沉角 θ 确定,如图 2-12 所示。

所谓最大下沉角(angle of maximum subsidence),是指在地表移动盆地主断面上,采空区中点和地表最大下沉点在地表面上投影点(非充分采动条件下)或覆岩充分采动区界线延长线交点(充分采动条件下)的连线与水平线在下山方向的夹角。最大下沉角 θ ,一般通过实地观测求得。大量实测资料表明,最大下沉角除与岩性有关外,还与煤层倾角有关。在倾斜或缓(倾)斜煤层条件下, θ 随煤层倾角的增大而减小,一般用式(2-1)表示:

$$\theta = 90^\circ - k\alpha \quad (2-1)$$

式中 k ——与岩性有关的系数;

α ——煤层倾角, ($^\circ$)。

如图 2-13 所示,在非充分采动或临界充分采动情况下,在倾斜主断面上,自采煤工作面的中点向煤层下山方向作水平线,然后以工作面中点为角的顶点,从水平线上画出最大下沉角 θ ,此画线与地表交于 O 点, O 点即倾斜主断面上的最大下沉点。通过 O 点作平行于煤层走向的垂直断面,即走向主断面。最大下沉点的位置也可以通过计算得出,即从采空区中心的正上方(地表水平线上),向下山方向偏移一段距离 d ,得到 O 点。 d 值可以用式(2-2)计算: