

北京高等教育精品教材建设立项项目
高等职业教育工程测量技术专业教材



开采沉陷与 建筑物变形观测

崔有祯 主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京高等教育精品教材建设立项项目
高等职业教育工程测量技术专业教材

开采沉陷与建筑物变形观测

主 编 崔有祯
副主编 辛 星 赵小平
参 编 薄志毅 刘文龙 夏广岭



机械工业出版社

本书主要内容分为两篇。上篇矿山地表与岩层移动观测,主要内容有:地下开采引起的岩层与地表移动、地表及岩层移动的观测工作、地表沉陷的一般规律、地表移动与变形预计、开采损害及其防护措施、露天矿边坡的稳定性监测、下沉与变形监测新技术;下篇建筑物变形观测,主要内容有:建(构)筑物变形观测的内容与布设方案、建(构)筑物垂直位移观测、建(构)筑物水平位移观测、变形观测成果的整理分析、变形观测中常用的几种特殊测量方法等。本书紧密结合地表沉陷与变形观测行业的新技术及其应用发展,有较强的实用性。

本书是高等职业院校工程测量技术专业的教学用书,也可作为测绘工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开采沉陷与建筑物变形观测/崔有祯主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 9

北京高等教育精品教材建设立项项目

ISBN 978 - 7 - 111 - 28011 - 8

I. 开… II. 崔… III. ①矿山开采—沉陷性—高等学校—教材②建筑物—变形观测—高等学校—教材 IV. TD327
TU196

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 143995 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李俊玲

版式设计:霍永明

责任校对:唐海燕

封面设计:路恩中

责任印制:王书来

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm · 12.75 印张 · 插图 · 312 千字

0001 - 3000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 28011 - 8

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379540

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应当前高等职业教育工程测量技术专业发展的趋势，满足高等职业教育教学改革的需要，由北京市教育委员会组织编写的，是北京市规划建设的精品教材。

“开采沉陷与建筑物变形观测”主要讲述矿山开采引起的地表沉陷的监测与变形预计和建筑物的变形观测与分析方法，是高等职业教育工程测量技术专业的一门主干课程，是测绘行业技术人员必须要掌握的专业技能，在专业课程设置中具有重要的地位和作用。

近年来，由于新型的、高科技含量的仪器设备和测量技术的迅速发展，促使开采沉陷和建筑物变形观测的工作内容产生了很大的变化，特别是以自动化无人值守设备的发展和应用为代表的监测技术的发展和运用，极大地促进了变形观测技术的发展，丰富了课程的内容。本书紧密结合高等职业教育教学和行业发展的实际情况，在编写过程中力求概念清晰、深入浅出、密切联系实际、突出实用性，本着基础知识够用为度的原则，侧重对专业技能的培养，着重介绍现代监测新技术、新方法的应用，体现高等职业教育的特色。

本书由北京工业职业技术学院崔有祯主编，负责统稿并定稿。具体编写分工如下：第一、二、三、四章由赵小平编写，第九、十一、十二章由辛星编写，第八章由薄志毅编写，第五章由刘文龙编写，第十章由夏广岭编写，第六、七章由崔有祯编写。秦丽华、刘俞含同志为本书进行了文字、数据等内容校对和修改。

本书在编写过程中，参考并借鉴了大量的文献资料和相关教材，在此谨向有关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，对高等职业教育教学改革理论的学习和实践经验还欠丰富，书中可能存在缺点、疏漏或错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

上篇 矿山地表与岩层移动观测

第一章 地下开采引起的岩层与

地表移动 1

第一节 地下开采引起的岩层移动 1

第二节 地下开采引起的地表移动 4

第三节 地表移动盆地的形成及其主断面 5

第四节 移动盆地主断面内的移动与变形 11

第五节 地表移动盆地的分区及其边界的确定 13

第二章 地表及岩层移动的

观测工作 16

第一节 地表移动观测站设计的原则和内容 16

第二节 地表移动观测站的设计方法 18

第三节 观测站的标定与埋设 23

第四节 地表观测站的观测工作 25

第五节 观测成果的整理与分析 27

第六节 地表移动主要参数的确定 31

第七节 岩层移动的观测 37

第三章 地表沉陷的一般规律 39

第一节 地表移动盆地稳定后主断面内移动和变形分布规律 39

第二节 采动过程中的地表移动和变形的一般规律 43

第三节 地质采矿因素对岩层与地表移动的

影响 50

第四章 地表移动与变形预计 54

第一节 最大下沉值与最大水平移动值的预计 54

第二节 典型曲线法 56

第三节 负指数函数法 60

第四节 概率积分法 63

第五节 非主断面地表移动与变形的预计 67

第六节 下沉格网法 71

第五章 开采损害及其防护措施 75

第一节 保护煤柱的设计 75

第二节 “三下”开采 85

第六章 露天矿边坡的稳定性监测 93

第一节 边坡的滑动 93

第二节 边坡滑动观测站的建立 95

第三节 观测成果的整理 99

第四节 观测资料的分析及观测报告的编写 104

第五节 露天矿滑坡的防护措施 106

第七章 下沉与变形监测新技术 108

下篇 建筑物变形观测

第八章 建(构)筑物变形观测的内容与布设方案 111

第一节 建(构)筑物变形观测的意义、内容和目的 111

第二节 建(构)筑物变形观测的一般规定 113

第三节 监测控制网的建立	115	第七节 前方交会法测定建(构)筑物的 位移	171
第四节 建(构)筑物变形监测点 的布置	120	第八节 工作基点稳定性的检查及其位移的 测定	172
第五节 大坝变形监测点的布设方案	122	第九节 挠度观测	173
第六节 基准点的选择和控制测量	129	第十节 裂缝观测	176
第九章 建(构)筑物垂直位移观测	134	第十一章 变形观测成果的整理 分析	177
第一节 水准基点、观测点的标志构造与 埋设	134	第一节 观测资料的整理	177
第二节 建(构)筑物沉降观测	136	第二节 观测值的统计规律及其成因分析	180
第三节 基坑回弹观测	143	第三节 一元线性回归分析	182
第四节 倾斜观测	147	第四节 观测成果的整理	185
第五节 液体静力水准测量	151	第十二章 变形观测中常用的几种特殊 测量方法	188
第六节 建筑场地沉降观测	155	第一节 全组合法水平角观测	188
第十章 建(构)筑物水平位移观测	158	第二节 短距离精密测量技术	189
第一节 基准线法测定水平位移	158	第三节 GPS 技术的应用	192
第二节 视准线法观测的精度估算	160	第四节 应用地面近景摄影测量方法进行 变形观测	196
第三节 激光准直经纬仪的应用	162	参考文献	201
第四节 分段基准线观测	163		
第五节 引张线法测定水平位移	164		
第六节 导线法测定建(构)筑物的位移	167		

上篇 矿山地表与岩层移动观测

第一章 地下开采引起的岩层与地表移动

第一节 地下开采引起的岩层移动

地下煤层被大面积采空后，其周围的岩层便失去了原有的力学平衡状态，上覆岩层在重力的作用下将产生移动与变形或者移动与变形的趋势。当然，由于地质和采矿条件不同，岩层的移动与变形的形式和大小也不相同。

一、岩层移动及其他相关的概念

1. 岩层移动

矿体被采出后，在岩体内部形成一个空洞，其周围原有的应力平衡状态受到破坏，引起应力的重新分布，直到达到新的平衡，这是一个十分复杂的物理、力学变化过程，也是岩层产生移动和破坏的过程，这一过程和现象称为岩层移动。

2. 水平煤层和缓倾斜煤层

当地下煤层被采出后，采空区直接顶板岩层在自重及上覆岩层重力的作用下，产生向下的移动和弯曲。当其内部拉应力超过岩层的抗拉强度极限时，直接顶板首先断裂、破碎并相继冒落，而基本顶岩层则以梁、板形式沿层面法向方向移动、弯曲，进而产生断裂、离层。随着采矿工作面的向前推进，受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1-1所示。

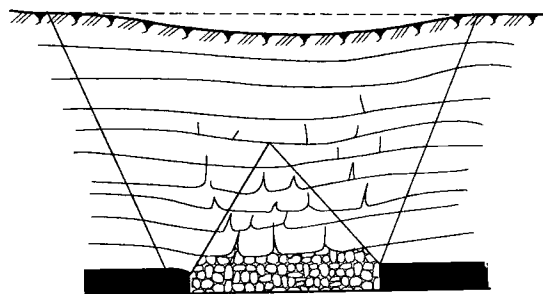


图1-1 采空区上覆岩层移动示意图

岩层移动、破坏的结果，使采空区周围应力重新分布，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、下方的岩层内形成支承压力区，这个区域由于支承压力的作用，使该区煤柱和岩层被压缩甚至被压碎，煤层挤向采空区，称为片帮。由于增压的结果，使煤柱部分被压碎，承载能力减弱，于是支承压力区向远离采空区

方向转移。在回采工作面的顶、底板岩层内形成减压区，其应力小于采前的原岩应力。在顶板岩体中，由于减压的结果使下部岩层发生弹性恢复变形，而上部岩体则由于受其下部岩体移向采空区的影响而导致在岩体内形成离层的可能。底板岩体在采空区范围内卸压、在煤柱范围内增压，两种压力作用的结果会出现采空区底板向采空区隆起的现象，如图 1-2 所示。

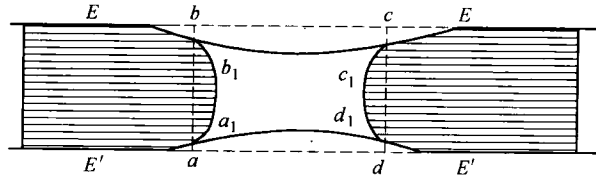


图 1-2 采空区周围岩层破坏和移动

根据岩层移动和变形特征及应力分布情况，在移动过程终止后的岩体内大致可划分为三个移动特征区（图 1-3）：I——充分采动区（减压区）；II、II'——最大弯曲区；III、III'——岩石压缩区（支承压压力区）。

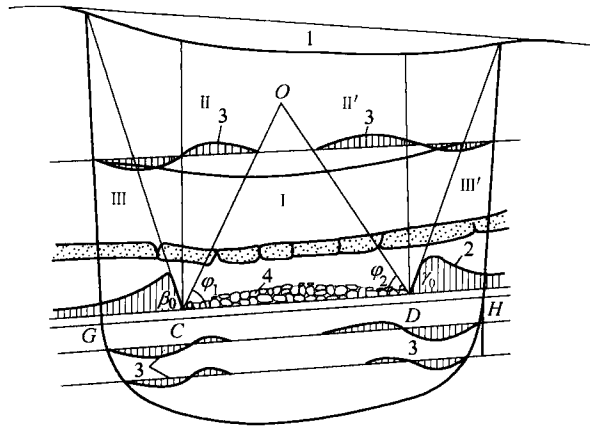


图 1-3 采空区影响范围内的影响带的划分示意图

1—地表下沉曲线 2—支撑压力区内的正应力图 3—沿层面法向岩石变形曲线图 4—冒落带

如图 1-3 所示，充分采动区 COD 位于采空区中部上方，其移动特征是：煤层顶板在上覆岩体重力作用下先向采空区方向弯曲，然后破碎成大小不一的岩块向采空区内冒落而充填采空区。之后，岩层成层状向下弯曲，同时伴随有离层、裂隙和断裂等现象。成层状弯曲的岩层下沉，使冒落破碎的岩块逐渐被压实。移动结束后，此区内下沉的岩层仍平行于其原始层位，层内各点的移动向量与煤层法线方向一致，在同一层内的移动向量彼此相等。

岩石压缩区（支承压压力区）位于采空区边界煤柱上方 GC 和 HD 范围内。在支承压压力区之上的岩层内，不仅有沿层面方向的拉伸变形，而且还会出现沿层面法线方向的压缩变形。

在充分采动区 I 和支承压压力区 III、III' 之间是最大弯曲区 II、II'，在此范围内岩层向下弯曲的程度最大。由于岩层弯曲，在层内产生沿层面方向的拉伸和压缩变形。

3. 倾斜煤层和急倾斜煤层

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是岩石沿层面的滑移。在采空区边界上方，岩层和煤柱在自重应力作用下，顶板岩层在产生法向弯曲的同时受沿层面分

力的作用而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、底板岩层的强度均较小时,则可同时产生沿层面的下滑。

二、岩层移动的形式

观测和研究发现,在矿山开采引起的岩层移动过程中,开采空间周围岩层的移动形式可归结为以下几种:

1. 弯曲

弯曲是岩层移动的主要形式。地下煤层采出后,便从直接顶板开始沿层面法线方向产生弯曲,直到地表。在整个弯曲范围内,岩层可能出现数量不多的微小裂缝,基本上保持其连续性和层状结构。

2. 岩层的垮落(或称冒落)

煤层采出后,采空区周边附近上方岩层便弯曲而产生拉伸变形。当拉伸变形超过岩层的允许抗拉强度时,岩层破碎成大小不一的岩块并冒落充填于采空区。此时,岩层不再保持其原有的层状结构。这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。

3. 煤的挤出(又称片帮)

部分采空区边界煤层在煤层采出后,应力重新分布的过程中,由于其承载的支承压力逐渐增大,当所承载的压力超过煤层的极限抗压强度时,这部分煤层将被压碎而挤向采空区,这种现象称为片帮。由于增压区的存在,煤层顶底板岩层在支承压力作用下产生竖向压缩,从而导致采空区边界以外的上覆岩层和地表产生移动。

4. 岩石沿层面的滑移

在开采倾斜煤层时,岩石在自身重力的作用下,除产生沿层面法线方向的弯曲外,还会产生沿层面方向的移动。岩层倾角越大,岩层沿层面滑移越明显。沿层面滑移的结果,使采空区上山方向的部分岩层受拉伸甚至断裂,而下山方向的部分岩层则受压缩。

5. 垮落岩石的下滑(或滚动)

煤层采出后,采空区被由顶板(或急倾斜煤层底板)冒落的岩块所充填。当矿层倾角较大、而且开采自上而下顺序进行,下山部分煤层继续开采而形成新的采空区时,采空区上部垮落的岩石可能再次下滑而充填新采空区,从而使采空区上部的空间增大、下部的空间减小,使位于采空区上山部分的岩层移动加剧而下山部分的岩层移动减弱。

6. 底板岩层的隆起

底板岩层较软时,煤层采出后,采空区的底板在垂直方向上迅速减压,而采空区边界外的底板由于应力重新分布而导致其承载的压力逐渐增加,这种压力就会导致采空区的底板承受水平方向的压力,从而使底板向采空区方向隆起。

应该指出,以上6种移动形式并非一定同时出现在每一个具体的岩层移动过程中。

三、岩层移动稳定后采动岩层内的三带分布

岩层移动稳定后按岩层破坏程度,大致分为三个不同的开采影响带,如图1-4所示。

1. 冒落带(或垮落带)

用全部垮落法管理顶板时,回采工作面放顶后引起采空区直接顶板岩层产生破坏的范围称为冒落带。冒落带的高度一般是煤层采出厚度的3~5倍。

2. 断裂带（或裂缝带）

冒落带以上到弯曲带之间为断裂带。断裂带虽然也发生下沉弯曲、垂直于层面的断裂和顺层面的离层裂缝，但仍保持其层状状态而不垮落。

断裂带与冒落带的界限不明显，一般合称导水裂隙带，总高度可达煤层采出厚度的9~12倍。在水体下采煤时，如果导水裂隙带达到了水体（如河流、水库等）的底面，水或泥沙将可能沿着裂缝溃入井下，导致严重的淹井事故。

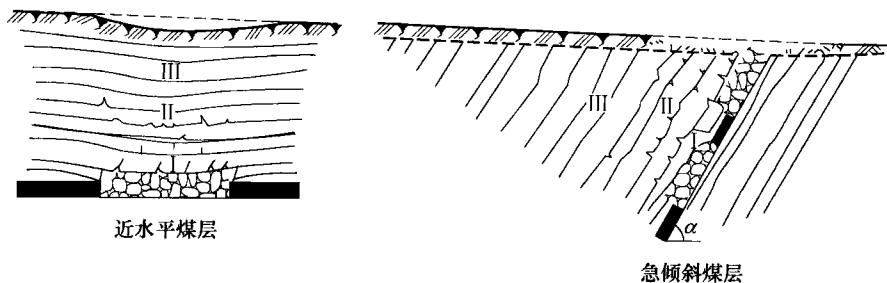


图 1-4 采空区上覆岩层内移动分带示意图

I—冒落带 II—裂缝带 III—弯曲带

3. 弯曲带

在断裂带以上到地表的范围内称为弯曲带。弯曲带的岩层只是在重力作用下向法线方向弯曲、下沉，不再断裂，仍保持岩层的整体性和层状结构。移动的过程是连续而有规律的。在上覆岩层总厚度足够大时，其高度一般要比导水裂隙带大。

以上划分的三带，在水平煤层或缓倾斜煤层开采时表现比较明显。急倾斜煤层开采时，上覆岩层会出现三带，但不会出现充分采动区。底板岩层有时也会出现弯曲带和断裂带。

由于地质、采矿条件的不同，三带不一定同时存在。

第二节 地下开采引起的地表移动

一、地表移动的概念

所谓地表移动，是指采空区面积扩大到移动范围后，岩层移动发展到地表，使地表产生移动和变形的现象。

地下开采以后，上覆岩层的移动传播到地表，地表也就随之产生了不同形式的移动与变形。地表移动与变形的形式主要取决于当地的地质与采矿条件，特别是采空区的开采深度和采出厚度。当开采深度 H 与采出厚度 m 的比值大于30，即 $H/m > 30$ 时，地表的移动在空间上和时间上，一般情况下将是一种连续、渐变、有规律的现象，若 $H/m < 30$ 时，地表移动则有可能不是连续的、规律的运动，地表将会出现较大的裂缝和塌陷坑。

二、地表移动的形式

开采引起的地表移动过程，受多种地质采矿因素的影响，因此，随开采深度、采出厚度、采煤方法及煤层产状等地质采矿条件的改善，地表的移动和变形在空间和时间上是连续的、渐变的，具有明显的规律性。当开采深度和采出厚度的比值较小或具有较大的地质构造（如断

层)时,地表的移动和变形在空间和时间上将是不连续的,移动和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。地表移动和破坏的形式,主要有以下几种:

1. 地表移动盆地

在开采影响波及到地表以后,受采动影响的地表从原有标高向下沉降,从而在采空区上方地表形成一个比采空区面积大得多的沉陷区域,这种地表沉陷区域称为地表移动盆地,或称下沉盆地。在地表移动盆地形成的过程中,改变了地表原有的形态,引起了高低、坡度及水平位置的变化。因此,对位于影响范围内的道路、建筑物、生态环境等,都带来不同程度的危害。

2. 裂缝及台阶

在地表移动盆地的外边缘区,地表可能产生裂缝。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,地表裂缝一般平行于采空区边界发展。当开采深度和采出厚度比值较小时,在推进中的工作面前方地表可能发生平行于工作面的裂缝。但裂缝的宽度和深度都较小。地表裂缝的形式为楔形,地面的开口大,并随深度的增大而减小,到一定深度尖灭。

如果在地质条件上有比较大的断层或其他地质构造存在,或者开采深度较小并且第四纪表土层厚度较小时,地下开采有可能导致地表出现明显的台阶状变形,严重破坏地表的连续性和整体性。

3. 塌陷坑

塌陷坑多出现在急倾斜煤层开采条件下。但在浅部缓倾斜煤层开采、地表有非连续性破坏时,也可能出现漏斗状塌陷坑。在开采深度很小或采出厚度很大的情况下,用房柱式采煤或峒室式水力采煤时,由于采出厚度不均匀,造成覆岩破坏高度不一致,也会在地表产生漏斗状塌陷坑,如图1-5所示。

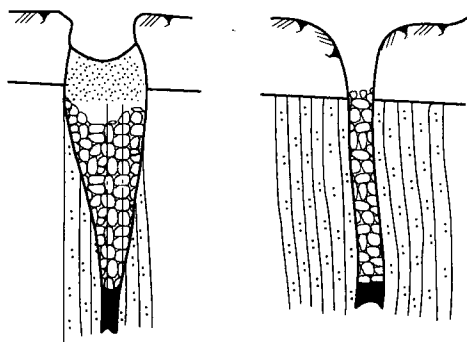


图1-5 急倾斜煤层地表漏斗状塌陷坑示意图

地表出现塌陷坑对于地表的建筑物、铁路、公路、水体的损害极大。因此,在建筑物下、铁路下及水体下采煤时,应设法避免这种现象的出现。

第三节 地表移动盆地的形成及其主断面

地下煤层开采后,地表随着基岩下沉、弯曲,逐渐形成了一个比采空区大得多的移动盆地。在移动盆地内,地表移动与变形的大小及其分布规律是我们主要研究的主要对象。

一、地表移动盆地的形成

地表移动盆地是随回采工作面的不断推进、采空区不断扩大而逐渐形成的。如图 1-6 所示,当工作面由开切眼起向前推进到相当于采空区平均开采深度的 $1/4 \sim 1/2$ 时,地表将开始发生移动和变形,并形成一个小移动盆地 W_1 。工作面继续推进,地表移动盆地的范围随之逐渐扩大,形成了一系列的新移动盆地 W_2 、 W_3 、 W_4 ,同时地表的下沉量也逐渐增大。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。当工作面推进到采区停采边界时,回采工作虽然停止了,但地表移动并不立即停止,还要在一段时间继续发展,盆地也继续扩大,直到地表移动稳定,形成了最终移动盆地 W_{04} 。通常所说的地表移动盆地就是指最终形成的移动盆地,又称为静态移动盆地。在工作面的推进过程中,如图 1-7 所示的工作面停在 1、2、3、4 的位置上,待地表移动稳定后,其对应的每一个位置都会有一个相应的静态移动盆地 W_{01} 、 W_{02} 、 W_{03} 、 W_{04} 。

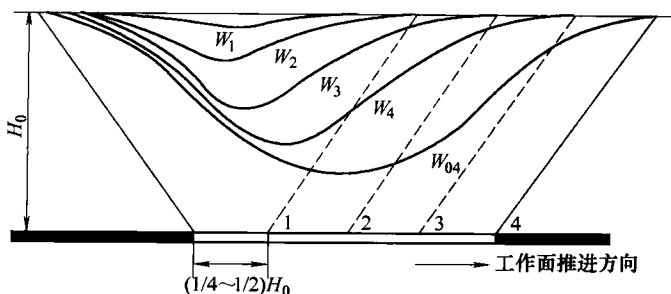


图 1-6 地表移动盆地的形成过程

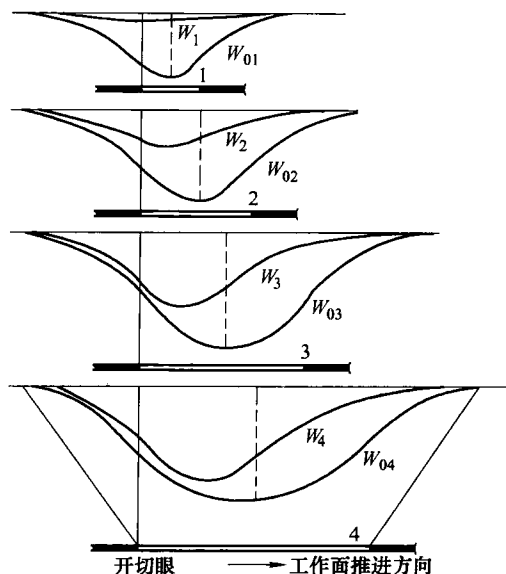


图 1-7 工作面推进过程中和最终的地表移动盆地对照图

二、充分采动和非充分采动

1. 充分采动

地下煤层采出后,地表下沉值达到该地质采矿条件下应有的最大值,此时的采动称为充

分采动。为了加以区别,通常把地表移动盆地内只有一个点的下沉值达到最大下沉值的采动情况,称为刚达到充分采动,此时的开采称为临界开采,地表移动盆地呈碗形(图1-8a)。地表有多个点的下沉值达到最大下沉值的采动情况,称为超充分采动,地表移动盆地呈盘形(图1-8b)。

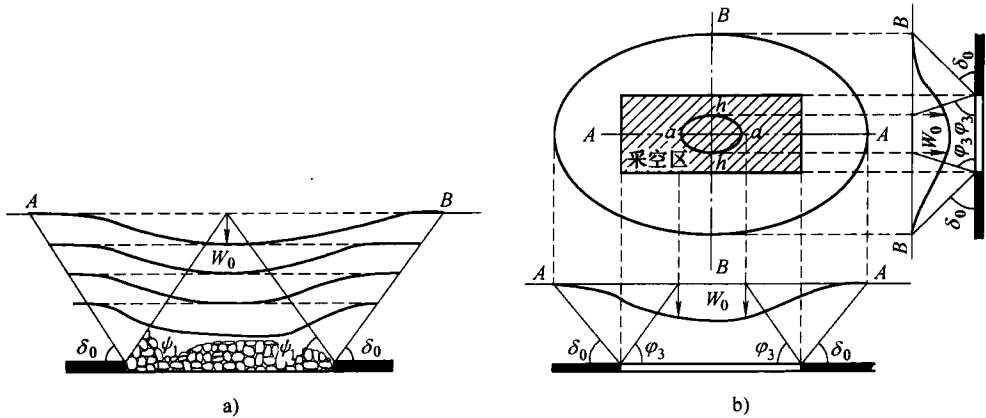


图1-8 充分采动时地表移动盆地示意图

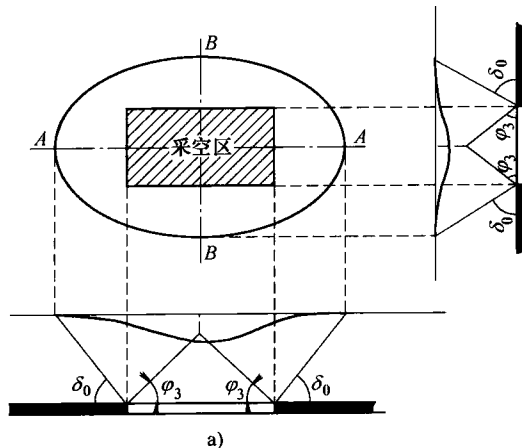
a) 刚达到充分采动时的移动盆地 b) 超充分采动时的移动盆地

大量的实际观测和研究表明,通常在采空区的长度和宽度均达到和超过 $(1.2 \sim 1.4) H_0$ (H_0 为平均开采深度)时,地表可达到充分采动。

2. 非充分采动

采空区的尺寸(长度和宽度)小于该地质开采条件下的临界开采尺寸值,地表任意一点的下沉值均未达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值,这种采动称为非充分采动,此时地表移动盆地呈碗形(图1-9)。

工作面沿一个方向(走向或倾向)达到临界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1-10)。



a) 水平煤层 b) 倾斜煤层

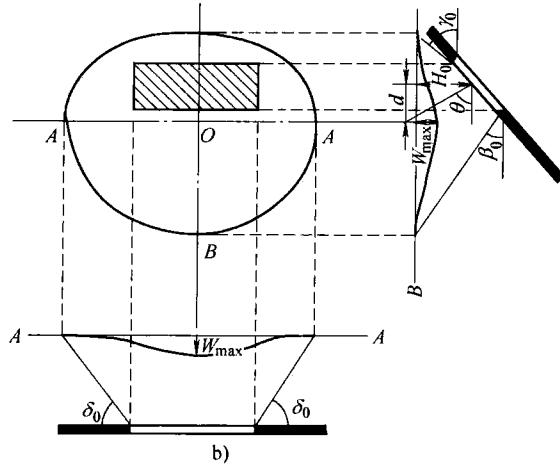


图 1-9 非充分采动时的地表移动盆地示意图

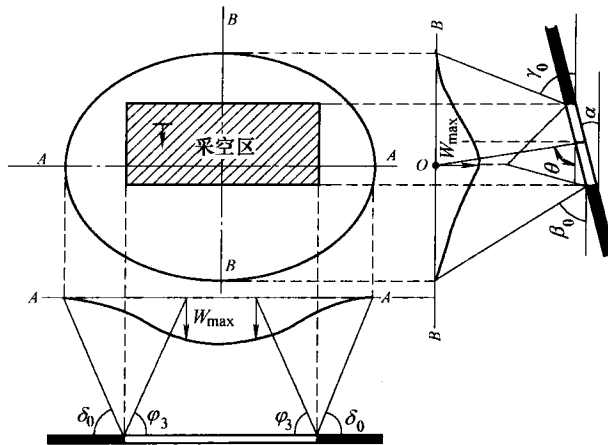


图 1-10 槽形盆地示意图

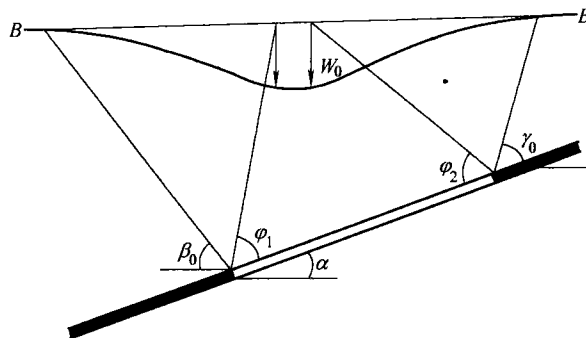


图 1-11 充分采动角确定方法示意图

引入充分采动的概念，主要目的是研究地表移动盆地的性质。在超充分采动时，静态地表移动盆地将出现平底部分。在平底范围内，各处的下沉值相等，这个区域内其他移动和变形最终值近似于零。应该指出，在平底范围内的地表仍然经历过动态变形。这里所谓的地表

移动是指移动盆地内地表点的垂直移动分量和水平移动分量,而变形是指由于相邻地表点的移动量不等产生的相对移动。

充分采动的范围用充分采动角(以 φ 表示)确定。在充分采动条件下,在地表移动盆地的主断面上,移动盆地平底边缘(在地表水平线上的投影点)和同侧采空区边界连线与煤层在采空区一侧的夹角即为充分采动角。下山方向的充分采动角以 φ_1 表示,上山方向的充分采动角以 φ_2 表示(图1-11),走向充分采动角以 φ_3 表示,参见(图1-8)。

三、地表移动盆地的特征

由实际观测可以知道,移动盆地的范围,总是要比采空区的面积大。而盆地的形状及其与采空区相对位置关系,则取决于采空区的形状和煤层倾角的大小。

为了便于理解和比较,下面分别分析水平煤层(或近水平煤层)和倾斜煤层以及急倾斜煤层开采后所形成的地表移动盆地的特征。

1. 水平煤层开采后所形成的地表移动盆地的特征

如图1-8所示,在水平煤层开采时地达到充分采动的地表移动盆地有下列特征:

1) 地表移动盆地位于采空区的正上方。盆地的中心(最大下沉点所在的位置)和采空区中心是一致的。盆地的平底部分位于采空区中部的正上方。

2) 地表移动盆地的形状与采空区对称。如果采空区的形状为矩形,则移动盆地的平面形状为椭圆形。

3) 移动盆地内外边缘区的分界点,大致位于采空区边界的正上方或略有偏离。

在水平煤层开采的条件下,非充分采动和刚达到充分采动的地表移动盆地的特征,与超充分采动的移动盆地特征相似,所不同的是移动盆地内不出现中性区域,只有一个最大下沉点,而且最大下沉点位于采空区中心的正上方。

2. 倾斜煤层开采后所形成的地表移动盆地的特征

倾斜煤层开采,地表未达到充分采动时(图1-9b),地表移动盆地有如下特征:

1) 在倾斜方向上,移动盆地的中心(最大下沉点处)偏向采空区的下山方向,和采空区中心不重合。

2) 移动盆地与采空区的相对位置,在走向方向上对称于倾斜中心线,而在倾斜方向上不对称,煤层倾角越大,这种不对称性越明显。

3) 移动盆地的上山方向较陡,移动范围较小;下山方向较缓,移动范围较大。

倾斜煤层充分采动时,移动盆地出现平底,充分采动区内的移动和变形特点与水平煤层充分采动区内相似。

3. 急倾斜煤层开采后所形成的地表移动盆地的特征

急倾斜煤层开采后,地表移动盆地有如下特征:

1) 地表移动盆地形状的不对称性更加明显。工作面下边界上方地表的开采影响达到开采范围以外很远,上边界上方开采影响则达到煤层底板岩层。整个移动盆地明显地偏向煤层下山方向。

2) 最大下沉值不是出现在采空区中心正上方,而是大致位于采区下边界上方。

3) 地表的水平移动值大于最大下沉值。

4) 急倾斜煤层开采时,有可能出现煤层底板岩层的较大移动和变形。

急倾斜煤层开采时，不出现充分采动的情况。

四、地表移动盆地的主断面

地表移动盆地内各点的移动和变形不完全相同，但在正常情况下，移动和变形的分布是有规律的。图 1-12 所示为水平煤层开采后所形成的地表移动分布规律。该图是一个理想化的示意图，图中 $abcd$ 是采空区轮廓在地表的投影，虚线表示移动盆地内下沉等值线（它是一组近似平行于开采边界的线族），箭头表示地表点的移动方向在平面上的投影。由图可见，采空区中心正上方的地表下沉值最大，向四周逐渐减小，到采空区边界上下沉值减小得比较迅速，向外逐渐趋于零。地表点的水平移动大致指向采空区中心，采空区中心上方地表最终几乎不发生水平移动。开采边界上方地表水平移动值最大，向外逐渐减小为零。水平移动等值线也是一组平行于开采边界的线族。

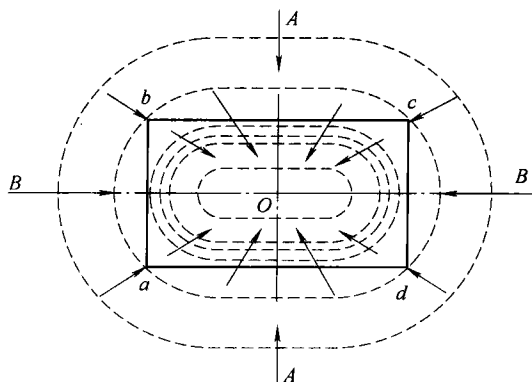


图 1-12 地表移动盆地地下沉等值线图

由于下沉等值线和水平移动等值线均平行于开采边界，移动盆地内下沉值最大的点和水平移动值为零的点都在采空区中心，因此通过采空区中心与煤层走向平行或垂直的断面上的地表移动值最大。在此断面上地表点几乎不产生垂直于此断面的水平移动。通常就将地表移动盆地内通过最大下沉点（或者说移动盆地的中心）所作的沿煤层走向或倾向的垂直断面称为地表移动盆地主断面，如图 1-12 的 $A-A$ 断面、 $B-B$ 断面。

移动盆地内主断面的个数，取决于最大下沉点的个数。在移动盆地为碗形的情况下，移动盆地内只有一个最大下沉点，此时，只能做出一个沿走向和一个沿倾向的主断面。在移动盆地为槽形的情况下，假定槽形的长方向为煤层走向，此时只能做出一个沿走向的主断面，而在走向主断面上，有若干个点下沉值相等，通过其中任一个点均可作出沿倾向的垂直断面，此即倾向主断面。所以在这样的条件下，可有若干个倾向主断面，如图 1-10 所示。反之，若槽形的长方向为煤层的倾向，则可作出若干个走向主断面和一个倾向主断面，不过这种情况比较少见。在移动盆地为盘形时，移动盆地将出现平底（图 1-8b 中 $abcd$ ）。通过平底内任一点均可作出平行和垂直煤层走向的主断面，此时可有若干个走向主断面和倾向主断面。

实测表明，地表移动盆地主断面有下列特征：

- 1) 在主断面上地表移动盆地的范围最大。
- 2) 在主断面上地表移动最充分，移动量最大。

第四节 移动盆地主断面内的移动与变形

一、移动盆地内任一地表点的移动

地下开采引起的岩层及地表移动过程是一个极其复杂的时间—空间现象，其表现形式十分复杂。在一般情况下我们只研究点的原始位置与其移动后的稳定位置的移动向量及其分量的问题。从地表移动的过程来看，地表点的移动状态可用垂直移动分量和水平移动分量来描述。通常将垂直移动分量称为下沉。水平移动分量按相对于某一断面的关系区分为沿断面方向的水平移动（如 y 方向）和垂直断面方向的水平移动（如 x 方向），如图 1-13 所示。一般将前者称为纵向水平移动，后者称为横向水平移动。

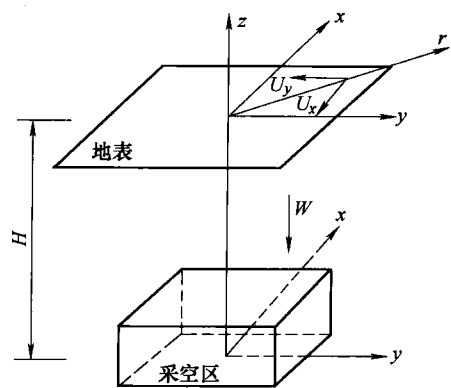


图 1-13 地表点的移动分析

为了研究方便，我们把三维（ x 、 y 、 z ）空间问题分解成两个竖直平面问题（即走向剖面和倾向剖面）来研究地表的移动和变形。

二、主断面内地表的移动与变形

如图 1-14 所示，在主断面的地表上设置了许多观测点 1、2、3 …，并在它们移动前和稳定后，测量了它们的高程和各点间的距离，然后根据测量结果绘出了各点的移动向量 $22'$ 、 $33'$ 、… $88'$ 。可以看出各点的移动向量的大小与方向都是不相同的，它们的分量 W 和 U 也是不相同的。

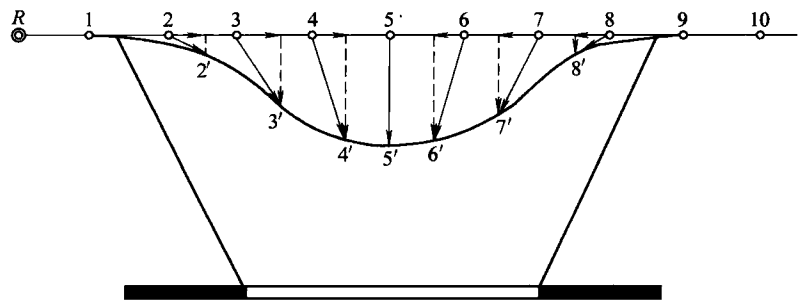


图 1-14 主断面内地表点移动示意图

主断面内地表点的下沉值 W 和水平移动值 U ，可以根据各点的高程变化和到某一控制点的距离变化计算出来。