

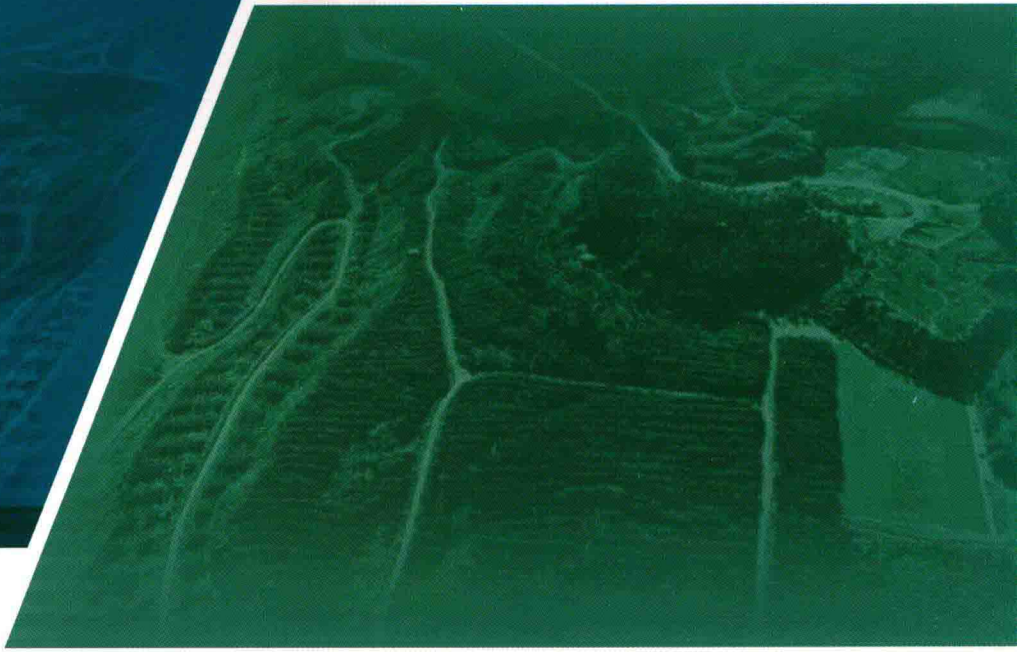


全国高等职业教育“十三五”规划教材

矿山环境修复 土地复垦技术

成六三 逯娟 主编

Kuangshan Huanjing Xiufu Yu
Tudi Fukun Jishu

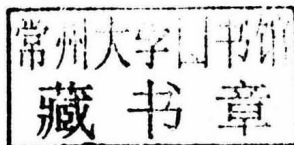


中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

育“十三五”规划教材

矿山环境修复与土地复垦技术

主 编 成六三 逯 娟
副主编 张茂超 黄朝阳
赵仕宝 方晶晶



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本教材主要包括两大部分七个情景,从认识矿山、矿山开发产生的环境地质问题、矿山地质环境评估到认识土地复垦、土地损毁与预测分析、土地复垦可行性分析、土地复垦措施等,按学生的认知规律进行了编排,有助于学生对基础知识与应用的掌握与理解。

图书在版编目(CIP)数据

矿山环境修复与土地复垦技术/成六三,逯娟主编.

—徐州:中国矿业大学出版社,2019.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4028 - 6

I. ①矿… II. ①成… ②逯… III. ①矿山—复土造田—生态恢复—研究 IV. ①TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第142528号

书 名 矿山环境修复与土地复垦技术
主 编 成六三 逯 娟
责任编辑 张 岩
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)83884103 83885105
出版服务 (0516)83995789 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏淮阴新华印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 12.25 字数 306 千字
版次印次 2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷
定 价 33.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

为了贯彻国家“十三五”规划中生态文明建设理念,以及国土资源部等六部委联合下发的《关于加快建设绿色矿山的实施意见》(国土资规[2017]4号)和《国土资源部办公厅关于做好矿山地质环境保护与土地复垦方案编报有关工作的通知》(国土资规[2016]21号)等文件精神,编写了《矿山环境修复与土地复垦技术》这本教材,目的是适应国民经济发展对人类与地质环境协调发展的实际要求及新时代矿山地质、水文地质、地质灾害和土地管理类技术人才培养的需要,旨在拓宽学生的专业知识面,帮助学生构建完整的知识结构体系,加强理论与实践相联系能力的培养,增强适应性。

本教材主要包括两大部分七个情景,从认识矿山、矿山开发产生的环境地质问题、矿山地质环境评估到认识土地复垦、土地损毁与预测分析、土地复垦可行性分析、土地复垦措施等,按学生的认知规律进行了编排,有助于学生对基础知识与应用的掌握与理解。

本书由重庆工程职业技术学院成六三和兰州环境资源职业技术学院逯娟担任主编,重庆工程职业技术学院的张茂超、黄朝阳、赵仕宝和湖北国土职业技术学院方晶晶担任副主编。其中,情景一、情景三和附录由逯娟编写;前言、情景二、情景四、情景五、情景六由成六三编写;情景七的第二节和第三节由黄朝阳编写;情景七的第四节由赵仕宝编写;情景七的第一节由方晶晶编写;教材插图由张茂超完成。

本书在内容编写及工程案例列举过程中参阅并引用了书后所列参考文献的相关内容,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请广大读者批评、指正。

编 者

2018年4月

目 录

第一部分 矿山地质环境

情景一 认识矿山	3
第一节 矿床与开采	3
第二节 岩层移动	7
第三节 地表移动	9
思考题	13
情景二 矿山开发产生的环境地质问题	14
第一节 矿山地质灾害	14
第二节 矿床开发的主要环境地质问题	29
第三节 其他的环境地质问题	43
思考题	45
情景三 矿山地质环境评估	46
第一节 评估范围与等级	46
第二节 现状与预测评估	54
第三节 分区评述	69
第四节 防治工程	73
第五节 投资估算及效益分析	81
思考题	83

第二部分 土地复垦

情景四 认识土地复垦	87
第一节 土地资源概况	87
第二节 土地整治	90
第三节 矿山土地复垦	90

第四节	典型损毁单元的特点	97
第五节	土地复垦技术	101
思考题	.....	102
情景五	土地损毁与预测分析	103
第一节	开采方式的土地损毁环节	103
第二节	矿种开采的土地损毁环节	106
第三节	建设项目土地损毁环节	112
思考题	.....	113
情景六	土地复垦可行性分析	114
第一节	复垦区责任范围确定	114
第二节	土地复垦适宜性评价	115
第三节	水土资源平衡分析	126
第四节	土地复垦的目标任务	131
思考题	.....	131
情景七	土地复垦措施	132
第一节	工程技术措施	132
第二节	生物技术措施	163
第三节	土壤改造技术	167
第四节	土地复垦监测工程	179
思考题	.....	187
附录	.....	188
参考文献	.....	190

第一部分
矿山地质环境

情景一 认识矿山

学习目标:本情景介绍了矿山地质环境的基本概况及其采矿方式与地表变形之间的相关关系。通过本情景的学习,学生应具备以下单项技能:

- (1) 熟悉矿山地质环境的基本组成。
- (2) 熟悉采矿方式与地表变形之间的相关关系。
- (3) 熟悉岩层移动“三带”分布规律。

第一节 矿床与开采

矿床由矿层(矿体)的自然分布和排列组合形成,由矿体和围岩组成。而矿石是自然界凡是含有工业价值有益矿物的岩石总称;与矿层(矿体)有直接或间接联系的岩层称为围岩。

一、矿床与开拓方法

顶板与底板:矿层(矿体)上部岩层统称顶板。与矿层(矿体)直接接触的岩层为直接顶板,直接顶板以上的岩层称为间接顶板(又称老顶)。

矿层底部岩层统称底板。直接与矿层接触的岩层为直接底板,直接底板以下的岩层称间接底板。

(一) 矿层(矿体)形状与产状

1. 矿层(矿体)形状

按矿层(矿体)存在的空间形态,可分为以下几种:

(1) 层状、似层状矿层

海相沉积式矿床为层状矿层,如油页岩层、煤层等。内生矿床中交代式矿床(如沿层面交代形成似层状矿体,邯邢矽卡岩型铁矿体)多数为似层状矿体。

(2) 透镜状矿体

由于沉积矿层的不稳定,常形成透镜状矿体、沉积铁、锰等。内生矿床透镜状矿体是常见的,小的有几立方米以下,大者可达数千立方米。

(3) 脉状矿体

伟晶岩矿床矿体为典型的脉状矿体,内生矿床脉状体中常见,矿脉延伸方向可达数千米以上。

(4) 线状分散状矿体

冲积砂矿床多数属于此类。

2. 矿层(矿体)产状

(1) 按层序可划分为正常矿层产状和倒转矿层产状。

(2) 按矿层(矿体)倾角可划分为水平矿层(倾角 $<5^\circ$)、缓倾斜矿层($5^\circ\sim 25^\circ$)、倾斜矿层

(25°~45°)、急倾斜矿层(>45°)。对于金属矿层产状,倾斜矿层小于 55°,急倾斜矿层大于 55°。

(二) 矿山巷道(矿坑)

矿山巷道(矿坑)指为了探矿、开拓及开采矿床等采矿活动,在矿层上部或侧面围岩中(矿体中)进行开凿的空间,是由几个岩石面所围成的空间。其两侧面叫巷道的“帮”,上部面叫“顶”,其下的面叫“底”,巷道前进方向的面叫“掌面”,巷道通道地表处叫巷道“出口”。

1. 巷道分类

按用途划分为:

(1) 探矿巷道:为探矿目的开凿的巷道(临时性的)。

(2) 开拓巷道:又称基建巷道,为开拓目的开凿的巷道,为整个矿山或开采水平服务的永久性巷道,如副井、风井、水平运输大巷等。

(3) 采准巷道:为某开采区服务的巷道,如石门等。

(4) 回采巷道:为采煤工作面开凿的巷道。

按巷道与地面的关系划分见表 1-1。

表 1-1 按巷道与地面的关系划分巷道类别

露天采场	探槽、露天采场及边坡	
	堑沟	
地下巷道	水平巷道	平硐、隧道
		石门、平巷
	倾斜巷道	斜井、斜天井、穿脉
		沿脉巷下山等
	垂直巷道	探井
		竖井
		天井(溜井)
	硐室	水泵房、变电所
		机修房、地下炸药库
调度室		

2. 开采水平与中段

矿层(矿体)开采过程中在垂直方向上是自上而下或自下而上分段开采。矿层开采设计必须根据矿体厚度、产状、埋深等自然因素结合开采方法等确定矿体开采最大深度(标高)。在开采深度内确定分阶段开采,并确定阶段标高,煤炭系统称“开采水平”,并多数以 100 m 垂高为一个开采水平。冶金系统统称开采阶段标高为“中段”,并常以 50 m 为一个中段。

3. 上山与下山

上山与下山是采矿学科的俗语。煤矿上山开采系指运输大巷向矿层倾斜上方开采,工作面前进方向是自下而上;矿石流动(运输方向)是自上而下。下山开采与之相反。矿体开采时多数是开采上山,少数是开采下山,单水平开采矿井是上山、下山同时开采。如图 1-1、图 1-2 和图 1-3 所示。

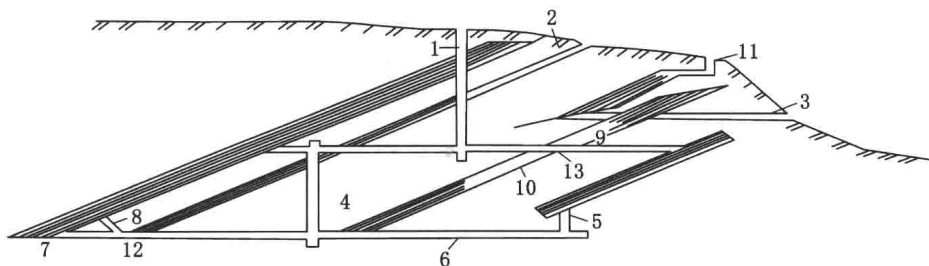


图 1-1 矿山开采井巷分布

1——立井;2——斜井;3——平硐;4——暗井;5——溜井;6——石门;7——煤门;
8——溜道;9——上山道;10——下山道;11——小风井;12——岩石平巷;13——煤层平巷

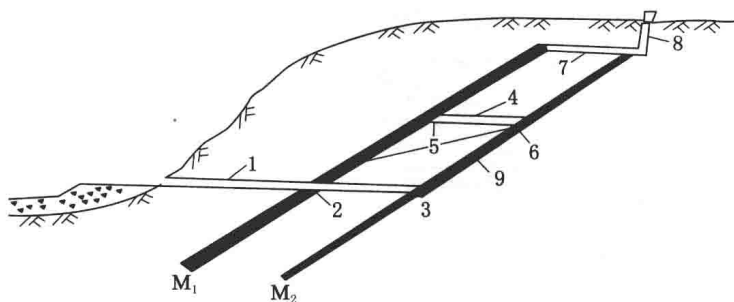


图 1-2 平硐开采巷道

1——平硐;2——M₁ 煤层运输平巷;3——M₂ 煤层运输平巷;4——中间水平联络石门;
5——M₁ 上水平运输平巷;6——中间水平运输平巷;7——回风石门;8——回风小井;9——主要上山道

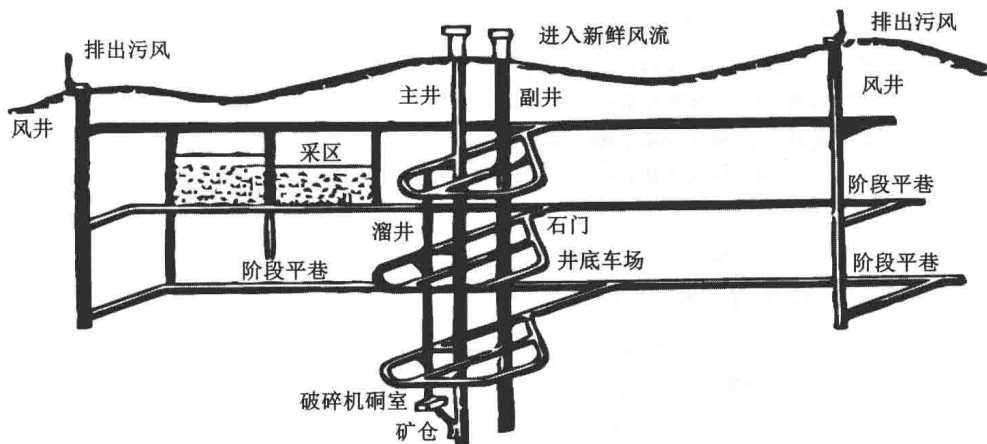


图 1-3 金属矿山开采系统图

二、矿井生产系统

(一) 矿井巷道开掘顺序(图 1-4)

先自地面开凿主井 1、副井 2 进入地下;当井筒开凿到第一阶段下部边界开采水平标高时,即开凿井底车场 3、主要运输石门 4(垂直煤岩层走向布置的巷道),向井田两翼掘进开采水平阶段运输大巷 5;直到采区运输石门位置后,由运输大巷 5 开掘采区运输石门 9 通达煤

层;到达预定位置后,开掘采区下部车场 10、采区下部材料车场 11;然后沿煤层自下而上掘进采区运输上山 14 和轨道上山 15,与此同时,自风井 6、回风石门 7,开掘回风大巷 8,向煤层开掘采区回风石门 17、采区上部车场 18、绞车房 16,与采区运输上山 14 及轨道上山 15 相连通。当形成通风回路时,即可由采区上山向采区两翼掘进第一区段的区段运输平巷 20、区段回风平巷 23、下区段回风平巷 21,当这些巷道开掘到采区边界后,即可掘进开切眼 24 形成采煤工作面。安装好机电设备和进行必要的准备工作后,即可开始采煤。采煤工作面 25 向采区上后退回采,与此同时需要适时地开掘第二区段的运输平巷和开切眼,保证采煤工作面正常接替。

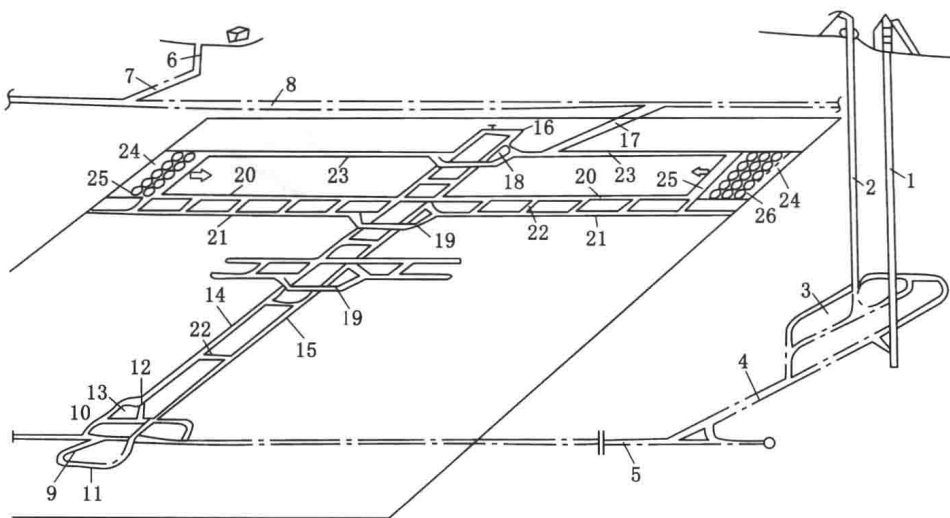


图 1-4 矿井生产系统示意图

- 1——主井;2——副井;3——井底车场;4——主要运输石门;5——运输大巷;6——风井;7——回风石门;
8——回风大巷;9——采区运输石门;10——采区下部车场;11——采区下部材料车场;12——采区煤仓;
13——行人进风巷;14——运输上山;15——轨道上山;16——上山绞车房;17——采区回风石门;
18——采区上部车场;19——采区中部车场;20——区段运输平巷;21——下区段回风平巷;22——联络巷;
23——区段回风平巷;24——开切眼;25——采煤工作面;26——采空区

(二) 矿井主要生产系统

(1) 运煤系统。从采煤工作面 25 采下的煤,经区段运输平巷 20、采区运输上山 14,到采区煤仓 12,在采区下部车场 10 内装车,经开采水平运输大巷 5、主要运输石门 4,运到井底车场 3,由主井 1 提升到地面。

(2) 通风系统。新鲜风流从地面经副井 2 进入井下,经井底车场 3、运输石门 4、运输大巷 5、采区下部材料车场 11、采区轨道上山 15、区段运输平巷 20 进入采煤工作面 25。清洗工作面后,污浊风流经区段回风平巷 23、采区回风石门 17、回风大巷 8、回风石门 7,从风井 6 排出井外。

(3) 运料排矸石系统。采煤工作需要的材料、设备,由矿车到副井 2 下放到井底车场 3,经主要运输石门 4、运输大巷 5、采区运输石门 9、采区下部材料车场 11,由采区轨道上山 15 提升到区段回风平巷 23,再运到采煤工作面 25,反向将采区回收支柱、材料、设备、煤矸石用矿车运送到地面。

(4) 排水系统。排水系统一般与进风风流方向相反,由采煤工作面经过区段运输平巷采区上山,采区下部车场、开采水平运输大巷、主要运输石门等巷道一侧的水沟,自流到井底车场水仓,再由水泵房的排水泵通过副井的排水管排至地面。

(三) 矿井服务年限与井型

矿井可采储量 Z_k 、设计生产能力 A 和矿井服务年限 T 三者之间关系:

$$T = \frac{Z_k}{A \cdot K} \quad (1-1)$$

式中, K 为矿井储量备用系数,矿井设计一般取 1.3~1.5。

确定井型时需考虑储量备用系数的原因,是因为矿井生产环节有一定的储备能力,矿井投产后,产量迅速提高,局部地质条件变化时储量减少。有的矿井由于技术原因,使采出率降低,从而减少了储量。为了保证有合适的服务年限,确定井型时,必须考虑储量备用系数。以煤炭开采为例,矿井服务年限参考表 1-2。

表 1-2 我国各类井型的矿井和第一水平设计服务年限

矿井设计生产能力/ $\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}$	矿井设计服务年限/a	第一开采水平设计服务年限/a		
		煤层倾角 $<25^\circ$	煤层倾角 $25^\circ \sim 45^\circ$	煤层倾角 $>45^\circ$
600 及以上	80	40	—	—
300~500	70	35	—	—
120~240	60	30	25	20
45~90	50	25	20	15
9~30	各省确定			

第二节 岩层移动

矿山巷道开凿和回采时形成的采空区,在矿山压力作用下,引起的一切岩层活动统称岩层移动。其移动方式可分为岩层崩落、裂缝、弯曲及层面相对滑动现象。岩层移动结果造成采空区塌顶、片帮、底鼓现象。

一、“三带”划分

在采空区上方,依据岩层破坏和变形,可将岩层移动划分为“三带”(或三个区)。

(1) 冒落带

由直接顶板破碎成块状等不规则的岩块堆积起来的,如采空区未用外部材料充填时,在自重的作用下矿体直接顶板开始弯曲产生裂缝、断裂,最终冒落下来。第一层冒落后,第二层冒落,接着第三层冒落,一直充满采空区为止。采空区内采区顶板产生脱落的地带叫冒落带。

冒落带高度决定采矿层、厚度、产状、采矿方法和该顶板岩层岩石力学性质等。从水文地质角度看,冒落带与地表水接触,井下极容易发生灾难。

(2) 导水裂隙带

冒落带上部为导水裂隙带。该带层岩层主要受张力作用,与冒落带接触处岩层产生裂缝,

但岩层未脱落。该带内裂隙由下而上渐渐变小、变弱。裂隙带高度与构成该带岩性及岩层力学特性有关。从水文地质角度看,该带与强含水层或地表水接触时矿坑涌水量显著增加。

(3) 弯曲带

此带位于裂隙带上部。该带岩层只有滑动、岩层弯曲,不产生裂隙。该带为不导水带。

(4) 地表裂缝

在采空区顶部岩层塌陷,地表岩层受张应力作用下,地表岩层于塌陷边界处被拉开形成裂缝。裂缝上宽下窄,其裂缝深度一般只有 3~5 m。10 m 以下裂隙即可闭合。

塌陷区“三带”分布如图 1-5 所示。

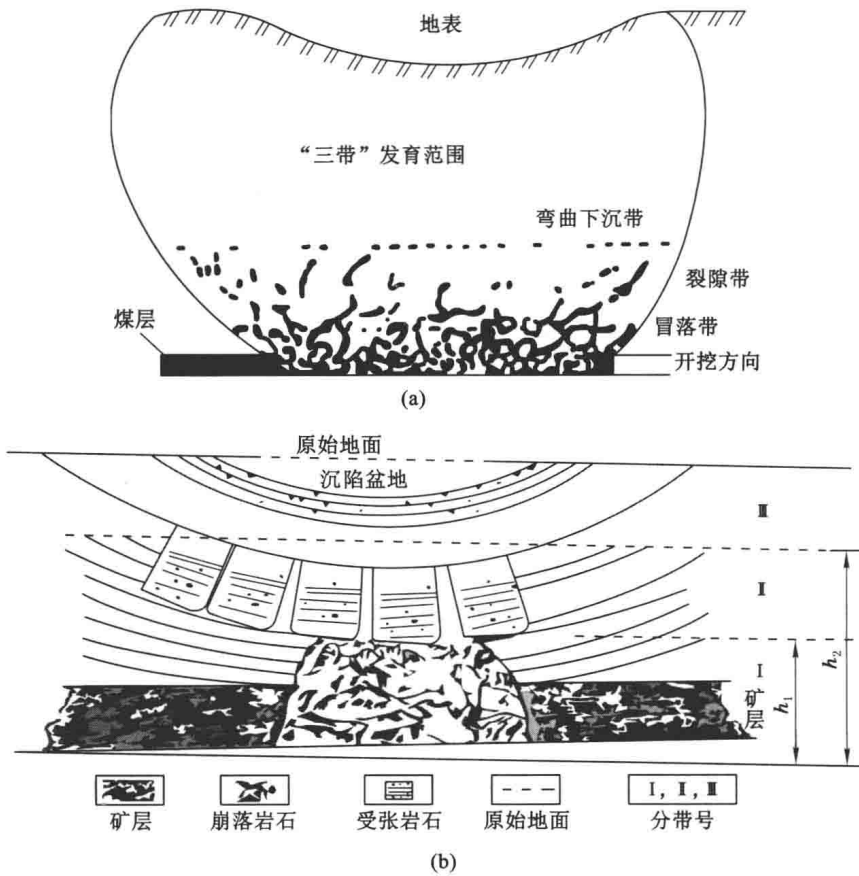


图 1-5 地表移动盆地内的三个区域划分示意图

二、“三带”高度计算

(1) 缓倾斜-倾斜岩层冒落带高度计算

冒落带的高度(h_1)与采矿层厚度(M)成正比,与崩落岩层松散系数(碎胀系数 k_s)成反比,与矿层倾角的余弦 $\cos \alpha$ 成反比。即

$$h_1 = \frac{M}{(k_s - 1)\cos \alpha} \tag{1-2}$$

碎胀系数是决定冒落带的重要参数之一。岩层碎胀系数决定岩层的岩性及胶结程度,并与顶板压实程度有关,常见的岩层碎胀系数(k_s)见表 1-3。

表 1-3 各种岩层碎胀系数表

岩石名称	碎胀系数		
	最初碎胀系数	最终碎胀系数	备注
第四系砂层	1.08~1.2	1.01~1.03	包括细、中、粗砂
第四系亚砂土	1.06~1.15	1.01~1.04	包括轻亚黏土
第四系黏土	1.15	1.03~1.07	包括重亚黏土
第三系砂岩	1.8	1.3~1.4	微胶结砂岩
第三系泥岩	1.4~1.8	1.15~1.3	
石炭系砂岩	1.6~1.4	1.2~1.3	
石炭系页岩	1.55~1.4	1.25~1.3	
煤层	1.6~1.5	1.2~1.3	
石英岩、灰岩	1.8~1.5	1.25~1.35	

(2) 裂隙带高度计算

裂隙带高度目前都参考经验公式来进行计算,见表 1-4。

表 1-4 冒落带及裂隙带最大高度计算公式

条件	计算公式		采用最小二乘法确定系数后的公式		资料来源
	冒落带最大高度/m	导水裂隙带最大高度/m	冒落带的最大高度/m	导水裂隙带最大高度/m	
水平及倾斜、缓倾斜煤层,隔水性能好的坚硬岩层	$H_1 = \frac{M}{K-1}$	$H_2 = \frac{M}{b_1 M + C_1}$		$H_2 = \frac{100M}{1.28M + 2.85} \pm 7.34$	淮南、辽源等矿区
水平及倾斜、缓倾斜煤层,隔水性能好的中硬岩层	$H_1 = \frac{M}{b_2 M + C_2}$	$H_2 = \frac{M}{b_3 M + C_3}$	$H_1 = \frac{100M}{2.15M + 1.66} \pm 5.24$	$H_2 = \frac{100M}{1.4M + 4.16} \pm 6.03$	枣庄、淮北、辽源等矿区
水平及倾斜、缓倾斜煤层,隔水性能好的软弱岩层		$H_2 = \frac{M}{b_4 M + C_4}$		$H_2 = \frac{100M}{3.21M + 3.15} \pm 5.34$	枣庄、肥城等矿区
急倾斜煤层,隔水性能很好的中硬岩层	$H_1 = (0.4-0.5) H_2$	$H_2 = \frac{b_5 M h}{n + C_5}$		$H_2 = \frac{10.8Mh}{n + 8.95} \pm 13.13$	淮南等矿区

注:摘自原煤炭部煤炭科学研究院的资料。式中, K 为冒落岩石的碎胀系数; M 为煤层采厚,m; h 为回采垂高,m; b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 为待定系数; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 为待定系数; n 为煤层层数。

第三节 地表移动

由于矿层大面积开采后采空区上覆岩层移动,使地表下沉造成的地表凹地叫移动盆地。缓倾斜矿层开采后形成的盆地叫沉陷盆地。急倾斜矿层或较厚透镜体开采后地表产生的盆地叫塌陷盆地(塌陷坑)。

塌陷盆地内分为 3 个带(区):崩落带(区)、裂缝带(区)和移动带(区)。

- (1) 崩落带:位于采空区直接上方,地表出现塌陷,并断裂成台阶形。
 - (2) 裂缝带:地表出现裂缝。
 - (3) 移动带:地表出现倾斜,尚保持地表岩层的连续性。
- 急倾斜矿层开采后地表形成塌陷盆地形状如图 1-6 所示。

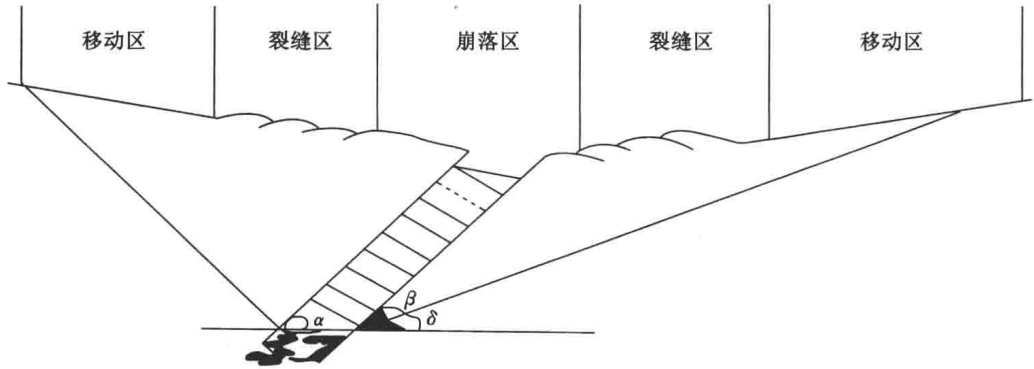


图 1-6 急倾斜矿层开采后地表形成塌陷盆地形状示意图
 α ——断裂角; β ——移动角; δ ——移动边界角

一、开采沉陷过程

首先,在地下矿产开采前,岩土体(矿床与围岩)在地应力作用下处于相对平衡状态,当局部矿体(矿床)采出后,在岩体内部形成一个采空区,导致周围岩体(由不同岩石类型组成)应力状态发生变化,从而引起应力的重新分布,使岩体产生移动变形和破坏,直到达到新的平衡。

然后,随着采矿工作的进行,这一过程不断重复,是一个十分复杂的物理、力学过程。一般情况下,当地下工作面开采达到开采深度的 $1/4 \sim 1/3$ 后,地下开采便波及地表,使受采动影响的地表从原有标高向下沉降,此时的开采距离称为工作面开采启动距。从而在采空区上方地表形成一个较小的地表移动盆地 W_1 ,如图 1-7 所示。

其次,随着工作面连续向前推进到位置 2,工作面上方地表下沉盆地范围不断扩大,逐渐形成下沉盆地 W_2 ;当开采到位置 3 时,地表下沉值达到该地质采矿条件下的最大值,此时的开采为充分开采,形成下沉盆地 W_3 。

再次,工作面继续向前推进到位置 4 时,下沉盆地范围继续扩大,但盆地的最大下沉值不再增加,工作面开采达到超充分开采,形成下沉盆地 W_4 。

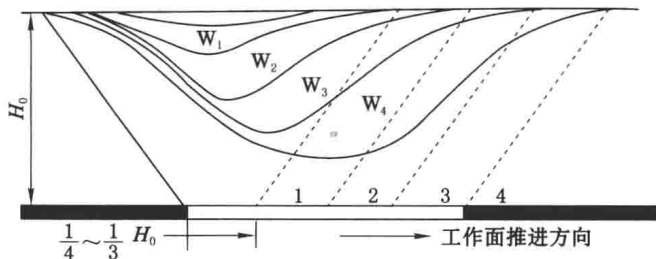


图 1-7 地表移动盆地的形成过程(何国清,1992)

最后,矿产被采出后,形成采空区,随着采空区面积增大,矿床顶板岩层在大面积裸露(矿产没开采时支撑顶板岩层压力,开采后顶板岩层就临空)状态下弯曲、断裂、垮落,应力重新分布,达到新的平衡。垮落过程引发采空区周围岩体变形、松动乃至破坏,也使采空区上覆岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏(开裂、冒落等),随之弯曲下沉。上覆岩层的这种弯曲到达地面后,即形成地表塌陷的现象,这种现象称为开采塌陷。

岩体本身是一种非常复杂的介质,它不仅是由各种不同性质的岩层组成,而且还由于各种地质作用(如褶皱、断层、开裂、火成岩侵入、陷落柱等)而产生了大量的不连续面。岩体在受到各种不同开采方法的开采影响时,产生的开采沉陷在时间和空间上都是一个非常复杂的过程。从时间上来说,在移动过程中,开采沉陷的形式和大小在不同的时间是不同的,也就是说,此时的开采沉陷是“动态的”;随着时间的推移,开采沉陷的形式和大小逐渐趋向于稳定,开采沉陷变成“静态的”或“最终的”。从空间上来说,若地下开采的范围较小、开采的矿物的埋藏深度较大,则开采沉陷波及的范围往往只局限于开采区域周围的岩体;若开采范围较大、开采矿物的埋藏深度较小,则开采沉陷波及的范围就会从岩体发展到地表,从而引起“地表移动”。由于人类的生产和生活活动大部分都在地表进行,所以地表移动对人类的影响更为明显。

二、地表变形

1. 地表移动盆地

在开采影响波及地表以后,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(见图 1-8)。在地表移动盆地形成的过程中,改变了地表原有的形态,引起了高度、坡度及水平位置的变化。因此,对位于影响范围内的道路、管路、河渠、建筑物、生态环境等,都带来不同程度的影响。

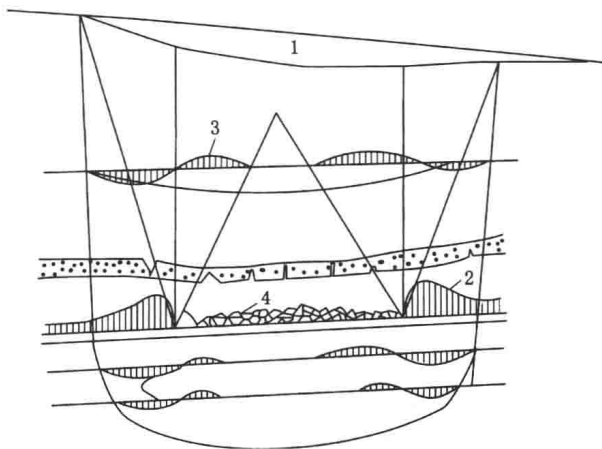


图 1-8 采空区影响范围内的影响带

1——地表下沉曲线;2——支撑压力区内的正应力曲线;3——沿层面法向变形曲线;4——冒落带

2. 地裂缝

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。当采深和