

“十二五”国家科技支撑计划课题资助项目2012BAC13B03

采煤沉陷区 土地复垦技术

李树志 等 编著



 煤炭工业出版社

采煤沉陷区土地复垦技术

李树志 等 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

采煤沉陷区土地复垦技术 / 李树志等编著. --北京:
煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4708-5

I. ①采… II. ①李… III. ①煤矿开采—采空区—
复土造田—研究—中国 IV. ①TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 268708 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京玥实印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 11¹/₂

字数 271 千字

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

社内编号 7563 定价 56.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书在系统总结国内外土地复垦理论的基础上,针对黄淮海平原中东部高潜水位煤矿区土地损毁及其引发的生态环境问题,研究探讨了我国东部采煤沉陷区土地复垦技术,对矿区土地复垦技术的研究与应用具有参考价值。

本书可作为煤炭资环类专业参考用书,也可供煤矿技术人员参考。

前言

煤炭资源的开发和利用,在对经济社会发展起到巨大推动作用的同时,也对全球环境产生重要影响。煤炭的大量开采造成大面积土地沉陷,不仅影响了当地的工农业生产,而且还会严重影响地区的生态环境和社会的安定团结。因此,采煤沉陷区的土地复垦及生态恢复就显得尤为重要。

我国对土地复垦技术研究起步较晚,虽然土地复垦工作进展较快,但由于各方面条件限制,目前矿区损毁土地的复垦率只有20%~30%。土地复垦技术的提高,对改善矿区环境,提高土地复垦率,特别是耕地的复垦率有着重要意义。

本书在系统总结国内外土地复垦理论的基础上,针对黄淮海平原中东部高潜水位煤矿区土地损毁及其引发的生态环境问题,研究探讨了我国东部采煤沉陷区土地复垦技术。

本书由李树志、高均海、鲁叶江、郭友红、李幸丽编著。其中,第一章、第八章、第十一章由李树志编写,第二章、第三章由高均海编写,第五章、第六章由鲁叶江编写,第七章、第九章由郭友红编写,第四章、第十章由李幸丽编写,最后由李树志统稿定稿。白国良、田迎斌、闫建成、卫颖哲参加了书稿讨论、部分内容编写与校对工作。

在本书的编写过程中,得到了开滦(集团)有限责任公司、邹城市国土资源局、唐山市南湖生态城管委会等单位部门的大力支持,以及书中引用了一些单位和学者发表的文献资料,在此一并表示衷心感谢!

由于作者水平有限,有些研究工作还在继续深入进行中,书中可能存在错误疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2014年7月

目 次

1 概述	1
1.1 复垦现状	1
1.2 我国采煤沉陷土地损毁特点	2
1.3 东部采煤沉陷区土地复垦方法	4
2 东部平原采煤沉陷地表变形规律	7
2.1 概述	7
2.2 覆岩与地表变形规律	7
2.3 采煤沉陷地表变形计算	10
3 采煤沉陷区地表变形监测技术	19
3.1 概述	19
3.2 采煤沉陷 GPS-RTK 实时动态监测技术	23
3.3 采煤沉陷 D-InSAR 监测技术	29
3.4 采煤沉陷 D-InSAR 监测应用试验	32
4 高潜水位采煤沉陷区土地利用/覆盖变化规律	44
4.1 概述	44
4.2 数据获取与质量分析	46
4.3 遥感图像预处理	48
4.4 土地覆盖遥感图像分类	50
4.5 土地利用变化分析	56
5 高潜水位采煤沉陷区土地复垦评价	59
5.1 概述	59
5.2 采煤沉陷区土壤特性	60
5.3 采煤沉陷区耕地损毁评价	65
5.4 采煤沉陷区复垦耕地评价	67
6 采煤沉陷区复垦土壤构建技术	74
6.1 矸石充填复垦	74
6.2 就地取土复垦	86

6.3 疏排法复垦	91
7 采煤沉陷区复垦土壤改良技术	93
7.1 复垦土壤特性	93
7.2 复垦土壤培肥技术	97
8 采煤沉陷区动态预复垦技术	105
8.1 动态预复垦原理与工艺	105
8.2 研究区自然环境概况	107
8.3 研究区开采与沉陷情况	109
8.4 地表沉陷预计	111
8.5 预复垦工程设计	113
8.6 效益分析	115
9 采煤沉陷区生物多样性保护技术	116
9.1 概述	116
9.2 调查方法	120
9.3 结果与分析	121
9.4 采煤沉陷区生物多样性保护技术	136
10 采煤沉陷区农业景观再塑技术	147
10.1 采煤沉陷区复垦景观格局分析	147
10.2 采煤沉陷区农业景观再塑技术	158
11 示范区建设实例	164
11.1 示范区建设目标	164
11.2 示范区建设的基本原理和基本原则	164
11.3 开滦矿区农业示范区建设	165
11.4 兖州矿区农业生态示范区建设	169
11.5 示范区建设综合分析	173
参考文献	174

1 概 述

1.1 复垦现状

我国《土地复垦条例》规定,土地复垦是对生产建设活动和自然灾害损毁的土地,采取整治措施,使其达到可供利用状态的活动。土地复垦主要研究采矿损毁或退化土地的恢复及其环境问题的产生机制和变化规律,探讨损毁或退化土地再生利用及相应环境与生态恢复重建的理论、方法、技术和政策等相关问题。土地复垦是在社会生产力发展到一定阶段,人类与土地关系以及生态环境陷于深刻危机的严峻时期,为了解决土地利用中的土地损毁及生态环境问题而派生出来的交叉学科。由于土地损毁的不可避免性,损毁原因、类型的多样性,损毁土地的量、面广的特征及其影响的严重性和长远性,这一学科正日益成为世界性的研究热点。

世界各国对土地复垦有不同的解释,但都包含对工矿区人为或自然损毁土地采取适当整治措施,以恢复土地的某些或全部用途。由于各国的自然条件、经济状况、采矿形式、土地状况各不相同,所以各国的土地复垦也各具特色。

1.1.1 国外现状

国外在土地复垦方面起步较早,从20世纪50年代起就已经制定了有关矿山土地复垦方面的法律法规,采取多种措施防止土地荒芜,恢复生态环境,并建立起一些复垦相关的土地复垦企业、科研机构、学术团体等,并且得到了法律和资金的保障,在技术措施和行政管理上也不断深化和完善,已经成为采矿业的必需工程环节。

美国的土地复垦发展历史较长,已形成一个较为完备的体系,并走上法制化轨道,如在《露天开采控制和复垦法令》中规定开采损毁的土地必须恢复到原来的形态,原农田恢复到农田状态,原森林恢复到森林状态。由于国家法令的强制作用以及科研工作的进展,美国矿区环境保护和治理成绩显著。美国露天矿所占比重较大,更多涉及的是露天矿的土地复垦及重构,对复垦耕地的要求较高,而且更侧重于生态与环境观念。

德国对矿区复垦、保持农林面积、恢复生态平衡、防止环境污染等问题十分重视。德国相关法令规定“露天矿采空后要恢复原有的农、林经济和自然景色”,保证了复垦工作的顺利完成。其进行土体重构的方法是将剥离的表土单独存放作复垦表土,把砂石和电厂的粉煤灰等废料直接回填到采坑,填至复垦设计高程,上面覆盖1 m厚的表土,然后施肥并先种植豆科牧草进行土壤改良。

英国政府于1969年颁布《矿山采矿场法》,提出矿主开矿时必须同时提出采后的复垦和管理工作,明确按农业或林业标准开展复垦。同时,英国政府还给地方政府拨复垦费,用于购地、复垦和种植科研费、重新种植植物费。复垦资金除国家拨款外,地方政府也承担部分复垦费,恢复的土地归属地方政府或由地方政府出租、出售,以弥补复垦费用不足。由于复垦的政策、资金落实,复垦成绩显著。

澳大利亚作为以矿业为主的国家,矿山复垦已经取得长足进展和令人瞩目的成绩,被认为是世界上先进而且成功地处理扰动土地的国家,复垦已经成为开采工艺的一部分。新开采的矿山,除采掘以外,其他被扰动过的土地已经或正在被植被所覆盖。对于过去开采遗留下来的已经封闭的矿山,复垦工作由政府出资进行。矿山开采带来的土地损毁、环境污染和生态扰动,正在逐渐消失。

苏联将土地复垦整个过程分成工程技术复垦和生物复垦两个基本阶段,旨在有计划地创建和加速形成具有高生产力、高经济价值、最佳人工景观的采矿、生物、工程、土壤改良及生态学综合技术措施来恢复土地。

1.1.2 国内现状

我国最早在20世纪50年代就有个别矿山进行了一些复垦与重建工作。80年代中期,煤炭科学研究总院唐山分院与淮北矿务局合作,试验研究了矸石充填、粉煤灰充填、挖深垫浅综合治理利用采煤沉陷区取得成功以来,特别是1989年1月1日国务院颁布实施《土地复垦规定》后,我国的土地复垦发展很快,土地复垦率有了很大提高,逐步探索出适合我国国情的多种土地复垦技术和途径,初步形成了具有我国特色的土地复垦技术。我国土地复垦经历了从自发性零散分布状态到自觉性有计划的复垦,从单一型复垦到多形式复垦,从无法可依到有法可依的巨大变化。近年来,土地复垦将采矿业、农业、林业、生态业等多学科相结合,使得生态复垦得到蓬勃发展,研究内容更注重复垦的生态环境问题和生态系统的协调、稳定和可持续发展。2011年3月5日国务院颁布的《土地复垦条例》,将我国土地复垦推向了新的高潮。

我国采煤沉陷区土地复垦方面取得了广泛的成果,在不断掌握采煤沉陷区农业生态系统演变规律基础上,根据采煤沉陷区实际逐渐探索出了一系列具有特色的土地复垦技术方法,这些技术方法主要有平整沉陷斜坡地、固体废弃物充填复垦、挖深垫浅复垦、疏排降复垦、动态预复垦等。平整沉陷斜坡地的方法主要应用于采煤沉陷量不大或开采下沉后土地坡度变化较小的非积水沉陷区,针对其耕作层土壤结构损毁程度小、土壤肥力较好的特点,依据具体地形,分区平整坡度较小的斜坡地;固体废弃物充填复垦就是利用煤矸石、粉煤灰、建筑垃圾等固体废弃物充填沉陷坑至设计标高后再覆土;挖深垫浅复垦是从一部分沉陷地取土,抬高另一部分沉陷地的标高,经平整后,抬高部分恢复农业等用途,挖低部分经整理后进行水产养殖开发;疏排降复垦技术即通过建立科学的疏排系统,排除地表积水,降低地下水位,恢复土地可利用状态;动态预复垦是对多煤层或厚煤层开采区,在采煤沉陷未稳定、地表积水形成前进行沉陷区预先剥离、取土、回填复垦或固废充填复垦。

近几年,针对我国创建新型能源生态宜居城市与生态文明建设的需要,加强了采动区沉陷次生湿地水域构建与水维系以及污染综合治理、煤炭开采不同稳沉程度与城市次生湿地协调建设的多功能区规划、城市次生湿地适生植物品种综合筛选方法等方面研究,重点是采煤沉陷矿业城市次生湿地生态构建技术研究与应用,其研究成果将为促进矿业城市生态系统协调有序发展、改善城市生态环境质量、城市生态建设与绿色转型提供科技支撑。

1.2 我国采煤沉陷土地损毁特点

我国煤炭主要以井工矿开采为主。井工开采会引起地表沉陷、裂缝、积水,矿井排出

的煤矸石还会压占土地、污染环境。地形地貌、环境气候特点、煤炭资源赋存情况不同,采煤沉陷土地损毁特点也就不同。

1.2.1 西北干旱半干旱煤矿区

我国西部矿区煤炭资源丰富,主要位于山西、陕西、甘肃、新疆等干旱半干旱地区。煤炭开采特点是:开采条件好,为我国今后一段时期内重要的产煤区;煤炭开采受环境条件制约,尤其受水资源供应、运输条件制约。采煤沉陷后地形地貌无实质性变化,一般不积水,局部出现裂缝或漏斗沉陷坑,个别区域可因采煤沉陷而引发山体滑坡和泥石流,导致水土流失加剧,植被损毁,地面建筑物破坏。由于处于干旱半干旱地区,植被较为稀疏,生态系统稳定性不强,较脆弱,采煤沉陷土地损毁后生态恢复缓慢。

土地复垦侧重于地裂缝的修复、耕地区域土地的平整,并且还要做好剖面工程,多进行监测;该区域生态脆弱,生态恢复较为艰难,应做好植被管护工作;土源丰富,生态治理时不必担心土方来源,但要做好土壤的防护;降水稀少,复垦时应做好排灌、集雨等水利工程。

1.2.2 黄淮海平原中东部高潜水位煤矿区

高潜水位平原区采煤沉陷形成典型的采煤沉陷盆地,主要分布于我国黄淮海平原的中东部矿区。煤炭开采的特点是:开采历史长、开发强度大,煤炭开采与农业生产矛盾突出。其土地损毁主要特点如下。①由于地表潜水位高,采煤沉陷后地表大部分常年积水,造成耕地绝产,积水区周围沉陷斜坡地大部分发生季节性积水,并使原地面农田水利设施遭受严重破坏,采煤沉陷对土地影响严重。②地表建(构)筑物破坏,房屋出现裂缝甚至倒塌、淹没,致使村庄搬迁,造成很大的经济损失;道路出现扭曲,路面破坏,甚至被淹没;电力设施遭到破坏。③林地、草地、园地被淹没,植被死亡,出现荒芜的景象。高潜水位平原区多为我国的产粮重点区域,分布有大量的基本农田,因此恢复耕地至关重要。

1.2.3 内蒙古草原煤矿区

内蒙古草原区位于寒温带,土壤发育缓慢,表土层厚度 15~30 cm 不等,表土层下即为砂质土,土层一旦破坏,植被很难恢复。

草原区采煤沉陷后形成塌陷及地裂缝,导致水土流失,甚至土壤盐渍化和草场退化。草原区的风蚀作用会加剧土地的损毁,是限制土地复垦的重要因素。土地复垦时应尤其做好生态恢复,防止造成荒漠化,应将植被种植工程和管护工程作为重点。

1.2.4 西南岩溶山石煤矿区

岩溶山石区主要分布于我国的西南地区,如贵州、云南、广西等地区。一般来说该区域冬春干燥夏秋湿润,多有雪冻天气,一般出现在 12 月至次年 2 月,以 1 月最为严重,对交通、通信、供电等造成严重影响。主要的灾害性天气除春寒外,尚有冰雹、倒春寒和秋风、霜冻、凝冻等。此外,暴雨引起的水土流失较为严重。它的土地损毁特点是采煤沉陷后地形、地貌无明显变化,基本不积水,但可能会出现山体滑坡和泥石流,对地表水体、建筑物等破坏都较大。该区域岩移参数中水平移动系数(b)较大,地表的水平移动大,对土地损毁大。该区域一般土源贫乏,土地复垦时要做好土壤的调配与管理;及时充填地裂缝;加强监测地表变形情况、滑坡情况等。该区域植被系统一般较为发达,气候湿润,植物易成活,土地复垦的管护工程较为容易实施。该地区治理重点是山坡地的恢复植被和沟谷阶地的土地平整,以及采矿引起的次生滑坡、泥石流等地质灾害治理等。

本书主要就黄淮海平原的高潜水位煤矿区土地损毁存在的生态环境问题,探讨我国东部采煤沉陷区土地复垦技术。

1.3 东部采煤沉陷区土地复垦方法

1.3.1 土地损毁特征

黄淮海平原中东部的高潜水位煤矿区地势平坦,也是我国主要的粮食产区。另外,这些矿区位于中高潜水位地区,由于煤炭开采的采深和采厚比值一般较大,地表的移动、变形在时间和空间上是连续的、渐变的,具有明显规律性。由于煤炭赋存一般较深,导致东部平原矿区采煤沉陷土地损毁特征显著区别于西部丘陵矿区或其他形式的煤炭开采(露天开采、露井联采等)区。根据长期的复垦实践和矿区调查,采煤沉陷对土地损毁的主要特征可概括为下沉、积水、坡地和裂缝。

1. 下沉

采煤影响波及地表以后,在采空区上方地表就会形成一个比采空区大得多的近似椭圆形采煤沉陷盆地。在浅部缓倾斜或倾斜煤层开采时,地表亦可能出现漏斗状塌陷坑。地表下沉将会影响耕地的正常耕作和排灌,从而对耕地种植产生严重影响。

2. 积水

积水是东部平原采煤沉陷土地损毁的最主要特征,其成因是地下潜水位高,沉陷导致地下水出露。此外,季节性降雨分布不均、农田排灌设施破坏也将增加沉陷区域的积水量和积水面积。由于积水(无论是常年积水还是季节性积水)将使土地丧失全部或部分生产力,同时也易使各种污染水向沉陷低洼区域汇集,导致土壤和水环境的污染破坏。

3. 坡地

坡地是地表下沉后形成的量大面广的土地损毁类型。从采煤沉陷盆地的分区特征可以看出,内边缘和外边缘区均为坡地,当沉陷未达到充分采动时,即最大下沉未达到时,所有下沉区域均为坡地。坡地的产生会增加土地侵蚀和养分流失率,同时也会影响地表土壤水分的再分配,增加耕地灌溉难度,致使土地生产力下降明显。

4. 裂缝

裂缝一般位于采煤沉陷盆地的外边缘区。随着工作面开采,裂缝的产生与消亡也呈现动态变化规律,有些原处于拉伸变形区后又变为压缩变形区的裂缝往往先开后合。在沉陷稳定后,裂缝的分布往往是在外边缘区,裂缝区域的形态与采煤沉陷盆地形态相似,即工作面上方的裂缝大致平行于推进位置的直线型裂缝,在采空区的四周是圆滑的曲线形裂缝。裂缝的产生一方面影响了农田正常灌溉;另一方面裂缝的产生改变了农作物根系层的土壤环境,容易跑水、跑肥,影响土壤生产力的正常发挥和农业生产效率。

1.3.2 土地复垦方法

根据东部平原采煤沉陷区的土地损毁特征,以及我国的复垦土地优先利用为耕地的原则,近30年来,在土地复垦专家和学者的探索下,针对东部高潜水位平原矿区的土地损毁特点,主要发展了充填复垦法、挖深垫浅复垦法、疏排复垦法以及多种方法联合使用的综合复垦法等。

1.3.2.1 充填复垦法

平原矿区采煤沉陷损毁土地面积大、沉陷积水多,复垦耕地标高必须要高于地下潜水

位, 保证复垦后地下潜水不会影响到种植农作物的正常生长发育, 因此, 耕地复垦常常需要大量的充填物料。为了尽可能多地复垦耕地, 利用废弃物或其他物料充填沉陷区形成耕地是一种有效的复垦措施, 即充填复垦。在煤矿区, 煤矸石和粉煤灰是易于获得的充填物料, 一般工艺是利用煤矸石、粉煤灰等废弃物充填沉陷区, 达到设计充填标高后再上覆一定厚度的土壤层形成耕地。充填复垦的优点是既可解决煤矸石、粉煤灰堆放压占土地及影响地表景观问题, 也一定程度上解决了复垦沉陷地的充填物料不足的问题。其缺点是煤矸石、粉煤灰充填复垦耕地由于存在潜在的二次污染风险, 在复垦利用上具有较大的局限性。此外, 利用废弃物充填复垦形成高产耕地往往需要较高的工程投入, 如因覆土厚度增加而导致的施工成本大增。

煤矸石、粉煤灰充填一般适用于沉陷较深, 有积水的高、中潜水位地区, 且煤矸石、粉煤灰来源较为丰富的矿区, 废弃物的防二次污染问题应在可控制范围内。

目前, 国家对生态环境保护力度逐步加大, 煤矸石不上井等采掘工艺正在各新建矿井和技改矿井推广应用, 煤矸石来源逐步减少。另外, 火力电厂产生的粉煤灰也逐步被用作生产建材的原材料, 外排堆放量大为减少。因此, 利用煤矸石、粉煤灰等废弃物进行采煤沉陷区耕地复垦量将受到一定程度的限制。

1.3.2.2 挖深垫浅复垦法

挖深垫浅复垦法主要是就近利用沉陷较深处的土源复垦浅部耕地的一种复垦方法。通过挖取沉陷积水较深处的土方回填周围沉陷较浅处的区域, 回填区域形成耕地, 挖深区域形成鱼塘, 最终达到农业种植和水产养殖并举的一种土地利用方式。

根据复垦采用的工艺不同, 挖深垫浅复垦又细分为泥浆泵复垦和就地取土复垦两种形式。

泥浆泵复垦主要使用水力挖塘机组(泥浆泵)进行复垦施工, 通过高压水泵形成的高压水通过水枪喷出, 高压水流将挖深区土壤切割分散成泥浆, 然后利用泥浆泵通过管道输送到沉陷较浅的区域形成耕地。泥浆泵复垦采煤沉陷地始于20世纪80年代初, 已在淮北矿区和徐州矿区得到较多应用。泥浆泵复垦优点是操作简单、适用面广。其缺点是严重破坏了土壤理化性质和土壤的层次结构, 复垦土壤改良周期长、难度大, 影响了该方法的推广应用。

就地取土复垦主要使用挖掘机、推土机、卡车等挖运机械进行复垦施工, 直接将沉陷区较深区域的土方挖运到周围较浅区域形成耕地。就地取土复垦始于20世纪80年代初, 是最早采用的复垦方法之一, 目前在东部平原矿区土地复垦中基本都有应用。这种复垦方式优点是工艺简单、操作方便、应用面广, 便于分层剥离和回填, 减少对土壤层次的破坏, 且复垦耕地经平整、翻松后即可恢复种植。其缺点是在高潜水位区域施工应做好降排水措施, 避免地下水位影响施工, 具有一定的局限性。另外, 复垦耕地不同程度地存在着机械压实土壤的问题。

这两种挖深垫浅复垦方式一般应用于沉陷较深, 积水面积较大的高、中潜水位地区。复垦前应进行规划设计, 满足挖填土方平衡。

针对泥浆泵复垦导致复垦耕地上下土层混合以及土壤结构严重破坏的弊端已进行过很多研究, 这种复垦方法在以耕地复垦为主的工程实践中存在逐渐被淘汰的趋势。就地取土复垦能较好地保持原有土壤结构和土壤理化性质, 通过改进复垦工艺可调配土壤质地、减

少耕地压实特别是表层土壤压实问题，是一种较好的耕地复垦方法，应用较为广泛。

1.3.2.3 疏排复垦法

采煤沉陷积水区的复垦治理可通过强排或自排的方式实现，称之为疏排法复垦技术，即开挖排水渠道，将采煤沉陷区浅积水引入河流、湖泊、坑塘、水库等，作为蓄水用，使沉陷水淹地重新得到耕种。此方法既适用于高潜水位矿区，也适用于中、低潜水位矿区。疏排复垦法的关键是设计合理的排水系统，排水系统由排水沟和蓄水设施、排水区外承泄区和排水枢纽等部分组成。排水系统设计的关键是选择适当的承泄区和设计标准，标准过高造成浪费，标准太低达不到治理目的，而没有适当的承泄区就谈不上用疏排复垦法。因此，疏排复垦法应用前提是采煤沉陷积水区应具有相对较好的承泄区域。

1.3.2.4 综合复垦法

综合复垦法就是在复垦过程中因地制宜地联合采用非充填复垦法（疏排复垦法、挖深垫浅复垦法）、充填复垦法的一种复垦方法。每一种复垦方法均有其适用条件和限制因素，东部平原采煤沉陷区积水面积大，待复垦区域条件复杂，单独使用一种复垦法往往很难达到预期的复垦效果，且施工经济性不高。综合复垦方法是普遍采用的复垦方法。

2 东部平原采煤沉陷地表变形规律

2.1 概述

理论研究和生产实践证明,煤矿开采引发地表沉陷、地面塌陷、地裂缝等环境地质灾害,几乎都与采掘工作面推进、覆岩运动破坏和应力场应力大小及分布密切联系在一起。因此,在采煤区实施土地复垦、制定土地规划方案时仍然需要对开采覆岩运动和地表沉陷规律进行深入研究。

据不完全统计,到2012年底,东部矿区采煤沉陷土地累计约 3500×10^4 亩(1亩=667 m²),每年新增约 75×10^4 亩。而且这一数字每天都在随煤炭产量的增加而增大。大面积的采空塌陷及其带来的经济损失和生态破坏给人们提出了一个无法回避的问题——采空塌陷。随着地下资源的采出,采场围岩结构必将产生相应的变形与破坏,引起岩层运动和地表沉陷。长期以来,由于采矿研究者各自关注的问题和研究方法不同,形成了相对独立的学科研究领域和体系,如矿山压力学科和采煤沉陷学科。矿山压力学科偏重于对采动岩体行为的力学机理分析,而采煤沉陷学科偏重于对采动岩体行为的数理统计分析及描述,这些研究取得了丰硕的成果。但是,采场围岩运动与地表沉陷之间存在着必然的联系,地下开采所引起的上覆岩层运动与地表沉陷是一个十分复杂的力学变化过程。地下煤层开采、采场顶板垮落、覆岩沉降和破坏乃至地表沉陷变形,是一个开挖、应力重新分布、变形和破坏的整体全过程。当煤层被采出后,采空区直接顶在重力应力场及其上覆岩层的作用下,产生向下的移动和弯曲、断裂直至垮落。而基本顶则以梁或悬臂梁弯曲的形式沿层理面法线方向运动,产生断裂、离层。由于岩层运动引起采场周围岩体内的应力重新分布,呈层状弯曲岩层的下沉,使垮落破碎的岩块逐渐被压实。随着工作面的向前推进,当开采范围足够大时,呈层状弯曲岩层将传至地表,在地表形成一个比采空区大得多的沉陷变形盆地。

长壁工作面地下采场的采动,将会逐渐波及地表,因此应将地下采掘活动与井上地面沉陷联系起来,寻找它们之间的耦合关系,根据采场岩层运动机理制定采煤沉陷计算方案,建立采煤沉陷数学模型,可为沉陷区治理、土地复垦、环境保护,以及新建筑区的规划、设计提供依据。

2.2 覆岩与地表变形规律

2.2.1 二维覆岩结构力学模型

理论研究和相似材料模拟实验的结果表明,在采场推进过程中,采场上覆岩层断裂带中会形成一个破裂拱。该破裂拱的拱迹线为断裂带中各传递岩梁的端部断裂线和断裂带与缓沉带的分界线。垮落带和断裂带中已发生明显运动的岩层位于破裂拱内,而垮落带和断裂带中尚未发生明显运动的部分岩层及缓沉带岩层位于破裂拱外,如图2-1所示。

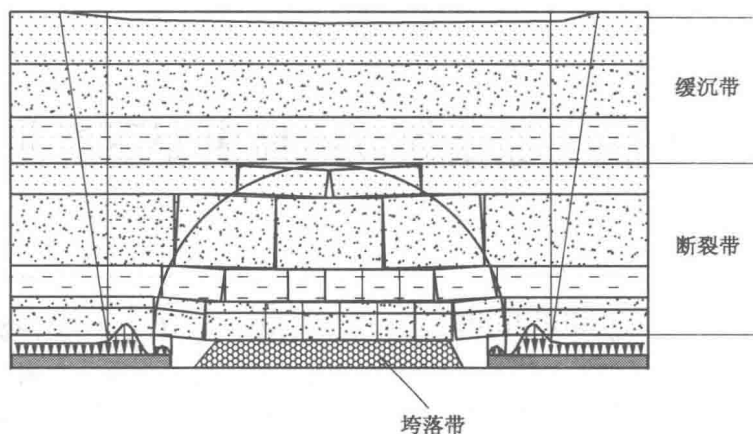


图 2-1 垂直工作面推进方向断面图

随着采场工作面的向前推进，采场覆岩沿铅垂方向逐渐产生弯曲、离层、断裂、垮落，并伴随着工作面推进不断向上扩展，形成覆岩结构的沿铅垂方向的分带特征——垮落带、断裂带和缓沉带（图 2-1）。上覆岩层在沿工作面推进方向的运动则表现出破裂拱周期性的层次性扩展运动特征。结构拱上边界以离层带为其上限，前后拱脚分别位于开切眼和工作面。在结构压力拱的掩护下，其下位离层带和断裂带岩层在一定时间、空间内保持铰接岩块式的暂时平衡，并将拱内的岩层重量逐次传递到工作面前方，对工作面前方的煤体产生水平推力和竖直压力。当达到充分采动后，这种基本对称的结构传力压力拱形式发生变化，上覆岩层在垮落带岩石的支承下建立起新的平衡结构。

随着工作面的不断推进，覆岩运动范围逐渐扩大，如图 2-2 所示。采场上方的破裂拱由小到大逐渐向上方岩层和向前方（推进方向）扩展。当工作面推进的距离大约等于工作面长度时，裂隙拱的高度扩展至最大，高度约为工作面长度的 $1/2$ 。在此过程中，断裂带中下位 1~2 个传递岩梁（基本顶）已完成了初次运动和数个周期运动。在该运动阶段工作面推进的距离为断裂带覆岩第一次的运动步距，与工作面长度基本相等。之后直到采煤工作面开采结束止，断裂带岩层运动、弯曲、破断进入稳定的周期扩展阶段。

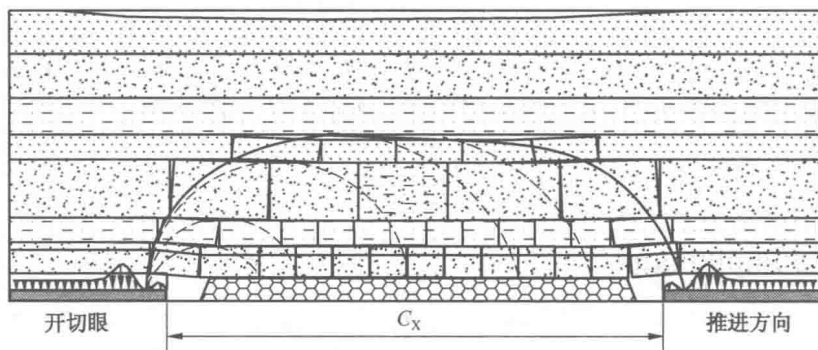


图 2-2 沿工作面推进方向断面图

在此阶段, 裂隙拱的发展不再向上方岩层扩展, 而随工作面逐步向前方推进产生周期性的扩展, 即裂隙拱高度在工作面垂直方向 (铅垂方向) 上不再扩展, 只在工作面推进方向 (水平方向) 上向前扩展。此时裂隙拱拱顶高度不再增加, 对于近水平煤层开采而言, 保持为一条近似水平线。

2.2.2 三维覆岩与地表变形整体结构模型

水平煤层长壁工作面采场覆岩运动与地表沉陷相关结构模型如图 2-3 所示。图 2-3 中 $ABCD$ 为采场, AB 为工作面长度, 沿着 x 轴方向向前推进, 随着推采距离的增大, 采空区范围进一步加大, 顶板岩层经历了应力重新分布的过程, 出现初次来压、周期来压, 上覆岩层断裂逐步形成一破裂拱, 随工作面推进, 拱高逐渐增大, 并引起地表沉陷。图 2-3 中 $MNFE$ (横向断面) 所围面积为垂直于工作面推进方向的截面, 为一曲边梯形。曲边 EF 是由于地下采动引起

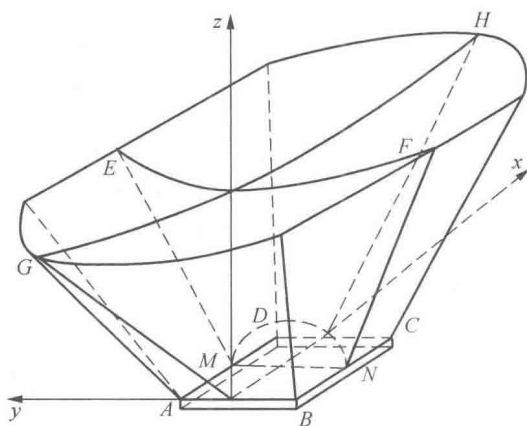


图 2-3 三维采场覆岩运动与地表沉陷相关结构模型

地表沉陷曲线, 曲线 GH (纵向断面的顶边) 是沿推进方向的地表沉陷曲线。虚线弧 MN 为采场覆岩破裂拱。三维整体相关结构模型的底面是平面矩形综放采场, 顶面是圆边矩形的凹陷地表沉陷盆地。结构模型垂直于工作面推进方向的截面与沿推进方向的截面均是顶边为曲边的曲边梯形。 EF 之间的距离随采场推进距离逐渐增加, 达到充分采动后, 距离不再增加, 而 GH 间的距离随采场推进不断地增加。

2.2.3 覆岩与地表最终破坏规律

采场全部开采结束以后, 采场顶、底板岩层及所采煤层内部的附加应力、整体移动和开裂垮落的范围, 以及采空区内处于最终稳定状态的垮落带、导水断裂带、弯曲带或整体移动带及地表变形, 在垂直及水平剖面上的破坏规律如图 2-4 所示。

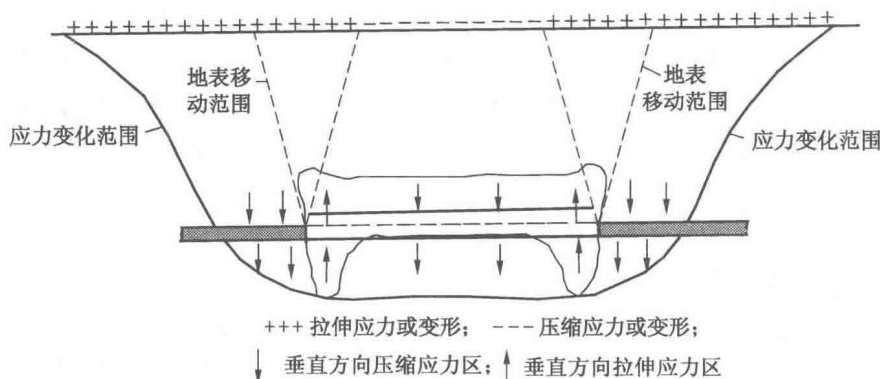
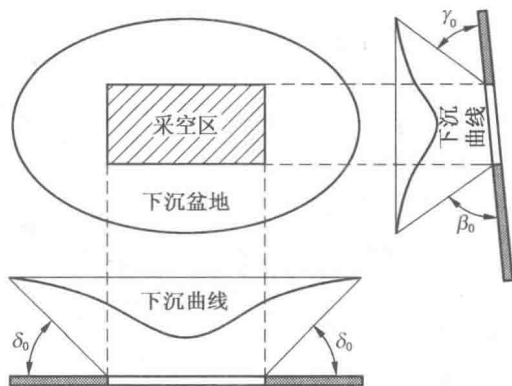


图 2-4 采场开采结束后采动影响的覆岩破坏规律

2.3 采煤沉陷地表变形计算

地下煤层开采后,地表按一定规律形成沉陷盆地,如图 2-5 所示。



δ_0 —走向边界角; β_0 —下山边界角; γ_0 —上山边界角

图 2-5 采煤沉陷盆地

在采煤沉陷盆地范围内的不同位置将产生大小不同的沉陷变形。描述采煤沉陷地表移动盆地内移动和变形的指标是下沉、倾斜、曲率、水平移动和水平变形等。采煤沉陷盆地内任一点的地表移动过程可分为初始期、活跃期和衰退期 3 个阶段。初始期从地表下沉值达到 10 mm 时起,到下沉速度小于 50 mm/月止;活跃期为下沉速度大于 50 mm/月(急倾斜煤层下沉速度大于 30 mm/月)的一段时间;衰退期从活跃期结束时开始,到 6 个月内下沉值不超过 30 mm 为止。地表移动与变形的数值大小与开采深度、开采厚度、开采尺寸、覆岩性质、顶板控制方法等有关。

对于地表移动变形的研究,国内外专家提出了多种方法,我国经过 40 多年的系统研究和实践,已掌握了地表的移动变形规律。目前对于采煤沉陷预计的方法主要有基于力学方法计算和基于数理统计方法计算两种。

2.3.1 基于力学方法的采煤沉陷计算

2.3.1.1 采煤沉陷(结构)组成

在既定工作面长度(l_0)条件下,煤矿开采最大沉陷值 $w_{\max}$ 由工作面煤壁压缩值($\bar{\gamma}_0$)、破坏拱上悬空(失去支承)的上覆岩层的最大挠曲值 σ_0 以及由于第四系岩层排水所引起的表土压缩值 δ_0 三部分组成,如图 2-6 所示,其关系方程如下:

$$w_{\max} = \bar{\gamma}_0 + \sigma_0 + \delta_0 \quad (2-1)$$

2.3.1.2 影响沉陷值各组成部分的主要因素

1. 影响煤壁压缩值 $\bar{\gamma}_0$ 的因素

影响煤壁压缩值 $\bar{\gamma}_0$ 的因素主要有煤层厚度(采高)、煤层强度、支承压力(采动中各移动岩层给煤层的作用力)、开采深度、工作面长度或连续开采宽度 5 个方面。

煤层的强度以煤层的压缩刚度即每压缩毫米的压力值 G_0 来度量,煤层的强度越大,刚度越大;采高越大,刚度越小。

支承压力越大,则 $\bar{\gamma}_0$ 的值越大。