

谢飞鸿 张立杰 著

KAICAI CHENXIAN KESHIHUA

JISUAN FANGFA YU GONGCHENG YINGYONG

开采沉陷可视化 计算方法与工程应用



煤炭工业出版社

开采沉陷可视化计算 方法与工程应用

谢飞鸿 张立杰 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书由六章构成,主要阐述了煤矿开采沉陷的计算方法、开采引起的地表变形的预测分析、开采沉陷对埋地管道影响的评价方法,论述了平地、山区条件下充分采动时主剖面的移动和变形值的可视化计算方法,包括下沉、倾斜、曲率、水平移动、水平变形的计算和实测参数的确定,以及“建筑物、河流、铁路下”开采的可行性评价。以实际开采工程为例,对开采引起的地表变形规律进行了计算分析。

本书可供矿山相关技术人员、高等学校师生和科研院所研究人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

开采沉陷可视化计算方法与工程应用/谢飞鸿,张立杰著. --北京:煤炭工业出版社,2015

ISBN 978-7-5020-4583-8

I. ①开… II. ①谢… ②张… III. ①煤矿开采—沉陷性—计算方法 IV. ①TD82②TD327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 151159 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
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 720mm × 1000mm¹/₁₆ 印张 11¹/₂

字数 212 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

社内编号 7438 定价 28.00 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

前 言

当埋藏在地下深处的岩体被开挖后,开挖区岩层顶部的地表会产生连续的移动、变形和非连续的破坏。变形的观测与研究的目的和意义不仅仅是描述动力学现象,更为重要的是要对变形观测的实际数据进行正确处理,建立科学的模型,以对现状进行正确评价和对未来进行科学预测,以减小或消除可能造成的不良影响和不必要的损失。

随着社会经济的不断发展,在日益密集、价值剧增的地表建筑物下进行地下开采作业将越来越频繁,因此急需一套简便、快捷、低成本的计算工具和预测分析手段,以实现开采沉陷问题的可靠评价分析和便利计算。针对生产实际,在理论研究的基础上,我们建立了开采沉陷预计计算与分析的模型,并开发了计算机软件系统。

本计算机软件系统的开发和设计,主要是运用数据之间的软件流进行数据的转换和传递,是在 MATLAB 软件包的基础上完成各项功能的,可实现多点数据拟合分析、一般条件下的地表变形计算、山区地表变形计算、条带开采引起的地表变形计算及采留宽计算的可视化分析。

本书第一章、第五章由西安科技大学张立杰教授编写,第二章、第三章、第四章、第六章由成都大学谢飞鸿教授编写;全书由谢飞鸿统稿,张立杰审校。

本书的编写得到了窑街煤电集团许继宗、甘肃华亭煤业集团仇安东、华能云南滇东能源公司刘喆、青海西海煤电公司祁瑞清的协助与支持,他们提出了有益的意见;同时也得到北京科技大学于亚伦教授、成都大学寇智勇教授的指导与帮助;孙伟、刘京学、郭磊、王换强、

2 开采沉陷可视化计算方法与工程应用

曹光辉、许绍平、陈蓓等同学对书中的计算进行了校核，并制作了部分插图；煤炭工业出版社、成都大学为本书的出版给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中肯定存在不足之处，敬请同行和有关专家提出宝贵意见，以便我们及时修正。

著 者

2014 年 4 月

目 录

绪论	1
第一章 开采沉陷引起的地表移动特征	6
第一节 采空沉陷的基本规律	6
第二节 地表破坏与覆岩破坏的关系	9
第二章 开采沉陷地表移动与变形的计算方法	17
第一节 不同条件的开采沉陷计算方法	17
第二节 山区地表移动与变形预计	21
第三节 计算系统开发与模块功能	29
第三章 开采沉陷地表变形可视化计算与地表变形观测	33
第一节 平地条件下开采沉陷地表变形计算	33
第二节 山区条件下采矿引起的地表变形计算	45
第三节 地表岩移观测与分析	50
第四章 某矿建筑物及河流下开采可行性分析实例	86
第一节 建筑物下开采的必要性	86
第二节 24219 工作面试验开采设计	103
第五章 条带开采沉陷可视化计算	110
第一节 条带开采采留宽计算方法	110
第二节 建筑物及河流下 24219 工作面开采试验	115
第三节 条带开采地表移动观测与评价分析	133
第六章 采空区开采沉陷对埋地管道的影响	148
第一节 埋地管道的管土模型	148

4 开采沉陷可视化计算方法与工程应用

第二节 小采空区对埋地管道的影响分析..... 160

参考文献..... 177

绪 论

一、研究背景及意义

（一）在开采沉陷预测分析方面

随着社会经济的飞速发展，人类对资源的需求量越来越大，因此对地下资源的开采量也随之快速增加，如煤炭、地下水、石油、天然气等。同时人类也修建了许多地下工程，如城市地铁、人防工程等。

当埋藏在地下深处的岩体采出后，开挖区域的围岩原始应力平衡状态就会遭到破坏。应力随着开挖不断地进行重新分布，也不断地谋求达到新的平衡。在这个过程中，开挖区域岩层顶部的地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏，可能会导致地面建筑物因地表变形而产生破坏。因此急需一套简便、快捷的计算工具和预测分析手段，做到以尽可能小的投入，获得可靠的理论分析依据和方便的计算方法。针对以上问题，开展了开采沉陷地表变形现场观测与相关试验等研究，开发出一套较为完整、实用的地表沉陷预测与计算的计算机分析系统，用来解决平地条件下开采沉陷地表变形实测资料数据处理与工程预测和评价体系中的相关问题。本项目的研究，将对在矿区特别是在城镇进行大型地下工程施工对周围建筑物稳定性的影响评价具有十分重要的现实意义和实用价值。

城市地下工程的修建，如地铁、大型地下构筑物等，从施工到竣工以及建成后的整个运营期间都需要不断地进行变形观测。地表变形，可能会引起周边建筑物的变形和破坏。变形的观测与研究的目的和意义不仅仅是描述动力学的现象，更为重要的是要对变形观测的实际数据进行正确地处理，建立科学的模型，以对现状进行正确的评价和对未来进行科学的预测，以减小或消除可能造成的不良影响和不必要的损失。

以煤炭行业为例，为了矿井的接续和煤炭资源经济、安全、合理的开采，必须加强对开采影响区地表建筑物安全评价体系的研究。随着建筑物下、河流下、交通线路下采煤技术研究的发展，并结合生产实际，运用现代相关理论和计算技术，研发出一套行之有效、简便快捷、易于推广、具有科学分析功能的预测预报系统已经迫在眉睫。

我国煤炭资源分布范围很广，不但平原、丘陵、山区的地下蕴藏着丰富的煤炭资源，而且一些城市和村镇的建（构）筑物下、铁路下、水体下（简称“三下”）也积压着大量的煤炭资源。

据不完全统计，我国生产矿井“三下”压煤量总计达到 14 Gt 以上，其中建筑物下压煤量占生产矿井“三下”压煤量的 60%，水体下（包括承压灰岩水下）压煤占 28% 左右，铁路下压煤占 12% 左右。目前我国从“三下”采出的煤炭约 1 Gt，只占整个“三下”压煤量的 7% 左右，因此开采“三下”压煤势在必行。

对于资源萎缩、部分储量又处于“三下”的矿井来说，要解决的主要问题是：如何合理地确定开采参数，既要有利于提高采出率，延长矿井服务年限、提高企业效益，又要使采后所引起的地表变形缓慢且均匀连续，采区内的建筑物不受损害或将破坏程度降低至最小。为此，必须要根据当地的开采技术条件，合理地确定开采长度及所需留设的安全煤柱长度。对于开采资源临近“三下”的矿井来说，如何有效预测预报开采沉陷对建（构）筑物、铁路、水体的影响程度，有效地降低开采风险和保障人民生命财产安全，更加合理地确定开采范围，其研究的重要意义是不言而喻的。同时对于那些科研力量相对薄弱的矿区，由于无法及时整理与分析地表移动观测资料，需要请有关科研院校进行电算处理与分析，一方面造成研究结果应用的时效性较差，另一方面企业需要长期投入资金，加重了企业的经济负担。

对于一部分资源面临枯竭的衰老矿井来说，与其他采煤方法（如充填法开采、搬迁开采）相比较，在确保地面建（构）筑物、设施的正常使用及安全生产的前提下，采用条带开采法从“三下”压煤中采出一定的煤炭资源，是确保接近衰老的矿井实现稳产增效、摆脱困境以及平稳过渡的有效途径。

（二）在埋地管道理论分析方面

在 20 世纪 60 年代末 Newmark 就对地下管道进行了研究，研究基于两个基本假定：一是分析时未考虑惯性力的影响，这个假定与后来的试验和理论没有矛盾；二是假定管道与土体一起运动^[1]。

到了 20 世纪 70 年代，日本学者提出了管线与土相互作用的分析模型^[2]，将管线简化为弹性地基梁。此模型采用若干弹簧连接模拟管道与土之间的接触，土体的位移由弹簧传递给管道，管道与土之间的位移传递和相对位移量取决于管道与土的刚度，这样管道应变等于管道地基土的应变乘以一个传递系数，这个系数与土的刚度等因素有关。

冯启民提出了一种用以分析受沉陷作用的埋地管道反应的方法^[3]。该方法

改变了沉陷区和非沉陷区都用弹性地基梁的分析途径,适用于任何沉陷参数的情况,新方法可以计算出沉陷区管道各点的位移和截面内力,考虑到管道截面在轴力和弯矩分别或同时作用条件下的塑性极限状态,建立了管道的破坏准则。

赵瑞保等从材料力学理论的角度出发,把天然气长输管线简化为一个受均匀载荷的连续型地支梁,对管道的弹性沉降进行了分析^[4]。通过对钢管强度、焊缝强度及挠度的计算,在保证安全的前提下,得到了钢管的弹性沉降量。

埋设在地下的管道,由于受到地表沉降的影响,造成管道的沉降,而沉降的情况又可分为均匀沉降和不均匀沉降,其中不均匀沉降对管道的影响很大,将会造成管道的破坏,而不均匀沉降对埋地管道的影响的定量研究较少^[5-6]。日本神户大学的高田至郎做了许多试验和研究工作,他通过对下沉聚氯乙烯管道的力学性能试验,得到了管道在沉降作用下的变形状态。1998年,他又进行聚乙烯管的不均匀沉降试验。由试验结果知道管道的最大应力和最大应变都发生在相同点上。最大应变产生在不连续界面附近,应力值随离不连续界面的距离增大而急速下降。他通过选取穿过沉降区和非沉降区的一段管道,采用弹性地基上的连续梁进行分析,得到了受沉降作用的埋地管道的简化分析公式。但是,此模型存在缺点,该方程的解是当 x 趋于无穷时,管道位移等于土层发生的沉降量条件下得到的位移。这就表明该方法仅在当距离沉降和非沉降交界面无穷远处有最大沉降的情况下适用。而实际上往往是在距沉降和非沉降交界处有限距离内,已产生了最大沉降量。高惠英对此方法进行了改进,选择跨越非沉降区和沉降区的埋地管道为研究对象,并通过沉陷区和非沉陷区交界面处的力学及变形协调条件得出了交界点处的内力^[7]。

(三) 在埋地管道数值分析方面

埋地管道由于受管土间相互作用的影响,管道的受力特性与施工条件、管道材料的性能、周围土的性质、原始边界条件等因素有关,现有的理论公式并未全面考虑这些因素,而是采用较多的简化假设,对于重要的地下管道,不仅要按理论公式计算,还应采用数值分析方法。随着有限元等数值分析软件功能的日益强大,有限单元法作为一种有效的数值计算方法,在地下结构分析中得到了广泛的应用。有限元方法与其他方法相比,考虑了土体的复杂本构关系、管土间非线性接触关系和边界条件,并能够直接求解特定条件下管道的力学特性,便于观察分析管道的变形部位和变形大小。

埋地管道的有限元方法一般分为两类:梁单元和壳单元。梁单元方法是二维分析方法,它把管线简化成梁模型,使用二维单元对梁进行划分,计算得出梁的受力和变形情况。壳单元方法是三维分析方法,能够按照管道的实际尺寸建立实

体模型,用壳单元进行划分计算。

侯忠良利用有限元方法对在地震载荷作用下的管线进行了模拟,得到了一些有益的结论^[8]。采用 ADINA 软件对地下管道跨断层的情况进行数值模拟,对跨断层地下管道的破坏做了深入分析,分析了管道自身、断层、岩土、外载荷等不同因素对地下管道破坏的影响,得出管土之间的摩擦力在地下管道破坏中起重要作用的结果,即随着管土间摩擦系数的增大,管道破坏减轻。

(四) 采空沉陷对埋地管道的影响分析方面

王鸿对经过采空塌陷区的天然气管道进行了研究^[9],根据地表移动变形范围和沉降量,采用弹性地基梁理论分析天然气管道的应变和应力,进而预测和分析管道的破坏情况。分析了采空区地表移动盆地的形成原因及对埋地管道的影响,对水平矿层地表移动盆地的最大沉降量、移动盆地主断面轴线长度等边界特征值进行了计算,并根据有关石油行业标准,对一定长度下管道允许的最大沉降量进行计算,给出了具体算例。将移动盆地的最大沉降量与管道允许的最大沉降值进行对比,初步判定管道的安全性。

常西坤等人从管道坡度的变化、竖曲线的变化、横向移动变形和压缩变形及管道应力变化等方面分析了采煤沉陷对天然气管线的影响;对开采地表移动变形过程中的初始期、活跃期和衰退期地表下沉量和所经历的时间进行了描述;在分析地表下沉还没有达到完全稳定条件及存在部分残余下沉量的情况下,探讨了地表沉陷残余变形的计算方法,并且提出了在采空沉陷区上方铺设天然气管线的安全技术措施^[10]。

赵罡等人系统地分析了煤矿采空沉陷及地表变形特征和采空沉陷对油气管道的影响,并提出了煤矿采空区油气管道安全防护的主动措施和被动措施^[11]。

刘名阳在分析采空区引起的地表移动破坏规律及地下管道特性的基础上,提出了适应不同采空区类型的预计地表剩余移动变形和评价采空区煤柱稳定性的理论方法;建立以采煤方法、采空区形成时间、覆岩岩性及开采深厚比为评价指标,能根据地表移动变形指标判断采空影响区地下管道的危险性,并可划分不同危险性级别的煤矿采空影响区地下管道危险性评价体系^[12]。

二、主要研究内容

(一) 开采沉陷方面的研究内容

根据相关理论和运用计算机等技术,研发出一套行之有效、简便快捷、易于推广、具有科学分析功能的预测预报系统是本课题的基本目的和主要任务,完成可视化计算分析系统开发、开采可行性研究、试验开采、观测资料分析。其研究

内容主要包括以下几方面:

(1) 针对生产实际,深入开展研发内容的相关理论研究,建立和完善系统研发所必需的、科学的基础理论体系。

(2) 运用计算机技术,结合已经取得的相关理论研究成果,编制开采沉陷地表变形计算与分析软件系统,并利用观测资料完成该系统的调试。

(3) 完成该软件系统在生产实际中的试用,并完成该系统的实用性测试和可靠性检验与评价。

(4) 运用理论研究成果及开发的可视化计算分析系统,指导华煤集团马蹄沟煤矿(杨井)河流及建筑物下开采可行性研究论证、开采设计、开采工艺制定、观测站建设以及实测资料分析。

(二) 埋地管道方面的研究内容

采空沉陷对埋地管道的影响,本质上是地下采空区引起的地层移动对埋地管道的影响。本书从分析埋地管道受到采空沉陷影响的各因素出发,将埋地管道、周围土层、采空区看作一个整体,进一步研究埋地管道在各因素影响下的受力变形特征。这将有利于深化采空沉陷对地表埋地管道影响的认识,提高设计的可靠性和安全性,进而对减少采空沉陷所造成的事故有着重要的意义。主要开展了以下几个方面的研究工作:

(1) 对采空沉陷的基本规律进行分析,重点分析地表移动和变形对管道的影响和损害。

(2) 根据弹性地基梁理论对埋地管道进行分析计算,分别对不同边界条件进行计算,并定量分析影响因素。

(3) 根据地下采空区的几何尺寸、上覆岩土层的岩性特征和管土相互作用等因素建立埋地管道的非线性有限元计算模型。

(4) 研究埋地管道与地下采空区在不同空间位置情况下管道不同的受力变形特征。

(5) 分别研究上覆土体材料、开采厚度、开采宽度、开采深度、采空区位置、采空区充填等因素对埋地管道的影响。

第一章 开采沉陷引起的地表移动特征

第一节 采空沉陷的基本规律

地面沉陷是地面变形的一种重要表现形式。地面沉陷可分为自然因素引起的地面沉陷和人为因素引起的地面沉陷两类。自然因素引起的地面沉陷包括断裂构造引起的地面沉陷、地下水潜蚀引起的地面沉陷、岩洞内地下水疏干引起的地面沉陷等；人为因素引起的地面沉陷包括地下工程垮塌引起的地面沉陷、人工抽取或疏干溶洞内地下水引起的地面沉陷、矿山采空区垮塌引起的地面沉陷等。显然，采空沉陷属于人为因素引起的地面沉陷，常见于我国的主要矿区，特别是煤炭采区。

采空沉陷是发生在岩土介质中的一种力学现象。从岩土力学角度看，矿层从地下岩层中采出以后，形成人为的采空空间，采空区顶板岩层向下弯曲移动，当其内部拉、剪应力超过其强度极限时直接顶板将会断裂、冒落，这种破坏自下而上逐步波及地表，受采动影响的地表向下沉降，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，或称沉陷盆地（图 1-1）。在地层沉陷过程中，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^[13]。

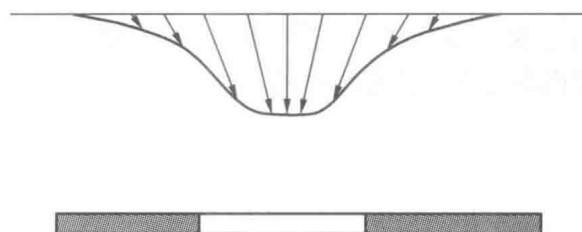


图 1-1 地表下沉盆地主剖面图

一、上覆岩层的破坏程度分带^[14]

(一) 垮落带

用垮落法管理顶板时,在放顶后,顶板结构化岩体沿弱面张裂、错动、离层、冒落,一直到冒落的矸石堆积接触到上覆岩层,此冒落破坏范围就是垮落带。根据垮落带岩块堆积的特点,可分不规则冒落和规则冒落。冒落岩石具有一定的碎胀性,即冒落岩石体积大于冒落前的原岩体积。冒落岩块间空隙较大,连通性好,有利于水、砂、泥土通过。岩石具有碎胀性是冒落能自行停止的根本原因。通常越靠近矿层,冒落的岩块越破碎,其上的岩层较为完整。但当矿层顶板初始冒落的厚度大于矿层采厚时,有可能只发生规则冒落。顶板冒落的特征与冒落高度的大小取决于矿层的采厚、回采方法、采空区的大小、覆岩的岩性及矿层倾角的大小。在水平或缓斜矿层,采空区上方岩层各点的冒落高度几乎是相同的;而倾斜矿层的开采,有可能使上部顶板、矿柱,甚至底板滑冲到下部采空区,形成下部的自然充填,这样就造成急倾斜矿层采后冒落的不均衡现象。

(二) 断裂带

垮落带上方的岩体破坏比垮落带要小。随着岩体的垮落,上方的岩层继续下沉和弯曲,当其内力超过其允许强度时,就会形成沿岩层层面和垂直层面的裂缝甚至断裂,这一过程逐层向上发展,直到上覆岩层整体下沉弯曲为止,这部分被称为断裂带。

(三) 弯曲带

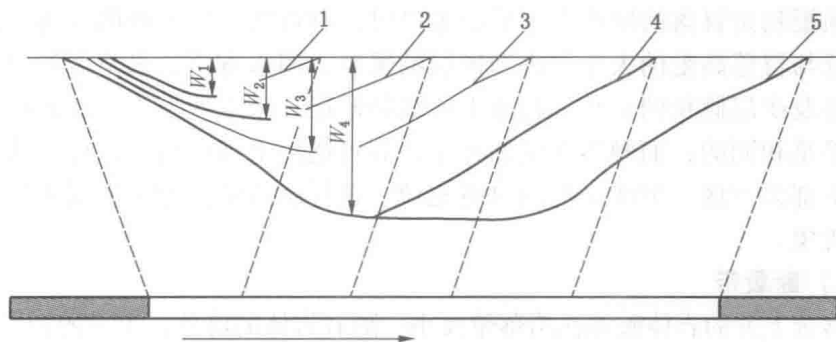
断裂带上方的岩层发生下沉和弯曲,呈现整体移动,没有大的断裂,但有可能产生离层,甚至在拉伸部位产生局部的微张裂隙,但这些裂隙连通性很弱甚至不连通,该带称为弯曲带。处于弯曲带上部的地表各点向采空区中心方向移动,地表形成周围高中央低的地表下沉盆地。

二、地表的移动破坏形式

地下采空区面积逐步增大到一定范围后,开采区域周围的岩体的原始应力平衡状态遭到破坏,使应力重新分布,引起上部岩层的移动并波及地表,使地表产生移动和变形,这一变化过程称为地表移动^[15]。当地表移动稳定后,在采空区上方地表形成的沉陷区域,称之为最终移动盆地。当煤层为水平煤层、采空区形状为矩形时,形成的最终移动盆地直接位于采空区上方,形状呈椭圆形,并与地下采空区互相对称。地表的移动破坏形式主要包括:

(一) 地表移动盆地

在采动影响传递到地表以后,受采动影响范围内的地表向下沉降,在采空区上方地表形成一个比采空区范围大得多的洼地,这个洼地称为地表移动盆地,也叫下沉盆地。移动盆地的生成过程如图 1-2 所示。在地层沉陷过程中,改变了地表原来的状态,使地表的高低、坡度及水平位置都产生变化,进而影响到处于移动盆地范围内的道路、管路、沟渠、建筑物、生态环境等。在地下潜水位很高的矿区,地表下沉 1 m 左右,移动盆地内就可积水,严重影响土地的正常使用,使矿区耕地大量减少。



1、2、3—非充分采动；4—充分采动；5—超充分采动

图 1-2 移动盆地的形成过程

地表移动盆地是在工作面的推进过程中逐渐形成的。一般情况下,当回采工作面从开切眼开始向前推进的距离达到 $(1/4 \sim 1/2) H_0$ (H_0 为平均采深) 时,开采影响即波及地表,引起地表下沉。然后,随着工作面继续向前推进,地表的影响范围不断扩大,下沉值不断增加,在地表上形成一个比开采范围大得多的盆地。

当岩层移动波及地表后,随采空区面积的增大,移动盆地的面积及地表最大下沉值(移动盆地的下沉曲线 1、2、3 对应的最大下沉值为 W_1 、 W_2 、 W_3) 也随之增大,盆地呈尖底的碗状,这时,地表的采动影响是非充分采动。

随工作面继续向前推进,采空区面积继续增大时,移动盆地的下沉曲线为 4,最大下沉值为 W_4 ,该下沉值不再随采空区面积的增大而增大,但盆地仍为尖底的碗状,此时,地表的采动影响是充分采动,采空区面积是临界开采面积。工作面进一步推进,使采空区面积超过临界开采面积时,移动盆地的下沉曲线为 5,地表下沉值并不再增大,在地表移动盆地中央形成一个平底区域,称之为盘

形盆地,此时,地表的采动影响是超充分采动。因此,根据开采深度、采空区尺寸大小以及上覆岩层性质的不同,地表采动影响可能是非充分采动、充分采动或超充分采动。

为了加以区分,通常把地表移动盆地内只有一个点的下沉值达到最大沉陷值的采动情况,称为临界采动;地表有多个点的沉陷值达到最大沉陷值的采动情况,称为超充分采动,此时的开采称为超临界开采,地表移动盆地呈盘形。

(二) 裂缝

在地表移动盆地的外边缘区,地表会出现裂缝。裂缝的深度和宽度取决于第四系松散层是否存在及其厚度、性质和变形值大小。当松散层是塑性大的黏性土,地表拉伸变形值超过 10 mm/m 时,地表才出现裂缝。而对于塑性小的砂质黏土、黏土质砂等,地表拉伸变形值为 $2\sim 3\text{ mm/m}$ 时,地表就可能发生裂缝。地表裂缝的发展常常与采空区边界平行。当采深和采厚的比值较大时,在工作面前方地表会出现平行于工作面的裂缝,但裂缝的宽度和深度都比较小。这种裂缝是在工作面推进中先张开而后逐渐闭合。地表裂缝的形状为楔形,随开采深度的增大而减小,到一定深度尖灭。

在采深和采厚比值较小时,裂缝的宽度会有数百毫米,在裂缝两侧地表可能出现落差,其大小与地表移动的剧烈程度有关。在松散层很厚的条件下,分层开采厚矿层时,开采第一分层时地表形成主要裂缝,在第二、三、四分层开采时裂缝会再次出现,在地表以下几米或十几米的深度裂缝会消失。

(三) 塌陷坑

塌陷坑通常出现在急倾斜煤层开采情况下,在开采浅部缓倾斜或倾斜煤层时,地表产生非连续性破坏,也会形成漏斗状塌陷坑。在采深很小或采厚很大,采用房柱式采煤时,因为采厚不均匀,使覆岩破坏高度不同,也会在地表形成漏斗状塌陷坑。因此,在采深很小、采厚很大、采用长壁式采煤法开采时,若采厚不一致,地表就会形成漏斗状塌陷坑。在有含水层的松散层下采煤时,也会在地表引起漏斗状塌陷坑。

第二节 地表破坏与覆岩破坏的关系

一、地表破坏的特征及形态

了解地表破坏发生发展的特征、形态以及它们与覆岩破坏的关系^[16],对于防止产生非连续性的地表破坏和保证埋地管道工程安全运营有着重要意义。

(一) 缓倾斜、中倾斜煤层地表破坏的特征及形态

开采缓倾斜、中倾斜煤层时,除了产生连续性的地表下沉盆地外,也可能出现非连续性地表破坏现象,主要有张口裂隙、压密裂隙和漏斗状塌陷坑三种情况。

在开采缓倾斜、中倾斜煤层时,在地表下沉盆地外边缘拉伸变形区有可能产生张口裂隙。张口裂隙的产生及其宽度和深度与是否存在第四系松散土层和土层的塑性、黏性和变形值大小有密切关系,亦即与采深、采厚、顶板管理方法、土层性质及其厚度有关。当采用全部垮落法管理顶板时,这种裂隙的出现很容易造成地表塌陷。

张口裂隙两侧的地表也会因存在一定的落差而形成一种环形的破坏堑沟(地堑式裂隙)。地堑式裂隙的下延深度不大,通常为地表以下几米或十几米。张口裂隙和破坏堑沟的产生,使管道局部承受拉应力和剪应力。

剪切式压密裂隙既会在开采缓倾斜、中倾斜煤层时出现,又会在开采急倾斜煤层时出现。产生压密裂隙的原因是覆岩在破坏和移动过程中,受压力和剪力而引起的破坏在岩层薄弱面集中。

在上述情况下,除了断层产生的压密裂隙外,在中硬和软弱覆岩中,因软弱夹层和重复开采也会产生压密裂隙。压密裂隙的产生,会导致埋地管道局部出现受压。

(二) 急倾斜煤层地表破坏的特征及形态

在开采采深很小或采厚很大的急倾斜煤层时,地表非连续性破坏是特别严重的。常见的地表非连续性破坏形态有塌陷槽、塌陷漏斗及塌陷盆地三种。

在开采急倾斜煤层时,在地表沿煤层露头断断续续地出现的很多大小不一的漏斗状圆形或椭圆形坑,一般称为塌陷漏斗。

地表塌陷漏斗的形状与松散层的岩性及厚度密切相关,在有厚松散层覆盖的情况下,坑口多为圆形,如漏斗式或井式陷坑,有时也会出现口小肚大的坛式陷坑。

当岩层移动变形过程不断发展,或地下水水位出现变化时,塌陷坑周围的岩土向坑内崩塌,坑口逐渐扩大,坑边坡度变缓。在松散层很薄或无松散层的条件下,塌陷漏斗内能见到基岩。塌陷漏斗周围还可能出现明显的张口裂隙。

(三) 地表破坏和覆岩破坏的连通性

地表破坏和覆岩破坏的连通性,主要与煤柱尺寸是否与覆岩破坏的最大高度相适应,以及与采深采厚比值大小和是否存在松散层等因素有关。

在采深采厚比值较大的条件下,在覆岩破坏和地表裂隙之间会有一个弯曲带