

Shandong Kuangqu

Dibiao Chenxian

Yidong Canshu Yu Yidong Texing Guilü

山东矿区

地表沉陷移动参数与移动特性规律

卜昌森 等 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

山东矿区地表沉陷 移动参数与移动特性规律

卜昌森 等 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书总结地表移动变形观测站的设计原则、形式等相关内容和地表移动预测参数的理论及曲线拟合法求参、模式法求参等计算方法,针对山东能源集团旗下各矿区的现有历年地面岩移观测资料进行分类整理,综合分析各矿区不同的开采地质条件、不同的开采方式下的观测成果,总结出相应地表移动变形特性;总结了深部开采条件下、软岩地质条件下、特殊地质条件下及充填开采条件下地表沉陷移动特性规律,提出了控制地表沉陷特殊的开采技术与方法,以及对开采沉陷地区的监测及环境治理技术等。

图书在版编目(CIP)数据

山东矿区地表沉陷移动参数与移动特性规律/卜昌森等
编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2015.5
ISBN 978 - 7 - 5646 - 2619 - 8

I. ① 山… II. ① 卜… III. ① 矿区—煤矿开采—地
表位移—规律—研究—山东省 IV. ① TD173

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 015758 号

书 名 山东矿区地表沉陷移动参数与移动特性规律

编 著 卜昌森等

责任编辑 李 敬 郭 玉

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 16.25 字数 406 千字

版次/印次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《山东矿区地表沉陷移动参数与移动特性规律》

编 委 会

主 任 卜昌森

副主任 翟明华 郭惟嘉

委 员 (按姓氏拼音为序)

曹庆伦 崔常兴 范建国 郭信山

李景恒 李 伟 满中峰 桑红星

孙文斌 孙希奎 孙 翔 王昌祥

王慧涛 王兆喜 辛恒奇 徐加利

张保良 张士川 张新国

前 言

随着我国经济的高速发展,对煤炭资源的开发利用需求越来越高,建筑物下、铁路下、水体下和承压水上(“三下一上”)压煤开采成为我国尤其是中东部煤矿开采面临的主要问题。山东能源集团有限公司各矿区开采时间早、强度大,“三下一上”压煤问题尤为严重,严重影响了矿井生产接续和可持续发展,针对不同地质开采条件、不同建(构)筑物类型,对压煤开采方法进行全方位的、系统的分析评价,进行压煤合理、优化开采尤为迫切和重要。建(构)筑物下保安煤柱留设及开采的关键在于地表移动预测和参数的准确性选择。由于各矿区的煤层赋存条件、开采深度、回采方法及顶板管理方式等不同,岩层及地表移动规律大不相同,地表移动参数也有较大变化,给地表移动变形预测及安全煤柱留设带来一定的困难。因此,设计科学合理的地表岩移监测方案,布设安全可靠的测点,获取真实可信的实测数据,总结不同地质采矿条件下的地表岩移规律能够为各矿区的开采设计和地表沉陷控制提供理论上的支持和实践经验。

矿山开采地表移动变形是一门研究地下矿物开采后引起岩层和地表移动及其他相关问题的学科,涉及采矿学、测量学、地质学、岩石力学、统计学和计算机科学等多种学科。本书撰写者们以山东矿区各煤矿开采为工程背景,基于统计学概率计算理论,采用概率积分法计算开采地表移动参数,分析上覆岩层运动过程,总结山东矿区典型的地表沉陷规律。本书共分为9章,第1章介绍了国内外开采沉陷及地表移动规律研究现状、本书的主要研究内容和研究方法;第2章分析了岩层移动变形参数与移动角,介绍了现有的地表移动预测方法及变形监测方法;第3章介绍了山东能源集团新汶矿区、枣庄矿区、淄博矿业集团济北矿区、肥城矿区、兖州矿区和龙口矿区的岩移规律和地表沉陷移动参数;第4章针对深部矿区的地表沉陷特点、岩移规律、参数的变化做了详细介绍;第5章介绍了软岩地质条件下黄县煤田的岩移参数选择;第6章研究了断层、褶曲等复杂地质构造条件下的典型矿区地表沉陷规律;第7章介绍了充填开采矿井地表移动参数选择和地表沉陷规律;第8章分别介绍了条带开采、充填开采和离层注浆开采下地表沉陷控制效果;最后第9章介绍了开采沉陷对建筑物、环境的影响及应对措施,并提出利用现有的科学技术对地表沉陷进行预计。

本书总结地表移动变形观测站的设计原则、形式等相关内容和地表移动预测参数的理论及曲线拟合法求参、模式法求参等计算方法,针对新汶矿业集团有限责任公司、枣庄矿业集团有限责任公司、淄博矿业集团有限责任公司、肥城矿业集团有限责任公司、临沂矿业集团有限责任公司、龙口矿业集团有限责任公司等各矿区的现有历年地面岩移观测资料进行分类整理,综合分析各矿区不同开采地质条件、不同开采方式下的观测成果,总结得出相应的地表移动变形特性。

在本书撰写过程中,得到了山东能源集团各矿区领导和技术人员的大力协助和支持,也参考了大量同行的学术与工作成果,更得到了山东科技大学在数据处理上的帮助,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足,敬请读者批评指正。

作者

2014年12月

目 录

前言	1
1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外开采沉陷及地表移动规律研究现状	2
1.3 本书出版目的	4
1.4 研究内容与技术路线	5
2 岩层移动地表岩移参数及预计方法	6
2.1 移动变形参数与移动角量分析	6
2.2 地表移动预测参数的计算方法	7
2.3 地表移动变形监测方法	13
3 山东矿区典型地表沉陷移动参数及移动特性规律研究	16
3.1 山东能源集团有限公司概况	16
3.2 新汶矿业集团新汶矿区岩移规律	21
3.3 枣庄矿业集团枣庄矿区岩移规律	35
3.4 淄博矿业集团济北矿区岩移规律	45
3.5 肥城矿业集团肥城矿区岩移规律	75
3.6 临沂矿业集团兖州矿区岩移规律	97
3.7 龙口矿业集团龙口矿区岩移规律	124
4 深部开采条件下地表沉陷移动参数及移动特性规律研究	125
4.1 深部矿区概况	125
4.2 典型矿井煤矿岩移参数	134
4.3 深部开采地表沉陷规律及总结分析	141
5 软岩地质条件下地表沉陷移动参数及移动特性规律研究	143
5.1 软岩矿区概况	143
5.2 典型煤矿岩移参数	145

6 特殊地质条件下地表沉陷移动参数及移动特性规律研究	156
6.1 特殊地质条件	156
6.2 典型矿井煤矿岩移参数	163
6.3 断层、褶曲开采地表沉陷规律及总结分析	176
7 充填开采条件下地表沉陷移动参数及移动特性规律研究	179
7.1 充填矿区概况	179
7.2 典型矿井煤矿岩移参数	185
7.3 充填开采地表沉陷规律及总结分析	200
8 控制地表沉陷特殊的开采技术与方法	203
8.1 概述	203
8.2 条带开采	203
8.3 充填开采	207
8.4 离层注浆	212
9 开采沉陷损害与环境保护	216
9.1 开采沉陷对建筑物的影响	216
9.2 开采沉陷对环境的影响	220
9.3 开采损害的鉴别	227
9.4 地表沉陷预测及损害评价可视化信息系统研制	230
9.5 遥感监测沉陷区	241
9.6 沉陷区房屋建设	245
参考文献	249

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

中国经济的高速发展,主要依赖煤炭产量的快速增长,但长期以来,我国煤炭粗放式生产造成了严重的资源浪费和环境破坏。各矿区普遍存在严重的“三下”压煤问题,地下煤层被开采出来以后,开采区域及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,开采煤层的上覆岩层将产生移动、变形与破坏,当开采面积达到一定范围后,移动与变形将波及地表,使地表产生沉陷,给沉陷区周边生态环境和人民生产、生活带来不同程度的影响^[1]。

建筑物及村庄压煤是山东矿区绝大多数煤矿面临的难题,严重影响着矿井生产开拓接续和可持续发展。山东能源集团有限公司下属新汶矿业集团有限责任公司、枣庄矿业(集团)有限责任公司、淄博矿业集团有限责任公司、肥城矿业集团有限责任公司、临沂矿业集团有限责任公司、龙口矿业集团有限公司等各矿区地质条件复杂,同时各矿区在铁路下、城镇下、村庄下、桥梁下、公路下压煤数量巨大,虽然通过采取协调法、井下充填法、离层带注浆充填、煤层气化、大条宽条带等技术方法开采了大量的煤炭资源,取得了很好的经济效益和社会效益,但是,随着山东能源集团有限公司不断发展,煤炭开采逐渐向深部发展,可开采数量不断下降,建筑物下、铁路下等“三下”压煤量的比重迅速增加,使得对压煤开采方法进行全方位、系统的分析评价,针对不同地质开采条件、不同建筑物类型进行压煤合理、优化开采尤为迫切和重要。

根据以往地表移动变形规律的研究,岩层与地表的移动都符合一般移动变形规律,而对于山东不同矿区、不同开采条件、不同地质类型(厚松散层薄基岩、软岩、断层与褶皱)的地表移动变形规律及参数(边界角、移动角、裂缝角、充分采动角、最大下沉角、起动距、超前影响角、地表持续移动时间等)的研究较少,本书对此进行研究分析,以指导我国的深部“三下”压煤的开采。

1.1.2 研究目的及意义

矿山资源的大规模开发和利用,既给人类带来了巨大的经济效益和社会效益,也对人类生存环境产生了一系列影响。近年来,随着矿区煤炭产量和经济效益逐年提高,矿区生产的一些重大问题也日益突出,矿山开采引起的地表移动和变形将影响位于下沉盆地范围内的建筑物、河流、铁路、管道及其他构筑物。地表沉陷也会引起地形、地貌产生变化和破坏。其中“三下”采煤问题最为严重^[2]。因此,开采沉陷的防治是一项极其重要的、刻不容缓的

工作。

据统计,我国生产矿井“三下”压煤量总计达到 137.64 亿 t,其中直接影响工农关系的村庄下压煤问题最为严重。建筑物下保安煤柱留设及开采的关键是地表移动预测和参数的准确性。由于矿区开采深度变化大,岩层及地表移动规律存在差异,不同采深和表土层条件下,地表移动规律及参数有较大的变化,给地表移动预测及保安煤柱留设时参数选取带来了困难^[3]。另外,由于岩体介质的复杂性,目前难以采用理论方法准确地预测,必须借助实测资料综合分析,采用数理统计方法寻求地表移动参数与地质采矿条件之间的关系,以便找出不同地质采矿条件下参数变化规律,为矿区生产和建设服务。因此,本书研究的意义如下:

(1) 为矿区建筑物下开采提供较准确的地表移动预测方法和参数,指导矿区建筑物下压煤开采。

(2) 为矿区合理留设各类保安煤柱提供依据,减少不必要的压煤损失和工农纠纷,缓和工农矛盾。

(3) 为采区及工作面的合理布局,保证生产正常接续提供基础数据。特别是近年来,由于矿区建设的发展,建筑物下压煤问题日益突出,要想避开村庄布置工作面十分困难。在新村址难选的条件下,合理布置工作面,保证矿井生产,暂缓村庄搬迁十分重要。

1.2 国内外开采沉陷及地表移动规律研究现状

开采所导致的地表移动变形是一个复杂的时空过程,是许多采矿因素综合作用的结果^[4]。为了获取矿区地表移动变形规律、计算和分析地表沉陷的预计参数,世界各国许多研究工作者投入大量时间进行开采沉陷地表移动变形的研究工作,在许多矿区建立了地表移动观测站,并取得了丰硕的研究成果。

1.2.1 国外研究现状

国外较早开始了开采沉陷的研究与观测工作,特别是比利时、前苏联、波兰、德国、澳大利亚、加拿大、美国等采矿业发达国家对开采沉陷理论和实践都进行了较深入研究。

据参考文献[5-11],早在 1825 年,比利时的工程师们在调查 Liege 市地表裂缝的原因时,证实了矿山巷道和地表之间 300 英尺(1 英尺=0.304 8 m,下同)的距离足以阻止地表沉陷,开始了最早的开采沉陷研究工作;随后,比利时工程师 J. Gonot 在 1839 年对 Liege 市的研究中提出了第一个开采沉陷理论;到 1867 年,德国工程师 A. Schulz 提出了破裂角和保护地表必要支柱尺寸的观点;1868 年,普鲁士政府成立了专门委员会以收集来自其他国家关于煤炭开采可能对地表建筑物产生影响的信息;1885 年,法国矿长 H. Fayol 总结了开采沉陷时间的矛盾意见;1900 年, Wachsmann 首次提出了开采沉陷的现代观点,即煤层开采时,底部岩层最先崩塌,中部岩层下沉且破裂,上部岩层下沉但不破裂;1923 年,美国矿山局开采总工程师提出要对开采沉陷作系统测量;自 1931 年到 1934 年,美国西部宾夕法尼亚州实施了包括对结构破坏的沉陷系统观测;1935 年, Greenwald 和部分研究者开始在 Pittsburgh 煤矿进行一系列的煤矿开采沉陷的系统观测;英国自 1930 年开始了移动变形的观测并于 1950 年发现了观测和地表变形之间关系的重要性,建立了不同采动程度下的下沉系数修正体系。学者 K. Wardell 改进了沉陷观测的方法,并对开采沉陷的理论方面也做出了巨大贡献。

随着计算机技术发展及 3S(地理信息系统、遥感和全球定位系统)技术的广泛应用,将新技术应用于开采沉陷观测与数据处理也成为国际上普遍研究的一个重要方面^[12-13]。B. N. Hittaker, D. J. Reddish 和 D. Fitzpatrick 等采用计算机程序计算了长壁式工作面采煤沉陷的地表应力模式。S. Falcón, L. Gavete 和 A. Ruiz 使用 DHH 程序模拟了开采沉陷问题,程序可处理所采集的数据并确定地表下沉和水平移动量,以此确定其对周围建筑物的影响。德国将数字摄影测量技术和遥感等技术手段应用到鲁尔矿区的开采沉陷数据采集和处理。“差分干涉测量在城市中应用”项目运用了欧洲航天局的数据,首次将合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术用于检测和评估开采所导致的地表变形。

1.2.2 国内研究现状

我国是以煤炭为主要能源的国家,自新中国成立后开始了开采沉陷的观测工作,峰峰矿区自 20 世纪 50 年代末开始即设立了地表移动变形观测站,获取了大量观测数据并对资料进行了分析,建立了预计参数体系^[14-15]。60 年代平顶山矿区建立了全国第一个网状观测站,创立了符合我国特点的负指数函数预计方法,推导出计算地表任意点移动变形的经典公式,引进并发展了概率积分预计方法。1991 年,原东煤矿区生产部地测处组织完成了《东煤矿区地表与岩层移动观测资料综合分析报告》,共分析了 365 个不同类型的观测站,获得了不同地质采矿条件下地表移动预测参数与预测方法。

几十年以来,枣庄矿区、开滦矿区、平顶山矿区、淮北矿区、徐州矿区、淮南矿区、阳泉矿区等相继建立了观测站,在实测资料分析的基础上,建立了相应的预计方法和预计参数体系。近年来,在基岩裸露区、厚冲积层区、山区和综采放顶煤、急倾斜煤层开采、深部开采等条件下建立了地表移动观测站,总结出了各种地质采矿条件下的地表及岩层移动规律。

随着计算机技术的发展和生产的需要,许多与能源相关的院校和研究机构都对开采沉陷监测数据的计算机处理方面做了一定的研究,特别是中国矿业大学、山东科技大学、安徽理工大学等工矿类院校的研究已经取得一些重要理论和实际成果。

中国矿业大学在利用计算机和 GIS 技术(Geographic Information Systems,地理信息系统)处理开采沉陷监测数据方面进行了较多的研究。蔡少华在硕士论文中从数据管理、移动变形计算、参数计算、移动变形预计、变形曲线与等值线的绘制、观测站井上下对照图的绘制等六个方面进行研究,详细介绍了计算机辅助开采沉陷数据图形处理的基本原理与具体实施路线,在二维、三维成图和井上下对照图等方面取得了新进展;蔡少华^[16]、王金庄等提出了建立矿山开采沉陷地理信息系统(MSGIS),分析了 MSGIS 的系统结构、功能和设计方法并对数据采集和数据库开发以及空间分析建模等方面进行了初步研究;陈宜金、黄绍东^[17-19]对开采沉陷信息处理软件系统各模块间关系和设计原则进行了探讨;姜仕义、王金庄等^[20]利用 MFC 设计了矿山开采沉陷处理软件的系统框架并列出了一些功能函数的实现过程;靳建明、吴侃等提出了 GIS 在矿山开采沉陷领域中应用的总体思路并分析了 GIS 在开采沉陷领域应用的关键问题;王卷乐、吴侃^[21-23]把空间数据可视化思想引入开采沉陷的防治中,对数据的可视化的视觉表达和分析进行了分析;刘增良、刘作才等根据矿区开采沉陷的特点,提出了地理信息系统在矿区开采沉陷应用的一些方法及技术路线,同时,又对矿山开采数据处理系统结构、开发的方法与技术路线进行了研究,探讨了利用 VB 环境下开发该系统的优势;杜培军、郭达志等^[24-26]提出了 GIS 技术在开采沉陷领域的四个层次,即数据与信息管理、基本空间分析、GIS 与专业模型结合、空间决策支持系统建立,而 GIS 与专业模

型结合是最主要的应用方式;贾新果、郭广礼等^[27-29]初步探讨了 MATLAB 软件在开采沉陷中的应用,重点探讨了其神经网络工具箱在开采沉陷预测中的应用。

山东科技大学栾元重^[30-32]等学者开发了基于 MapInfo 软件的矿区地表沉陷可视化系统(MSSFS),实现了 GIS 在矿区数据管理、分析和可视化的自动完成;郭惟嘉^[33,34]开发应用半解析数值计算方法,将空间岩体分为层单元和柱单元,并吸收利用板和梁的一些解析解或解析方程,对层单元实行一维离散、二维解析,对柱单元实行二维离散、一维解析,适用于覆岩沉陷及层面离层的三维分析。

安徽理工大学地球与环境学院吕伟才、秦永洋等^[35-38]从概念和逻辑上设计了基于 GIS 的矿山开采沉陷综合数据处理软件包 MISPAS,为该软件的实现做好了理论准备;贾小敏、余学祥等^[39]讨论了应用 Visual Basic 和 AutoCAD 二次开发技术进行矿区地表移动变形值计算和变形曲线绘制的方法,实现了在此环境下变形值的计算和曲线的快速绘制,达到了对开采引起地表变形的直观描述效果;姚炜、张伟等^[40]利用 C++ 语言实现了煤矿开采地表移动与变形等值线(下沉、倾斜、曲率、水平移动、水平变形)绘制,在此基础上实现了影响区域任意两点间剖面线的绘制,基本实现了开采沉陷数据可视化。

此外,还有其他一些机构和单位的学者也做了一定的研究与探讨。如赵晓冬、陈鹏针对开采沉陷移动变形的计算问题,讨论了 GIS 与专业的工程模型的耦合方法。王志杰、孙明前^[41]通过研究开采沉陷实体的空间特性并采用相应的数据模型,可实现开采沉陷三维可视化表达。

1.3 本书出版目的

矿山开采地表移动变形研究是一门研究开采地下矿物后引起岩层和地表移动及其他相关问题的科学,是涉及采矿、地质、测量、岩石力学、弹塑性力学、统计学和计算科学等多种学科的交叉学科。地表移动参数及移动变形特性规律早就被人们所认识。无论是从理论上还是从现场实践,人们都进行了长期的研究并从控制地表和岩层活动出发,提出很多方法(条带开采法、充填开采法等)来控制地表的沉陷。控制地表沉陷,要准确选择地表移动预测参数,对相邻矿区的地表移动参数进行整理,进而得出相对正确的移动参数。

本书总结地表移动变形观测站的设计原则、形式等相关内容和地表移动预测参数的理论及曲线拟合法求参、模式法求参等计算方法,针对新汶矿业集团有限责任公司、枣庄矿业集团有限责任公司、淄博矿业集团有限责任公司、肥城矿业集团有限责任公司、临沂矿业集团有限责任公司、龙口矿业集团有限责任公司等各矿区的现有历年地面岩移观测资料进行分类整理,综合分析各矿区不同的开采地质条件、不同的开采方式下的观测成果,总结得出相应的地表移动变形特性。

通过研究分析新汶矿业集团有限责任公司地表观测站成果,分析得出巨厚砾岩层条件下地表移动变形规律及参数;通过研究分析肥城矿业集团有限责任公司地表观测站成果,研究得知断层影响地质条件下地表移动和变形分布的正常规律被破坏,其基本岩移参量表现出明显受断层影响的特性,分析得出在断层和褶皱条件下地表移动特性及参数;通过研究分析淄博矿业集团有限责任公司等矿区地表观测站成果,得出兖州、济北等矿区厚松散层薄基岩地层条件下、深部开采条件下的地表移动变形规律及参数;通过研究分析龙口矿业集团有

限公司地表观测站成果,分析得出软岩开采地质条件下地表移动变形规律及参数。

1.4 研究内容与技术路线

1.4.1 研究内容

- (1) 收集各个矿区移动观测站观测资料。
- (2) 对移动观测站观测资料根据不同的地质条件和不同的开采方式对所有资料进行综合分析、整理。
- (3) 采用曲线拟合法求参、模式法求参、曲线最佳拟合的方法求参等方法分析用不同的地质条件和不同的开采方式开采后地表移动变形规律。
- (4) 研究不同地质开采条件下地表移动盆地角值参数(边界角、移动角、裂缝角、充分采动角、最大下沉角)、地表移动动态参数(起动距、超前影响角、地表移动持续时间等)、概率积分法地表变形预计参数等。
- (5) 对不同的地质条件和不同的开采方式开采后地表移动变形规律及关键参数加以对比分析。

1.4.2 技术路线

以现场调研和数据整理分析为工作先导,利用采矿、测绘及相关学科的最新研究成果,采用理论分析、数学推导、模拟测试、计算机数值模拟分析和现场观测监测总结等方法相结合的综合研究思路,以实现研究山东矿区地表沉陷移动参数与移动特性规律研究的目的,主要技术路线如图 1-1 所示。

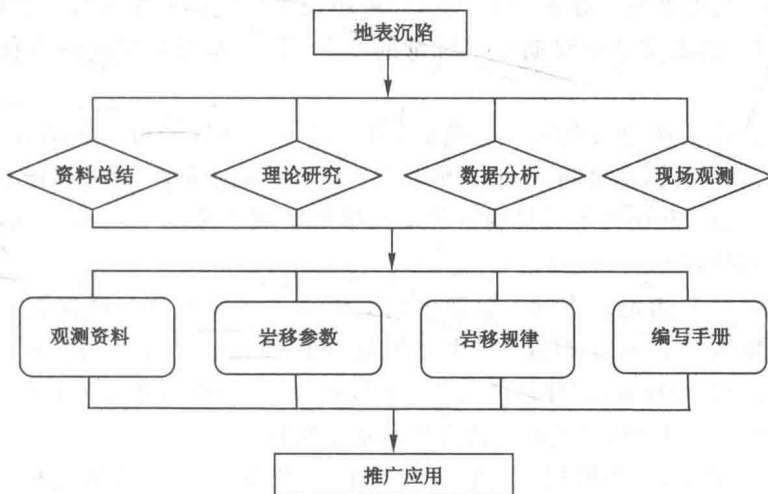


图 1-1 研究技术路线

2 岩层移动地表岩移参数及预计方法

2.1 移动变形参数与移动角量分析

多年以来,在监测地表移动变形方面做了大量的工作,积累了大量的实测数据,取得了很好的技术成果。但是,只有对这些成果的正确分析,才能对矿区沉陷规律研究及控制技术制定提供依据。研究人员利用矿区地表移动的观测成果,通过上述参数的综合求取方法,反演其在充分采动条件下的地表移动参数。

2.1.1 地表移动持续时间

采空区地表任意点的移动都要经历:① 初始期(T_c);② 活跃期(T_H);③ 衰退期(T_s)。各时期的移动量和移动速度各不相同,初始、活跃和衰退三期之和称移动延续期(T): $T = T_c + T_H + T_s$ 。

移动初始期(T_c):指地表点受工作面超前采动影响的下沉量达到 10 mm 开始,至下沉速度达到 1.7 mm/d(急倾斜煤层 1.0 mm/d,以下同)为止的天数(d)。移动初始期的下沉量很少,经历的时间也很短。对于新汶矿区,一般中硬覆岩浅部~中深部长壁陷落采空区,移动初始期下沉量约占移动延续期总下沉量的 2%~7%,经历的时间约占移动延续期的 3.5%~10%。

移动活跃期(T_H):指地表点的下沉速度大于 1.7 mm/d 所经历的移动日期(d)。移动活跃期介于初始期和衰退期之间,是地表移动变形过程的集中阶段,亦称危险变形期。对于新汶矿区,一般移动活跃期的下沉量约占移动延续期下沉总量的 75%~90%,经历移动时间约占移动延续期的 35%~60%。

移动衰退期(T_s):指地表点的下沉速度从大于 1.7 mm/d,逐渐减少到 1.7 mm/d 开始,至下沉速度降到 0.17 mm/d(或 6 个月下沉量小于 30 mm)为止所经历的移动时期(d)。移动衰退期经历的时间较长,但移动量较少。新汶矿区,一般移动衰退期下沉量约占移动延续期总下沉量的 3%~10%,移动时间约占移动延续期的 40%~60%。

观测和研究表明,移动延续期的长短与覆岩性质、开采方法、开采深度和工作面推进速度等因素有关。在长壁陷落法开采条件下,上覆岩层愈硬、开采深度愈大、工作面推进速度愈慢,点的移动延续时间愈长;反之,上覆岩层愈软、开采深度愈小、工作面推进速度愈快,点的移动延续时间愈短。

2.1.2 地表移动点最大下沉速度

地表点的最大下沉速度是反映地表移动变形剧烈程度的重要参数,其值对建筑物下、铁路下开采有直接影响。一般认为,地表移动点最大下沉速度主要和煤层开采深度、工作面的

推进速度、开采煤层厚度及覆岩岩性等因素有关；采深越大，最大下沉速度越小；工作面的推进速度越快，最大下沉速度越大；开采煤层厚度越大，最大下沉速度越大。

2.1.3 下沉系数

由最大下沉值的计算公式 $W_{\max} = mq \cos \alpha$ 可得下沉系数的计算公式：

$$q = W_{\max} / (m \cos \alpha)$$

式中 $W_{\max}$ ——最大下沉值；

m ——煤层厚度；

α ——煤层倾角。

2.1.4 水平移动系数

由最大水平移动的计算公式 $U_0 = b W_0$ 可推得水平移动系数 b 的计算公式：

$$b = U_0 / W_0$$

式中 U_0 ——最大水平移动值；

W_0 ——最大下沉值。

2.1.5 主要影响半径和主要影响角正切

主要影响半径主要是指地表移动和变形值发生的范围，可根据倾斜值表和下沉值表，确定出最大倾斜值和最大下沉值，利用公式求得主要影响半径。已知最大倾斜值的主要影响半径计算公式为：

$$i_0 = W_0 / r$$

因此，主要影响半径的计算公式为：

$$r = W_0 / i_0$$

式中 r ——主要影响半径；

W_0 ——最大下沉值；

i_0 ——最大倾斜值。

相应主要影响角正切为：

$$\tan \beta = H / r$$

式中 $\tan \beta$ ——主要影响角正切；

H ——最大采深。

2.1.6 由最大下沉角确定岩性系数 K 的方法

大量的实测资料表明，最大下沉角既与煤层倾角有关，又与覆岩的岩性系数有关，最大下沉角一般用下式计算：

$$\theta = 90^\circ - K\alpha$$

式中 α ——煤层倾角；

θ ——最大下沉角。

可推得系数 K 的计算公式为：

$$K = (90^\circ - \theta) / \alpha$$

2.2 地表移动预测参数的计算方法

在一个地表观测站的观测工作结束并完成观测成果的整理与分析之后，应进一步求取

这个观测站的实测参数。求取实测参数的方法已有许多种。理想的方法应该是能够利用最少的实测数据求得较好的实测参数,可以分如下两个方面来理解:一方面要能够充分利用已有的实测成果资源,求得高精度的实测参数;另一方面,在保证参数具有较好的精度情况下,可放宽对观测站的设站形式的要求,以降低设站成本。一般求参数的方法主要有以下几种。

2.2.1 曲线拟合法求参

这是一种根据所有剖面上的实测下沉和水平移动值求取参数的估计值的方法。该方法求参数时,拟合函数 $f(x, B)$ 的形式必须是已知的,而且能够求得对各个参数的偏导数,一般适用于矩形工作面上方布设的观测站。拟合函数一般选择主断面上的表达式,在主断面上进行拟合,拟合时假设垂直于该断面方向的开采为无限开采。采用这种方法编制计算机程序时,常常将观测站划分成几种类型,规定每种类型的阶数(参数个数)。一旦实际观测站的形式不符合类型规定,就无法求取参数了。

2.2.2 空间问题求参

这是一种将曲线拟合法求参的基本原理推广应用到整个下沉盆地上的求参方法。

空间问题求参法比曲线拟合法具有明显的优势,放宽了对地表移动观测站设置的要求,但是有如下不足:

(1) 对于任意形状工作面开采求参时,由于其预计公式的复杂性,使得上述方法无法实施,故此法也仅适用于矩形工作面求参;

(2) 该法对参数初值的选取要求较高,若初值选取不当,很容易使求参失败。

此外,当由于观测站设置的原因,从实测数据中只能求取部分参数时,使用该求参方法也十分不方便。

2.2.3 正交试验设计法求参

正交试验设计方法,就是利用数理统计学与正交性原理,从大量的试验点中挑选适量的具有代表性、典型的点,应用到“正交表”合理安排试验的一种科学的试验设计方法。将这一方法应用到实测资料求参中,其具体做法为:

(1) 选正交表,将所求参数名称安排在正交表有关各列的表头。所求参数个数(各种沉陷预计模型所要求的参数是不同的)在此称为因子个数,用三个水平进行试验。这样,对于一般常用的沉陷模型,选用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表就可以了。

(2) 选初始水平(参数初值)作为第二水平,给出水平之间的增量值(Δ)。第一水平的参数值就等于第二水平的参数值加 Δ ,第三水平参数值就等于第二水平参数值减 Δ 。

(3) 根据正交表中各因子、各水平的不同组合,对具有实测资料的测点进行预计,并求出各测点实测值与预计值之差值 V 。根据最优指标 $[VV] = \min$,选择出最优参数组合。通过方差分析,可确定出各参数的显著性,也就是得出了起主导作用的参数以及它们之间的关系。这一点对于其他方法求参都是不可能做到的。

(4) 用第(3)步求得的最优参数组合作为第二水平,水平之间的增量值取 $0.5 \times \Delta$,重复(2)、(3)两步,直至求得满意的参数值。

这一方法可以较好地解决任意形状工作面开采时根据任意点实测值求取参数的问题,不会由于参数初值不合适而导致求参失败。这一方法的缺点是预计工作量大,求取参数的速度缓慢。

2.2.4 求参准则

在曲线拟合法及空间问题参数求取时,均采用 $[VV]=\min$ 的准则。这一准则侧重于减小误差 V ,而在移动边界处附近移动值一般较小,因此误差相应较小,它在计算中所占的“权”微不足道,即使误差较大也很难反映出来,造成了实际上各测点的不等“权”。其相对误差分布不均匀,采空区上方相对误差较小,移动边缘区域相对误差较大。

在正交化试验设计法求参数或下文将提出的模式法求参时,除了可采用 $[VV]=\min$ 的准则外,也可以采用 $[|V|/W]=\min$,即各测点的相对偏差绝对值之和等于最小的准则。 $[|V|/W]=\min$ 不仅在于减小误差,而且着重于减小相对误差,无论对移动边界区域还是采空区上方的误差均可以反映出来,所以相对误差有所降低。

一般的观测站均直接测得水平移动值和下沉值,因此在求参处理时也存在不同的方法。一种方法是先根据下沉值求出有关参数,并将这一部分参数固定,然后根据水平移动值求出其余的参数。这样处理,下沉值吻合较好,而水平移动值则误差较大。另一种方法是根据下沉和水平移动值使 $[V_w V_w] + [V_u V_u] = \min$,一次求出所有的参数。这样处理,使两者得到了较为平均的精度,也可能造成两者误差均较大,使用该参数预计时会引起一些不必要的精度损失。

更为理想的处理方法是先根据下沉值获取一组参数,然后根据水平移动值获取另一组参数,对比两组参数,最后综合确定。如果两组参数中的同名参数其值差异较大时,一种处理方法是承认其差异,预计下沉、倾斜、曲率时采用一组参数,而预计水平移动和水平变形时采用另一组参数;另一种处理是找出差异的原因,修改或另选预计模型。

2.2.5 模式法求参

为改进现有求参方法存在的缺陷,全面解决利用任意形状工作面开采的实测资料和利用动态实测资料求取参数的问题,通过研究和反复比较,提出了智能化求参新方法——模式法求参。

2.2.5.1 基本原理

模式法(Pattern Search)是一种求解无约束极值问题的解法。由胡克(Hooke)和基夫斯(Jeeves)于1961年提出,是一种直接法。将这一方法应用于开采沉陷参数的求取是首次。这一方法具有易于编制计算机程序,遵循谷线(脊线)加速移向最优点的性质,易于利用任意形状工作面或动态情况下测得的数据求取参数等优点。并且这一方法适用于所有的预计模型。

假定欲求某实值函数 $f(x)$ 的极小点,为此任选一基点 B_1 (初始近似点),算出此点的目标函数值。然后沿某个坐标方向以某一步长 Δ_1 进行探索,即比较 B_1 、 $B_1 + \Delta_1$ 以及 $B_1 - \Delta_1$ 的目标函数值,以目标函数值最小(在最小化问题中)的点为临时矢点;再由此点出发沿另一坐标方向进行同样的探索,如果能得到比以前更好的点,就以该点代替前面的点作为新的临时矢点。如此沿各个坐标方向轮流探查一遍,并选这一轮探索最好的点(最后的临时矢点)为第二个基点 B_2 。由第一个基点 B_1 到第二个基点 B_2 构成了第一个模矢。对第一个基点来说,这是使目标函数得以改善的最有利的移动方向,沿这一方向前进,目标函数值下降“最快”(就 B_1 附近而言)。显然这一方向近似于目标函数的负梯度方向。现假定在第二个基点 B_2 附近进行类似的探索,其结果可能和在 B_1 处的情形相同,故略去这一步探索而把第