



开采沉陷的 相似理论及其应用

邹友峰 柴华彬 © 著



科学出版社

开采沉陷的相似理论及其应用

邹友峰 柴华彬 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对开采沉陷的相似理论问题进行了研究。本书建立了开采沉陷岩体力学模型,导出了开采沉陷现象的相似准则,提出了开采沉陷的抽样定理,给出了地表移动观测站设计的合理测点间距,得出了地表移动变形连续性计算的典型曲线预计公式。同时,基于大量的地表移动观测资料,书中对国内的开采沉陷相似类型进行了模糊聚类分析,给出了每一个开采沉陷相似类型的基础岩移参数,提出了开采沉陷模式(类型)识别和岩移参数确定的方法。

本书可供从事开采沉陷与特殊采煤方法的研究人员及煤矿工程技术人员阅读,也可供高等院校矿山测量、采矿工程、岩土工程等专业的研究生和本科生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

开采沉陷的相似理论及其应用/邹友峰,柴华彬著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-037335-9

I. ①开… II. ①邹… ②柴… III. ①矿山开采-沉陷性-相似性理论-理论研究 IV. ①TD327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 079554 号

责任编辑:任加林 童安齐 / 责任校对:马英菊

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年5月第一版 开本:B5(720×1000)

2013年5月第一次印刷 印张:7 1/2 插页:2

字数:155 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303



前 言

我国煤矿建筑物下、水体下、铁路下(以下简称为“三下”)压煤量巨大。据对国有重点煤矿统计,全国生产矿井“三下”压煤量达 137.9 亿 t,其中建筑物下压煤 87.6 亿 t,村庄下压煤占建筑物下压煤的 60%以上,特别是我国东部地区,煤炭资源正在逐步枯竭,矿井储量逐年减少,剩余储量 50%以上属于“三下”压煤,其中以村庄建筑物下压煤量最大。仅河南、河北、山东、安徽、江苏五省压煤村庄达到 1094 个,住户约 11 万户。

随着开采强度增加,地表沉陷问题日益突出,如土地的塌陷、建(构)筑物的损害、排水系统的改变、道路坡度的变化等,这就迫切要求人们开展地表移动变形预测的研究工作。早在 20 世纪初,矿山测量工作者就开始对地下开采地表移动的过程进行系统观测,建立各种形式的观测站,通过观测资料的分析整理,获得了地表移动变形规律并给出了其预计方法。到目前为止,仅我国煤矿区就建有几百个地表移动观测站,如峰峰、平顶山、枣庄、鹤壁、淮北等矿区均对本区的监测资料进行了综合分析,获得了本区的开采沉陷规律和计算参数。以大量实际监测资料为基础的研究工作及其成果是我国在本学科领域发展中的一大特色,它丰富了人们对开采沉陷一般规律和地区性规律的认识,为解决实际生产问题提供了可靠的理论依据,并有效地促进了学科的发展。

在我国地表沉陷监测的几百个观测站中,涵盖了各种类型的开采沉陷现象,目前单个观测站资料一般已进行了分析总结,少数矿区还采用回归分析法对多个观测站进行了综合分析,但是回归分析法是一种唯象法,它不可能从本质上确定出开采沉陷岩移参数与地质采矿条件(影响因素)之间的关系,因而影响了开采沉陷岩移参数求取的准确性,更不可能对多个矿区乃至全国的观测站进行合理的综合分析。开采沉陷岩移参数的准确选取是“三下”开采合理设计的前提。因此,进行开采沉陷相似理论和岩移参数的确定方法的研究具有十分重要的意义。

各个观测站独立分析得出的开采沉岩移参数千差万别,从表面上看,这些参数之间似乎没有什么联系。事实上,一个实际的开采沉陷现象与另一实际的开采沉陷现象也许为一相似现象,它们有可能存在于同一个相似系统之中。那么,在这几百个观测站之间,可能只存在着几类相似的现象群,在每个现象群之间开采沉陷的岩移参数可以相互转换。通过对开采沉陷相似理论进行了多年的研究,作者取得了一系列的重要成果:建立了开采沉陷岩体力学模型,导出了开采沉陷现象的相似准则,提出了开采沉陷的抽样定理,给出了地表移动观测站设计的合理测点间距,

得出了地表移动变形连续性计算的典型曲线预公式。同时,基于大量的地表移动观测资料,作者对国内的开采沉陷相似类型进行了模糊聚类分析,给出了开采沉陷模式(类型)识别和岩移参数确定的方法。

本书由河南理工大学邹友峰教授和柴华彬博士共同完成。书中研究成果先后得到了国家自然科学基金(编号:41072225,41102169)、国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(编号:U1261206)、河南省科技厅重点科技攻关(编号:102102210196)的资助。在研究过程中,得到了郭增长、刘三枝、张育民、郭文兵和陈俊杰等人的帮助。在资料收集过程中,得到了开滦(集团)有限责任公司、原峰峰矿务局领导和工程技术人员的支持,在此,向他们一并表示衷心的感谢!在作者的研究和写作过程中,参考了大量文献资料,在此对原作者表示深深的谢意!

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正!

作 者
河南理工大学
2013年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 开采沉陷研究现状综述	1
1.1.1 开采沉陷的预计.....	1
1.1.2 岩移参数的确定.....	2
1.2 相似理论的研究现状综述	3
1.2.1 相似理论的起源.....	3
1.2.2 相似理论的应用与发展	3
1.2.3 相似理论在开采沉陷中的应用	4
1.3 研究的内容和方法	6
1.3.1 研究的内容	6
1.3.2 研究方法	6
第 2 章 开采沉陷的相似判据	7
2.1 相似现象概述	7
2.1.1 两现象相似比	7
2.1.2 相似指标与相似准则	8
2.1.3 相似变换	10
2.2 相似三定理.....	11
2.2.1 相似第一定理	12
2.2.2 相似第二定理	12
2.2.3 相似第三定理	13
2.2.4 相似理论体系	14
2.3 相似准则的导出方法	14
2.3.1 方程分析法	15
2.3.2 相似转换法	15
2.3.3 量纲分析法	17
2.3.4 因次分析法	17
2.4 相似准则的函数理论	18
2.4.1 函数变成乘积关系	18
2.4.2 试验程序的编制	19

2.5	开采沉陷的相似准则	20
2.5.1	开采沉陷力学模型	20
2.5.2	相似准则的推导	22
2.5.3	相似准则的函数式	26
第3章	开采沉陷相似模拟试验	27
3.1	概述	27
3.2	相似材料模拟试验基础	27
3.2.1	模拟试验的相似比	27
3.2.2	相似材料选择与配制	29
3.3	相似材料试验设计	31
3.3.1	煤层及围岩条件	31
3.3.2	试验目的和内容	31
3.3.3	模型设计与制作	32
3.3.4	试验步骤	34
3.4	位移观测及结果分析	36
3.4.1	位移计算原理	36
3.4.2	观测结果分析	38
第4章	开采沉陷岩移参数综合分析	41
4.1	岩移参数及其影响因素	41
4.1.1	开采沉陷预计参数	41
4.1.2	开采沉陷角量参数	42
4.1.3	岩体的综合弹性模量	43
4.2	岩移参数的准则表达式	44
4.2.1	预计参数的准则表达式	44
4.2.2	角量参数的准则表达式	46
4.3	岩移参数的综合分析	48
4.3.1	开采沉陷预计参数	48
4.3.2	开采沉陷角量参数	55
4.4	岩移参数的经验公式	59
4.4.1	预计参数的经验公式	60
4.4.2	角量参数的经验公式	60
第5章	开采沉陷的聚类分析	61
5.1	开采沉陷的影响因素	61
5.2	模糊分类的基本概念	62
5.2.1	模糊集的定义	62

5.2.2	模糊分类关系	63
5.2.3	聚类分析步骤	63
5.3	模糊聚类分析模型	64
5.3.1	原始数据的标准化	65
5.3.2	模糊相似关系	66
5.3.3	模糊聚类分析	67
5.3.4	动态聚类分析	68
5.4	开采沉陷相似类型划分	69
5.4.1	开采沉陷相似矩阵	69
5.4.2	开采沉陷聚类分析	69
第6章	开采沉陷的模式识别	73
6.1	基准岩移参数	73
6.2	模式识别的基本概念	74
6.3	模糊模式识别模型	75
第7章	典型曲线预计方法的改进	77
7.1	基本概念	77
7.2	基于相似理论的典型曲线法	78
7.3	开采沉陷中的抽样定理	79
7.3.1	函数的抽样定理	80
7.3.2	开采沉陷中的抽样定理	80
7.3.3	地表移动观测站的合理点间距	81
7.4	典型曲线法的改进	83
7.4.1	走向主断面上的地表移动和变形	83
7.4.2	倾向主断面上的地表移动和变形	84
7.4.3	计算实例	85
第8章	开采沉陷工程计算实例	87
8.1	预计参数求取实例	87
8.2	万年矿北三采区开采沉陷预计	89
8.2.1	采区概况	89
8.2.2	确定预计参数	89
8.2.3	地表移动和变形预计	91
8.3	荆各庄矿建筑物下开采沉陷预计	94
8.3.1	采区概况	94
8.3.2	确定预计参数	95
8.3.3	地表移动和变形预计	97

第 9 章 主要结论	103
主要参考文献	104
附表 1 地表移动观测站标准化值	108

第 1 章 绪 论

开采沉陷是由于地下矿物被采出后,岩层和地表产生连续的移动变形和非连续的破坏等现象,如移动盆地、岩体冒落和断裂等。开采沉陷破坏矿区环境,造成地表建筑物(如房屋、铁路、桥梁、高速公路等)的损坏,由此还会引发一系列的环境灾害问题。我国煤炭资源分布广泛,建筑物下、水体下、铁路下(以下简称为“三下”)压煤量大。据不完全统计,我国生产矿井“三下”压煤量达 140 亿 t,其中建筑物下压煤 87.6 亿 t,特别是我国中东部地区,煤炭资源正在逐步枯竭,剩余储量 50%以上属于“三下”压煤。因此,研究开采沉陷理论以及“三下”压煤开采方法已成为煤炭科技人员面临的重要课题。

1.1 开采沉陷研究现状综述

开采沉陷的研究涉及地质、采矿、土建、岩石力学和计算机应用等学科。随着相关学科发展,我国开采沉陷在机理研究、预计理论与方法、实验室模拟以及数据处理等方面也取得了长足的进展。开采沉陷岩移参数的求取由最初的几何方法发展为全剖面的曲线拟合法和全盆地的曲面拟合法。在机理和规律研究方面较普遍地采用物理模拟和计算机数值模拟与实地监测相结合的综合研究方法。此外,还相继开发出了开采沉陷数据库、实测数据求参、地表移动预计等应用软件和综合性的系统软件,以及供过程分析用的专家系统。

1.1.1 开采沉陷的预计

开采沉陷研究的核心是岩层与地表移动和变形的预计。20 世纪 60 年代以来相继提出了典型曲线法、剖面函数法和概率积分法等开采沉陷预计方法。这些预计方法大致可以分为三类:

(1) 经验方法:在特定的地质采矿条件下,通过对大量实测资料总结和分析,得出地表移动和变形与地质采矿条件的关系,确定各种函数形式(解析公式、曲线或表格)和预计参数的经验公式。有些学者称这些方法为“唯象法”。经验方法主要有典型曲线法、剖面函数法和威布尔分布法等。

(2) 影响函数法:它是介于经验方法和理论模型方法之间的一种比较有效的预计方法。其实质是根据理论研究或其他方法确定微小单元开采对岩层或地表的影响(以影响函数表示),把整个开采对岩层和地表的影响看作采区内所有微小单

元开采影响的总和,并据此计算整个开采引起岩层和地表沉陷。目前,此法所用的预计参数常根据实测资料求定。

影响函数法主要有概率积分法、布德雷克-克诺特法和柯赫曼斯基法。其中,以离散随机介质理论为基础的概率积分法是影响函数法的一种,首先由波兰学者 Litwiniszyn 提出,我国学者刘宝琛、廖国华将这一理论进一步改进、系统和完善。

概率积分法具有一定的理论基础,预计参数完全可以通过实测资料求得,且对一个矿区参数相对稳定,参数变化遵循一定的规律。同时概率积分法可适用于任意形状工作面、地表任意点的移动和变形预计,使用方便,适应性强,预计精度高,因此在我国得到了广泛应用,成为我国当前主导的预计方法。

(3) 理论模型方法:它是把岩体抽象为某个数学的、力学的或数学-力学的理论模型,按照这个模型计算出受开采影响岩体产生的移动变形和应力的分布情况。该法所用的理论模型分两种:连续介质模型和非连续介质模型。连续介质模型认为岩层和地表是一种连续的、无间断的一种固体,按力学方法进行求解,公式比较复杂,所用的参数常用实验室试验或理论推导求得,一般与现场实测资料没有直接关系,难以确定,至今没得到广泛的应用。理论模型方法主要有有限元法、边界元法和离散元法等。

1.1.2 岩移参数的确定

开采沉陷研究的难点是岩层与地表移动的角度参数和预计参数的确定。地表与岩层移动是一个十分复杂的过程,是许多地质采矿因素综合影响的结果。由于具体地质采矿条件的差异,目前,大多数矿区仍然是直接采用工程类比或经验公式确定岩层与地表移动的角度参数和预计参数。

认识岩层与地表移动这一复杂过程,目前的主要方法是实地观测。20世纪50年代初,我国开始了由于地下采矿引起地表沉陷的监测工作,至今已积累了上千条观测线的监测资料。峰峰、平顶山、枣庄、鹤壁、淮北等矿区均对本区的监测资料进行了综合分析,获得了本区的开采沉陷规律和岩移参数;东北各矿区还以300多条观测线的监测资料为基础进行了大范围、大规模的综合研究与分析。以大量实际监测资料为基础的研究工作及其成果是我国在本学科领域发展中的一大特色,它丰富了人们对开采沉陷一般规律和地区性规律的认识,为解决“三下”开采技术问题提供了可靠的技术依据,并有效地促进了开采沉陷学科的发展。

目前,随着地下煤炭资源的开采,大多数矿区已进入“三下”开采,由于地面建(构)筑物分布的影响或者其他客观原因,有些矿区无法建立完整的地表移动观测线,或者虽建立了地表移动观测站,但是在观测过程中常常由于观测周期过长、出现测点丢失等现象,导致本矿区地表观测站工作常常半途而废。因此,利用实测资料来求取岩移参数就会越来越困难。

再者,地表移动参数与地质采矿条件之间的映射关系是非线性的、复杂的,从较少的观测资料进行回归分析,不可能从本质上确定地表移动参数与地质采矿条件之间的关系,而且不同矿区分析得出的地表移动参数不一样,没有实质性和可靠性的规律可循,从而影响了开采沉陷岩移参数使用的广泛性和准确性,这便给地表移动参数的确定工作带来了相当大的难度。

实践表明,一个区域的开采沉陷规律也许会与另一个区域的开采沉陷规律相似,它们可能会存在于同一个相似系统中。由此可知,在大量的观测站之间可能只存在几类相似的现象群。因此,将相似理论用于开采沉陷相关问题的研究,对提高开采沉陷的预计精度,促进开采沉陷理论与技术的应用和发展具有重要的理论与现实意义。

1.2 相似理论的研究现状综述

1.2.1 相似理论的起源

相似理论是说明自然界和工程中各相似现象相似原理的学说。它是研究自然现象中个性与共性,或特殊与一般的关系以及内部矛盾与外部条件之间的关系的理论。

相似理论起源于17世纪,从17世纪到19世纪它随着生产的需要、相关学科的发展而迅速发展起。早在1606~1620年,俄国学者米哈依洛夫应用相似的一些见解来计算大炮口径和炮弹射程之间的关系,得到了正确的结果。到1686年,牛顿在他的著作 *Principia* 一书中,科学地讨论了流体运动的相似,并且确定了两个力学系统相似的相似准数,即牛顿准数。1848年,法国科学院院士别尔特兰以力学方程式的分析为基础,首先提出了力学中的相似第一定理,即关于相似不变量存在的定理。1882年法国的傅里叶提出了物理方程必须是齐次的。20世纪前半叶的相似理论主要是结合模型试验而发展起来的,而模型相似的理论基础和方法手段之一就是因次分析。1914年美国学者布金罕姆(Buckingham)把因次分析理论推广于一般工程界,建立了相似第二定理或 π 定理。1930年,苏联的基尔皮契夫(Кирпичев)完成了相似第三定理,即确定物理现象成为相似必要和充分条件的定理,并于1933年出版了其著名《相似原理》一书,至此,相似理论趋于完善和成熟。

1.2.2 相似理论的应用与发展

相似理论主要用于模型试验之中。其从一般实验到相似模型实验是一个飞跃,并普及到各个门类的产业和工程中,尤其是造船、航空、机械、水利、化工、建筑、热工、电工等方面。从17世纪起,模型的制作和利用在欧洲得到了加速发展,同时模型技术本身也产生了质的飞跃,即由从前的主要考虑几何相似发展为研究模型和

原型间内在规律的相似。特别是从 19 世纪中叶到 20 世纪 30 年代,相似三定理的先后被导出且得到证明,至此相似理论形成了较完整的理论体系,以相似理论为基础的相似模拟试验技术也逐步成为一种有效的工程研究方法。

1882 年从法国傅里叶同类物理体系的模型试验到异类物理体系的模拟试验,进一步发展到更普遍化的模拟式计算机,再到计算机仿真。随着相似理论的不断应用,形成了相似工程学,即运用相似理论的研究成果,处理一切与系统相似性有关的科学实践和工程技术问题。

目前工程中常用的是物理模拟和数值模拟。物理模拟是指同类物理现象的模型和原型间的模拟,其中相似材料模型试验是物理模拟方法的重要内容。数值模拟是依据研究对象遵循的数学表达式,利用电子计算机来实现的模拟方法。计算机的快速发展为物理模拟技术中的参数量测、数据采集、试验结果的模化分析等提供了更快速、更可靠的手段,从而扩大了物理模拟技术的应用范围,提高了研究结果的可靠度。另外,数值模拟中许多参数需要物理模拟试验提供,而且数值模拟的结论也常常需要用相似模拟试验结果进行对比或验证。

1.2.3 相似理论在开采沉陷中的应用

矿山岩体是一种属性极其复杂的介质,煤矿开采引起的岩层与地表移动是一个极其复杂的力学过程。在开采影响下,岩体中的不同部分中可能同时发生着不同性质的变形现象,如弹性变形、不可逆的塑性变形和流变,以及破坏、断裂、离层等过程。这一过程具有不可视和不可触特性,并为理论研究和实际监测带来了极大的困难。所以,对这一复杂过程的理论计算在很多情况下是极为困难的,有时不能用分析的方法来解决。而在矿山真实条件下研究,不仅工作量极大,而且费用高、周期长,有时往往需要多次反复试验单个因素对各参数的影响,这在现场条件下是难以实现的。因此,在实验室通过相似模型试验来再现开采过程,已成为人们研究开采沉陷的机理和岩体移动规律的一种重要途径。

开采沉陷的模拟研究方法,是把岩体抽象、简化为某种理论的或物理的模型,对模型中的煤层模拟实际情况进行“开采”,通过修改理论模型或观测物理模型中岩体与地表移动变形,来研究开采沉陷规律或解决与开采沉陷有关的实际工程问题的一种方法。

早在 1937~1939 年苏联的巴塔诺夫和库兹聂佐夫采用相似材料模型方法研究岩层和地表移动问题,为发展相似模拟试验方法打下了基础。第二次世界大战后,这种方法得到广泛应用和发展,成为一种岩层移动室内研究的重要手段。在模拟研究时,可针对其研究目的,突出主要参数的影响作用,为解决具体的工程实际问题提供主要依据,并在此基础上,结合理论与实测参数来研究岩层与地表移动变形机理和规律。

相似理论在开采沉陷方面主要用于相似材料模拟试验之中。其实质是:根据相似原理,将矿山岩层以一定比例缩小,用相似材料制成模型;然后在模型中模拟煤层开采,观测模型上岩体的移动和破坏情况,根据模型上出现的情况,分析、推测实地开采区的岩层和地表移动。与开采沉陷的实测研究方法相比,模拟研究方法有以下优点:

(1) 在实际开采中,地质条件是固定不变的,而在模拟研究中,可以根据需要对某个地质条件多次进行变换,从而研究这个地质条件与开采沉陷之间的关系。例如,可以运用几个煤层倾角不同而其他条件均相同的模型,以研究煤层倾角对开采沉陷的影响。这在开采沉陷规律的研究中是十分有用的。

(2) 实际开采沉陷只在特定的时间内发生,若不能在此时间内及时观测到实际开采的沉陷数据,此数据将无法在事后补测,即此开采的实测资料将永远无法再得到了。在模拟研究中,开采沉陷的模拟时间可以人为控制,可以重复进行,这就不会发生“漏测”实测资料的现象。

(3) 运用实测研究方法在野外测量时,恶劣的天气条件(如严寒、酷暑、风、雪、雨、雾等)常使地面实测工作十分艰难,甚至无法进行;陡峭的山区常使测量工作非常困难,积雪覆盖观测站、塌陷区积水淹没测点、施测过程观测点的丢失常常导致实测工作半途而废;井巷内和钻孔内实测空间狭小、施测困难。而在室内进行相似模拟研究,可以避免这些不利的影晌。

(4) 用实测方法研究开采沉陷时,对一个尚未进行的开采可能产生的沉陷只能根据具有类似地质采矿条件的实测资料求得的公式和参数进行预计,而实际开采与预计开采的地质采矿条件常常有一定的差别,这就使没有实测资料矿区开采沉陷预计的可靠性有所降低。在模拟研究中,可以在开采前按照此开采的地质采矿条件预先进行模拟,从而得出此开采的特有的移动、变形和破坏分布规律,研究的针对性强。

但是,与实测研究方法相比,相似材料模拟研究方法也有以下缺点:

(1) 岩体是一种非常复杂的介质,它不但是各向异性的和不均质的,还被各种构造面、裂隙面切割成为不连续体,还受地下水、火成岩侵入、风化等因素破坏。在模拟时,一般不可能完全模拟所有这些情况,而需要做某些简化,这就导致模拟结果与实际结果有所差别。在目前情况下,可以使模拟结果与实际情况的差异缩小到工程允许的程度。但是,在模型选择不当时,这种差异仍可能较大。

(2) 在模拟时常用到一些参数(如弹性模量、泊松比等),这些参数虽然可以用实验或经验的方法确定,但与岩体原始状态的实际值常有较大的差别,这也导致模拟结果与实际的差异。

由于模拟研究的优点,这种方法日益得到广泛的应用,而由于它的缺点,目前多用来进行开采沉陷的定性或半定量的研究,并且在进行定量研究时,常常要用其他方法进行配合和检查。

在我国,1958年中国煤岩科工集团唐山分院(唐山煤研所)所首先开展这方面的研究工作。随后,北京矿业学院(中国矿业大学前身)等一些单位相继建立了岩层移动实验室。近些年来,中国矿业大学、河南理工大学、辽宁工程技术大学等院校建立了相似材料实验室,开展了大量的岩层移动方面的室内研究。

目前,除一般地质采矿条件下的开采沉陷机理研究外,麻凤海等人利用相似材料模型研究了辽源矿务局西安煤矿立井井筒沿断层面的错位和滑移情况,袁礼明等人研究了开采沉陷的机理和预计参数确定方法,于广明等人研究了节理对开采沉陷的影响规律,戴华阳等人研究了急倾斜煤层开采地表非连续变形和山区地表移动变形的规律,吴立新等研究了条带煤柱的应力分布,李鸿昌等人还开展了冒落带和导水裂隙带高度的相似模拟研究。

1.3 研究的内容和方法

1.3.1 研究的内容

- (1) 开采沉陷的相似判据。
- (2) 开采沉陷相似材料模拟试验。
- (3) 开采沉陷岩移参数的综合分析。
- (4) 开采沉陷模式相似类型的分类。
- (5) 开采沉陷的模式识别。
- (6) 典型曲线预计方法的改进。

1.3.2 研究方法

建立地下开采的工程岩体力学模型,根据相似理论得出开采沉陷相似的充要条件,即开采沉陷现象相似的关系方程和单值量条件,并给出开采沉陷的相似常数和相似判据。根据开采沉陷的相似理论,用相似材料把采动岩体抽象、简化为一种物理的模型,对模型中的煤层模拟实际情况进行“开采”,通过物理模型观测,研究与开采沉陷规律与参数有关的实际工程问题。根据开采沉陷的相似判据,忽略次要影响因素,给出开采沉陷相似类型划分方法,以实际资料为基础,应用模糊聚类分析方法,划分出全国的开采沉陷相似类型。研究得出开采沉陷相似类型之间岩移参数的转换关系,并以实测资料为基础,给出开采沉陷相似类型的基准岩移参数。根据开采沉陷的相似准则,应用模糊模式识别,给出矿区开采沉陷岩移参数的确定方法。利用相似理论和数理统计中的抽样定理对典型曲线预计方法进行改进,建立地表移动和变形预计的连续曲线,提高了典型曲线预计方法的精确度和实用性。将开采沉陷的相似理论应用于工程实践,检验和完善了研究成果。

第 2 章 开采沉陷的相似判据

2.1 相似现象概述

自然界中各事物是在不断运动和变化的,它们变化过程的物理本质也可能有所不同,其中物理本质相同的物理现象群称为同类现象,即同类现象不仅现象的性质相同,且还能用同样形式和同样内容的方程式来描述,如不同的流体在不同管径的管道(不同边界条件)中流动就属同类现象。同类现象中的不同状态之间,在空间上相对应的各点、在时间上相对应的瞬间,以及表征现象特性的同类物理量各自成比例常数,则此两现象相似。由此可知,同类现象并不一定相似,而是指“在空间上相对应的各点、在时间上相对应的瞬间且表征现象特性的同类物理量各自成比例常数”的两个同类现象才相似。

相似理论是研究自然现象中个性与共性或特殊与一般之间关系的理论。它是从描述自然现象所应服从的客观规律的数理方程及其定解条件,即从现象发生和发展的内在规律性和外部条件出发,并以这些数理方程所固有的量纲上的齐次性以及数理方程的正确性不受测量单位选择的影响等大前提为基础,通过线形变换等数学演绎的手段而得出相关结论。所以,相似理论以极其广泛的自然现象作为研究对象,同时,它又有广泛的应用学科范围。现根据现象相似的定义,从下列几方面对相似现象进行较深入的阐述。

2.1.1 两现象相似比

描述两现象相似的物理量(如速度、温度、应力、压强等)各自互成一定的比例关系,该比值为相应物理量的“相似比”。相似比又称为“相似系数”、“相似常数”或“相似倍数”,常见的有如下几种。

1. 几何相似

两图形几何相似是指两图形的对应角相等,对应的边成一定的比例关系。几何相似比 C_l 为

$$C_l = \frac{l_1}{l'_1} = \frac{l_2}{l'_2} = \frac{l_3}{l'_3} \quad (2.1)$$

2. 时间相似

时间相似是指对应时间间隔成比例,时间相似比 C_t 为

$$C_t = \frac{t_1}{t'_1} = \frac{t_2}{t'_2} = \frac{t_3}{t'_3} \quad (2.2)$$

3. 力相似

力相似是指力场的相似,表现为所有对应点上的作用力具有相同的方向,其大小相应地成比例。力相似比 C_F 为

$$C_F = \frac{F_1}{F'_1} = \frac{F_2}{F'_2} = \frac{F_3}{F'_3} \quad (2.3)$$

4. 速度相似

速度相似是指速度场的相似,表现为各对应点、对应时间上的速度向量方向一致,而大小成比例。 C_v 为

$$C_v = \frac{v_1}{v'_1} = \frac{v_2}{v'_2} = \frac{v_3}{v'_3} \quad (2.4)$$

相似的现象具有以下性质:

(1) 相似现象必属于同一类现象,其现象的性质相同,服从于同一自然规律。因此,它们都为完全相同的方程组或函数关系所描述。

(2) 表征相似现象的一切同名参量在空间中相对应的各点及在时间上相对应的各瞬间,各自互成一定的比例关系,即具有各自的相似比。

(3) 相似现象必然发生在几何相似的对象中。

(4) 由于相似现象的一切表征量各自互成比例,而由这些量所组成的方程组又是相同的,各量的相似比数值存在着相互的约束。

2.1.2 相似指标与相似准则

相似现象诸对应表征量间具有各自的相似比,而相似指标给出了这些相似比取值的相互约束关系。例如,两物体的运动过程相似,实际上是系统的特征相似,其运动方程式分别为

$$v_1 = \frac{dl_1}{dt_1} \quad v_2 = \frac{dl_2}{dt_2} \quad (2.5)$$

系统相似特征速度 v , 路程 l 和时间 t 均相似,并获取相似特征值,相似比为 C_v 、 C_l 、 C_t 。设第一和第二个质点对应的特征值分别为 v_1 、 l_1 、 t_1 和 v_2 、 l_2 、 t_2 , 它们之间的关系为

$$v_2 = C_v v_1 \quad l_2 = C_l l_1 \quad t_2 = C_t t_1 \quad (2.6)$$