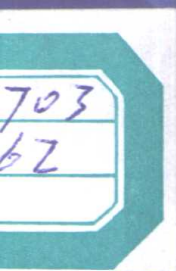


ENGINEERING GEOLOGICAL STUDY
ON SOIL MASS DEFORMATION DURING SUBSIDENCE

开采沉陷土体变形 工程地质研究

隋旺华 著
Sui Wanghua



中国矿业大学出版社

CHINA UNIVERSITY OF MINING & TECHNOLOGY PRESS

16.1103
7452

开采沉陷土体变形工程地质研究

Engineering Geological Study on Soil Mass Deformation During Subsidence

隋旺华 著

Sui Wanghua

067352

中国矿业大学出版社

China University of Mining & Technology Press

067352

内 容 提 要

本书是作者近十年来运用煤矿工程地质学的基本理论和方法研究开采沉陷土体变形机理及其预测的系统总结。作者在实测资料分析的基础上,采用离心模型试验、高压固结实验、三轴剪切实验、工程地质分析和数值模拟等手段,研究了深厚土体在采动影响下土体变形和孔隙水压力相互作用的机理以及超静孔隙水压力和土体变形随开采和时间的变化规律,分析了各种工程地质因素对土体变形的影响。作为提出的工程地质系统预测方法的实例,对兖州矿区某矿厚松散层下厚煤层开采沉陷土体变形进行了预测和实测。本书的观点和结论对于进一步建立反映土体内部变形机理的预测方法、评价水体下开采的可靠性和确定符合可持续发展模式的开采沉陷控制与治理方案,具有重要的理论意义和实用价值。

本书可供从事煤矿工程地质学、环境工程地质学、开采沉陷学的教学、科研人员以及煤矿勘探、设计、开采和矿区塌陷治理方面的工程技术人员参考,也可作为相关专业的本科生和研究生的教学参考书。

责任编辑 宋党育

责任校对 周俊平

图书在版编目(CIP)数据

开采沉陷土体变形工程地质研究/隋旺华著. —徐州:
中国矿业大学出版社,1999.10
ISBN 7-81070-111-8

I.开… I.隋… Ⅲ.①矿山开采-土体-变形-矿山地质-研究②矿山开采-土体-变形实验③矿山开采-土体-变形观测 IV.TD164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 40610 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 8.75 字数 210 千字

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 36.80 元

序 一

矿山开采引起的岩土体变形是一项重要的工程地质作用过程,体现了人类工程活动的环境效应。岩土体变形的结果往往引起地面沉降,造成地面环境的改变,包括建筑物开裂破坏、道路破坏、积水、农田损坏等等工程问题和矿区人民生活环境的恶化。本书的研究正是解决这一重要环境工程地质问题的科学基础。

本书针对矿区采动后地质结构特性的变化、水土相互作用与开采沉陷土体变形的关系等关键问题,进行了系统深入的研究,提出了开采岩层移动工程地质研究的理论和方法,拓宽了工程地质的研究领域,并向采矿工程跨进,因而有较大的理论意义和实用价值。

本书的研究注意了采动引起土体内应力、变形、位移、渗流和固结规律性,阐述了开采条件下的水土耦合机理,从而对覆盖土层的变形、破坏以及厚含水松散层下煤层开采的防水煤柱等问题提出了创新性的看法。

在即将进入 21 世纪的今天,采矿工程要实施可持续发展的战略,不仅要开发资源还要保护资源和保护环境,因而工程地质研究不仅要和工程、采矿科学有更好的结合,而且应发展保护和利用自然环境的科学思路和技术手段。本书无疑在这些重要的问题上是有前进的。

我预祝作者在工程地质研究中取得更大的成绩,为增进工程地质学在国民经济可持续发展中的作用而作出新的贡献。

王思敬

1999 年 10 月 18 日

序 二

在这世纪之交,煤炭工业正面临着能源市场的激烈竞争和环境日趋恶化的巨大挑战,要解决好煤炭工业可持续发展及其与生态环境的协调关系,煤炭科技的进步是关键性因素。有关煤矿厚含水松散层下开采沉陷问题的研究已成为十分突出和迫切需要解决的课题。较长时期以来,国内外对开采沉陷产生的机理、规律和预测尚未能进行深入的研究,忽视了开采沉陷过程厚含水松散层土体产生的水土耦合作用普遍性机理,虽然有些作者根据开采地表移动变形的观测资料,试图把厚含水松散层视为均质化、理想化的各种数学模式来进行研究,但因缺乏实际开采岩(土)层的工程地质和水文地质条件分析及各岩(土)层的物理力学性质数据,故难以探索这一普遍性机理的真谛。

本书著者系统总结了十余年来在开采沉陷土体变形工程地质研究方面的科研成果,在煤矿工程地质和水文地质勘探研究基础上,获得了开采覆岩层和厚含水松散土层的地质资料,各岩(土)层的大量物理力学性质数据及抽水试验参数,采用离心模型试验、数值模拟等方法,揭示了开采沉陷厚含水松散土层内部的应力、变形、位移、超静孔隙水压力消散与固结的水土相互作用机理,超静孔隙水压力和土体变形随开采和时间的变化规律。它开拓了国内外开采沉陷研究中崭新的学科领域,这对推动煤矿工程地质学、开采沉陷学、土力学和环境工程地质学等学科的发展;研究煤矿既能合理地采出煤炭资源,又可解决开采塌陷区的环境、建筑物、农田等的保护与综合治理问题,有着重要的理论意义和实用价值。

著者有坚实的理论基础和丰富的科研实践经验,使本书在科学性、先进性和系统性方面做到了较完美的结合。本书具有以下特色:① 论述了深厚土层的物理力学特性、共生组合、工程地质特征和水文地质结构,这是开采沉陷土体变形工程地质研究的物质基础;② 大型离心模型试验证实了开采沉陷水土相互作用机理的存在,并阐明了开采沉陷土体超静孔隙水压力消散、膨胀、主固结与次固结的空间和时间关系的变化规律性,建立了开采沉陷研究的新途径和方法;③ 专题研究了深层土体的力学性质,通过高压固结实验、三轴剪切实验表明深层土体的固结、次固结与孔隙压力的变化特性,从而对开采沉陷土体变形研究增加了新的认识;④ 对开采沉陷深厚土体进行了弹塑性有限元分析,展示了土体内应力变形规律,强调了土体内应力变化路径在开采土体变形计算中的重要

• ■ •

性;⑤ 引入了开采沉陷水土耦合作用的数值模型,研究了深厚土体应力变形特性、超静孔隙水压力消散与主固结、次固结随开采变化的规律以及地下水位变动对土体变形的影响,这是开采沉陷研究另一新的理论途径和方法;⑥ 以横河煤矿为例,论述了厚含水松散层下开采沉陷土体变形工程地质预测新方法。

本书著者隋旺华副教授、硕士生导师,现任中国矿业大学资源与环境科学学院副院长,1984年毕业于中国矿业学院水文地质与工程地质专业并获学士学位,此后相继获煤矿工程地质学科硕士、博士学位。作者长期从事煤矿工程地质、岩土工程、煤矿水文地质及灾害地质等方面的教学和科研工作,1994年评为中国矿业大学优秀青年骨干教师,1997年入选江苏省“333工程”第三层次培养对象,1998年被授予“江苏省优秀青年骨干教师”称号。著者对学术研究精益求精,学风严谨,造诣较深,曾主编规划教材《工程地质学计算》,合作出版专著《开采岩层移动工程地质研究》和《临汾地裂缝的成因及发育环境研究》,科研成果曾荣获省级科技进步二三等奖两项,并在国内外发表论文30余篇。

著者为撰写本书化费了大量精力和积累了多年悉心研究的成果,这是一部高水平的专著,很有参考价值,特此向广大读者推荐,将会使你获益匪浅,更可从著作的科研思路和方法中得到启迪。

狄乾生

1999年10月8日

前 言

自然环境是人类生存、繁衍的物质基础,保护和改善自然环境是人类自身生存和发展的前提。人类为了生存和发展,不断地向大自然索取着资源,并对环境造成可恢复性的或永久性的破坏。

煤炭是我国的主要能源,煤炭资源的高强度开采为我国的国民经济建设提供了源源不断的动力和原料,同时也造成了十分严重的环境灾害,如大气污染、水污染、温室效应、酸雨、地面塌陷等等。

开采引起的地面塌陷使矿区的生态环境恶化,造成耕地被破坏、建筑物和道路的损毁,许多矿区已是满目疮痍。更为严重的是由此引起的地貌改造和地质作用过程造成的环境问题将影响到子孙后代。

煤炭资源的生产面临着经济发展和环境保护的双重压力,人们在这种矛盾的境地中进退两难。国家科教兴国战略和可持续发展战略的实施,为人类运用科学技术同自然环境协调,建设良好的生存环境提供了发展思路和契机。如何协调煤炭资源开采与环境保护的关系、促进经济社会可持续发展,是摆在科技工作者和生产决策者面前的一项艰巨的任务。为此,必须正确预测煤层开采引起的地面沉降灾害造成的影响,这就需要研究地面沉陷发生的规律、机理和预测方法。

本书系统地总结了作者运用煤矿工程地质学的基本理论和方法研究厚松散土体开采沉陷变形机理及预测的主要成果。

作者开始涉足开采沉陷与工程地质相结合的研究工作,始于1985年,在沈文和狄乾生两位教授指导下完成了硕士学位论文《浅部采空区上岩体工程稳定性评价》。当时,厚松散层地区开采沉陷规律及机理研究已逐渐成为开采沉陷学研究的热点之一。1985年至1991年已有十几位硕士和博士生的论文对此问题从多个方面进行了研究,但是,由于对厚松散层本身的工程地质、水文地质特性研究不足,使研究问题的针对性和实用性受到了很大限制。1991年至1992年作者在导师何锡麟、沈文、狄乾生三位教授指导下完成了博士学位论文《煤层开采沉陷土体变形机理及预测》,从多学科综合的角度,以厚松散层工程地质特性研究和机理研究为切入点,提出并验证了开采沉陷过程中土体变形的普遍机理,即土体变形与孔隙水压力相互作用的机理,这一机理能比较合理地解释厚松散层地区地表移动的特殊性和土体变形规律;在此基础上建立了工程地质勘探预计方法,并获得实际验证。这是本书的雏形。在此期间得到张倬元教授、马伟民教授、何国清教授、刘天泉院士、钱鸣高院士、沈珠江院士、张杰坤教授、许学汉教授、李白英教授、沈光寒教授、郑世书教授、于双忠教授、周国铨教授级高工、虞万波高工、王柏荣高工等的指导和帮助。在之后的五六年时间里,作者又通过参加多项相关的科研项目,不断研究而充实了书稿内容,几易其稿,著成此书。

全书共分八章:第一章介绍了开采沉陷土体变形工程地质研究的意义、现状,研究的方法论要点、主要内容和途径;第二章介绍了离心模型试验在开采沉陷土体变形机理研究中的应用和得出的一系列重要结论;第三章和第四章叙述了深厚土层的力学特性、结构特性、水文地质和工程地质特性,这些特性是进行开采沉陷土体变形预测和研究的物质基础;第五章采用弹塑性有限元法对开采沉陷厚松散土体的应力变形规律进行了分析;第六章引入比奥理论和剑桥模型相耦合的数值模型,分析了厚松散层孔隙水压力和变形随开采的变化规律;第七章中给出了一个预测实例;第八章为主要结论和讨论。

在本书的写作和先期研究中,除得到上述前辈的指导和帮助外,还得到许多教授、专家的指点 and 帮助。长江科学院土工所和结构所为离心模型试验提供了试验设备,包承纲、冯光愈、饶锡保、朱朝峰、单人千、王慧华等给予了大力帮助。中国科学院力学所,中国矿业大学矿压实验室、土工实验室、露天实验室、分析测试中心的张少华、关明亮、吕炳琪、伊素华、周东来、张改玲、李树华等老师在室内实验方面给予大力支持。中国矿业大学计算中心侯效礼同志在数值模拟方面给予了热情指导。作者还承蒙中国矿业大学邓喀中、刘叶杰、汪云甲、郭广礼、孙智、李文平、姜振泉、马金荣等提供了许多有价值的资料,李义昌教授、韩宝平教授、许惠德教授等在相关课题研究中也给予了大量帮助。在野外工作中得到中国煤田地质局 119 地质队、江苏煤田勘探三队、兖州矿业集团地质工程公司、济宁市太平煤矿、兖州市杨庄煤矿、邹城市横河煤矿等单位的领导和技术人员的大力支持。在此,作者谨向以上单位和个人表示衷心的感谢!

特别感谢中国工程院院士、中国科学院地质研究所王思敬教授和中国矿业大学狄乾生教授在研究中给予的精心指导,又欣然为本书作序,作者只能以加倍的努力来报答前辈的厚爱。

作 者

1999 年 7 月于徐州

ABSTRACT

The surface subsidence due to coal mining is one of the exogenic geologic hazards developing in coalmines. There are more and more contradictions between mining and environmental protection in the coal-fields of East China, North China and Northwest China, which are generally located in populous and flourishing cities and nearby regions. In order to correctly predict the subsidence hazards induced by mining and take comprehensive measures to handling the relationship between resources exploitation and environmental protection, it is necessary to study the mechanism, regulation and calculation method of subsidence. The measurements on subsidence in some coalmines covered by thick soil layers indicate that the ground surface movement and deformation usually show some special phenomena in China in recent years. For example, subsidence factor is on the high side or even larger than 1.0, i. e. the maximum subsidence can be near to or larger than the shear height. The range of subsidence can expand to a large scale. Horizontal movements can be larger than vertical movements in the boundary of subsidence basin. Angle of maximum subsidence is near to 90° . Subsidence is violent and concentrating during active period. Moreover, subsidence can last for longer time etc. These special phenomena pose us a new research task and make us have to reconsider the function of soil mass deformation in the process of mining subsidence and to study its mechanism and prediction methods.

On the basis of analysis of measurements and research works of predecessors, the universal mechanism of soil mass deformation, i. e. water-soil-coupled action mechanism during mining subsidence is put forward in this book by means of centrifuge test, high pressure consolidometer test, engineering geological analysis and numerical simulation and so on. As an example of engineering geological systematic prospecting and prediction method, soil mass deformation due to thick coal seam mining in a coalmine, Yanzhou mining area is predicted. The main achievements in scientific research in this volume are as follows:

(1) In the process of mining subsidence, the coupled action exist among seepage flow field, stress field, fractured field and deformation field. It can be expressed as the interaction of deformation field and seepage field in soil mass deformation during subsidence, i. e. water-soil-coupled action. The reason for water-soil-coupled action is the development of internal strain of soil mass during mining subsidence. The external display of the coupled action is the production of excess pore pressure and its dissipation in pace with mining and

time. The reconsolidation and expansion are all concerned with time. The variation of stress field in soil mass also causes the rheologic deformation (secondary consolidation deformation).

(2) The centrifuge model tests emphasize the variation of water pore pressure occurs in soil mass and its effect on soil mass deformation should not be ignored. The centrifuge tests also show that the pore pressure in soil layers above the mined-out area has a decline of short duration at first. Then, along with the development of deformation the pore pressure rises again and produces positive excess hydrostatic pressure. The pore pressure in the central and lower layers above coal pillars is positive also. The excess pore pressure in central and upper layer above the goaf is increased by a factor of 15%~20% of the geostatic pressure at the said point. The excess pore pressure in central and lower layers above the coal pillars is increased by 15% of geostatic pressure. The excess pore pressure in the lower layers above the goaf and the upper layers above the pillars are relative small. During the initial stage of mining the excess pore pressure is negative and produces some expansive deformation. In the condition of the no-drainage of sand layers, the deformation of soil mass is the comprehensive results of the reconsolidating and the expansive deformation.

(3) The centrifuge tests indicate that the deformation process of soil mass during mining subsidence can be divided into movement-consolidation process, reconsolidation and secondary consolidation process.

(4) The analysis of stress and strain of thick unconsolidated layers during mining progress subsidence shows that the stress path of soil mass varies with the mining and the relative location to mined-out area.

(5) The high pressure consolidometer tests and triaxial shear tests for the soil samples collected from thick unconsolidated layers show that the behaviors of consolidation and secondary consolidation are different from those of shallow soil layers. The secondary consolidation index varies directly as the pressure in high value; the coefficient of consolidation varies inversely as the pressure. The increment and duration of pressure influences the rebound and compressive deformation. In the stage of secondary consolidation, after the unloading of incremental pressure, the residential deformation is small and is tending towards compressive deformation alternatively. This conveys to us that the subsided deformation is difficult to reconstitute the initial state even though the decompression of incremental pressure.

(6) The structure of soil mass and hydrogeological and engineering geological properties are the fundamental for the study on deformation mechanism of soil mass during mining subsidence.

(7) Based on the mechanism of soil mass deformation during subsidence, a numerical

model involving the coupled action of soil and water is set up. The coupled model of Cambridge model and Biot's theory is introduced to the subsidence-induced deformation calculation of soil mass. The influence of the properties of soil mass and the variations of underground water level on soil mass deformation is studied with numerical simulation. The deformation characteristics of thick unconsolidated soil layers with different structure are classified and described.

(8) The prediction method based on engineering geological prospecting is suitable to the subsidence prediction for new mining areas or the mines where no preliminary subsidence research conducted. As an example, the method is applied to the soil mass deformation due to the mining of thick coal seams at a coalmine in Yanzhou mining area and the prediction results have been confirmed preliminarily.

目 录

序一	王思敬
序二	狄乾生
前 言	V
第一章 绪 论.....	1
第一节 开采沉陷土体变形工程地质研究的意义及现状.....	1
第二节 研究的方法论要点	10
第三节 研究的内容和途径	12
第二章 开采沉陷土体变形机理的离心模型试验研究	14
第一节 离心模型试验概述	14
第二节 离心模型试验相似性	16
第三节 试验仪器及测试技术	21
第四节 试验断面和试验步骤	26
第五节 模型土固结过程分析	29
第六节 沉陷土体中孔隙水压力的变化	31
第七节 开采沉陷土体位移变形分析	32
第八节 小 结	39
第三章 深厚土层的力学性质	41
第一节 固结与次固结特性	41
第二节 抗剪强度及孔隙水压力变化	48
第四章 矿区厚松散层结构及水文地质工程地质特征	57
第一节 厚松散层土体结构特征	57
第二节 厚松散层工程地质特征	61
第三节 厚松散层水文地质特征及其采动效应	66
第五章 开采沉陷厚松散土体应力变形分析	73

第一节	采动岩土体中的应力分布	73
第二节	煤层开采时的土体应力路径	75
第三节	开采沉陷土体单元的变形	79
第四节	讨 论	80
第六章	开采沉陷厚松散层孔隙水压力及变形分析	81
第一节	原理和方法	81
第二节	开采沉陷土体中孔隙水压力分布	85
第三节	影响沉陷土体中孔隙水压力分布的因素	89
第四节	土体结构对土体中孔隙水压力分布与沉降的影响	91
第五节	底部含水层水位下降对超静孔隙水压力及地面下沉的影响	95
第六节	小 结	98
第七章	开采沉陷厚松散土体变形预测——以兖州矿区横河煤矿为例	99
第一节	工程地质勘探与预计方法概述	99
第二节	兖州横河煤矿先期采区岩土体变形预测	100
第八章	总结与讨论	113
参考文献		115
图版说明		120

CONTENTS

Preface 1	Wang Sijing
Preface 2	Di Qiansheng
Foreword	V
Chapter 1 Introduction	1
1.1 The significance and the present research of soil mass deformation due to mining	1
1.2 The main points of methodology	10
1.3 The contents and approaches to the research	12
Chapter 2 Centrifuge model test on the mechanism of soil mass deformation due to mining subsidence	14
2.1 Some aspects of centrifuge model test	14
2.2 Similarity of centrifuge model test	16
2.3 Test equipment and measurement techniques	21
2.4 Scheme of model, test procedure	26
2.5 Consolidation of model soils	29
2.6 Variation of pore water pressure in soil mass during subsidence	31
2.7 Movement and deformation analysis of soil mass during subsidence	32
2.8 Summary	39
Chapter 3 Mechanical properties of deep soil layers	41
3.1 Consolidation and secondary consolidation	41
3.2 Shear strength and pore pressure variation	48
Chapter 4 Structure of thick soil layers and their hydrogeological and engineering geological characteristics in some coal mine areas	57
4.1 Structure of thick soil mass	57
4.2 Engineering geological characteristics of thick soil layers	61
4.3 Hydrogeological characteristics and mining effects	66

Chapter 5 Stress and strain analysis of thick soil mass during mining subsidence	73
5.1 Stress distribution in soil and rock mass due to mining	73
5.2 Stress paths in soil mass	75
5.3 Deformation of soil mass elements during subsidence	79
5.4 Discussion	80
 Chapter 6 Analysis of pore pressure and deformation of thick soil layers during mining subsidence	 81
6.1 Principle and method	81
6.2 Distribution of pore pressure in soil mass during mining	85
6.3 Factors influencing the distribution of pore pressure	89
6.4 The influence of soil mass structure on the distribution of pore pressure and surface subsidence	91
6.5 The influence of drawdown of water level on excess pore pressure and surface settlement	95
6.6 Summary	98
 Chapter 7 Prediction of thick soil mass deformation due to mining —Example for Henghe coalmine of Yanzhou coal area	 99
7.1 Engineering geological prospecting and prediction method	99
7.2 A case study of soil and rock mass deformation prediction	100
 Chapter 8 Conclusions and discussions	 113
 References	 115
 Plates and their explanation	 120

第一章 绪 论

第一节 开采沉陷土体变形工程地质研究的意义及现状

一、开采沉陷及其研究意义

地面塌陷作为一种外生地质灾害,破坏耕地,损坏地面建筑物,给工农业生产带来严重威胁,并严重影响着生态环境,产生了十分突出的社会经济矛盾。更严重的是它不仅表现为近期的经济损失与危害,由此引起地貌改造和地质作用过程造成的环境问题将影响到子孙后代,目前已成为环境工程地质学和环境岩土工程学研究的重要课题。

能源工业发展中煤炭资源开采造成的地面沉陷是一种作用集中、危害很大的地质灾害。据不完全统计,全国国有煤矿截止 1996 年底,累计塌陷总面积约为 $3.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$,仍以平均每开采万吨煤塌陷土地 0.2 hm^2 的速率递增。其中塌陷土地一半以上集中在平原地区,尤其是华东、华北等产煤地区,这些矿区大都处于人口稠密、经济发达的城市及其附近,因此,采煤和保护环境、保护建筑物的矛盾越来越突出。以兖州、滕州和两淮等地为例,1994 年全区总塌陷面积已达 $4.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$,预计至 2000 年累计塌陷面积将达到 $7.15 \times 10^4 \text{ hm}^2$,2010 年将达到 $1.333 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上。采煤塌陷对区域经济和生态环境带来了严重的负面效应。该地区的塌陷技术指标见表 1-1^[1]。

表 1-1 兖州、滕州等六矿区采煤塌陷技术指标(1994 年)^[1]

技术指标名称	济宁(兖州)矿区	肥城矿区	枣滕矿区	徐州矿区	淮北矿区	淮南矿区
探明煤炭储量/ 10^8 t	332.0	10.7	45.2	35.5	80.5	149.6
煤田面积/ km^2	3 402	96	1 016	920	6 912	11 100
原煤产量/ $10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$	1 975.4	499.3	1 586.0	1 966.87	1 986.0	1 000.0
10^4 t 煤塌陷面积/ hm^2	0.18	0.21	0.19	0.21	0.33	0.19
塌陷面积/ 10^4 hm^2	0.31	0.37	1.13	1.30	1.17	0.59
下沉系数	0.8~0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8
地面前下沉深度/m	7~10	3~5	2~6	5~9	2.78	4~7
最大下沉深度/m	9~11	8~12	9~10	10~12	5.44	8~10
塌陷速度/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$	1 466.67	133.33	55.00	666.67	666.67	562.00
至 2000 年塌陷面积/ 10^4 hm^2	1.0	0.53	1.47	1.67	1.47	1.02

资料来源:《枣庄市土地利用总体规划》、《济宁市采煤塌陷治理研究报告》、《肥城采煤塌陷现状及治理规划研究》,淮北、淮南、徐州等矿区“九五”及 2010 年发展规划等。

1994 年我国开始实施《中国 21 世纪议程》,1995 年将可持续发展写入《国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》,江泽民在党的十五大报告中又将“可持续发展战略”确定为国家发展战略。如何协调煤炭资源开发与环境保护的关系,促进经济社会可持续发展是摆在科技工作者和生产决策者面前的一项艰巨的任务。为此,必须正确地预测煤层开采引起的地面沉降灾害造成的影响,这就需要研究地面沉陷的发生规律、机理及其预测和计算方法。

我国从 1956 年开始地表移动观测研究工作,30 多年来取得了大量的实测资料,并建立了相应采矿地质条件下的地表移动变形的计算方法,为建筑物下、铁路下和水体下采煤提供了依据,并且取得了明显的经济、环境和社会效益^[2~6]。但是,由于地质采矿条件的复杂性以及以往对地质边界条件、岩土物理力学性质和岩移对比的研究很少,尽管借助于现代力学方法和计算机技术可以部分解决岩层内部移动变形方面的问题,但目前仍主要是建立半经验公式。近年来,在狄乾生教授的领导下,以工程地质理论为基础,建立了开采岩层移动工程地质研究的新途径和方法。这一方法,从工程地质和水文地质勘测入手,在仔细了解地质、工程地质、水文地质条件的基础上,建立物理模型和数值模型,研究岩土体移动变形破坏的模式、机制及规律,在解释岩层移动机理,揭示岩土层内部应力、变形和移动规律,预测覆岩破坏高度和地表沉陷方面取得了一定成果,并相继应用于煤田勘探阶段岩土层移动规律及防水煤岩柱预计、采前勘探阶段合理防水煤岩柱及地表移动预计、浅部老采空区上覆岩体稳定性评价等^[7~12]。

二、厚松散层地区开采沉陷特征

80 年代以来,在有厚松散层存在的煤矿的观测表明,地表移动变形表现出一些独特的现象,诸如下沉系数大于 1.0,地表沉陷范围扩展等,引起了许多研究者的兴趣,因为它突破了开采沉陷学科某些传统的观念^[13,14]。下面介绍的有关实测成果是本书分析研究问题的基础,资料分别来源于参考文献^[15~21]。

(一) 实测研究

1. 淮北矿区

淮北煤田为被新生界覆盖的隐伏煤田,松散层厚度在区内变化较大,从 30 m 至 350 m 不等。按含水特性,松散层可分为“四含三隔”或“三含三隔”,是复合结构类型的松散层。以冲积相、洪积相和湖积相地层为主,一般以第三隔水层厚度较大(可达 80 m)、分布稳定,塑性指数 $I_p=21\sim37.5$,为粘土,构成区域性的隔水层,阻隔了上部各含水层向第四含水层的垂向补给。有的井田第四含水层直接覆盖在含煤地层之上,与煤系砂岩含水层水力联系密切。但所谓的第四含水层并非全是砂砾层,而是以砂层与粘土层互层的形式存在的,有的甚至以粘土层为主夹砂层,渗透系数 k 最大可达 $2.0\times10^{-4}\sim2.3\times10^{-3}$ cm/s,有的只有 1.97×10^{-6} cm/s。例如,在朱仙庄矿的第四含水层即为“三元结构”,上下砂层夹 10~15 m 的粘土层,底部砂层厚 5~15 m,富水性微弱。

淮北矿区松散层的结构特点是,上部含水层和隔水层的厚度较大,较均匀,下部含水层和隔水层的厚度较薄,相间沉积,构成了透水性较好的复合结构。地表下沉特点是下沉系数大于或接近 1.0,大部分附加下沉值可在开采结束后不久完成,整个重新固结过程可持续 1~3 a。观测成果列于表 1-2 和表 1-3。