



中国矿业大学博士学位论文出版基金资助

煤层底板采动效应及其工程应用

MEICENG DIBAN CAIDONG XIAOYING JIQI GONGCHENG YINGYONG

吴基文 姜振泉 孙本魁 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

安徽省自然科学基金项目(03045403)

安徽省教育厅自然科学重点科研计划项目(2005KJ001ZD)

安徽省教育厅自然科学一般科研计划项目(2000JL214)

安徽省教育厅自然科学一般科研计划项目(2002KJ256)

安徽理工大学引进人才基金项目(2007YB43)

安徽省高校“十五”优秀人才基金

中国矿业大学博士学位论文出版基金资助

煤层底板采动效应及其工程应用

吴基文 姜振泉 孙本魁 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以岩体工程地质力学和岩体结构力学理论为指导,从基础地质研究出发,对华北煤田及淮北矿区煤系赋存特征、下组煤(6煤)底板岩层组合条件、底板突水案例进行了系统分析,建立了底板岩体结构的工程地质模型。通过原位测试、相似材料模拟研究了底板采动的应力分布特征、变形破坏深度及其岩层组合结构、地质构造的控制特点。在此基础上采用数值分析方法,系统研究了岩体结构对底板采动效应的影响机制及规律,总结提出了底板采动效应的岩体结构控制作用机理,揭示了底板采动变形破坏的分带性特征,以此为基础提出了底板岩体阻水能力评价指标和评价新方法。

本书可供从事地质工程、采矿工程、岩土工程等相关学科研究的科研人员、工程技术人员以及大中专院校教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤层底板采动效应及其工程应用/吴基文,姜振泉,
孙本魁著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2011. 6
ISBN 978 - 7 - 5646 - 0780 - 7

I. ①煤… II. ①吴… ②姜… ③孙… III. ①煤层—
岩体—结构—研究 IV. ①P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 179006 号

书 名 煤层底板采动效应及其工程应用
著 者 吴基文 姜振泉 孙本魁
责任编辑 潘俊成 王美柱
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 江苏赣榆县赣中印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 256 千字
版次印次 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

底板突水是我国煤矿矿井水害的主要形式之一,尤其是华北煤田,底板突水引起的矿井水害现象普遍且突出,55%以上的矿井水害都是由底板突水引起的。煤矿底板水害防治一直是煤炭安全开采的攻关课题。目前,我国重要煤产地60%的煤矿不同程度地受底板岩溶承压水的威胁,受水害的面积和严重程度均居世界各主要采煤国家的首位。随着煤矿开采深度的增大,采掘工作面底板承受的地压、水压越来越大,底板水的威胁日趋严重。因此,如何实现承压水体上压煤的安全回采已成为华北煤田众多矿井共同面对的热点问题。

受底板水严重威胁矿区的煤层开采主要采用“深降强排”和“带(水)压开采”两种方法。“深降强排”法开采虽然技术可靠性较高,但疏排降压的代价太大,不仅会使生产成本明显提高,而且往往会导致地质环境和生态环境的严重破坏。与其相比,实现承压水体上带压开采不仅具有生产成本低等优点,而且可以有效降低对地质环境的干扰,利于地面资源和环境的保护。然而,底板带(水)压开采在技术上的难度较大,能否带压开采以及带压开采安全限度的确定,都取决于底板采动后的阻水能力与底板充水含水层水动力条件的相互作用关系,而采动后底板的阻水能力又与底板岩层组合、底板采动变形破坏程度、底板构造环境等诸多因素密切相关。其中,底板采动变形破坏程度是影响采后底板阻水能力的控制要素,是底板带(水)压安全开采问题研究的核心内容。底板变形破坏是煤层开采引起的一种采动效应,其变形形态、破坏程度受制于采动应力分布和底板岩层结构,底板采动效应是煤矿底板水害防治研究的一个关键理论问题。以往的研究中,很多学者采用不同的方法对采动过程底板应力分布、采动影响深度等问题进行了不同角度的研究,研究成果深化了对底板采动效应的认识,也揭示了岩层结构对采动效应的主控影响,但这方面的研究很不足,仍存在很多问题有待于继续深入研究。鉴于此,笔者在多项基金的支持下,并以此为博士论文的选题,开展了相关研究工作。从2000年开始,一直与淮北矿业集团公司和皖北煤电集团公司诸多煤矿合作,开展了前期研究工作,如“杨庄煤矿6煤底板阻水能力评价”(2000~2002年)、“刘桥二矿Ⅱ614综采工作面突水预测与综合防治技术研究”(2005~2006年)、“任楼煤矿 $F_3 \sim F_4$ 断层间块段缩小断层煤柱开采可行性研究”(2003~2004年)等。同时得到了安徽省自然科学基金等的资助,如“煤层底板沉积岩体结构及其对抗突水能力的影响”(安徽省教育厅,2000JL214)、“煤层底板岩体阻水能力试验研究与评价”(安徽省教育厅,2002KJ256)、“煤层底板突水的岩体结构控制论研究”(安徽省科技厅,03045403)和“断层带岩体工程地质力学特征及其对断层防水煤柱留设的影响研究”(安徽省教育厅,2005KJ001ZD)等。取得了多项研究成果和较显著的经济、社会

效益,其中2项研究成果经专家鉴定达到了国际先进水平,并分获2004年度和2007年度安徽省科技进步三等奖。本书即是在上述研究成果的基础上完成的。

本书以岩体工程地质力学和岩体结构力学理论为指导,从基础地质研究出发,对华北煤田及淮北矿区煤系赋存特征、下组煤(6煤)底板岩层组合条件、底板突水案例进行了系统分析,建立了底板岩体结构的工程地质模型。通过原位测试、相似材料模拟研究了底板采动的应力分布特征、变形破坏深度及其岩层组合结构、地质构造的控制特点。在此基础上采用数值分析方法,系统研究了岩体结构对底板采动效应的影响机制及规律,总结提出了底板采动效应的岩体结构控制作用机理,揭示了底板采动变形破坏的分带性特征。以此为基础,提出了底板岩体阻水能力评价指标和评价新方法。本书的主要研究成果和创新点有:

① 将淮北矿区下组煤(6煤)底板划分为中硬底板、坚硬底板和软质底板三种类型,从宏观角度明确了区内下组煤底板岩体的结构特征。

② 综合研究确定了底板岩体采动变形具有分带性,划分为破坏带和扰动带,概括了底板采动应力分布特征,丰富了底板采动效应的科学内涵,为采动底板阻水能力的合理评价提供了科学依据。

③ 通过模型试验和数值分析关联研究揭示了上、下煤层开采对断层变形的叠加作用。

④ 建立了完整层状结构和含断层结构类型底板模型,通过数值分析进一步揭示了底板岩层结构对应力分布和变形破坏的控制作用机制。

⑤ 综合分析了影响采动底板阻水能力的基本要素。通过室内伺服渗透试验,研究了岩石渗透率—应力耦合关系特征,提出了岩石临界抗渗强度的概念,并结合现场压水试验,确定了岩体平均阻水强度;提出了考虑底板岩体结构特征和采动效应,反映水岩耦合作用等特点的采动底板阻水能力评价的新方法,并进行了开采实践验证。

在研究过程中,得到了中国矿业大学王桂梁教授、狄乾生教授、隋旺华教授、李文平教授、孙亚军教授、朱术云博士,工程兵指挥学院于江教授,安徽理工大学唐修义教授等的指导,他们对本项研究技术路线和试验方案的制定及本书的撰写提出了许多有益的建议和帮助,对研究工作的顺利完成起到了重要作用。

在研究工作中,有幸得到了淮北矿业集团公司李伟总工程师、程新明教授级高工,皖北煤电集团公司吴玉华总工程师、赵开全教授级高工、段中稳教授级高工、蔡东红高级工程师、童宏树高级工程师、彭龙超高级工程师、甘圣丰高级工程师,安徽恒源煤电股份有限公司魏大勇高级工程师,淮南矿业集团公司李守好高级工程师,中国矿业大学岩层控制中心马文顶副教授、张少华副教授,安徽省煤炭科学研究院张朱亚高级工程师,合肥工业大学葛晓光教授,安徽省煤田地质局第三勘探队张文永高级工程师、葛灵生高级工程师、冯春萍高级工程师等的大力支持和帮助。

在现场资料收集、采样与测试过程中,得到了淮北矿业集团公司所属的杨庄煤矿、朱庄煤矿、桃园煤矿,皖北煤电集团公司所属的刘桥二矿、刘桥一矿、任楼煤矿、淮南国能公司等相关单位和个人的大力帮助。

前 言

自 2000 年以来,安徽理工大学赵志根教授、谢焰博士、张平松博士以及研究生樊成、刘小红、唐东旗、赵小敏、李运成、汪林、杨智、冯松宝等做了大量的现场资料收集与室内外试验工作。

借本书出版之际,笔者对以上各位专家、老师和朋友对本项研究和本书出版的指导、支持和帮助表示衷心感谢!对本书引用文献中作者的支持和帮助表示衷心感谢!向参与本项研究的同事和研究生表示衷心感谢!

限于研究水平和条件,书中难免存在不足之处,恳请读者不吝赐教。

作 者

2010 年 5 月

作者简介

吴基文 男,1961年11月生,汉族,安徽舒城人,博士,教授,博士生导师,安徽省重点学科地质工程学科带头人,现在安徽理工大学地球与环境学院任教。主要从事煤矿工程地质与灾害防治、矿山地质灾害及煤田地质学等方面的教学与科研工作。先后承担了安徽省自然科学基金、煤炭部优秀青年基金、安徽省教育厅自然科学研究计划项目等纵向课题10余项,企事业单位合作项目80余项,其中有5项成果经专家鉴定达国际先进水平,并分获2001、2004、2007和2008年度安徽省科技进步三等奖。在国内外学术期刊和学术会议上公开发表学术论文80余篇,出版专著5部。学术兼职有:中国煤炭学会矿井地质专业委员会秘书长、委员,安徽省地质学会理事,安徽省岩石力学与工程学会理事,安徽省煤炭学会灾害防治专业委员会委员。2003年入选“安徽省高等学校‘十五’优秀人才首批计划”。

姜振泉 男,1956年11月生,汉族,山东威海人,教授,博士生导师。1982年7月毕业于河北地质学院水工专业,1982年8月至今在中国矿业大学资源与地球科学学院从事地质工程教学和科研工作,其间,1989年9月至1990年9月在日本九州大学合作研究1年。目前担任中国矿业大学地质工程博士学科点首席学科带头人,国际工程地质与环境协会中国小组成员,中国环境科学学会固体废物专业委员会委员。主要研究方向为灾害地质及煤矿灾害防治。“九五”以来主持、参与多项国家、省部级重大研究课题,获得省部级科技进步一等奖1项、二等奖3项、三等奖2项,出版专著2部。

孙本魁 男,1962年10月生,汉族,安徽怀远人,硕士,高级工程师。现担任皖北煤电集团有限责任公司通风地测处副总工程师,主要从事煤矿地质技术研究与管理工作。发表学术论文20余篇,获安徽省科技进步三等奖3项。

目 次

第一章 绪论	1
第一节 研究意义	1
第二节 国内外研究现状	2
第三节 主要研究内容与技术方法	5
第二章 华北石炭二叠纪含煤地层水文工程地质环境	7
第一节 华北石炭二叠纪煤田沉积特征	7
第二节 华北石炭二叠纪煤系底板奥灰的水文工程地质环境	13
第三节 华北石炭二叠纪煤系的水文工程地质环境	16
第四节 华北石炭二叠纪煤田水文地质条件变化规律	24
第五节 华北典型矿区煤系地层结构	26
第六节 煤层底板岩体结构类型	38
第七节 煤层底板突水概况与突水特征	39
第八节 本章小结	49
第三章 淮北矿区底板水害问题及其水文工程地质环境	50
第一节 含煤地层水文工程地质环境	50
第二节 下组煤煤层底板	54
第三节 下组煤开采底板突水典型案例	61
第四节 本章小结	65
第四章 煤层底板采动效应实测与试验研究	66
第一节 概述	66
第二节 采动底板的应力场特征实测研究	66
第三节 煤层底板采动变形破坏实测研究	74
第四节 重复采动影响下断层“活化”变形特点的模型试验研究	87
第五节 本章小结	96
第五章 底板采动效应岩体结构控制作用的数值分析	97
第一节 计算程序、边界条件和计算参数	97

第二节	完整层状结构底板的采动效应模拟	98
第三节	含断层底板采动效应的数值模拟	105
第四节	重复采动影响下断层活化机制的数值分析	114
第五节	杨庄煤矿Ⅲ611工作面底板采动效应的数值模拟	120
第六节	本章小结	123
第六章	采动底板阻水性能评价	125
第一节	底板岩体阻水能力评价要素	125
第二节	岩石(体)阻水能力指标及确定方法	126
第三节	底板岩体阻水能力评价方法	135
第四节	本章小结	144
第七章	结论	146
参考文献		148

第一章 绪 论

第一节 研究意义

底板突水是我国煤矿矿井水害的主要形式之一,尤其是华北煤田,底板突水引起的矿井水害现象普遍且突出,55%以上的矿井水害是由底板突水引起的。据不完全统计,1956~1994年不足40年间,我国北方煤矿发生底板突水事故1300余次,其中导致淹井的重、特重大事故200余次,造成数十亿元的经济损失,人员伤亡达数千人^[1]。

煤矿底板水害防治,一直是煤矿安全开采的攻关课题。目前,我国重要煤产地60%的煤矿不同程度地受底板岩溶承压水的威胁,受水害的面积和严重程度均居世界各主要采煤国家的首位。随着煤矿开采深度的日趋增大,采掘工作面底板承受的地压、水压越来越大,底板水的威胁日趋严重^[2]。因此,如何实现承压水体上压煤的安全回采成为华北煤田众多矿井共同面对的热点问题。

受底板水严重威胁矿区的煤层开采主要采用“深降强排”和“带(水)压开采”两种方法。“深降强排”法开采虽然技术可靠性较高,但疏排降压的代价太大,不仅会使生产成本明显提高,而且往往会导致地质环境和生态环境的严重破坏。与其相比,实现承压水体上带压开采不仅具有生产成本低等优点,而且可以有效降低对地质环境的干扰,利于地面资源和环境的保护。然而,底板带(水)压开采在技术上的难度较大,能否带压开采以及带压开采安全限度的确定,都取决于底板采动后的阻水能力与底板充水含水层水动力条件的相互作用关系,而采动后底板的阻水能力又与底板岩层组合、底板采动变形破坏程度、底板构造环境乃至开采工艺、采厚、采深等诸多因素密切相关。其中,底板采动变形破坏程度是影响采后底板阻水能力的控制要素,是底板带(水)压安全开采问题研究的核心内容。

底板变形破坏是煤层开采引起的一种采动效应,其变形形态、破坏程度受制于采动应力分布和底板岩层结构,底板采动效应是煤矿底板水害防治研究的一个关键理论问题,其研究内容涉及水文地质、工程地质、构造地质、力学、采矿工程等多个学科和技术领域。

以往的研究中,很多学者采用不同的方法对采动过程底板应力分布、采动影响深度等问题进行了不同角度的研究,研究成果深化了对底板采动效应的认识,也揭示了岩层结构对采动效应的主控影响,但这方面的研究很不足,仍存在很多问题有待于继续深入研究。

第二节 国内外研究现状

底板采动效应研究对于带压开采条件下的底板水害防治十分重要,长期以来,一直受到国内外学者的关注,成为煤矿水文地质学研究的重要内容,也是矿井底板水害防治的前沿研究领域。

一、学术成果及理论观点

1. 底板采动效应及其影响要素

国内外对煤矿底板水害防治的系统研究始于 20 世纪 40 年代,到 80 年代后期,国内外产生重要影响的代表性成果和学术观点包括早期的底板安全水压理论^[3]及后期的岩体临界强度理论^[4-5]、突水系数^[6]、相对隔水层厚度法^[7-8]、岩水应力关系^[9-10]、板模型理论^[11]、强渗通道^[12]等,基本局限于底板突水机理和突水条件两个方面。相关理论、观点虽然也从不同角度考虑了底板采动效应因素,但大都是基于理论解析结论或模式化假设,极少有关于底板采动变形、破坏与突水之间内在联系等关键问题的系统研究。

我国是世界范围底板水害最严重且最普遍的国家,底板水害问题对于我国能源战略的意义也是其他国家无法比拟的。因此,对煤矿底板水害问题的研究受到国家、煤矿企业及相关科研院所、有关高校的普遍重视。自“八五”至“十一五”,我国多次组织进行了底板水害防治理论和技术方面的攻关课题研究,取得了一些居于世界领先或先进水平的重要研究成果,在底板采动效应及底板水害评价、预测理论方面,形成了一些产生重要影响的理论或学术观点,如“下三带”理论^[13]、原位张裂与零位破坏理论^[14]、关键层(KS)理论^[15]等。这些理论观点的突出特点是充分考虑了采动对底板突水的意义,对二者的关联性提出了定性模式。

(1) “下三带”理论

从采动底板的隔水性能角度将采动底板分为“三带”,即上部采动破坏导水带、中部完整岩层隔水带和下部承压水导升带。其中,完整岩层隔水带对阻隔底板突水起主要保护作用。该理论是国内最早定性描述底板采动效应的理论观点,强调了底板采动效应对底板突水的制约作用,认为底板突水与否不能只简单考虑底板隔水层厚度和底板水压力大小的对比关系,而应充分考虑采动对二者的影响效应,包括底板隔水能力的降低效应和水压力在矿山压力下的升高效应。

尽管“下三带”理论考虑了采动底板的变形破坏对其阻水能力的影响,“三带”定性也比较明确,但关于“三带”划分缺乏充分的量化依据,并且迄今为止仍较少得到矿井实际资料的验证。

(2) 原位张裂与零位破坏理论

该理论是描述采动过程底板应力、应变场特征及岩体变形破坏规律的一种理论观点,认为采动过程在上部压力和下部水压力的联合作用下,随着工作面的推进,底板逐步由超

前压力压缩状态过渡为卸压膨胀状态,其超前压力压缩段岩体整个结构呈现上半部受水平挤压,下半部受水平张拉的状态,因而在其中部附近底面上的原岩节理、裂隙等不连续面就产生岩体的原位张裂。

该理论描述的采动效应为采动应力状态的变化导致底板岩体结构状态的质变,处于压缩的岩体应力急剧增加,围岩的贮存能大于岩体的保留能,便以脆性破坏的形式释放残余弹性应变能以达到岩体能量的重新平衡,从而引起采场底板岩体的零位破坏。并且指出,采场支承压力的引起底板产生破坏的基本前提,煤柱煤体的塑性破坏宽度是控制底板最大破坏深度的基本因素,底板岩体的内摩擦角是影响零位破坏的基本因素。该理论引用塑性滑移线场理论分析了采动底板的最大破坏深度。

从力学角度来讲,该理论提出的底板采动发生原位张裂破坏的力学机制是合理的,但由于没有充分考虑底板岩体结构对于变形破坏的制约作用,该理论的应用存在局限性。并且该理论描述采动效应与突水条件的关系比较模糊,基本局限于“突水系数”的基本框架。

(3) 关键层(KS)理论

该理论提出在底板岩层中找出一层强度最高的岩层作为底板关键岩层。将这一关键层看做薄板,它很好地满足了薄板理论的基本要求。这样,便可以利用薄板强度理论对底板破坏进行研究、计算。由于底板关键层强度最高,因此,当其达到极限破断步距时,煤层至含水层之间的其他岩层均早已达到极限破断步距。这样,对底板突水机理的研究就转化为:在无断层构造条件下,对底板关键层破断机制的研究;当有断层切割时,对断层两盘关键层破断机制与承压水对关键层的张开或断层活化与承压水在断层带中渗透冲刷的研究。由此建立了无断层条件下采场底板的突水准则和断层突水机制。该理论抓住了底板岩体具有层状结构的特点,但忽略了软弱岩层在底板突水中的作用。另外,对于复杂岩性组合底板条件,关键层的确定也是模糊的。

2. 底板突水预测与评价

我国近 30 a 来在承压水体上采煤方面进行了大量的生产实践,开采条件的复杂性、技术问题的多样性都是国外煤矿所罕见的,这也为底板水害预测、评价研究提供了丰富的基础资料。

在底板突水理论研究方面,工程力学、岩土渗流、信息论等理论被广泛地应用于底板突水问题研究。张金才等^[16]采用板的模型推导出底板突水预测公式;缪协兴等^[17]基于流体力学理论论证了岩石渗流失稳的突变学机理及底板突水的临界特征;武强等^[18]建立了岩体三维裂隙渗流模型,基于岩土渗流理论揭示了底板岩溶水突水临界水动力条件;王延福、张西民等^[19-21]利用数量化理论和非线性动力学理论,提出了底板突水影响因素的量化分析方法和突水条件判别模型;白晨光^[22]利用关键层理论,邵爱军^[23]基于底板损伤力学观点,从岩水耦合角度阐述了底板突水诱发机制,并建立了矿坑涌水突变模型^[24]等。

在底板突水预测方法方面,除基于国内外矿井底板突水实例资料类比形成的经验预测评价方法如 P—H 拟合曲线法^[14]、经验系数法^[25-28]外,现代非线性理论、信息论、现代统计学理论、多元地学信息拟合技术等也被广泛地应用于底板突水预测研究,包括文献

[29-33]利用模糊数学方法和文献[34-37]利用神经网络方法建立矿井底板水害趋势预测模型;文献[18,38-40]将GIS多元信息拟合技术用于底板突水预测研究,建立了考虑多因素影响的底板突水预测模型和专家系统;文献[41]、文献[42-43]和文献[44-46]分别将信息论、概率指数法和优势面理论引入底板突水预测研究。

二、研究方法

相似材料模型试验和数值分析是底板突水问题研究的重要方法。底板采动变形破坏现象、采动底板应力分布特点及底板位移规律主要是通过相似材料模型试验和数值模拟分析发现的,试验、分析成果对于丰富底板水害防治理论具有重要意义。

自苏联学者 A. A. БОРНСОБ 采用相似材料模型成功模拟显现了底板采动过程的变形特点^[15]后,我国煤炭科学研究总院北京开采所、西安科技大学、山东科技大学、中国矿业大学、中国科学院地质研究所等单位相继将这项试验技术引入了顶底板采动变形的模拟研究^[47-54]。

与顶板变形破坏模拟研究相比,底板采动模拟的模型在技术合理性方面有其局限性。如底板承压水压力采用限位弹簧模拟,难以真实反映承压水的导升、运移及其渗流作用对含有断层、裂隙等构造的煤层开采的影响。另外,底板变形主要是由采动压力引起的,但相似材料模型多限于平面应力状态,模拟显现的底板变形破坏往往与三维状态下底板位移规律存在一定出入,这也是相似材料模型试验的重要缺陷。

尽管如此,相似材料模型试验所直观显现的底板采动变形基本特征对于了解底板采动效应宏观规律仍具有不可替代的重要作用。已有的一些重要研究表明,如采动过程顶板来压与底板变形的关联性^[48,55,56]、断层附近变形的扩大效应^[48,57,58]、岩体结构、岩层组合对于底板采动变形的制约作用^[15,50,51]等均是相似材料模型试验揭示的。

数值分析方法在煤矿底板水害研究中得到广泛应用始于20世纪80年代早期。美国、英国、德国、日本等国家较早采用数值方法进行顶底板采动应力、变形破坏规律的模拟分析^[24,59-61],我国也在较短的时间内引入并推广了这项技术。高航、肖洪天、任德惠等相继研究得出了采动过程底板应力变化、煤柱变形、煤层底板移动规律等方面的数值分析结果^[62-64]。

90年代后期,随着计算机应用科学的发展,数值分析在底板水害防治研究领域不断得以拓展,模型的科学性和仿真程度不断提高,研究成果也不断丰富。凌荣华、许学汉等^[12]通过三维数值模拟进行的底板采动应力变化规律研究,毕贤顺等^[65]关于外载荷、孔隙水压与底板变形关系的数值分析,褚廷民等^[66]利用三维有限元数值分析方法进行的岩层组合、矿压强度对底板破坏空间的影响研究,李连崇^[67]就底板采动破坏与矿井突水关联机制进行的数值分析等,均模拟了多种因素复合影响下的底板采动效应显现特点及底板突水规律,其研究方法、研究成果具有典型意义和代表性。

现场原位实测是工程地质、水文地质条件研究的最重要手段。在水利、交通、铁路、城建等工程领域,堤坝、边坡、隧道、硐室、深基坑的应力、变形或位移实测早在80年代之前已普及应用^[68-74]。80年代以后,现场原位实测技术也陆续引入于矿井地应力、顶底板变

形、构造导水性等方面的研究^[75-80]。对于底板采动应力分布、底板变形和破坏范围,目前可通过多种先进技术(压水测试及声波、超声成像等)实现现场实测^[81-89],其实测结果不但是反映底板采动效应的第一手资料,也为试验、理论分析提供了可靠的验证依据。

三、存在的问题

采动地压强度和底板岩体组合结构是影响底板采动应力状态和变形破坏形态、程度的两个主要控制因素,这一点从工程地质力学理论角度而言是合理的,也得到了大量的试验研究和数值分析结果的充分验证。

然而,迄今关于底板采动效应及其岩体结构控制的问题,没有真实体现岩体结构控制论这一工程地质核心理念,从而导致对一些关键问题认识 and 理解的模糊。

① 底板采动效应包括采动应力的分布特点和底板变形破坏两方面。底板采动应力是由采动地压诱发的一种次生应力,其分布受底板岩层组合结构控制。层面、层理面、构造结构面是力学薄弱面,既是应力容易集中的部位,也是变形的不连续面,物理模拟试验和数值分析揭示的断层近层面部位的变形扩大效应实际就是应力集中效应。目前在底板采动破坏问题研究中,在处理构造结构面(断层)时一般能够从结构效应角度采取必要的方法以反映其对应力、应变扩散的影响,但对于层面、层理面等原生结构面则一般作简化处理,这是不合理的。如何在采动效应评价中充分体现层状结构岩体应力、应变分布的结构效应是本书重点讨论的问题之一。

② 对采后底板阻水能力的评价须充分考虑采动变形破坏因素,这一点在理论和试验中已得到广泛的认同。但目前的研究仍较多着眼于底板破坏的宏观规律,将采动影响简单地理解为采动破坏,忽略了受煤层采动影响的岩层仍然具有的阻水能力,在评价底板阻水能力时,对底板采动影响范围岩层抗渗透破坏能力差异性缺少进一步分带研究。而已有实测成果和生产实践经验表明,底板采动影响范围内的岩层变形程度的分带是确实存在的,完全忽略采动影响范围内底板岩层的阻水能力,势必导致底板阻水条件评价结果偏于保守。本书提出了一种采动底板阻水能力评价的新思路,充分考虑了采动影响范围内岩体残余抗渗透能力的阻水作用。

第三节 主要研究内容与技术方法

本书根据淮北矿区下组煤(6煤/10煤)开采底板突水实例、底板采动效应实测资料,结合物理模型试验和数值分析研究,分析探讨底板采动效应及其岩体结构的控制作用。在此基础上提出充分考虑采动效应的采动底板阻水能力的评价方法。

根据以上研究思路,确定本书研究内容及技术方法如下:

① 根据淮北煤田下组煤(6煤)底板岩层沉积环境及岩性组合特点,对底板岩层进行层组划分,在此基础上考虑层组工程地质性质、岩体结构类型等因素将底板划分为三种类型,以此作为建立工程地质模型的依据。

② 根据淮北矿区下组煤开采底板突水典型实例,分析底板突水的岩体结构控制

作用。

③ 根据淮北矿区底板采动效应实测资料所反映的采动底板应力分布、变形破坏特点,结合底板岩层组合和岩体结构特点,分析底板采动效应的岩体结构控制特点。

④ 通过相似材料模型试验,了解重复采动影响下底板变形特点及断层变形活化效应。

⑤ 基于实测资料、物理模型试验所反映的底板岩层组合、地质构造与采动应力分布和底板变形破坏之间的关系特点,建立不同数值模型分析不同岩层组合形式、不同产状断层底板的采动应力分布特点和变形破坏形态,揭示底板采动效应的地质结构控制作用。

⑥ 通过室内伺服渗透试验和现场原位水压致裂试验,总结分析采动变形破坏对底板阻水性的影响,提出底板岩体阻水强度评价预测方法。

本书研究的技术路线与工作流程如图 1-1 所示。

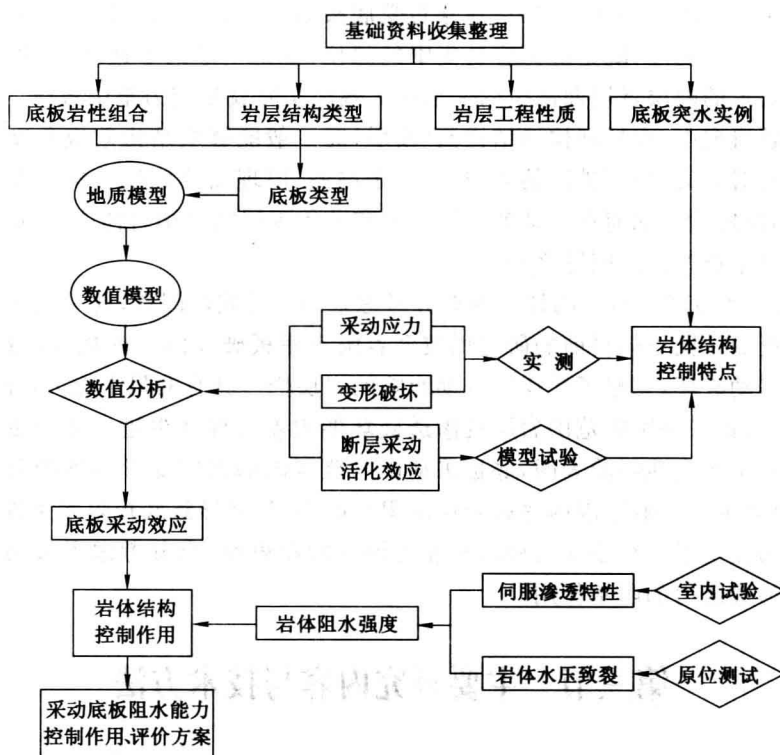


图 1-1 本书研究的技术路线与工作流程

第二章 华北石炭二叠纪含煤地层 水文工程地质环境

我国华北煤田含煤地层多为石炭二叠纪地层,普遍缺失上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统,石炭二叠纪地层直接沉积于中奥陶统之上,中奥陶统为巨厚的石灰岩,简称奥灰。煤系地层中也沉积有厚度不等的薄层灰岩,这些灰岩往往岩溶发育,含有丰富的承压水。灰岩含水层至煤层的间距一般从几米至几十米不等,其间是由砂岩等岩层组成的隔水层。在底板灰岩承压水水压过高,而隔水层较薄其隔水能力不足,或隔水层局部遭受破坏形成突水通道时,采掘工作面一旦揭露这些区域,则很容易发生底板突水事故。

我国约有 60% 的煤矿与喀斯特承压水有关,不同程度地受到水害威胁。据统计,全国国有煤矿受承压水威胁的煤炭储量多达 109 亿 t, 占总保有储量的 21.1%。我国受水害威胁的矿区有河北的井陘、邢台、邯郸、峰峰、开滦,河南的安阳、鹤壁、焦作、平顶山、新密、豫西,山东的淄博、肥城、新汶、莱芜、枣庄、兖州,江苏的徐州、大屯,安徽的淮南、淮北,山西的霍州、轩岗,陕西的渭北,辽宁的本溪、南票,吉林的通化等煤田。

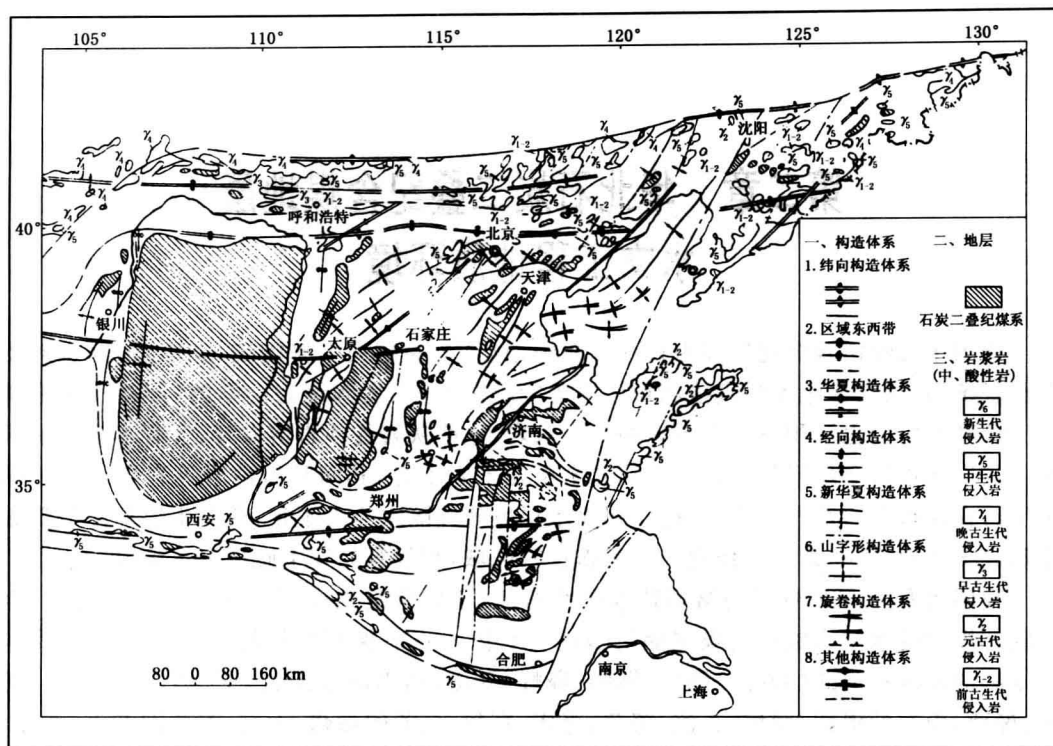
随着矿井开采水平的不断延深,开采深度越来越大,灰岩承压水水压不断增加;有些矿区上组煤开采结束后,要开采下组煤,而下组煤与底板灰岩的间距较小,隔水层较薄,这些都增加了底板突水的危险性。而且,随着市场经济的发展,煤矿企业受经济条件制约,很难进行帷幕注浆、疏水降压等大型防治水工程,带压开采将成为受底板灰岩承压水威胁煤层开采的主要方法,这就对底板突水研究提出了更高更迫切的要求。本章主要介绍华北石炭二叠纪煤田煤层赋存与底板结构特征以及底板突水概况。

第一节 华北石炭二叠纪煤田沉积特征^[3,120]

晚古生代石炭二叠纪含煤建造在华北广泛发育。自中石炭世形成广阔的聚煤拗陷,经中石炭世、晚石炭世、早二叠世沉积,形成中石炭世本溪组、晚石炭世太原组、早二叠世山西组和下石盒子组 4 个含煤地层,其中除本溪组含煤性差外,其余 3 个含煤地层含煤性均好,尤以山西组和下石盒子组的含煤性最好,是我国煤矿主要开采煤层的层位。

华北晚古生代石炭二叠纪含煤地层广泛分布,北界为阴山、燕山及长白山东段,南界为秦岭、伏牛山、大别山及张八岭,西界为贺兰山、六盘山,东界为黄海、渤海,遍及京、津、晋、冀、鲁、豫的全部,辽、吉、内蒙古的南部,甘、宁的东部,以及陕、苏、皖的北部(图2-1)。

这个巨大聚煤区的形成,是由其特殊的大地构造性质与地质条件所决定的。早在元古代时,华北地区已固结成地台,具有很强的刚性和整体性。在早古生代时整体缓慢下

图 2-1 华北构造体系与石炭二叠纪煤田分布略图^[120]

沉,普遍沉积了寒武系和奥陶系浅海相碳酸岩。加里东运动又使其整体上升为陆,经过长期剥蚀夷平后,至中石炭世又开始整体缓慢下沉,海水自东西两面呈脉动式入侵,从而在广阔的中奥陶统石灰岩剥蚀面之上普遍沉积了海陆交替相的本溪组和太原组含煤地层。晚石炭世晚期又开始整体缓慢上升,海水从东南退出,在这个缓慢海退的过程中又广泛连续沉积了早二叠世山西组、下石盒子组和晚二叠世早期上石盒子组,形成了巨大的多纪多层聚煤区。

晚石炭世太原组主要由砂岩、粉砂岩和泥岩组成,间夹灰岩、煤层和少量砾岩。岩相以过渡相、浅海相和沼泽相为主,夹少量冲积相,沉积厚度为 50~150 m,总的变化趋势是北粗南细、东厚西薄。在北纬 37°30' 以北,可采煤层总厚度一般大于 10 m,最大厚度可达 30 m 左右(山西平朔矿区);以南则逐渐减薄,至三门峡—确山—徐州一线以南,太原组中已无可采煤层(图 2-2)。

早二叠世早期山西组,岩性以砂岩、粉砂岩、泥岩为主,间夹煤层,不含石灰岩。岩相以陆相占优势,过渡相次之,沉积总厚度 40~140 m,总的变化趋势和太原组一样也是北粗南细、东厚西薄。早二叠世早期的聚煤作用仍处于鼎盛时期,全华北区都有主要煤层赋存。沿阴山古陆南侧的贺兰山、东胜、大同、京西、南票等煤田有巨厚煤层形成,向南有逐渐减薄的趋势。可采煤层总厚度北部为 3~30 m,中部为 2~10 m,南部为 0~7 m(图 2-3)。