

安徽省教育厅自然科学重点科研计划项目 (2005kj001ZD)

安徽省自然科学基金项目 (03045403)


安徽省高校“十五”优秀人才基金

安徽理工大学引进人才科研启动基金 (2007yb43)

断层带岩体工程地质力学特征 与断层防水煤(岩)柱留设

吴基文 蔡东红 张文永 童世杰 编著



 中国科学技术出版社

安徽省教育厅自然科学重点科研项目(2005kj001ZD)

安徽省自然科学基金项目(03045403)

安徽省高校“十五”优秀人才基金

安徽理工大学引进人才科研启动基金(2007yb43)

断层带岩体工程地质力学特征 与断层防水煤(岩)柱留设

吴基文 蔡东红 张文永 童世杰 编著

中国科学技术出版社

·北京·

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水害防治、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项目、煤炭部优秀青年基金项目、安徽省教育厅自然科学基金计划项目等纵向课题10余项,企事业单位合作项目60余项,其中有4项成果经同行专家鉴定达国际先进水平,并分获2001年,2004年,2007年和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70余篇,出版专著4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,安徽省煤炭学会水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”。

蔡东红 男,1964年8月生,汉族,安徽霍邱人,硕士,高级工程师,现担任皖北煤电集团公司任楼煤矿总工程师,主要从事煤矿安全技术研究与管理。发表学术论文10余篇,获“安徽省科技进步二等奖”1项。

张文永 男,1965年3月生,汉族,安徽太湖人,硕士,高级工程师,安徽省地质学会理事。现任安徽省煤田地质局第三勘探队副队长兼总工程师,主要从事煤田地质勘探技术研究与管理。1985年7月毕业于淮南矿业学院地质系,同月分配到安徽省煤田地质局第三勘探队工作。历任技术员、重大项目负责人、报告及设计主编等。2002年10月起任第三勘探队总工程师。主编有《山东省济宁汶上一宁阳煤田唐阳井田勘探(精查)地质报告》、《杨柳井田勘探地质报告》等设计和报告100余份,主持科研课题10项,公开发表学术论文10余篇,获省部级奖励6项。如所提出的“深部找煤”方法给两淮煤田带来了新的能源产地;所倡导的煤矿井筒冻结工程,年工程量30万~40万米,位居全国领先地位。

童世杰 男,汉族,1969年10月出生,湖南安化人,高级工程师,1992年毕业于湘潭矿院地质系,现担任皖北煤电集团公司任楼煤矿副总工程师,主要从事矿井地质技术与管理工作。发表学术论文15篇,获省部级奖励2项。曾获皖北煤电集团公司“优秀科技人才”、“十佳首席工程师”称号。

内容提要

本书以皖北任楼煤矿为例,以岩体工程地质力学理论为指导,从基础地质研究出发,通过对断层带岩体工程地质及水文地质特征的试验研究,进一步确定了断层的导水性、含水性,建立了断层带岩体工程地质力学模型,采用理论分析、现场测试、数值模拟和相似材料模拟等手段,分析研究了不同断层带特征留设煤柱开采过程中,断层带岩体的采动效应特征。并根据矿井实际条件,开展了断层防水煤(岩)柱的合理留设,为近断层煤层安全、经济开采提供了一条新的思路和方法,为煤矿高产、高效、安全生产提供了地质保障。

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

前 言

煤炭是我国的主要能源。据资料预测,在未来 20~50 年内,我国一次能源生产和消费以煤炭为主的格局不会改变。煤炭是不可再生资源,因此,必须尽可能地、合理地开采地下煤炭资源,促进国民经济的可持续发展。

断层是矿井中最常见的地质构造之一,是煤矿生产过程中必须面对和解决的问题,由于我国的地质构造复杂,勘探程度较低,对于一些大的断裂构造探查不清,从而留设了大量的防水煤(岩)柱。目前国内外对断裂带煤柱留设并没有统一的规定,一般都是根据传统的经验公式留设,致使煤柱有时过大,积压了大量的煤炭资源,如皖北任楼煤矿 F_3 - F_4 断层块段由于留设断层煤柱致使煤柱压煤量达 107 万吨;有时过小,加之水文地质条件不清,从而引发了较严重的水害事故,造成巨大的经济损失和不良后果。为此,安徽理工大学提出了“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”课题,得到了安徽省教育厅自然科学基金的资助,并在皖北煤电集团公司任楼煤矿的支持配合下,开展了一系列的研究工作。本课题以皖北任楼煤矿 F_3 、 F_4 断层为研究对象,以岩体工程地质力学理论为指导,从基础地质研究出发,通过对断层带岩体工程地质及水文地质特征的试验研究,建立了断层带岩体工程地质力学模型,采用理论分析、现场测试、数值模拟和相似材料模拟等手段,分析研究了不同断层带特征留设煤柱开采过程中,断层带岩体的采动效应。并根据矿区实际条件,进行断层防水煤柱的合理留设,为煤矿高产、高效、安全生产提供科学保障。主要成果有:①根据历年的钻探、物探和井下巷道揭露资料,以及现场试验成果,对 F_3 、 F_4 断层水文地质和工程地质特征进行了系统研究和综合分析,进一步确认了 F_3 、 F_4 断层为不含水、不导水断层。②对断层带岩体的物理力学性质进行采样测试,并对断层带岩体进行了波速探测,综合确定断层带岩体结构类型及其力学参数,根据矿井地质和开采技术条件,建立了断层带岩体工程地质力学模型。③采用相似材料模拟和数值模拟技术,对 F_3 ~ F_4 断层间块段煤层开采过程进行了模拟研究,揭示了不同采深、不同煤柱宽度断层带岩体的采动效应特征,为断层防水煤柱合理留设提供了科学依据。④根据研究结果并结合任楼煤矿实际条件,综合考虑多种因素的影响,并依据有关规程、规范要求,确定了断层的防水煤柱,为煤矿安全生产提供了科学依据。本课题研究目的在于解决煤层回采过程中断层防水煤柱的采动效

应问题及其阻隔水能力,合理留设断层防水煤柱,实现安全开采,有效回收断层煤柱压煤量,降低开采成本。本课题的直接经济效益在于实现近断层煤层的安全、安全回采。研究成果经现场应用验证已获得成功,为近断层煤层安全、经济开采提供了一条新的思路和方法。研究成果对近断层煤层的安全经济开采具有重要的指导作用,不仅解放了断层防水煤柱的压煤量,而且提高了煤炭资源的回收率,同时也缓解了煤矿生产接替的紧张局面,增加了矿井煤炭可采储量,对延长矿井服务年限,降低生产成本,提高经济效益和预防断层突水灾害的发生均有重要意义,具有广阔的推广应用前景,社会效益和经济效益均十分显著。该项研究成果获得了2007年度安徽省科技进步三等奖。

本书是“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”课题研究成果的主要内容。本项目的研究及本书出版获得了安徽省教育厅自然科学重点科研项目(2005kj001ZD)、安徽省自然科学基金项目(03045403)、安徽省高校“十五”优秀人才基金和安徽理工大学引进人才科研启动基金(2007yb43)资助。

在研究工作中,有幸得到了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、童宏树高级工程师、孙本魁高级工程师,中国矿业大学岩控中心马文顶副教授、张少华副教授,安徽省煤炭科学研究院张朱亚高级工程师,安徽省煤田地质局第三勘探队葛灵生高级工程师、冯春萍高级工程师、徐胜平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,得到了皖北煤电集团公司任楼煤矿等相关单位和工程技术人员的大力帮助。

自2005年以来,安徽理工大学赵志根教授、张平松博士以及吴基文的研究研究生唐东旗、赵小敏、李运成、汪林、杨智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,作者对以上各位专家、老师和朋友们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们表示衷心感谢!

限于研究水平和条件,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

安徽理工大学

吴基文

教授、博士生导师

2009年2月于安徽淮南

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 研究内容及技术路线	5
第2章 断层基本特征及其形成机制	8
2.1 断层的几何要素	9
2.2 断层分类及其组合类型	12
2.3 断层形成机制	17
2.4 断层识别标志	29
第3章 断层充水特征与突水机理	42
3.1 断层带特征及其充水性	42
3.2 断层充水特征	46
3.3 影响断层导水性的因素	49
3.4 采矿与断层导水或突水的关系	51
第4章 矿井水文工程地质环境分析	52
4.1 矿区自然地理及开发概况	53
4.2 区域地质特征	53
4.3 井田地质特征	55
4.4 任楼井田水文地质特征	60
第5章 矿井断裂构造发育特征与成因	67
5.1 矿井断裂构造发育特征	67
5.2 井田构造成因和演化分析	87
第6章 断层带岩体水文工程地质特征	99
6.1 F_3 断层水文工程地质特征	99
6.2 F_4 断层水文工程地质特征	103
6.3 F_3 、 F_4 断层带岩石力学性质测试	106
6.4 F_4 断层带岩石水理性质	107
6.5 F_3 断层钻孔探查	108
6.6 F_3 断层带岩体的波速测试与分析	109
6.7 F_3 、 F_4 断层导水性评价	112
第7章 断层防水煤柱工程地质力学模型	114
7.1 断层构造区易突水的原因	114

7.2	断层煤柱留设的影响因素分析	114
7.3	工程地质力学模型的建立	116
第8章	留设断层防水煤(岩)柱开采相似材料模拟研究	121
8.1	概 述	121
8.2	现场地质条件	121
8.3	试验要求	121
8.4	相似理论	123
8.5	试验过程	124
8.6	试验结果分析	126
第9章	留设断层防水煤(岩)柱开采数值模拟计算研究	129
9.1	概 述	129
9.2	FLAC基本原理	129
9.3	模型的建立与边界条件	132
9.4	模型设计参数	133
9.5	数值模拟计算结果分析	134
第10章	断层防水煤(岩)柱的合理留设	139
10.1	导水断层防水煤(岩)柱留设	139
10.2	不导水断层防水煤(岩)柱留设	144
10.3	任楼煤矿 F_3 、 F_4 断层防水煤(岩)柱留设方案	144
10.4	经济效益评价	153
	参考文献	156

第1章 绪论

1.1 研究目的和意义

中国煤炭资源丰富,在我国社会经济生活一次能源消费结构中,煤炭占了75%,煤炭是我国的主要能源。据资料预测,在未来20~50年内,我国一次能源生产和消费以煤炭为主的格局将不会改变。煤炭是不可再生资源,因此,必须尽可能地、合理地开采地下煤炭资源,促进国民经济的可持续发展。

由于我国的地质构造复杂,勘探程度较低,对于一些大的断裂构造探查不清,从而留设了大量的防水煤(岩)柱。目前国内外对断层带煤柱留设并没有统一的规定,一般都是根据传统的经验公式留设,致使煤柱有时过大,积压了大量的煤炭资源。如本书研究所选的试验点皖北任楼煤矿 F_3 - F_4 断层间块段,由于留设断层煤柱致使煤柱压煤107.4万吨;有时过小,加之水文地质条件不清,从而引发了较严重的水害事故,如1960年,河北峰峰一矿1532工作面因断层防水煤柱尺寸留设不够而引起奥灰突水,最大突水量为 $9000\text{m}^3/\text{h}$,全矿井被淹,造成巨大的经济损失和不良后果。因此,如何安全留设断层防水煤(岩)柱,使煤炭资源能够尽可能地开发利用是矿业工程领域中的攻关课题。

岩体是经历过多次反复的地质作用,经受过变形、遭受过破坏、受结构面纵横切割形成一定的岩体结构,并且赋存于一定的地质环境之中的地质体^[1]。岩体的力学性质除受岩石材料(岩性)力学性质影响外,主要受结构面力学性质、岩体中结构面的发育组合情况、岩体结构类型和赋存环境(如水和地应力等)因素影响,其中岩体中的结构面削弱了岩体的力学强度,控制着岩体的变形和破坏规律;岩性和赋存环境又对结构面在岩体力学性质形成上起一定的控制作用。岩石(体)力学试验表明,当岩石(体)受力超过其强度时,岩石(体)表现为渐进破坏,强度逐渐降低(应变软化),同时伴随体积膨胀(扩容),直至达到一个残余强度值。在这过程中,由于内部微裂纹扩展,往往逐渐发展又相互联合形成一条明显的断裂面,当断裂面一旦形成且应力差超过摩擦阻力时,两盘就开始相对滑动形成断层。断裂结构面有开裂结构面和闭合结构面之分,但在煤炭的井下断裂带开采过程中,由于采动引起断裂带附近顶、底板岩体变形和破坏,使闭合不导水的断层可能变成导水的断层。断层的存在破坏了岩层的完整性,常常成为含水层联系的通道^[2]。因此,只有从岩体结构入手,以岩体工程地质力学为指导,才能把握沉积岩石(体)力学性质,进而通过对断裂带岩性的分析和研究,建立可靠的地质模型,为合理留设防水煤柱开采打下坚实的理论基础。

本书的试验点任楼煤矿 F_3 - F_4 断层间块段,在矿井初步设计及建井地质报告均作为难以开采块段。如果按照原来的断层保护煤柱留设,则将造成大量的煤炭资源流失(见表1-1)。因此,有必要对 F_3 、 F_4 断层岩体力学性质进行研究,并且通过对两断层的模拟试验来观测断层在开采情况下的岩体变化情况,进一步确定煤柱留设的大小。这项研究的开展不仅具有重要的理论意义,而且具有重大的经济效益和社会效益,并且具有较好的推广应用价值。

表 1-1 各煤层储量(万 t)计算表

煤层	标高(m)	储量 工业储量	煤柱损失			可采储量
			断层煤柱	防水煤柱	合计	
5 ₁	-320~-520	41.7	12.7	5.6	18.3	15.2
5 ₂	-320~-520	53.6	12.1	6.4	18.3	22.9
7 _{2,3}	-315~-520	158.7	34.4	9.7	44.1	74.6
8 ₂	-315~-520	79.7	29.8	5.7	26.5	34.6
合计		333.7	80.0	27.4	107.4	147.3

1.2 国内外研究现状

1.2.1 岩体结构研究现状

在岩体结构方面,国内外学者进行了大量的研究,取得了显著的进展和成效。目前一般认为,岩石(体)力学是在 20 世纪 50 年代后期形成的,并且以法国 J. Talobre 的岩石力学著作的出版为标志^[3]。早期的岩石(体)力学研究是以岩块为研究对象,人们把岩体看成一种材料,直接引用材料力学研究中发展起来的连续介质理论,人们还没有认识到岩体的特殊性和复杂性。大量的工程实践表明,特别是像 1959 年 12 月法国 Malpassat 坝的破坏以及 1960 年 10 月意大利 Vajont 坝的大滑坡造成的水库失效^[4]等大型工程事故的惨痛教训,人们开始重视岩体的裂隙性,注意对碎裂岩体基本力学性质研究。事实上岩体与完整的岩石材料不同,其中存在着断层、节理和层面等各种不连续面(或称结构面)。岩体是在这些不连续面的切割下,形成一定的岩体结构,并赋存于一定的地质环境中的地质体^[1,5]。奥地利 J. Stini 一再强调,应该对岩体的结构面,如断层、节理和裂隙等进行观测和考察,研究它们的作用及其对岩石力学性质的影响^[6]。20 世纪 60 年代谷德振^[5]、孙玉科^[7]提出了“岩体结构”概念和岩体结构控制岩体稳定的重要观点。意大利的 L. Broili (1974)曾提出五条岩体力学性质的定理,强调岩体力学性质的影响大于岩石力学性质的影响,岩体强度和变形取决于岩体结构等特征。在大量的试验和实践基础上,在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初,孙广忠等明确提出“岩体结构控制论”是岩体力学的基本理论^[1],推动了岩体力学进入到岩体结构力学的研究阶段。

结构面和结构体是岩体结构的两个基本单元,是岩体力学规律形成的基础,它们相互排列组合形成了各种各样的岩体结构,控制着岩体的变形和破坏。岩体结构是沉积建造和构造改造作用的结果,其形成和演化的实质就是在沉积作用和构造作用双重控制下岩体内、外界物质和能量的交换过程,在岩体结构内,各组成要素表现为多层次性、非线性和不确定性等。谷德振^[5](1979),孙广忠^[1](1988,1993),陈昌彦^[8](1997)等提出了不同级别的结构面对岩体结构效应的贡献是不同的,为此按结构面的自然规模将其分为五级,一般认为 I、II 和 III 级结构面为不同规模的断层和断裂带,IV、V 级结构面多为随机分布的

节理裂隙。当前,随着新学科、新技术和新方法的不断引入,相关理论已取得很大发展。Pinnaduwa H. S. W. Kulatilake^[9](1997)提出了盒分维值在节理化岩体统计均质分区中的应用;王金安、谢和平^[10](1997)研究了剪切过程中岩石节理粗糙度分形及力学特征;在岩体力学计算中,除了将结构面单独处理外,采用降低弹模的方法,建立了节理岩体等效模型的等效本构关系进行模拟,均取得良好效果。谭学术^[11](1994)探讨层状复合岩体的宏观强度及其当量物理力学性质,对不同岩石组成的层状岩体,在假设层内均质条件下,给出了三维应力理论强度条件表达式。何满朝^[12]对含结构面的岩体进行连续性概化,提出了连续性模型和连续微元尺寸条件,对不同尺寸和不同岩体结构面的工程岩体,其连续微元尺寸有所不同,从而为结构面的处理提供了理论依据。邓喀中^[13](1993)在现场实测、相似模拟试验和计算的基础上获得了层面滑移规律。但是目前对岩体结构面的几何形态和力学性质的描述依然十分粗糙,特别是环境因素对他们的影响上缺乏可靠的依据,对沉积岩体结构特性认识不够深入。岩体力学至今所强调的是连续介质理论,虽然考虑了材料的物理非线性问题,但从几何场理论的角度来看,它仍然是小变形近似理论。因此,从原始沉积入手,研究岩体的岩性结构和环境因素及其力学性质的影响,建立可靠的岩体结构地质力学模型和本构关系,是工程岩体力学研究的重要内容。

1.2.2 断裂带岩体结构研究现状

由于断裂带通常都充填一定厚度的各种各样的构造破碎产物,并且其上、下盘常有一定范围的影响破碎带,因此,断裂带是作为一个低强度、易变形、透水性大和抗水性差的软弱带,与其两侧岩体在物理力学特性上具有显著的差异。对于断裂带,特别是煤矿区的断裂带,由于其隐蔽性,所以研究较少。但也有一些学者从不同的角度对此进行过研究。孙广忠^[1](1988)研究了断层破碎带宽度、断层影响带宽度和断层交汇带宽度的力学效应。徐志斌、王继尧^[14]对断裂构造的分形结构进行了研究,认为断裂构造具有明显的分形结构特点,可以用分形几何来定量研究。孙岩、韩克从^[15](1985)从断裂构造岩的分带展布、变化发展的过程中,探求内在的规律性,进一步确定了各种破裂结构面中构造岩带的构造型式,并和结构面的显观构造相联系,提出了结构面的构造岩带。孟召平、彭苏萍等^[16]通过对正断层附近煤岩显微裂隙、孔隙观测、力学性质试验和数值模拟分析,系统地揭示了正断层对煤的物理力学性质和矿压分布的影响。黄桂芝、秦宪礼等^[17]通过对断层附近反牵引现象的研究,指出其是正确判断断层性质,准确寻找缺失盘煤层的一项非常重要的干扰因素。

1.2.3 断层突水研究现状

断层突水研究方面,国内学者做了大量的研究工作。杨善安^[18]详细分析了断层在采空区的位置及要素与突水的关系,得出断层面倾向采空区方向的采空区边界底板断层最容易发生突水事故,尤其是当断层倾角同最大膨胀线相吻合时,突水最容易发生。黎良杰、钱鸣高等^[19]把断层分为张开型与闭合型,分别对其突水机理进行分析,得出张开型断层的突水机理是断层两盘在承压水作用下产生了张开,承压水沿张开裂隙突出,同时对断层带进行渗透冲刷;闭合型断层的突水机理主要是断层两盘按板的规律破坏或断层两盘关键层接触部产生强度失稳,并得出正断层比逆断层更容易突水,闭合型断层在采动影响

下可能转化为张开型断层。谭志祥^[20]利用力学平衡的原理,计算底板断层在垂向方向承受的压力,当垂向方向的压力不平衡时,可能发生突水事故,并给出了底板及断层附近是否突水的判别公式。该力学模型把底板简化为自由边界,与实际情况有较大的出入,但其研究方法值得参考。邱秀梅^[21]利用重整化群方法研究了断层单元体破裂的随机性和关联性,并对断层导水裂隙的扩展规律进行了分析。得出如下的结论:当所施加应力仅使断层单元的破坏率 P 小于临界破坏率 P_c 时,系统破坏仅是局部的;当 P 大于临界破坏率 P_c 时,原有随机无序分布的裂隙逐渐向断层中的最大剪应力面吸引集中,直至各裂隙贯通,形成导水通道,引发断层突水。李晓昭等^[22,23]提出断层带会成为地下空间开挖后变形和应力传播的“屏障”,造成断层带与开挖空间之间应力和变形强烈积聚,断裂带内产生指向开挖空间的较大回弹位移和位移梯度,从而导致断层带内张性裂隙的产生和地下水的透入。白峰青^[24]基于极限设计思想的概率方法提出断层防水煤柱设计的可靠度方法,认为:断层沿侧向突水的概率小于沿工作面底板突水的概率;随着长壁工作面倾向长度的增加、变异系数的增大、强度的降低,可靠度降低,突水的可能性增大。施龙青^[25]分析了采场断层突水的力学机理,从矿压的角度给出了采场底板断层是否突水的判别方法,认为采场断层发生突水的条件为煤层开采造成的底板破坏深度不小于底板高峰应力线与断层交点的深度。另外,卜昌森^[26]基于大量的现场突水资料,探讨了在矿压作用下,地质构造的存在更容易引起底板突水;杨映涛^[27]利用相似模拟研究了底板突水机理,得出了有断层底板突水的可能性,与断层的位置和角度有关;刘燕学^[28]探讨了断层构造对底板突水的控制作用,定性分析了相同的地质条件下,断裂破坏带突水的可能性较正常岩层突水可能性显著提高;杨新安^[29]将断层突水分为大断层突水与小断层(落差为几米的一条或几条断层构成的破碎带)突水,并分别分析了各自突水的特点和突水机理;武强^[30]阐述了断层滞后突水的弱化机理和主要控制因素,提出了煤层底板断裂构造突水时间弱化效应的新概念。

1.2.4 断层煤(岩)柱留设研究现状

在过去,在断层防水煤岩柱留设方面,有的是引用国外的经验数据或经验公式(其中有前苏联的,也有波兰的),所留设的防水煤柱,其尺寸有时过大,致使积压了大量的煤炭资源;有时过小,加之水文地质条件不清,从而引发了较严重的水害事故。断层防水煤岩柱的留设方面,国内外一些学者和专家都进行了一定的研究和探讨。M. 鲍莱茨基、M. 胡戴克^[31]给出了影响煤柱压力的因素:①埋藏深度;②煤柱宽度;③顶板的坚固性;④煤层的性质;⑤充填体和冒矸石的阻力。R. N. 古波达等^[32]提出以板梁理论和隔离带组成物的“稳定性指标”为依据,对防水煤柱的最小宽度进行了计算,确定了防水煤柱的安全宽度。桂和荣等^[33]应用岩石力学有限元理论对不同煤柱尺寸情况下的围岩应力及其变化,采用“无拉应力分析原理”分析研究在变化的应力状态下煤岩层的稳定性,进而确定出最佳的导水断层防水煤柱尺寸。高良敏^[34]运用岩石力学弹塑性分析有限单元法,通过模拟开采来反映断层附近采场的应力变化情况来确定合理的防水煤(岩)柱。冯本超^[35]等通过对正断层上盘防水煤柱合理宽度的研究,将断层面法线方向上的防水煤柱分为断层裂隙带、弹性核和屈服带三个区域,并且分析了防水煤柱留设宽度的影响因素,在此基础上

建立了正断层上盘防水煤柱宽度的计算公式。杜文堂^[36]使用可靠度分析的“JC”法,分析水压力、煤层抗张强度及突水系数的不确定性,建立了防水煤柱可靠度分析的极限状态方程。计算了与防水煤柱有关的可靠度指标、失效概率和安全系数,认为防水煤柱的失效概率在 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$ 比较合适。

对于矿区的断层带,一般都深埋在几百米之下,在这样的环境下,断层破碎带的岩体结构如何,断层带的赋水情况如何,断层带是否导水,在断层附近开采,采动效应对断层带的岩体结构的影响如何,以及是否需要留设防水煤(岩)柱等方面的研究较少,对在断层带进行无煤柱开采研究则更少。因此,通过对断层带岩体结构的力学特征、水文地质特征的系统研究,合理留设断层防水煤(岩)柱,对确保矿井安全高效生产具有重要的指导作用,具有重大的理论意义和经济、社会效益。

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 主要研究内容

(1) 断层带岩体工程地质综合特性研究

1) 断层带岩体的岩石学和构造地质学特征研究

① 详尽地描述断层带岩体的岩性特征;

② 对断层带附近的节理裂隙密度进行统计,找出距断层不同距离的围岩裂隙节理密度的分布规律;

③ 详尽描述断层带岩体地质结构组合特征,定性评价其物理、力学、水理性质及其在地应力、地下水和工程作用下的效应和特征。对断层带的岩性、组成成分、组合特征进行详尽的研究,根据其组合性质的不同划分和评价自然岩组类型;

④ 断层要素之间关系的研究。包括:通过对断层的产状、落差以及与煤层间的夹角角进行研究,分析研究断层对煤层附近地层的切割关系;通过对断层的产状摆动情况进行研究,分析断层带对煤系地层的影响程度;通过对不同地段断层带宽度的变化特征进行研究,分析研究断裂带成因类型、地应力强度及岩性。

2) 断层带岩体的综合工程地质性能测试研究

① 断层带岩体岩石成分鉴定与测试。

② 断层带岩体的岩石物理力学性能测试,包括:

a. 断层带岩石物理性质;

b. 断层带岩石的力学性质指标测试(包括:单轴抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、弹性模量、泊松比等);

c. 断层带岩石的水理性质测试研究;

d. 断层带岩石超声波测试,确定波速与岩石强度之间的关系;

e. 断层带岩体原位波速测定,包括孔内岩体和巷道方向断层两侧岩体,通过测试,建立动、静力学指标之间的关系,确定岩体结构类型,获取岩体强度指标。

f. 通过以上对断层带岩体力学性质的综合测试研究,进而确定断层带的岩体结构特征以及确定断层带岩体的力学参数,从而建立断层带的岩体结构力学模型。

(2) 断层带岩体水文地质特征研究

① 矿区水文地质特征综合分析;

② 矿井充水水源分析:对松散层水、砂岩水、底板灰岩水等进行详细调查,分析它们是否会由于采动的影响而涌入矿井;

③ 断层带附近的涌突水通道分析,包括采动裂隙、构造裂隙等的导水作用;

④ 断层带岩体的赋水性能测试与评价,利用物探(直流电法或瞬变电磁)技术进行断裂的赋水性探测;利用钻探技术(抽水试验等)探测断层的导水性以及与其他含水层之间的联系程度。

(3) 留设断层煤柱开采计算机数值模拟研究

主要采用 FLAC 数值模拟,内容包括:

① 根据矿区地质及水文地质特征,结合上述测试成果,建立不同特性的断层带岩体的地质模型(顶板模型和底板模型);

② 建立断层带岩体的数学力学模型(顶板模型和底板模型);

③ 进行模型受力分析,等效移置围压、自重、水压、采空区应力释放边界的等效拉应力;

④ 对岩石和煤的物理力学参数进行修正,从而确定在断层带岩体的力学参数值。

⑤ 模拟计算不同特性断裂带在留设不同煤柱宽度的条件下开采时的采动效应,进而合理确定不同性质断裂带的煤柱宽度。

(4) 留设断层煤柱开采相似材料模拟试验研究

结合研究区实际,对留设断层煤柱开采条件下的覆岩与底板岩体的变形破坏特征进行相似材料模拟。根据具体断裂带的岩体性质、受力条件,按照几何相似、运动相似、边界条件相似、对应的物理量成比例的原则,在实验室制作相似模型,观测模拟现场开采时各有关量的变化情况,并找出其规律性,然后在按照各种相似条件还原到现场,从而得出现场有关量的规律,进而确定该地区是否需要留设防水煤柱及留设宽度。

(5) 断层防水煤柱的合理留设研究。

1.3.2 采取的研究方法和技术路线

为了最大限度地开采地下矿产资源,保证在断层带开采过程中的安全性,必须对断层带及其附近的煤岩层的稳定性进行综合研究,为科学合理地留设断层煤柱提供科学依据。

(1) 研究方法

① 系统收集研究区实际资料,进行统计、整理、制图;

② 在井下巷道对断层带岩体进行观测描述,取样,对其进行物理力学性质室内试验;

③ 对断层带进行物探和钻探探测,确定断层带岩体的赋水性、导水性及岩体结构;

④ 建立断层带岩体的地质模型(顶板模型和底板模型);

⑤ 建立断层带岩体留设煤柱开采的数学力学模型(顶板模型和底板模型);

⑥ 在上述所建模型的基础上,对模型进行数值模拟和相似材料模拟试验,综合评价断层带性质与煤柱留设宽度之间的关系,确定断层采动影响范围,为合理留设断层防水煤柱提供科学依据。

(2) 技术路线

采用的技术路线如图 1-1 所示。

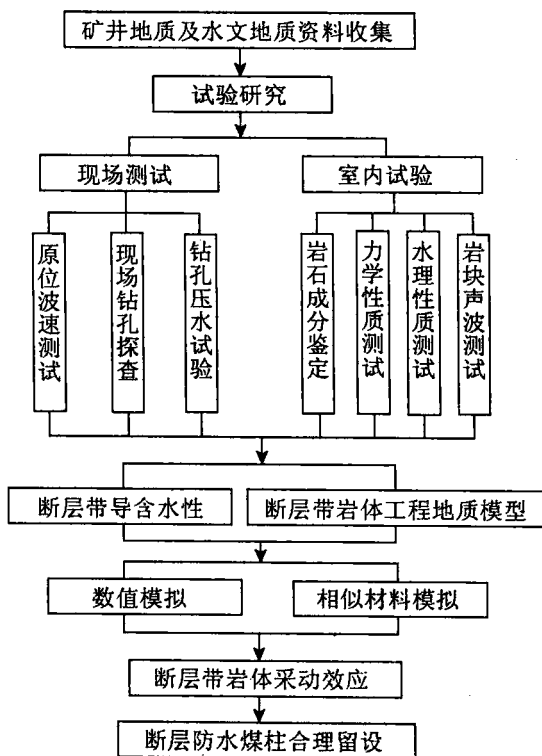


图 1-1 研究技术路线图

第2章 断层基本特征及其形成机制

矿井地质构造是影响煤矿生产建设最重要的地质条件(因素),这是因为地质构造具有普遍性和控制性的特点。众所周知,地质构造普遍存在于一切矿井,只是它的复杂程度、表现形态和对生产的影响大小各有不同或存在差异而已。同时,地质构造不仅本身严重影响煤矿生产建设,而且还对其他开采地质条件起着明显的控制作用,在研究煤厚变化、顶板稳定性、煤与瓦斯突出、岩浆侵入、岩溶陷落、地温、地压等开采地质条件时,都不能不考虑地质构造因素的控制性。

地质构造对煤矿生产建设的影响具体归纳为以下几方面:

(1)影响井型规模和井田划分。构造破坏严重的矿区不能建设大型矿井,而大型断层和褶皱枢纽往往是划分井田的自然边界。

(2)影响开拓部署。井田内部的断层和褶皱,对于开采水平的划分、运输大巷的部署、采区划分和巷道布置等都有直接的影响。构造破坏严重的矿井,采区划分零乱,巷道系统复杂。

(3)影响掘进率。构造复杂的地段,工作面布置往往不正规,需要多掘巷道,甚至造成无效进尺,使掘进率比正常情况显著增大。

(4)影响采面正常生产。回采工作面内出现断层,给生产造成困难,影响正规循环作业,甚至使生产中断。

(5)影响安全生产条件。构造对矿井涌水、煤与瓦斯突出、顶板稳定性等都起着明显的控制作用,从而增加了井下不安全因素。

(6)构造的破坏,特别是断层的大量出现,还会影响煤层的开采价值,损失国家资源和增加煤炭成本。

综上所述,矿井地质构造严重影响着煤矿生产建设的各个阶段和各种方面。因此,研究和查明矿井地质构造是矿井地质的重要任务。

地质构造包括褶皱、断层和节理。褶皱虽然影响煤层的空间产状和位态,但它没有破坏煤层的连续性,在井巷中比较容易追索和查明;而断层则破坏了煤层的连续性和完整性,在井巷中较难查明和控制,给采掘生产带来很大影响;节理由于尚未独立构成对煤矿生产的直接影响,仅是其他开采地质条件的影响因素和组成部分。因此,矿井地质构造的研究重点是矿井断层构造。

断层的规模大小、切割的深浅差别甚大。有些断层时断时续活动到现今,对人类也有很大的影响。一些规模巨大的断层,不仅直接控制区域的沉积作用、岩浆活动和构造变动,而且还控制和影响了区域的成矿作用,还常常分隔着两个不同的大地构造单元。一些规模中、小型的断层,对于矿产的形成和改造、地下流体(油、气、水)的运移和储聚以及地震的发生和活动等都起着直接的控制作用或产生重要的影响。因此,在含煤盆地构造的研究或矿井构造的研究中往往离不开断层的分析。

研究断层构造,需要具体分析其形态特征、分类和组合关系、时间上的发展规律和空

间上的分布规律、断层的形成机制及断层与矿产的关系等。本章参考了徐开礼^[37]、李启昆^[38]、陆克政^[39]和郭颖^[40]等的构造地质学教材,主要阐述了断层的几何特征、断层的成因机制和断层的识别标志等内容。

2.1 断层的几何要素

断层的规模、形态和产状千差万别,但每一条断层都由几个基本的要素组成,简称为断层要素。断层的几何要素包括断层的基本组成部分以及与描述断层空间位置和运动性质有关的具有几何意义的要素。

(1) 断层面(带)和断层线

断层是一种面状构造。断层相对位移的错动面称为断层面,断层面也就是构成断层的破裂面,它可被视为面状构造以确定其产状。断层面有的平直、有的弯曲(波状)。断层面与地面的交线称为断层线,亦即断层在地表的出露线。它的出露形态取决于断层面的产状和地形(坡向、坡角)。规模较大的断层面,无论沿其走向或倾向产状都会有些变化,而且大断层的错动往往不是沿一个平面而是沿着具有一定宽度的破裂地带发生的,这种破裂带叫断裂带或断层带。断裂带可由一些近于平行的或互相交织的断层组合而成,其宽度自几米至数百米甚至可达数十公里。

(2) 断盘

断盘是指断层面两侧的岩层或岩体,也即断层两侧相对移动的岩块。当断层面倾斜时(多数情况),断盘分为位于断层面上侧的上盘和位于断层面下侧的下盘(图 2-1)。当断层面直立时,则相对于断层面的方位两盘可以分为东盘、西盘或东北盘、西南盘等。根据两盘相对错动的关系,可把相对上升的一盘称为上升盘,相对下降的一盘称为下降盘。

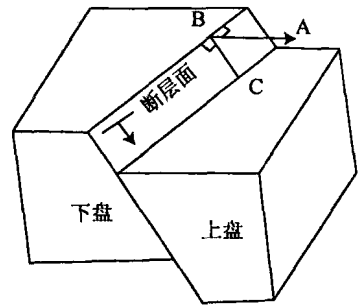


图 2-1 上下盘、断层面和断层线示意图

(3) 位移

位移也叫断层位移,是断层两盘相对移动的总称,是任意方向上量度的断层两盘的相对运动方向及运动大小。

位移的几何要素:断层位移的主要几何要素如图 2-2 所示。断层面的倾斜常以断层面与铅垂面的夹角来度量,该角称为断层余角。两盘间断层面的位移可沿断面中的任何方向,平行断面走向位移的断层称为走向滑动断层;平行断面倾向位移的断层称为倾向滑动断层。斜向滑动位移的断层是具有走向滑动分量和倾向滑动分量的断层,如图 2-2 所示。倾向滑动断层上的位移测量常根据位移的水平分量和铅直分量分别称为平错和落差(图 2-3)。对于倾向滑动断层通常是采用落差或铅直位移,而不是真位移。这些断层要素间的关系由下式给出:

$$\tan \alpha = \frac{\text{落差}}{\text{平错}} = \frac{t}{h}$$