

深厚表土长大综放工作面 顶板运动灾害控制

刘金海 姜福兴 王乃国 著



科学出版社

深厚表土长大综放工作面顶板 运动灾害控制

刘金海 姜福兴 王乃国 著

国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB226800)资助
国家自然科学基金项目(51274022,51174016)资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家重点基础研究发展计划(973)项目的主要研究成果之一,书中详细阐述了深厚表土长大综放工作面顶板运动特征和支承压力演化特征,深入研究了深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害(巷道失稳、冲击地压、异常来压)的发生机理和控制技术,全书共分8章,包括深厚表土长大综放工作面围岩支承压力分布特征、沿空掘巷围岩变形机理、沿空掘巷围岩控制技术、冲击地压发生机理、冲击地压防治技术、大面积异常来压机理与控制技术等。

本书适合从事煤矿顶板灾害(巷道失稳、冲击地压、异常来压)防治的科研人员、工程技术人员、高校教师和研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制/刘金海,姜福兴,王乃国著. —北京:科学出版社,2013. 11

ISBN 978-7-03-039009-7

I. ①深… II. ①刘… ②姜… ③王… III. ①综采工作面-顶板运行-灾害防治 IV. ①TD77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 256862 号

责任编辑:耿建业 万群霞 刘翠娜 / 责任校对:韩 杨

责任印制:张 倩 / 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>

安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2013 年 11 月第一次印刷 印张:16

字数:362 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

顶板灾害是煤矿五大灾害(顶板、瓦斯、煤尘、火、水)之一。据统计,每年我国煤矿顶板事故起数和死亡人数分别占煤矿事故起数和死亡人数的45%和30%以上。21世纪以前,我国煤矿顶板灾害形式主要为采场顶板灾害和巷道顶板灾害;进入21世纪后,我国煤矿顶板灾害形式逐渐由采场和巷道顶板灾害转变为冲击地压灾害。统计资料显示,我国冲击地压矿井数量由1990年的40个增加到2012年的140余个。因此,冲击地压、采场顶板灾害和巷道顶板灾害将成为我国煤矿进入新世纪后面临的主要顶板灾害形式。

煤矿顶板灾害是由采掘工作面顶板运动造成的。根据参与运动的顶板岩层范围不同,可将顶板运动划分为低位顶板运动和高位顶板运动。低位顶板运动诱发的问题可归结为“载荷”问题,如采场顶板灾害、巷道顶板灾害;高位顶板运动诱发的问题可归结为“应力”问题,如冲击地压灾害。为强调“载荷”和“应力”两个基本概念之间的差别,指出“载荷”是低位顶板运动产生的,是采场顶板灾害、巷道顶板灾害发生的力源,“应力”是高位顶板运动产生的,是冲击地压发生的力源。从工程控制的角度出发,可将顶板运动灾害分为“载荷控制型”灾害和“应力控制型”灾害。传统矿山压力理论研究的核心问题是采场和巷道顶板控制设计问题,即“载荷”控制问题,而深部矿山压力理论将不可避免冲击地压防治问题,即其核心内容为“应力”和“载荷”两个问题。因此,“应力”和“载荷”控制设计是煤矿深部开采顶板运动灾害控制面临的科学问题。

本书内容主要来源于国家重点基础研究发展计划(973)项目“煤炭深部开采中的动力灾害机理与防治基础研究”、国家自然科学基金项目“矿山微地震波的自动识别的基础研究”与“基于高精度微震监测的岩层破裂与移动轨迹追踪基础研究”的研究成果。本书围绕顶板“载荷”和围岩“应力”的确定和控制这一主线,针对深厚表土长大综放工作面开采面临的工程问题,结合巨野煤田开采特点,利用自主开发的高精度微震监测系统(microseismic monitoring)和应力动态监测(stress fluctuation monitoring)系统开展现场实测,并通过案例调研、理论分析、数值模拟、工程类比等,深入研究深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害的发生机理和控制技术,具体研究内容包括:①深厚表土长大综放工作面围岩支承压力分布特征;②深厚表土长大综放工作面沿空掘巷围岩变形机理与控制技术;③深厚表土长大综放工作面冲击地压发生机理与防治技术;④深厚表土长大综放工作面大面积异常来压机理与控制技术。

本书研究工作得到湖南科技大学冯涛教授,华北科技学院何学秋教授、蔡卫教授,山东能源集团翟明华研究员、李伟研究员、郭信山高工,新汶矿业集团辛恒奇研究员、张明研究员、孙广京高工、张治高高工、刘善勇高工的关心和指导,在此表示衷心的感谢。同时感谢朱权洁、朱斯陶、史先锋、舒凑先在程序开发和插图绘制过程中提供的帮助。另外,本书出版得到国家重点基础研究发展计划(973)项目“煤炭深部开采中的动力灾害机理与防治基础研究”(编号:2010CB226800)、国家自然科学基金项目“矿山微地震波的自动识别的基础研究”(编号:51174016)与“基于高精度微震监测的岩层破裂与移动轨迹追踪基础研究”(编号:51274022)的资助,在此表示感谢。

由于试验矿井投产较晚和研究时间较短,书中许多观点是初步的研究成果,许多理论和工程问题有待深入探讨;加之作者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2013年8月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 问题提出	1
1.2 研究基础	5
1.3 矿山压力理论研究现状	7
1.3.1 矿山压力“假说”阶段	7
1.3.2 矿山压力理论形成阶段	9
1.3.3 矿山压力理论发展阶段	12
1.4 采场支承压力研究现状	14
1.5 冲击地压研究现状	16
1.5.1 冲击地压发生机理	17
1.5.2 冲击地压监测技术	20
1.5.3 冲击地压治理技术	22
1.6 研究内容与研究方法	26
1.6.1 研究内容	26
1.6.2 研究方法	30
第 2 章 深厚表土长大综放工作面围岩支承压力分布特征	31
2.1 监测技术与监测方案简介	32
2.1.1 应力动态监测	32
2.1.2 微震监测	33
2.2 深厚表土长大综放工作面采动影响范围实测	35
2.2.1 应力动态监测揭示的工作面采动影响范围	35
2.2.2 微震监测揭示的工作面采动影响范围	36
2.3 深厚表土长大综放工作面围岩支承压力分布特征实测	40
2.3.1 应力动态监测揭示的工作面围岩支承压力分布特征	40
2.3.2 微震监测揭示的工作面围岩支承压力分布特征	45
2.3.3 监测结果对比分析	47
2.4 综放工作面围岩支承压力计算模型	49
2.4.1 动态支承压力计算模型	49
2.4.2 静态支承压力计算模型	51

2.5	算例分析	55
2.6	本章小结	57
第3章	深厚表土长大综放工作面沿空掘巷围岩变形机理	58
3.1	综放工作面侧向岩层结构特征分析	59
3.1.1	综放采场覆岩空间结构特征	59
3.1.2	首采面侧向岩层结构特征	60
3.1.3	沿空面侧向岩层结构特征	61
3.2	综放工作面沿空掘巷护巷煤柱合理宽度研究	62
3.2.1	护巷煤柱合理宽度确定原则	62
3.2.2	沿空巷道的可选位置	62
3.2.3	护巷煤柱合理宽度的确定	64
3.3	沿空巷道围岩变形力学机理研究	67
3.3.1	掘巷前沿空巷道围岩变形机理	68
3.3.2	掘巷后沿空巷道围岩变形机理	69
3.3.3	本工作面回采时沿空巷道围岩变形机理	71
3.4	沿空巷道围岩变形特征与影响因素分析	75
3.4.1	数值模拟内容	76
3.4.2	数值计算模型及有关参数	77
3.4.3	模拟结果分析	78
3.5	沿空巷道围岩变形预计	87
3.5.1	沿空巷道围岩变形预计模型	87
3.5.2	算例分析	89
3.6	本章小结	90
第4章	深厚表土长大综放工作面沿空掘巷围岩控制技术	92
4.1	深井综放工作面沿空掘巷围岩控制机理	93
4.1.1	深井综放工作面沿空掘巷特点	93
4.1.2	深井综放工作面沿空掘巷围岩控制机理	94
4.2	深井综放工作面沿空掘巷围岩控制技术	99
4.2.1	高强度锚杆支护技术	99
4.2.2	大吨位超前液压支架支护技术	101
4.3	工程案例分析	107
4.3.1	工程概况	107
4.3.2	沿空掘巷支护设计	107
4.3.3	沿空巷道超前液压支架选型	111
4.3.4	应用效果分析	112

4.4 本章小结	114
第5章 深厚表土长大综放工作面冲击地压发生机理	116
5.1 冲击地压分类	117
5.1.1 冲击地压分类目的	117
5.1.2 冲击地压分类方法	117
5.1.3 冲击地压新分类	118
5.2 深厚表土长大综放工作面发生冲击地压的机理	121
5.2.1 深厚表土长大综放工作面的冲击地压特点	121
5.2.2 冲击地压发生机理	124
5.3 应力叠加原理	131
5.3.1 动静支承压力叠加	131
5.3.2 采动应力叠加	132
5.3.3 侧支承压力与超前支承压力叠加	135
5.3.4 采动应力与构造应力叠加	136
5.4 构造对冲击地压的控制机理	138
5.4.1 断层诱发冲击地压	139
5.4.2 褶皱诱发冲击地压	142
5.4.3 相变诱发冲击地压	144
5.5 本章小结	145
第6章 深厚表土长大综放工作面冲击地压防治技术	146
6.1 冲击地压控制机理与治理思路	146
6.1.1 冲击地压控制机理	146
6.1.2 冲击地压治理思路	149
6.2 冲击地压防治技术体系	150
6.2.1 冲击地压防治成套技术	150
6.2.2 冲击地压防治技术体系构建	150
6.3 回采工作面冲击地压危险性评价	151
6.3.1 回采工作面冲击地压危险性评价流程	151
6.3.2 回采工作面冲击地压危险性宏观评价	152
6.3.3 回采工作面冲击地压危险性多因素耦合评价	155
6.3.4 案例分析	156
6.4 震动场、应力场联合监测冲击地压的理论	158
6.4.1 震动、应力诱发冲击地压的机理	158
6.4.2 “自发型”、“诱发型”冲击地压监测机理	160
6.4.3 震动场、应力场联合监测冲击地压的机理	162

6.4.4 矿井冲击地压监测技术体系	163
6.5 冲击地压危险区分类及分区治理思路	165
6.5.1 冲击地压危险区分类	165
6.5.2 冲击地压分区治理思路	166
6.6 强排煤粉防治冲击地压的机理	166
6.6.1 强排煤粉防冲机理	167
6.6.2 钻孔参数的确定	173
6.7 工程案例分析	176
6.7.1 工程概况	176
6.7.2 监测系统布置	176
6.7.3 危险区治理	177
6.8 本章小结	181
第7章 深厚表土长大综放工作面大面积异常来压机理与控制技术	183
7.1 综放工作面大面积异常来压典型案例分析	183
7.1.1 综放工作面大面积异常来压形式分类	183
7.1.2 综放工作面大面积异常来压诱发因素统计分析	184
7.2 综放工作面大面积异常来压机理研究	188
7.2.1 综放工作面支架-围岩关系	188
7.2.2 综放工作面大面积异常来压机理	189
7.3 综放工作面大面积异常来压诱发因素分析	191
7.3.1 直接顶载荷增大	191
7.3.2 冲击载荷	196
7.3.3 煤壁失稳	200
7.3.4 支架载荷时间效应	200
7.3.5 支架选型	205
7.3.6 支架初撑力	208
7.3.7 支架姿态	209
7.4 综放工作面支架载荷演变的数值模拟	210
7.4.1 数值计算模型	210
7.4.2 模拟方法	210
7.4.3 计算结果分析	211
7.4.4 模拟结果与实测结果对比分析	213
7.5 综放工作面大面积异常来压控制技术研究	216
7.5.1 综放工作面大面积异常来压控制机理	216
7.5.2 综放工作面大面积异常来压控制技术	217

7.6 综放工作面大面积异常来压危险性评价	222
7.6.1 大面积异常来压危险性评价指标	222
7.6.2 异常来压危险性评价思路	223
7.6.3 异常来压危险性评价方法	224
7.6.4 异常来压危险性评价程序(RWRA)开发	226
7.6.5 工程案例分析	230
7.7 本章小结	232
第8章 全书结论	234
8.1 主要结论	234
8.2 创新点	236
8.3 研究展望	237
参考文献	238

第 1 章 绪 论

1.1 问题提出

煤炭作为我国的主要能源,在国民经济和社会发展中具有重要的战略地位。由我国 2011 年能源消费结构(图 1.1)可以看出,我国煤炭消费量约占一次能源消费总量的 70.4%,石油、天然气、新能源(非化石能源)的消费量分别占一次能源消费总量的 17.7%、4.5%、7.4%。国家《能源中长期发展规划纲要(2004~2020 年)》中明确提出“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的能源战略”。可见,我国以煤炭为主的能源结构在较长的一段时期内不会改变。

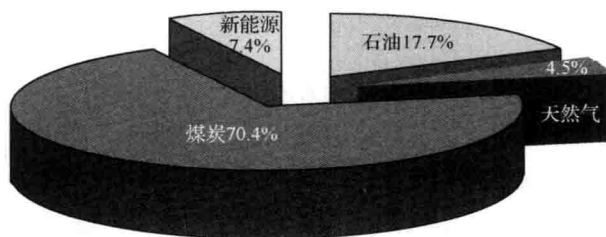


图 1.1 2011 年我国能源消费结构

我国资源呈现“富煤、少气、缺油”的特点,这种资源现状决定了我国能源结构长期以来以煤为主的局面。根据对我国 2001~2010 年煤炭产量及其占一次能源消费总量比重的统计(图 1.2),从 2001~2010 年,我国煤炭产量由 11 亿 t 增加到 32 亿 t,增加了近两倍;而煤炭在一次能源消费总量中的比重一直维持在 65% 以上。可见,国民经济发展对煤炭的依赖性较大,随着经济建设的迅猛发展,煤炭消费量难以下降。

煤炭资源的大量开采,一方面导致浅部资源趋于枯竭,煤矿开采深度逐年增加;另一方面造成易采资源逐渐减少,开采条件日益复杂。据统计,我国煤矿开采深度以每年 8~12m 的速率增加^[1],目前全国超千米深井已超过 40 个,如新汶华丰煤矿水平开采深度达到 1500m,孙村煤矿开采深度超过 1300m,兖州古城煤矿开采深度超过 1200m,曲阜星村煤矿开采深度接近 1260m,滕州朝阳煤矿开采深度接近 1100m。另外,我国埋深超过千米的煤炭资源储量为 2.95 万亿 t,占煤炭资源总量的 53%^[2]。因此,多数煤矿将逐步进入深部开采阶段。有专家预计,未来 10 年

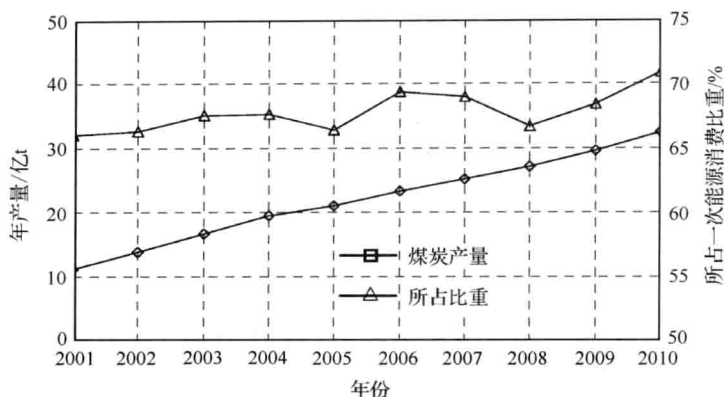


图 1.2 我国煤炭产量及其占一次能源消费总量的比重

内我国很多煤矿将进入 1000~1500m 的开采深度,国有重点煤矿平均采深将达到 1200m^[3]。深部开采面临“三高一扰动”(高地应力、高地温、高岩溶水压、采矿扰动)的特殊环境,面临的主要灾害形式有冲击地压、突水、采场压架、瓦斯突出、巷道失稳等^[4]。

另外,根据采用的接续方式不同,所有煤矿都将至少面临沿空、孤岛、残采等三种采矿条件中的一种。如部分煤矿前期为避免工作面之间的干扰,采用跳采接续方式,到后期必将面临孤岛开采的局面;多数煤矿为避免后期孤岛开采问题,采用顺序开采接续方式,工作面之间通过留设窄煤柱隔开,下区段工作面面临沿空开采问题;各煤矿在回采各种保护煤柱时,面临残采问题。这三种采矿条件易诱发冲击地压、采场压架、瓦斯突出、巷道失稳等灾害。

厚煤层是我国实现高产、高效开采战略的主力煤层。据统计^[5],我国厚煤层可采储量约占煤炭资源总可采储量的 45%,每年地下开采的厚煤层资源占全国煤炭产量的 40%~50%。对于厚度大于 6m 的煤层,通常采用综合机械化放顶煤工艺。与薄煤层开采或分层开采不同的是,综放工作面的采高大、采动影响大、影响范围大。因此,综放工作面易发生冲击地压、采场压架、巷道失稳、瓦斯突出、煤层发火等灾害。

我国煤矿深部开采、复杂开采、综放开采易诱发的顶板灾害主要有冲击地压、采场压架、巷道失稳等。顶板灾害一直是我国煤矿面临的主要灾害形式,也是煤矿五大自然灾害(水、火、瓦斯、粉尘、顶板)之一。根据对我国 2001~2010 年煤矿顶板事故总数及其占事故总数比重的统计(图 1.3),我国煤矿顶板事故总数从 2001 年的 1780 起下降至 2010 年的 702 起,下降了 60%,但占事故总数的比重一直维持在 45%以上。根据对我国 2001~2010 年煤矿顶板事故伤亡人数及其占事故伤亡总人数比重的统计(图 1.4),我国煤矿顶板事故伤亡人数从 2001 年的 2208 人

下降至2010年的829人,下降了62%,但占事故伤亡总人数的比重一直维持在30%以上。可见,我国煤矿顶板灾害总体上得到了有效控制,但其占煤矿灾害的比重一直维持在高位。另外,随着开采深度的增加和开采条件的复杂化,煤矿顶板灾害的主要类型逐渐由采场压架、巷道失稳转变为冲击地压。因此,顶板灾害仍是我国煤矿面临的主要灾害形式。

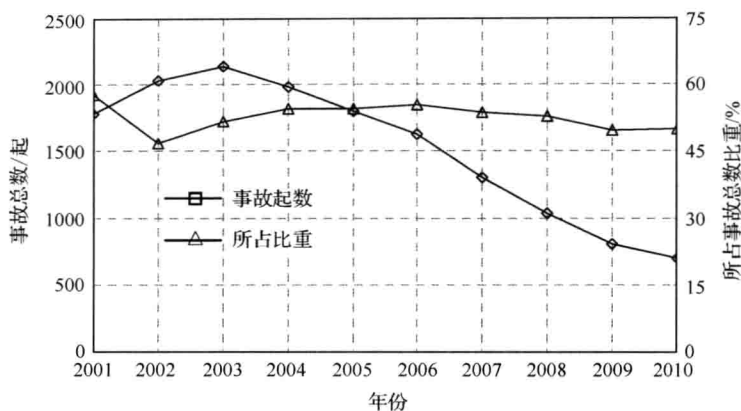


图 1.3 我国煤矿顶板事故总数及其占事故总数的比重

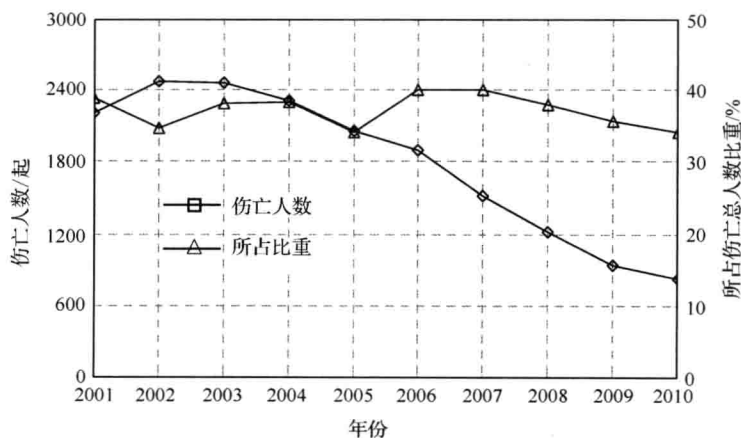


图 1.4 我国煤矿顶板事故伤亡人数及其占事故伤亡总人数的比重

顶板灾害主要是指顶板运动诱发的灾害,主要形式有采场压架、巷道失稳、冲击地压等。矿山压力研究的主要目标就是通过优化顶板控制设计从而控制顶板灾害的发生。基于系统的矿山压力理论,顶板灾害产生过程可描述为:采动→顶板运动→矿山压力→矿山压力显现。顶板灾害属于矿山压力显现的形式,矿山压力是顶板灾害发生的力源,顶板运动是矿山压力演化和顶板灾害发生的根本原因,采

动只是顶板运动的诱发因素。可见,矿山压力是顶板运动诱发顶板灾害的媒介,若隐去该媒介,并考虑到顶板灾害发生的根源,可称顶板灾害为顶板运动灾害。决定顶板运动灾害是否发生及发生形式、危害程度的因素是顶板运动特征和支承压力演化特征。而顶板运动特征和支承压力演化特征与工作面回采条件有关。

巨野煤田以国家紧缺的焦煤、肥煤为主,具有高热值、低灰分、低含硫等特点,是山东乃至华东地区最好、最大的一块煤田。巨野煤田的特点:一是厚表土,根据勘查结果,煤田东北部表土层厚 400m,西南部表土层厚 406~776m,平均厚 600m,根据骨干矿井内钻孔柱状揭露情况,梁宝寺煤矿表土层厚 390m,新巨龙矿井表土层厚 600~700m,赵楼煤矿表土层厚 620m;二是厚煤层,根据勘查结果,煤田主力煤层平均厚 6.6m,三个骨干矿井(梁宝寺煤矿、新巨龙矿井、赵楼煤矿)的主采煤层平均厚度依次为 6.1m、8.8m、7.8m;三是大采深,根据勘探结果,23%的储量埋深小于 1000m,77%的储量埋深为 1000~2000m,三个骨干矿井的当前采深依次为 910m、920m、900m。三个骨干矿井采用的采煤工艺为综合机械化放顶煤。因此,结合我国煤矿深部开采的划分标准和巨野煤田的特点,可将巨野煤田煤层开采的特点归纳为“深厚表土综放开采”。

长短是对工作面尺寸特征的描述,由于没有统一的标准,关于工作面尺寸特征的描述都是定性的。根据目前的采矿技术条件,一般可依据倾斜长度将工作面分为短工作面(小于 120m)、一般工作面(120~210m)、长工作面(210~300m)、超长工作面(大于 300m)等 4 个等级;也可依据走向长度将工作面分为短工作面(小于 600m)、一般工作面(600~1500m)、长工作面(1500~3000m)和超长工作面(大于 3000m)等 4 个等级。根据新巨龙矿井主采工作面尺寸(倾斜长 270m,走向长 2700m),可将其定义为“长工作面”。

大小是对工作面开采强度特征的描述,由于没有统一的标准,关于工作面开采强度特征的描述也是定性的。根据目前的采矿技术条件,一般可依据工作面年生产能力将其定义为小强度开采(小于 120 万 t)、中强度开采(120 万~300 万 t)、大强度开采(300 万~600 万 t)、超大强度开采(大于 600 万 t)等 4 个等级。根据新巨龙矿井主采工作面开采强度(400 万~500 万 t),可将其定义为“大工作面”。

综合考虑巨野煤田煤层的开采特点、工作面尺寸特点和开采强度,将巨野煤田采煤工作面定义为“深厚表土长大综放工作面”。

巨野煤田曾多次发生顶板灾害。梁宝寺煤矿 2009 年“7.21”冒顶事故造成 2 人死亡、7 人受伤;赵楼煤矿 2009 年“5.23”压架事故造成工作面 53 个支架被压实,并诱发突水事故,致使工作面停产 40 天,顶板来压造成工作面 65 组安全阀开启,全面片帮;新巨龙矿井 2010 年“2.3”压架事故造成工作面 5 个支架被压死;新巨龙矿井 2012 年“3.7”炸帮事故造成沿空巷道实体帮超前工作面 51~57m 处炸开,喷出煤体 10t;梁宝寺煤矿 2012 年“3.31”冲击地压事故造成 2 人死亡,工作面

停产数十天。因此,深厚表土长大综放工作面开采面临严重的顶板灾害威胁。

相对我国其他煤田而言,巨野煤田开采条件具有特殊性。但由于巨野煤田内的矿井投产较晚,针对这种条件下的工作面顶板运动规律和顶板运动灾害控制的研究还极不充分。因此,开展深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制研究,是确保巨野煤田顺利开发和煤田内矿井安全生产的关键,也可填补我国矿山压力理论研究的空白。

顶板运动及围岩支承压力演化对顶板灾害具有控制作用。与一般工作面相比,深厚表土长大综放工作面具有特殊的顶板运动和围岩支承压力演化规律。而目前对深厚表土长大综放工作面顶板运动规律、围岩支承压力演化规律及顶板灾害控制技术的研究较少。因此,开展深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制研究,具有十分重要的意义。

1.2 研究基础

作者所在的研究团队与煤矿现场建立了长期的合作关系。与赵楼煤矿合作,先后开展了“千米采深综放工作面冲击地压监测预警规律研究”、“综采(放)工作面大面积异常来压危险性研究”等;与梁宝寺煤矿合作,先后开展了“梁宝寺煤矿千米深部首采工作面冲击地压防治技术研究”、“不对称孤岛工作面冲击地压防治技术研究”、“梁宝寺煤矿 3206 孤岛工作面、3201 孤岛工作面冲击地压危险性及防治研究”等;与新巨龙矿井合作,先后开展了“千米深井动力灾害监测预警成套技术及应用”、“特厚煤层区段窄煤柱沿空掘巷围岩控制技术”、“深埋复杂应力条件下锚杆破断机理与控制技术”、“厚表土深井沿空综放工作面冲击危险性与防治技术研究”、“大采高综放工作面下行开采小煤柱护巷变形预测与控制技术”等项目的研究。作者通过参与相关课题的研究和现场灾害治理,获得了现场经验和学术积累。

作者所在研究团队先后研制出 KJ551 煤矿微震监测系统和 KJ550 煤矿冲击地压监测系统。KJ550 煤矿冲击地压监测系统是基于“当量钻屑量原理”和“多因素耦合的冲击地压危险性确定方法”研制的,通过在工作面超前区域布设测点,实时监测超前应力场变化趋势,实现冲击地压危险区域和危险程度的实时监测、预警。KJ550 煤矿冲击地压监测系统结构图如图 1.5 所示。KJ551 煤矿微震监测系统是通过在采掘围岩中布置检波器,实时采集微震数据,经震源定位,确定矿震、岩层破裂的位置、烈度;根据现场监测范围大小,该系统可采用集中式、分布式、集中-分布式(图 1.6)的监测方案;该系统具有强大的后处理功能,用户可灵活选择微震事件的展示方式,图 1.7 所示为微震事件的切片展示。这两套监测系统为研究工作面围岩支承压力分布特征和冲击地压监测预警方法提供了基础。

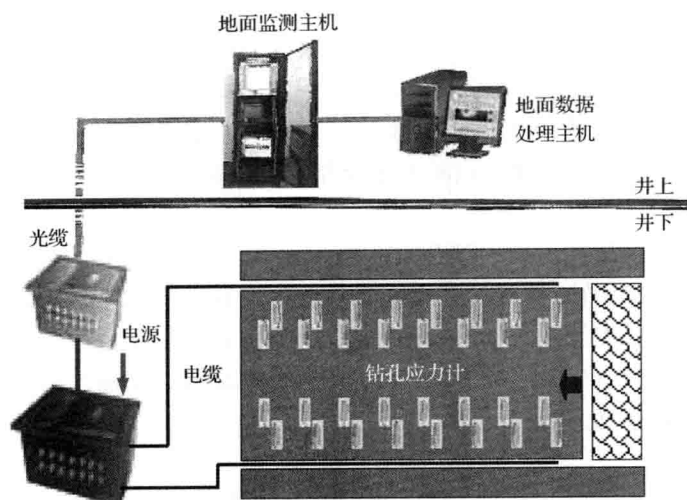


图 1.5 KJ550 煤矿冲击地压监测系统结构图

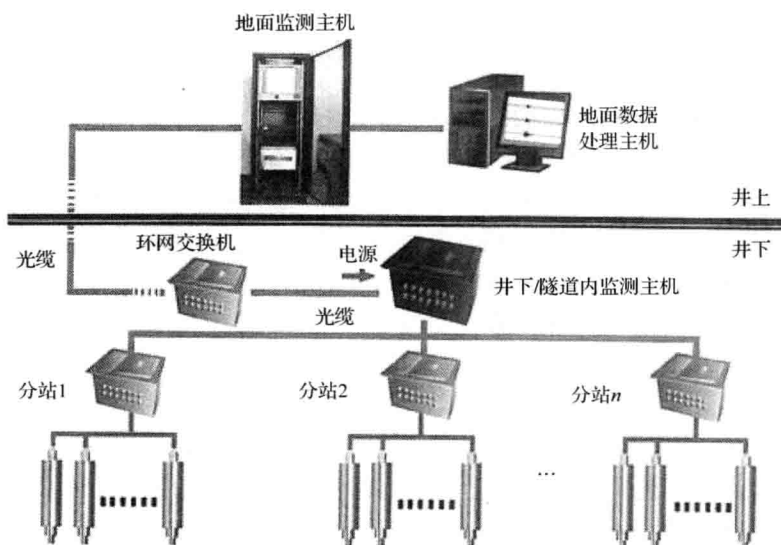


图 1.6 KJ551 煤矿微震监测系统集中-分布式结构图

研究内容依托 973 项目“煤炭深部开采中的动力灾害机理与防治基础研究”，同时得到国家自然科学基金项目“矿山微地震波的自动识别的基础研究”和“基于高精度微震监测的岩层破裂与移动轨迹追踪基础研究”的资助。

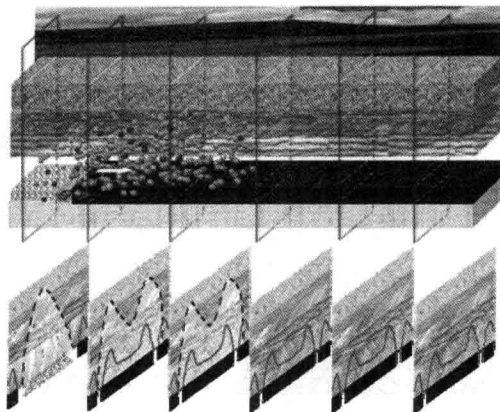


图 1.7 微震事件的切片显示

1.3 矿山压力理论研究现状

顶板结构形式和采场支架载荷是矿山压力理论研究两个核心问题,围绕这两个问题,曾产生各种矿山压力假说。总体看来,可将矿山压力理论研究分为三个阶段:20 世纪 70 年代之前的假说阶段、20 世纪 70 年代至 20 世纪末的矿山压力理论形成阶段、进入 21 世纪后的矿山压力理论发展阶段。

1.3.1 矿山压力“假说”阶段

早在 20 世纪 70 年代以前,人们就从长壁工作面开采的实践中获知,采场支架承受的压力远小于上覆岩层的重量,提出了关于顶板存在“结构”的各种假说,如压力拱假说、悬臂梁假说、预成裂隙假说、铰接岩块假说等。

1. 压力拱假说

1928 年,德国的 Hack 和 Gillitzer 提出压力拱假说,此后得到苏联工程师许普鲁特的支持,并提出了压力拱假说模型(图 1.8)。压力拱假说认为,采场在一个“前脚在煤壁、后脚在采空区矸石或充填体”的拱结构保护之下,拱外岩石的重量转移到拱脚上,形成支承压力,拱内岩石重量作用到支架上。

压力拱假说解释了采场周围存在支承压力和支架承担的载荷小于上覆岩层重量的现象,但不能解释周期来压

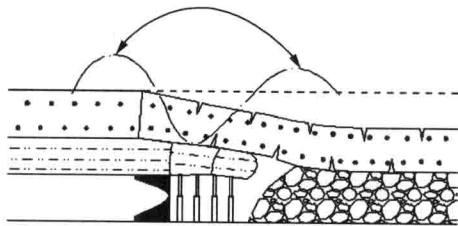


图 1.8 压力拱模型图