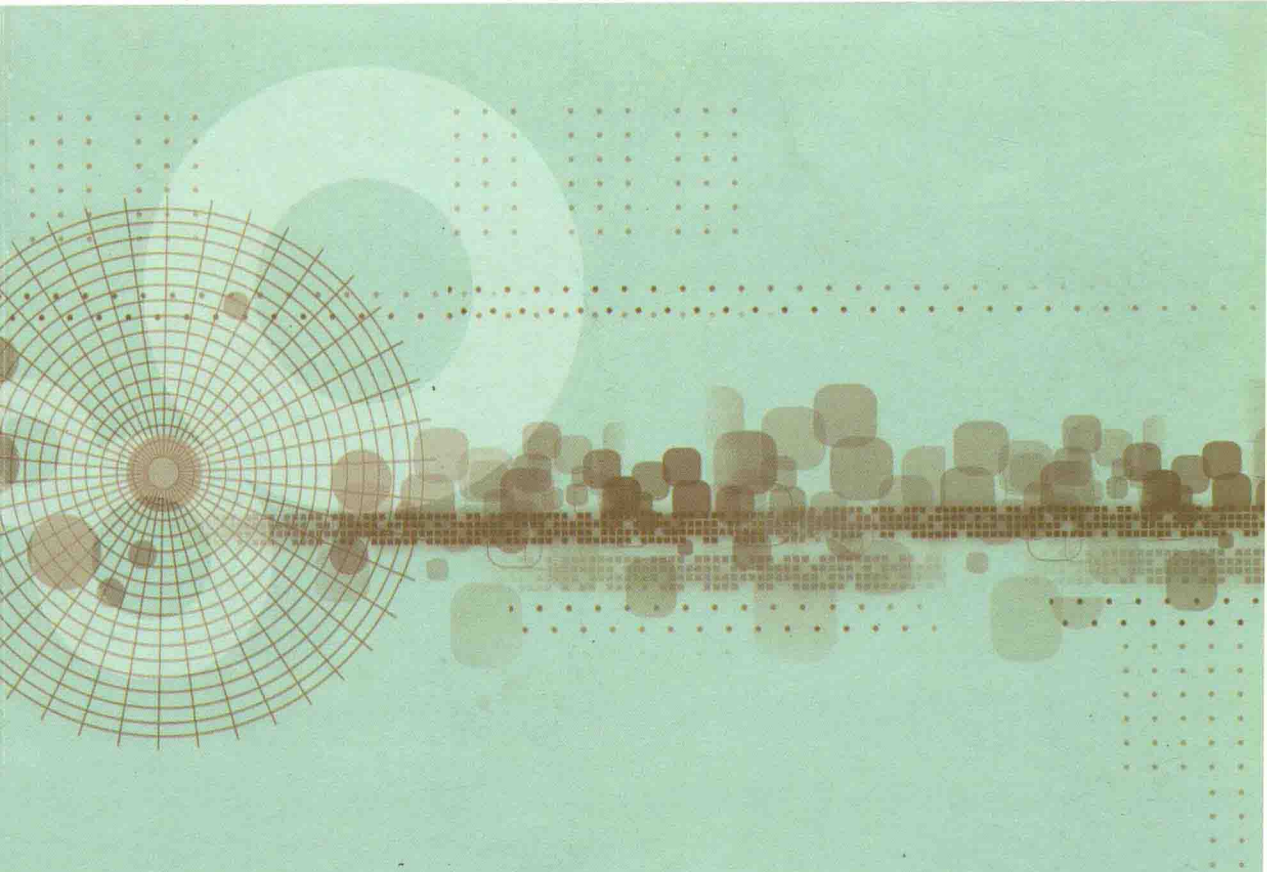


教育部科学技术研究重大项目 (311022) 资助

瓦斯地质研究进展

郭德勇 张子敏 张子戊 主编



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

研究重大项目(311022)资助

瓦斯地质研究进展

郭德勇 张子敏 张子戌 主编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书收录了瓦斯地质基础研究和工程应用方面的论文 55 篇,其中部分论文在 2012 年和 2013 年中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会年会上进行交流或宣读,是近几年来瓦斯地质基础研究及其在煤矿瓦斯防治技术应用方面的研究成果总结,同时也反映了我国在瓦斯地质理论与应用方面研究的新进展和发展方向。

全书共包括四部分:瓦斯地质规律、瓦斯预测预警、瓦斯抽采和瓦斯防治。

本书可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、安全工程、采矿工程等专业的工程技术人员及相关专业高校师生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

瓦斯地质研究进展 / 郭德勇, 张子敏, 张子戊主编.

徐州: 中国矿业大学出版社, 2013. 7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1940 - 4

I. ①瓦… II. ①郭…②张…③张… III. ①瓦斯
煤层—地质学—文集 IV. ①TD712-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第155753号

书 名 瓦斯地质研究进展

主 编 郭德勇 张子敏 张子戊

责任编辑 潘俊成 王美柱 杨 洋

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 淮安淮海印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 23.25 字数 580 千字

版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价 95.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会自 1985 年成立以来,积极组织本专业的学术交流和各项学术活动,不断推动瓦斯地质学科的创新和发展,为我国煤炭工业的安全生产和科技进步作出了贡献。

2001 年、2003 年、2005 年、2007 年、2009 年和 2011 年,瓦斯地质专业委员会在总结瓦斯地质研究和应用成果的基础上,编辑出版了《瓦斯地质新进展》、《瓦斯地质研究与应用》、《瓦斯地质理论与实践》、《瓦斯地质与瓦斯防治进展》、《基于瓦斯地质的煤矿瓦斯防治技术》和《瓦斯地质基础与应用研究》六部论文集,对瓦斯地质理论研究与应用成果分阶段地进行了总结,广大煤矿瓦斯防治与利用工程技术人员对论文集的出版给予了高度评价,并建议我们定期出版瓦斯地质研究的最新成果。

按照中国煤炭学会第四届瓦斯地质专业委员会的工作计划,今年将召开第四届瓦斯地质专业委员会第五次全国瓦斯地质学术年会。我们从全国各地 2012 年和 2013 年寄来的有关瓦斯地质理论与瓦斯地质应用的论文中精选了 55 篇学术论文,编辑出版了《瓦斯地质研究进展》论文集。本论文集集中的论文涵盖了瓦斯地质研究的各个方面,为了方便阅读和参考,我们将论文分为瓦斯地质规律、瓦斯预测预警、瓦斯抽采和瓦斯防治四部分,可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、安全工程、采矿工程等专业的科研、教学及工程技术人员参考。

《瓦斯地质研究进展》一书由郭德勇、张子敏、张子戌主编。教育部科学技术研究重大项目(311022)对本书的出版给予了资助,在此深表感谢。

由于编辑时间仓促,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

中国煤炭学会
瓦斯地质专业委员会
2013 年 6 月

目次

第一部分 瓦斯地质规律

郑州矿区“三软”突出煤层工作面瓦斯地质图编制技术·····	杨治国(3)
煤巷掘进工作面巷帮应力分布规律研究·····	李海贵,刘立州,李宏(7)
平顶山矿区瓦斯地质规律分析·····	吕有厂(12)
孟津煤矿瓦斯地质规律及瓦斯防治技术研究·····	徐守仁(19)
山东省低瓦斯矿区瓦斯异常区地质因素分析·····	李增学,孟彦如,刘海燕,等(24)
深部煤层瓦斯压力与吸附瓦斯能力对瓦斯含量的影响·····	陈大力,陈洋,杨福蓉(31)
贵州煤矿瓦斯地质规律研究·····	黄政祥,龙祖根(37)
白茆沟煤矿瓦斯影响因素及赋存规律分析·····	贾立钢,朱国忠,黄江宁,等(44)
蚕特拉井田 2、3、7 煤层瓦斯赋存规律分析·····	朱浩明,刘高峰(49)
常村煤矿瓦斯赋存规律研究·····	丛海鹏(56)
车集煤矿二 ₂ 煤层瓦斯赋存影响因素分析·····	薛景予,宋志敏,任建刚(61)
河南省煤层气资源利用现状及其前景评价·····	刘炎昊,张苗,刘传喜(69)
鹤壁九矿二 ₁ 煤层瓦斯地质规律研究·····	翁红波,宋志敏,刘高峰(75)
开滦矿区瓦斯地质规律研究·····	王国华(82)
矿井地质因素对煤层瓦斯赋存的影响研究·····	陈秀祥(89)
龙滩煤矿瓦斯地质预测研究·····	向新涛,张洪建,龙虎,等(94)
潞安五阳井田瓦斯赋存构造逐级控制特征分析·····	贾澄冰(101)
潘西矿瓦斯赋存及涌出异常影响因素分析·····	赵庆刚,赵鹏,张家贺,等(106)
陶二煤矿 2#煤层瓦斯地质规律研究·····	曾维平,刘高峰(111)
乌兰煤矿瓦斯地质规律研究·····	刘建海,周丹(117)
构造煤的孔隙结构及对 CH ₄ 的吸附性研究·····	张璨,郭德勇(122)

第二部分 瓦斯预测预警

新安煤田煤层瓦斯含量快速测定技术研究及应用·····	李国旗,杨启军,闫刘强(131)
“三软”不稳定厚煤层采掘工作面区域突出预测指标及 临界值·····	王恩营,殷秋朝,邵强,等(140)
新义矿 11011 工作面声发射敏感指标及临界值研究·····	马献超,任培良(145)
全自动煤层瓦斯压力记录仪应用分析·····	李国旗,薛阔章,任培良,等(152)

工作面瓦斯涌出动态特征突出预警系统建设与应用·····	陈旅,吕保民,陈宪军(158)
突出—冲击动力灾害预测方法研究·····	史广山,魏凤清(165)
平顶山矿区十二矿己六采区已 ₁₅₋₁₇ 煤下分层瓦斯涌出量及突出预测·····	刘益华,宁超(171)

第三部分 瓦斯抽采技术

新型囊袋式注浆封孔装置的应用·····	李海贵,刘立州,李宏(179)
“三软”突出煤层底板岩巷穿层钻孔抽采技术·····	翟华,石记红(186)
基于强化工艺的瓦斯抽采地质研究·····	宋志敏,任建刚,李冰(195)
瓦斯采前抽采区块划分方法研究·····	徐德宇,崔洪庆(203)
上保护层开采保护范围确定及其数值模拟·····	王公忠,田坤云,王国际(208)
长距离定向水平钻孔瓦斯抽采技术的应用·····	朱国忠,贾立钢(217)
提高瓦斯钻孔预抽浓度关键技术试验研究·····	杨启军,吕保民,蒋继兰(222)
太原组保护层开采中关键层的确定及意义·····	汪师遼,王思营,杜琳玮,等(230)
高瓦斯突出煤层群保护层开采与地面钻井抽采卸压瓦斯关键技术·····	郑建海,周丹(234)
华北太原组薄煤层早期开采对二 ₁ 煤层卸压及 瓦斯抽采的作用·····	杜琳玮,王思营,汪师遼,等(242)
煤层割理及其在瓦斯采前抽采区块划分中的意义·····	王荣魁,崔洪庆(246)
CH ₄ 吸附剂分子筛与活性炭纤维的微观结构研究·····	郭夏培,郭德勇(253)

第四部分 瓦斯防治技术

平顶山矿区深井动力灾害灾变机理及防治关键技术·····	张建国(263)
综合治理技术在瓦斯涌出较大区域采掘期间的应用·····	尹志民,冯同竹(274)
沙曲矿近距离高瓦斯突出煤层群瓦斯综合治理技术研究·····	王凌鹤(279)
“三软”低透气性突出煤层区域消突效检钻孔设计研究·····	徐守仁(289)
单一特厚煤层综放工作面采空区瓦斯治理研究·····	潘峰,闫刘强,吕保民,等(295)
祁东煤矿单一煤层综采工作面瓦斯治理技术·····	张玉贵,赫少攀(301)
豫西低渗透、“三软”煤层瓦斯综合治理及 利用技术的探索·····	李鸿雷,崔建峰,陈宾,等(306)
低瓦斯矿井通过技术改造提高安全度·····	庞贵智,李存清,刘佳(315)
特厚煤层首分层综采工作面瓦斯综合治理技术·····	朱国忠,黄江宁,杨荣武,等(320)
高压脉冲水射流割缝技术在快速石门揭煤中的应用·····	马献超,闫刘强(326)
瓦斯异常区综采工作面瓦斯综合治理技术·····	赵庆刚,赵鹏,吴化新,等(334)
白茆沟煤矿瓦斯综合利用技术及实践·····	贾立钢,朱国忠,贺占军(341)
高瓦斯突出煤层回采工作面瓦斯治理对策·····	石银斌(347)
采掘工作面瓦斯地质图在突出矿井的应用·····	孙启文(352)
郑煤集团非突出矿井瓦斯防治技术方法及效果评判·····	石记红,翟华(356)

第一部分

瓦斯地质规律

郑州矿区“三软”突出煤层工作面瓦斯地质图编制技术

杨治国

(郑煤集团 河南郑州 450042)

摘 要:郑州矿区二₁煤层属“三软”不稳定难采煤层,具有特殊的瓦斯地质特点,采掘工作面瓦斯防治难度大。提前掌握工作面前方瓦斯地质信息、预测煤与瓦斯突出危险对搞好瓦斯治理工作至关重要。郑煤集团矿井通过钻孔控制、参数测试、分析整理等手段把采掘工作面各类瓦斯地质信息和措施钻孔控制信息叠加至工作面地质图上,形成采掘工作面瓦斯地质图,该技术已成为郑煤集团防突技术体系的重要组成部分。

关键词:突出煤层;钻孔控制;工作面;瓦斯地质

1 概况

郑州矿区位于河南省中部,主要开发新密煤田、登封煤田和荥巩煤田,矿区东西长164.5 km,南北宽68.1 km,总面积约2 560 km²,主采二叠系山西组二₁煤层。矿区内重力滑动构造比较发育,煤层被铲蚀、铲薄或局部增厚,煤层厚度变化剧烈,具有突然增厚、变薄以至尖灭现象。滑动构造滑动过程中对煤层剪切,煤层发生破碎、粉化、揉流,造成煤系地层和滑面附近岩层破碎,二₁煤煤体常呈粉末状、鳞片状、糜棱状,煤层流变现象非常明显,机械强度极低,构造煤全层发育,普氏系数为0.08~0.35,瓦斯放散初速度在8~31之间。煤层瓦斯赋存状态很不均衡,瓦斯易于在厚煤区局部聚集。

2 编制采掘工作面瓦斯地质图的必要性

① 郑州矿区煤层赋存规律和煤与瓦斯突出特征决定了绘制采掘工作面瓦斯地质图的必要性。据不完全统计,郑煤集团发生的40次突出中,中小型突出35次,中型突出2次,次大型突出2次,特大型突出1次。诱导突出因素不明显,具有延时突出的特点,突出主要发生在架棚、背帮、栽腿或撬煤期间。突出类型以倾出为主,40次突出中倾出33次,占突出总次数的82.5%,受煤层厚度和巷道坡度影响非常明显。全面掌握采掘工作面前方瓦斯地质资料对防突工作至关重要。

② 郑州矿区地质构造复杂,突出煤体分布范围有限,深入搞好瓦斯地质图编制工作有利于减少防突措施的盲目性。

③ 绘制采掘工作面瓦斯地质图有利于防突措施的实施和监督,避免出现措施盲区,是瓦斯抽采达标评判的重要依据。

3 掘进工作面瓦斯地质图的编制

3.1 瓦斯地质说明书

(1) 工作面概况

主要包括工作面位置,设计参数,标高,垂深,与邻近采区、工作面及地表的关系,开工和预计贯通时间,邻区瓦斯地质简况。

(2) 工作面地质揭露及预测情况

主要包括煤层产状及其变化,煤层结构、厚度,宏观煤岩类型,煤的破坏类型,软分层的厚度及其变化特征,煤种牌号,煤质(工业分析指标),煤层的含水性,顶底板岩性、厚度及其变化,透气性;断层分布、褶曲和裂隙发育情况及其主要特征,对掘进及回采的影响程度;水文地质条件和地温简况等。

(3) 瓦斯

主要包括瓦斯参数测试值和煤样实验数据分析,钻孔施工过程中夹钻、喷孔、顶钻等异常情况,掘进过程中发生的瓦斯涌出异常及分析,掘进过程中实测瓦斯涌出情况等。

(4) 瓦斯地质综合分析

3.2 图纸的绘制

在矿井采掘工程平面图和矿井瓦斯地质图的基础上绘制而成,地质资料包括各类地质构造、煤层底板等高线、邻近巷道、采空区等;瓦斯资料包括瓦斯含量、瓦斯压力、实测瓦斯放散初速度、实测瓦斯解吸值等,邻近区域发生打钻喷孔或煤与瓦斯突出的,要标明突出煤量和瓦斯量。比例尺一般为1:200~1:500,图幅范围不小于工作面以外50 m。

图纸包括:平面图、沿巷道掘进方向的纵向剖面图、沿巷道掘进方向的横向剖面图、钻孔实际施工参数统计表等内容。

(1) 煤巷掘进工作面循环瓦斯地质图

每一区域措施循环(区域探测措施和区域防突措施)绘制一组循环瓦斯地质图,并按循环进行分组编号。

① 平面图:煤巷条带和实际施工钻孔布置平面图。标注措施钻孔设计控制范围,沿巷道掘进方向上的剖面线,钻孔消突空白带和喷孔、顶钻、地质构造等异常信息。煤孔和岩孔用不同颜色进行区分。

② 剖面图:在钻孔控制范围内,沿巷道掘进方向绘制煤厚和顶底板起伏纵向剖面图。沿垂直于巷道掘进方向每10~20 m绘制反映钻孔布置情况的横向剖面图。剖面图上标明钻孔设计控制范围线和实际钻孔位置。剖面尽可能布置在厚煤区、构造区或钻孔控制异常区。不同循环钻孔用不同颜色进行区分。

(2) 底(顶)抽巷上(下)覆块段煤层瓦斯地质图

按单个钻场钻孔控制范围划分块段或者沿巷道掘进方向每40~60 m编绘瓦斯地质图,并按块段进行分组编号。

① 平面图:底(顶)抽巷、煤巷条带和实际施工钻孔布置平面图。标注钻孔设计控制范围线,煤层沿巷道掘进方向上的剖面线,钻孔消突空白带,喷孔、顶钻、地质构造等异常信息。煤孔和岩孔用不同颜色进行区分。

② 剖面图:在穿层钻孔控制范围内,沿设计巷道掘进方向煤层纵向剖面图,反映煤层厚

度、煤层顶底板起伏情况、措施钻孔倾角和纵向控制范围;沿垂直于巷道掘进方向每 20 m 绘制一张反映钻孔布置情况及煤厚变化情况的横向剖面图,反映煤层倾角、措施钻孔横向控制范围和钻孔布置密度。剖面图上标明钻孔设计控制范围线,剖面尽可能布置在厚煤区、构造区或钻孔控制异常区。煤孔和岩孔用不同颜色进行区分。

(3) 石门揭煤控制块段瓦斯地质图

每执行一次石门揭煤,绘制一组抽采钻孔控制区域瓦斯地质图。

① 巷道纵向剖面图:沿石门掘进巷道纵向绘制剖面图,反映石门揭煤工作面与煤层的法向距离、煤层倾角、煤层厚度、揭煤点位置、措施钻孔沿煤层倾向控制范围、措施钻孔在煤层倾向施工密度及钻孔施工过程中收集到的喷孔、顶钻、地质构造等瓦斯地质资料。标注措施钻孔设计控制范围,煤孔和岩孔用不同颜色进行区分。

② 沿煤层顶、底板剖面图:沿煤层顶、底板绘制剖面图,反映石门揭煤和穿煤位置、措施钻孔在煤层顶底板控制范围和控制密度。标注措施钻孔设计控制范围。

4 采煤工作面块段瓦斯地质图的编制

4.1 工作面瓦斯地质说明书

(1) 工作面概况

主要包括工作面位置、回采界线(包括走向和倾斜长度)、标高、垂深、与邻近采区、工作面及地表的关系、开工和竣工时间、邻区瓦斯地质简况。

(2) 工作面地质

主要包括煤层产状及其变化,煤层结构、厚度及其变化,宏观煤岩类型,煤的破坏类型,软分层的厚度及其变化特征,煤种牌号,煤质(工业分析指标),煤层的含水性,顶底板的岩性、厚度、透气性。断层分布、褶曲和裂隙发育情况及其主要特征,对回采的影响程度。水文地质条件和地温简况等。

(3) 瓦斯

主要包括掘进过程中实测瓦斯涌出情况,掘进过程中有关瓦斯参数测试值和煤样实验数据分析,掘进过程中发生的瓦斯异常涌出现象及其分析,工作面回采区域施工消突钻孔、探测钻孔期间的瓦斯信息等。

(4) 瓦斯地质综合分析及突出危险性预测或验证

4.2 图纸的绘制

(1) 平面图

该图为采煤工作面及其邻区一定范围内的瓦斯地质综合性图纸。图幅范围不小于工作面以外 50 m,比例尺一般 1:200~1:500,其主要内容如下:

① 地质内容:反映采煤工作面及邻区一定范围内与瓦斯赋存和突出分布有关的地质条件,具体内容除文字部分中采煤工作面地质所要求的内容外,还要在图中反映出煤层厚度及分布的变化。

② 瓦斯内容:各种瓦斯参数的实际测量点及瓦斯异常点,如瓦斯含量、实测瓦斯压力点、实测瓦斯涌出量点、煤样试验指标点等,并标注实测数据,突出点要注明时间、煤量和瓦斯量,在对不同瓦斯参数点综合分析的基础上,绘制出相应的瓦斯参数等值线。

③ 采煤工作面范围内的所有抽采钻孔、瓦斯参数测定钻孔及瓦斯喷孔、夹钻、顶钻等其

他发生瓦斯异常深度和位置(特殊情况加小立面图或局部放大)。

④ 在对瓦斯—地质资料综合分析的基础上,在图中划分出突出区段、无突出危险区段及已消除突出危险区段。

图中附采煤工作面煤层综合柱状图,主要包括顶底板(包括基本顶)岩性、厚度、煤层结构和煤结构,比例尺一般为 1:200。

(2) 措施钻孔剖面图

煤层赋存(煤厚、煤层倾角等)情况基本一致、钻孔排数相同的区域划分为一个瓦斯地质块段。每一瓦斯地质块段绘制一张反映钻孔倾角的剖面图。在每一瓦斯地质块段的厚煤区、构造区或钻孔控制异常区绘制一张控制煤厚及钻孔控制信息剖面图。

(3) 上、下副巷及开切眼瓦斯地质剖面图

以地质剖面图为底图,叠加上瓦斯内容后编制而成,比例尺一般为 1:1 000。除有地质剖面图所要求的一切内容外,还要反映出煤层结构变化情况,尤其是软分层的变化情况。

(4) 有关瓦斯地质参数的曲线图或直方图

① 反映巷道掘进过程中瓦斯涌出量沿剖面变化的曲线图或直方图。

② 反映掘进过程中各种瓦斯实测参数值(如 q 值、 S 值)沿剖面变化的曲线图或直方图。

5 结语

① 工作面瓦斯地质图综合反映了采掘面前方一定范围内的瓦斯地质信息,能够实现瓦斯地质异常区域的提前预报和防突措施的超前防范。

② 工作面瓦斯地质图作为工作面防突措施竣工图,能够实现工作面突出危险性多元信息的综合预测和判断,是工作面局部防突措施效果检验的必备条件。

③ 工作面瓦斯地质图作为工作面区域防突措施效果检验和瓦斯抽采达标评判的重要依据,是区域防突措施控制范围和控制密度的重要信息来源。

④ 郑煤集团突出煤层采掘工作面自从 2007 年起开始绘制瓦斯地质图,运用效果良好。绘制工作面瓦斯地质图已成为郑煤集团防突工作的一项重要内容。

作者简介 杨治国(1963—),男,河南新密人,工学硕士,1986 年毕业于焦作矿业学院煤田地质与勘探专业,现任郑煤集团公司总工程师。通讯地址:郑州市中原区中原西路 188 号郑煤集团。Tel:13460260856,E-mail:yzg508@sohu.com。

煤巷掘进工作面巷帮应力分布规律研究

李海贵 刘立州 李 宏

(山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司 山西晋城 048006)

摘 要:以松散介质应力平衡理论为基础,结合应力平衡方程求解掘进工作面迎头煤体的卸压区、极限平衡区宽度,按照煤巷掘进工作面煤体参数及现场实际,运用有限元模拟及现场实测的方法,确定了掘进工作面应力分布规律,为抽采钻孔封孔深度的确定提供科学依据。

关键词:应力分布;卸压区;极限平衡区;深度

瓦斯抽采是解决瓦斯治理的治本之策,在工作面掘进过程中,为防治发生煤与瓦斯突出、压出和倾出等瓦斯事故,须进行局部综合防突措施执行有效后方可进行掘进作业,配套使用的边掘边抽、超前预抽能有效释放掘进工作面前方的地应力、瓦斯压力,但如何确定工作面煤体抽采瓦斯钻孔的封孔深度,做到既经济又能有的放矢,是各矿井亟须考察确定的关键问题^[1-5]。

1 工作面煤体应力状态分布

煤矿井下采掘作业破坏了原始地层的应力平衡状态,使煤体中的应力进行了重新分布。一般情况下,在采掘空间形成的较短时间内,首先在采掘空间界面附近形成较高的集中应力,当集中应力值达到煤体的强度极限后,该部分煤体首先发生屈服变形,使集中应力向煤体深部进行传播,经过一定时间稳定后,形成卸压区、应力集中区和原始应力区(图1)^[6-8]。

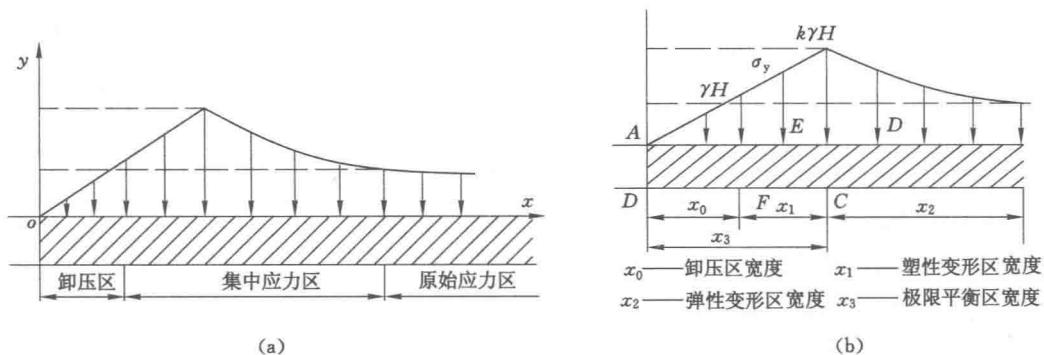


图1 晋城矿区掘进工作面前方煤体应力带分布示意图

① 卸压区:由于集中应力的作用,使煤体边缘被压酥,形成裂隙,导致煤体强度显著降低,使集中应力的作用点向煤体深部转移,煤体应力低于原岩应力。

② 集中应力区:集中应力区内裂隙发育、煤体受力强度大,所受压力逐渐增高直至集中应力峰值,在应力峰值区所受应力高于原岩应力,瓦斯压力最高,透气性差;从峰值应力再深向煤体,集中应力随着远离煤壁而逐渐降低,该阶段煤体由于所受应力未达到屈服值。集中应力区分为塑性变形区和弹性变形区^[9,10]。

③ 原始应力区:该阶段煤体由于远离采掘空间,不受采动压力影响,故煤体所受应力仍处于原岩应力状态。

2 工作面应力宽度分析

卸压区的宽度即为煤体卸除地应力、释放瓦斯压力后距工作面的距离。对于抽采钻孔封孔、卸压区浅孔预抽、水力疏松、卸压爆破等措施来说,卸压区裂隙发育,消突效果愈明显。

为了便于确定,需做如下假设:

① 在应力极限应力区内,煤体为均质,且各向同性,满足连续介质条件。

② 煤层界面的正应力和剪应力随着距巷道周边距离的增加而增加,直至峰值应力处。在峰值应力处,正应力的值等于集中应力区的最高应力,故有:

$$[\sigma_y]_{x_3} = K\gamma H \quad (1)$$

式中 K ——应力集中系数;

γ ——岩石的容重, kN/m^3 ;

H ——开采深度, m 。

③ 在图 1(b)中, $x = x_3$ 的截面上,水平应力可以用界面垂直应力的平均值表示,因此,有如下等式:

$$[\sigma_x]_{x_3} = A[\sigma_y]_{x_3} = AK\gamma H \quad (2)$$

式中 A ——侧压系数,其余符号含义同前。

依据上述条件,根据极限动力平衡理论,在煤体从顶底板间挤出时,应力极限平衡区煤层界面应力应满足应力极限平衡条件。煤层界面附近某个区域内的煤体应力应满足应力微分平衡方程。所以,在不计体积的条件下,极限应力平衡区煤层界面应力可用下式求解:

$$\begin{cases} \frac{d\delta_x}{dx} + \frac{d\tau_{xy}}{dy} = 0 \\ \frac{d\tau_{xy}}{dx} + \frac{d\delta_y}{dy} = 0 \\ \frac{d\tau_{xy}}{dx} + \frac{d\delta_y}{dy} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

求解结果得出:

$$\delta_y = \frac{C}{\tan \theta} (e^{\frac{2 \tan \theta}{m A} x} - 1)$$

$$\tau_{xy} = C e^{\frac{2 \tan \theta}{m A} x}$$

式中 C, θ ——分别为煤层或软分层界面的黏结力和内摩擦角;

m ——煤层或软分层厚度,其余符号含义同前。

当 $x = x_3$ 时, $\delta_y = K\gamma H$; 当 $x = x_0$ 时, $\delta_y = \gamma H$; 代入上式,可分别获得应力极限平衡区宽度 X_3 和卸压区宽度 X_0 :

$$x_3 = \frac{m}{2 \tan \theta} \ln \left(K \gamma H \frac{\tan \theta}{C} + 1 \right) \tag{4}$$

$$x_0 = \frac{mA}{2 \tan \theta} \ln \left(\gamma H \frac{\tan \theta}{C} + 1 \right) \tag{5}$$

假定在卸压区中煤体的破坏条件服从莫尔强度理论，其抗拉强度 $\sigma_t = C / \tan \theta$ ，代入上式，则有：

$$x_0 = \frac{1}{2f} mA \ln \left(\frac{\gamma H}{\sigma_t} + 1 \right) \tag{6}$$

式中 $f = \tan \theta$ ——煤层界面的摩擦系数；
 σ_t ——煤层或软分层的抗拉强度。

根据上述计算，成庄矿 3 号煤层平均厚 5.6 m，根据矿井煤层赋存特征及采掘现状选取各参数(表 1)。

表 1 成庄矿 2233 巷道各参数的取值表

参数	H/m	C/kPa	$\theta/(^{\circ})$	m/m	A	$\gamma/(kN/m^3)$	K
取值	450	39.2	18	3.6	0.3	25	0.6

根据参数计算可得出： $X_0 = 3.484\text{ m}$ ， $X_3 = 10.446\text{ m}$ 。

在 2233 巷掘进工作面净高度为 3.6 m，掘进工作面煤层埋藏深度 450 m 条件下，掘进工作面卸压区宽度为 3.484 m，极限平衡区宽度为 10.446 m。

3 工作面煤体应力宽度考察

3.1 试验工作面概况

成庄矿 2233/2238 掘进工作面沿 3 号煤层顶板掘进，煤厚 6.49 m，倾角 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 。该工作面位于 2102 巷以南，4106 巷以北，2315 工作面以西。2233 巷为 2317 综采放顶煤工作面进风巷，设计长度 2 792.78 m，施工长度 2 661.773 m；2238 副巷为 2317 综采放顶煤工作面进风巷，设计长度 2 832.147 m，施工长度 2 782.147 m(图 2)。

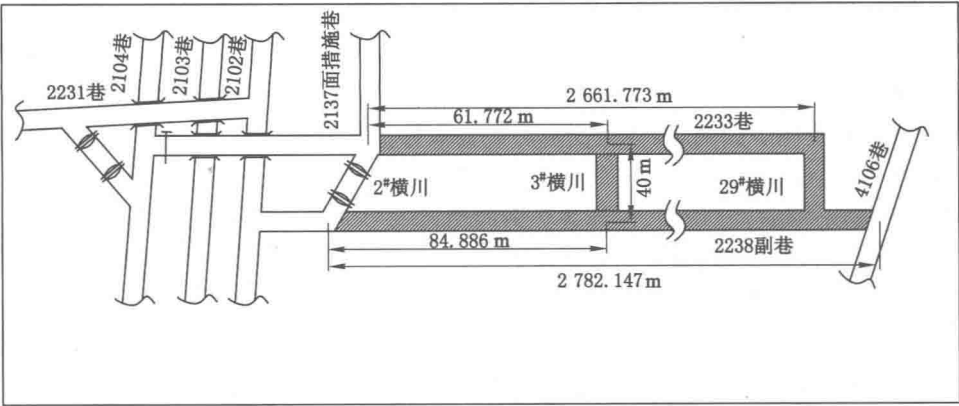


图 2 成庄矿 2233/2238 掘进工作面巷道布置图

3.2 工作面应力宽度确定

由于瓦斯含量和钻屑量大小是地应力的外在表现,瓦斯含量综合反映煤体的瓦斯压力、透气性、瓦斯排放情况等,钻屑量是地应力的直接反应,煤体应力的变化会造成不同深度煤体瓦斯含量、钻屑量的变化选择在2233工作面迎头每米测定钻屑量,每3 m测定瓦斯含量,钻屑量与瓦斯含量随钻孔深度变化曲线图(图3和图4)。

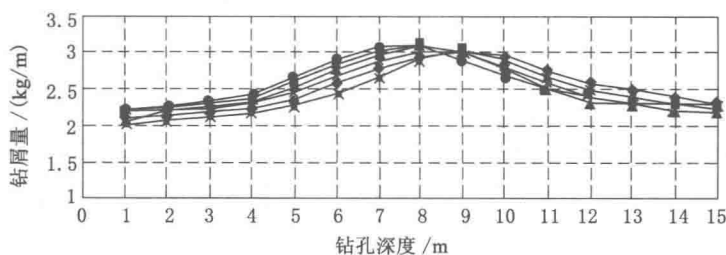


图3 成庄矿工作面迎头钻屑量变化图

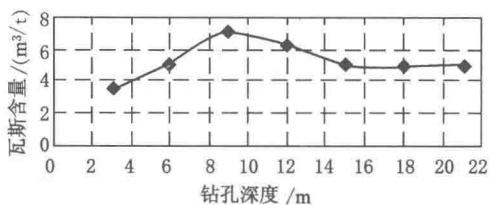


图4 成庄矿瓦斯含量随钻孔深度变化曲线

从图3可以看出,2233巷掘进工作面前方煤体内钻孔的钻屑量在0~3.5 m钻孔深度内,钻屑量缓慢增加,为卸压区范围;3.5~12 m内应力逐渐增大,为塑性变形区范围。0~10 m为极限应力区范围。

从图4可以看出,0~3.5 m处于卸压区,瓦斯得到充分释放;3.5~10 m处于塑性变形区,煤体受到巷道掘进产生的集中应力作用,发生塑性变形。0~10 m为极限应力区范围。

3.3 工作面煤体内应力分布数值模拟

ANSYS为有限元分析软件,在以定义单元类型及单元实常数的基础上,建立单元网格划分的几何模型,进而加载和求解。煤体中存在地应力和瓦斯压力。一般说来,瓦斯压力相比地应力是很小的;地应力由自重应力、构造应力组成,在局部范围内煤岩稳定,构造应力不可能出现明显的变化。因此,煤体所受应力主要来自上覆岩层的自重应力。为了方便,对工作面煤体作如下假设:

- ① 工作面前方煤体是均质、连续且各向同性;
- ② 假设煤是线弹性体,遵循胡克定律;
- ③ 不考虑煤中残余应力。

边界条件的确定:

① 模型的基本顶上方载荷与上覆岩层的重力有关,原岩海姆加设的要求,原岩自重应力作用在模型上部边界, $\sigma_y = \bar{\gamma}H$,式中: σ_y 为原应力; $\bar{\gamma}$ 为煤的平均容重,取25 kN/m³, H 为模型上部边界与地表的垂直距离,计算可得, $\sigma_y = \bar{\gamma}H = 11.3$ MPa。

② 本模型下不边界为底板,为全约束边界。

③ 模型两侧为单约束边界,施加水平方向约束,即边界水平位移为 0,只允许边界节点沿垂直方向移动。

由模拟理想状态下的应力状态可知,卸压区宽度为 3.5 m,极限平衡区宽度为 7.5 m。

4 结论

① 以松散介质应力平衡理论为基础,结合应力微分平衡方程,求解了成庄矿 2233/2238 副工作面迎头煤体的应力卸压区和极限平衡区宽度。

② 利用钻屑量直接反映地应力大小的客观规律,现场实测了随钻孔深度不同,钻屑量随地应力的变化规律。

③ 采用有限元分析的方法,结合作工作面现场实际,模拟工作面的地应力随钻孔不同深度的变化规律,并发现与现场实测较好吻合。

④ 理论计算、现场实测及数值模拟可知,2233 巷掘进面卸压区宽带 3.5 m;极限平衡区宽度在 7.5~10 m 之间,为安全考虑,取最大值 10 m。

⑤ 为抽采钻孔封孔深度的确定提供了科学依据。

参考文献

- [1] 尹光志,李晓泉,赵洪宝. 钻屑量与矿山压力及瓦斯压力关系现场实验研究[J]. 北京科技大学学报,2010,32(1):1-7.
- [2] 钱鸣高. 采场矿山压力与控制[M]. 北京:煤炭工业出版社,1983.
- [3] 林柏泉,周世宁,张仁贵. 煤巷卸压带及其在煤与瓦斯突出危险性预测中的应用[J]. 中国矿业大学学报,1993,22(4):44.
- [4] 李树刚,林海飞,成连华. 综放开采支承压力与卸压瓦斯运移关系研究[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(19):3288-3291.
- [5] 齐黎明,林柏泉,支晓伟. 上山掘进时卸压区应力及防突长度分析[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(3):299-302.
- [6] 何俊,何学秋,聂百胜. 煤体应力状态电磁辐射测试研究[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(1):111-114.
- [7] 张建国,林柏泉,叶青. 工作面卸压区浅孔瓦斯抽放技术研究[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(4):432-436.
- [8] 侯朝炯,马念杰. 煤层巷道两帮煤体应力和极限平衡区的探讨[J]. 煤炭学报,1989,12(4):21-24.
- [9] 罗新荣,夏宁宁,贾真真. 掘进煤巷应力仿真和延时煤与瓦斯突出机理研究[J]. 中国矿业大学学报,2006,35(5):571-573.
- [10] 刘晓斐,王恩元,何学秋. 采煤工作面应力分布的电磁辐射规律[J]. 煤炭学报,2007,32(10):1020-1021.

作者简介 李海贵(1964—),男,山西晋城人,高级工程师,现任山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司副总工程师兼通风处处长,一直致力于矿井通风与瓦斯防治领域的技术及管理工作。Tel:18335638682,E-mail:lihong1860@163.com。