

Wasi Dizhi Jichu Yu Yingyong Yanjiu

瓦斯地质 基础与应用研究

张子敏 郭德勇 张子戌 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TD712
33

瓦斯地质基础与应用研究

张子敏 郭德勇 张子戌 主编

昆明理工大学图书馆
呈贡校区
中文藏书章



03002159412

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瓦斯地质应用技术方面的论文 89 篇,其中部分论文在 2010 和 2011 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前沿问题和发展方向。

本书可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、通风安全、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

瓦斯地质基础与应用研究/张子敏,郭德勇,张子
戊主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1170 - 5

I. ①瓦… II. ①张…②郭…③张… III. ①瓦斯煤
层—地质学—研究 IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第154133号

书 名 瓦斯地质基础与应用研究
主 编 张子敏 郭德勇 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 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 30 字数 749 千字
版次印次 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
定 价 98.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

瓦斯地质是 20 世纪 70 年代以来,在我国逐步发展起来的一门交叉学科。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其他各项学术活动,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做出了贡献。

2001 年、2003 年、2005 年、2007 年和 2009 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》和《基于瓦斯地质的煤矿瓦斯防治技术》五部论文集,得到了广大煤矿瓦斯防治工程技术人员的好评,许多单位和个人来信,建议我们定期出版瓦斯地质的最新研究成果。

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三次全国瓦斯地质学术年会。我们从全国各地 2010 年和 2011 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 89 篇学术论文,编辑出版了《瓦斯地质基础与应用研究》论文集。本论文集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基础和瓦斯地质应用两部分,可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、通风安全、采矿工程等专业的科研、生产和教学人员参考。

《瓦斯地质基础与应用研究》一书由张子敏、郭德勇、张子戌主编。河南理工大学对本书的出版给予了大力支持,在此深表感谢。由于时间仓促,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
2011 年 6 月

目 次

第一部分 瓦斯地质基础

豫西煤厚变化规律及其对煤与瓦斯突出的控制	牛森营(3)
变形煤的微观结构特征及其吸附特性研究现状及展望	郎伟伟, 张子戎, 刘高峰(8)
张小楼煤矿瓦斯赋存规律及其影响因素分析	吕倩, 曾勇, 刘小亮, 等(14)
维新井田 8 号煤层瓦斯赋存影响因素分析	叶佰顺, 贾天让, 荆发军(20)
近距离煤层群采空区垮落带渗透率的分布规律研究	汪东生(25)
白山坪煤矿突出分区的地质因素分析	徐东方, 周松元, 陈小辉(31)
采空区瓦斯运移 3D 数学模型研究与应用	赵建华(35)
南山煤矿 18 号煤层瓦斯赋存影响因素分析	王东强, 吴自阳, 荆发军(40)
大型莱城向斜构造轴部瓦斯涌出规律研究	孙波, 吴志强, 苏瑞(45)
地质构造对深部采区瓦斯赋存的控制作用浅析	袁中帮(49)
福达煤矿瓦斯地质影响因素分析	李青松, 龙祖根, 李绍泉, 等(53)
复杂地质构造条件下的瓦斯分析	林旺(60)
华恒矿井瓦斯地质规律研究	高敏峰, 秦立伦, 郑海(64)
华泰矿井瓦斯地质规律研究	唐军, 宋召谦, 吕玉芝, 等(69)
黄河北煤田济阳井田瓦斯地质规律研究	秦文露, 张加国, 曹务学, 等(75)
基于新景矿 3 [#] 煤层瓦斯含量预测模型的构建	杨昌永, 刘最亮, 张会清, 等(79)
焦坪矿区下石节煤矿 JPC-01 井煤储层基本参数分析	雷益龙(85)
矿井深部开采瓦斯参数测定技术研究	秦立伦, 郑海, 亓秀军, 等(91)
良庄矿-350 m 水平以下煤层瓦斯地质规律研究	李振国, 曲兆新, 赵世森(95)
林华煤矿瓦斯地质影响因素分析	龙祖根, 李绍泉, 韩真理, 等(98)
刘桥一矿瓦斯地质规律研究	王立功(104)
龙固井田巨厚表土层覆盖下瓦斯地质规律研究	武文东, 徐栓祥(108)
煤厚变化对煤与瓦斯区域突出危险性的控制	李国旗, 吕保民, 陈旅(111)
煤矿突出危险性鉴定工作的探讨	陈东春, 刘建华, 戴成杰, 等(118)
煤层瓦斯含量预测与瓦斯赋存规律分析	赵莉, 曾勇(124)
煤与瓦斯突出局部预测指标影响因素分析	田坤云, 王公忠(129)
钱营孜井田 32 煤层瓦斯地质规律浅析	李永, 方沛(133)
浅析影响任楼井田 7 煤层瓦斯赋存的地质因素	方沛, 赵海燕, 吴增云(136)

山东省新汶矿区瓦斯地质规律研究	赵建华 (141)
山西煤层瓦斯分布规律研究	郭景林,郭晓明(146)
孙村煤矿瓦斯地质规律研究	李洪刚,程文宏(156)
唐口煤矿瓦斯地质规律与瓦斯预测	陈金玉(161)
王行庄矿二 ₁ 煤层瓦斯赋存规律分析	王松峰,柴铁锤,王国际(168)
小断层对瓦斯涌出的影响	陈杰(173)
新兴矿井瓦斯地质规律研究	舒彦民,商德章,于颖(179)
伊宁矿区伊犁一矿瓦斯地质规律探析	尚玉强,续文峰(185)
益新煤矿 15 号煤层瓦斯赋存影响因素研究	张春,贾天让(189)

第二部分 瓦斯地质应用

显德汪矿 2#煤层瓦斯综合治理技术	尹志民,董双生,谷建辉(197)
瓦斯突出预测定点取样器试验研究	许彦鹏,王兆丰,袁军伟(202)
潞安屯留井田煤层气井水力压裂效果评价研究	任建刚,张子戌,刘高峰(208)
鹤壁九矿东风井揭煤区域防突措施及效果检验	曾维平,张子戌,刘高峰(217)
地质构造对煤层瓦斯含量的控制及煤与瓦斯突出危险性区域预测	黄丙银,王恩营,于松掌,等(223)
发挥瓦斯抽采钻孔地质勘查作用的意义和原则	崔洪庆,朱加锋(228)
Y 型通风瓦斯治理技术在祁东煤矿的应用	张朝举,王飞(234)
白坪矿煤层瓦斯含量及煤与瓦斯突出危险性区域预测	王红卫,王恩营,霍光生,等(239)
保护层开采矿井瓦斯抽放方法选择	柴铁锤,于红(244)
采空区埋管抽放在 102 工作面的应用	汪宏伟,丁江海(248)
陈家山煤矿矿井瓦斯涌出量相关因素分析	王英,孔令义,刘东平,等(251)
从一起瓦斯燃烧事故谈低瓦斯矿井瓦斯防治	曹武文(258)
崔庙煤矿穿层钻孔聚能爆破试验阶段效果分析	李宗远,郭志强,王之贵,等(262)
大型高瓦斯矿井瓦斯综合治理技术探讨	王国际,柴铁锤,岑培山(266)
低瓦斯矿井管理误区及对策	涂联湖(271)
高瓦斯煤层冲击地压防治技术探讨	郑吉玉,王国际,田坤云(274)
关于工作面防突钻孔合理超前距确定的理论及其实践	张智明(279)
鸡西矿区瓦斯资源开发与利用	许贵祥,王广智(282)
基于多元线性回归的矿井瓦斯含量预测研究	何保,徐威,张振文(286)
九龙矿瓦斯赋存规律和治理对策	申子民(293)
开采空间应力叠加区对预测指标值的影响分析	宋志敏,田坤云(298)
梨树煤矿高瓦斯采面瓦斯综合治理	许贵祥,王清河,王柱(302)
梨树煤矿矿井瓦斯地质规律及瓦斯防治技术	庞贵智,李存清,庞冲,等(306)
龙山煤矿煤与瓦斯突出预测模型的建立与应用	牛雅莉,宋志敏(310)
潘西煤矿 19 煤层深部瓦斯预测研究	赵庆刚,赵鹏,张仕同,等(316)

炮采工作面综合瓦斯治理措施应用研究·····	郝和平(324)
平煤十一矿瓦斯赋存规律研究及瓦斯突出危险性预测·····	李元建,赵喜海,杨敏,等(332)
浅析低瓦斯矿井的瓦斯管理·····	周相昌(338)
浅析低瓦斯矿井发生瓦斯事故的原因与对策·····	吴联文(341)
浅析低瓦斯矿井瓦斯事故及对策·····	李春祥,庞贵智,李春清,等(347)
倾向褶曲构造工作面瓦斯防治·····	王志强(351)
任楼煤矿利用抽采瓦斯发电效益分析·····	汪瑞侠(355)
山西和顺隆华公司 15 号煤层首采区瓦斯涌出量预测·····	朱浩明,刘高峰(358)
陕西铜川焦坪矿区矿井瓦斯治理及利用前景探讨·····	孔令义,王英(365)
松藻矿区瓦斯地质研究及区域预测·····	吴斌(370)
天池煤矿 15 煤层突出危险性区域划分研究·····	姚飞,刘高峰(378)
突出煤层近煤岩巷掘进安全岩柱的考察确定·····	潘峰,李国旗,任培良(386)
瓦斯地质预测预报在矿井瓦斯治理中的应用·····	李海贵,陈晋强,申晋伟(391)
瓦斯鉴定对保证矿井安全生产的指导与研究·····	高敏峰,秦立伦,郑海(397)
瓦斯异常区综掘工作面瓦斯综合治理技术·····	赵庆刚,赵鹏,张仕同,等(403)
郑州矿区瓦斯地质特征及瓦斯防治对策·····	管恩太(408)
皖北矿区五沟矿井煤与瓦斯突出区域危险性预测·····	焦殿志(413)
万年矿 13291 高瓦斯工作面瓦斯分源治理技术研究与实践·····	李新潮,魏新杰,武龙安(419)
五沟煤矿西翼采区复杂地质条件下揭煤技术·····	周图文,周地全(425)
“二率法”确定预测敏感指标临界值在煤与瓦斯突出矿井中的应用·····	潘峰,任培良,薛阔章(430)
兖州矿区低瓦斯矿井瓦斯治理技术·····	宋兆雪,王洪权,夏晓明(435)
义煤集团瓦斯综合治理技术的应用与探索·····	李国旗,潘峰,任培良(441)
应力集中区防突方案在 10 煤掘进中的应用·····	汪宏伟,丁江海(449)
玉华煤矿煤与瓦斯共采安全分析·····	田树伟,姚春艳(453)
预抽煤巷条带煤层瓦斯区域防突措施的快速效检·····	原晓红,翟华,李敬东,等(458)
运用瓦斯地质法预测深部瓦斯涌出量·····	李洪刚,程文宏(462)
瓦斯资源开发与利用前景分析·····	解波,罗昆(467)

瓦斯地质基础

豫西煤厚变化规律及其对煤与瓦斯突出的控制*

牛森营^{1,2}

(1. 武汉理工大学 湖北武汉 430070; 2. 河南省煤矿安全监察局 河南郑州 450000)

摘要:豫西主采煤层二1煤厚度大,厚度变化大,全层构造煤,煤厚变化对煤与瓦斯突出具有控制作用。新安煤田煤层厚度平均为3.87 m,煤厚变异系数为0.87,两个相邻的最薄煤厚点和最厚煤厚点的距离为25~185 m;突出点主要位于煤厚大,且煤厚变化大区域,煤厚及其变化通过控制瓦斯含量和地应力,进而起到了控制煤与瓦斯突出的作用。

关键词:豫西;煤层厚度;变化规律;煤与瓦斯突出

豫西煤田位于华北板块南缘,主采煤层是二叠系山西组二1煤,该煤层总体特点是:全层构造煤,煤厚大,煤厚变化大,似鸡窝状,对矿井煤与瓦斯突出具有控制作用,掌握煤厚变化规律,对提高煤矿突出预测的可靠性及防灾措施的针对性具有重要意义。本文以新安煤田为例,研究煤厚变化规律及其对煤与瓦斯突出的控制。

1 煤层厚度变化规律

通过对新安煤田277个钻孔和57个采煤工作面实际资料统计,煤厚及其变化表现出一定规律,如图1所示。

1.1 煤层厚度大

新安煤田煤层极值厚度为0~18.88 m,平均3.87 m,主要煤厚区间分布在1.3~8.0 m;煤田西部厚度较大,平均厚4.15~4.81 m,东部厚度较小,平均2.08 m。

1.2 煤厚变化大

(1) 煤层整体上似鸡窝状,厚薄相间,分布规律不明显,煤厚变异系数 $\gamma=0.87$,可采指数 $k_m=0.85$ 。

(2) 两个相邻的最薄与最厚煤厚点间的距离为25~185 m,分布区间随距离增大呈递减趋势。

(3) 单位距离内煤厚变化幅度一般在0.5 m/10 m以下,占75%,少数在(0.5~1.0) m/10 m之间,占20%,超过1 m/10 m的煤厚突变情况较少,占5%。

煤厚变化的特点表明,即便是勘探中250 m×250 m的最密网度和生产中采掘工作面上下顺槽130~150 m的间距,对煤厚变化也难以控制。

* 基金项目:中国煤炭协会科技指导计划项目(2009-295、2009-296);河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2009B62002)。

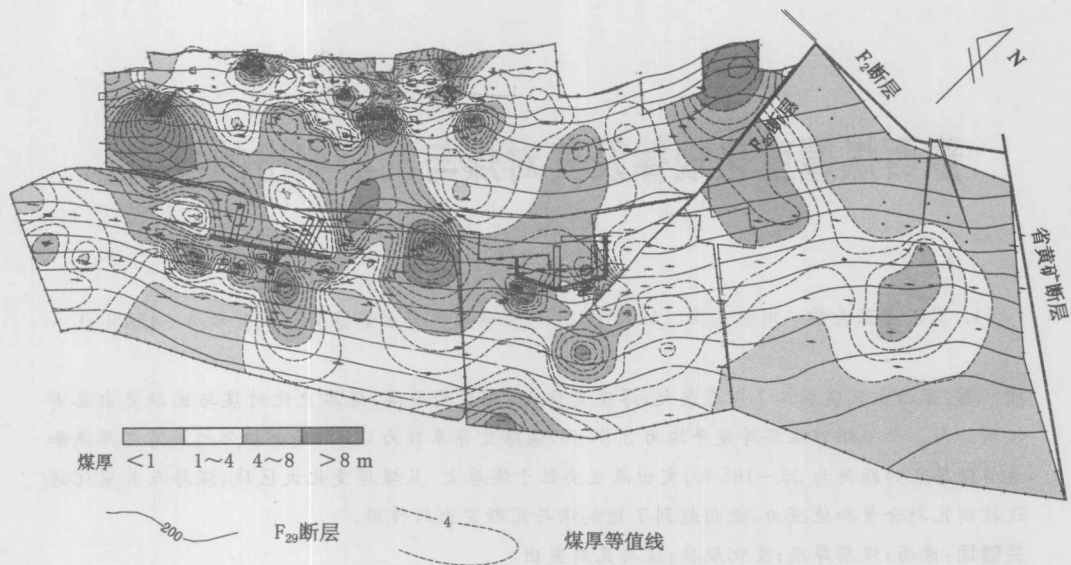


图1 新安煤田煤层厚度等值线图

2 煤厚变化对煤与瓦斯突出的控制

根据对新安煤田 14 次突出和 13 次瓦斯异常涌出统计分析,煤厚在瓦斯突出中具有最重要的作用(表 1、图 2)。具体表现在:

表 1 新安煤田瓦斯突出与异常涌出统计表

突出或异常涌出原因	突 出		异常涌出	
	突出次数/次	备 注	异常涌出次数/次	备 注
煤厚增大	5	2 次是河流后期冲蚀	7	2 次煤厚达到最大
煤厚减小	4		4	
地应力	3	1 次构造应力 1 次采掘应力 1 次采掘和构造应力	0	
原因不明	1	无构造、无煤厚变化	2	无构造、无煤厚变化
其 他	1	石门揭煤	0	

(1) 突出主要与煤厚及变化有关。突出点的煤厚 2~11.6 m,平均为 6.7 m,约相当于煤田内平均煤厚的 1.5 倍,说明煤厚大是有利于突出的;从煤厚变化来看,突出点煤厚变化率为(0.75~4.6) m/10 m,平均为 1.74 m/10 m,远高于煤田平均煤厚变化率 0.56 m/10 m。

(2) 瓦斯异常涌出也与煤厚及变化有关。异常涌出点的煤厚 2.5~9.5 m,平均 5.6 m,

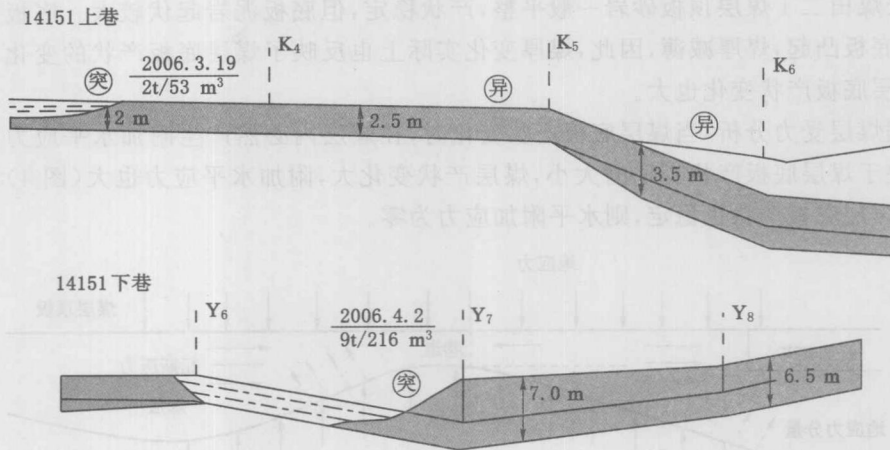


图2 新安矿 14151 工作面上下付巷瓦斯突出和异常涌出剖面图

相当于煤田内平均煤厚的 1.3 倍;煤厚变化率为 0.25~2.0 m/10 m,平均为 0.73 m/10 m。

对比瓦斯异常涌出与突出,煤厚及变化都是其主要因素,但突出点的煤厚及变化均大于异常涌出点,异常涌出点又大于整个煤田。

3 煤厚变化控制煤与瓦斯突出的机理分析

3.1 煤厚变化对煤层瓦斯含量的控制

根据研究,煤层厚度增大,瓦斯含量一般也增大,二者成正比例关系。

煤厚增大瓦斯含量增大的主要原因在于,煤层相对于围岩透气性差,对于厚煤层来说,靠近煤层顶底板的分层相对于中间分层起到了阻止瓦斯逸散的作用,因此,煤层中部瓦斯含量较高,厚煤层可以形成瓦斯分层。对于薄煤层来说,煤层瓦斯直接向围岩逸散,全层瓦斯含量降低,以致煤层不具备发生煤与瓦斯突出的基本瓦斯条件(图 3)。

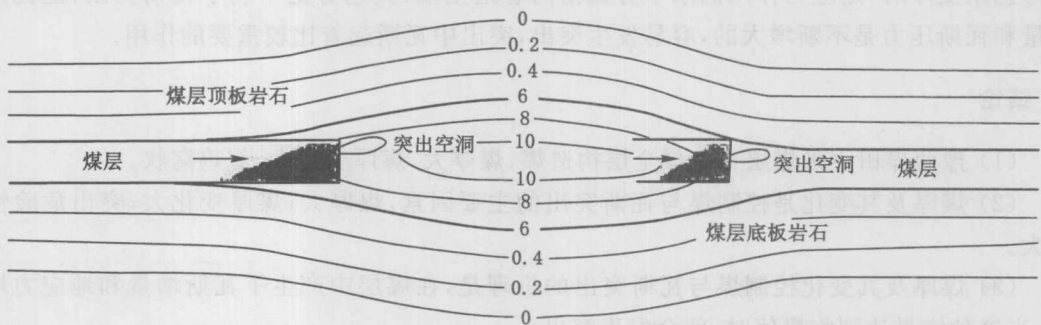


图3 煤层及顶底板瓦斯含量分布和突出点位置示意图

3.2 煤厚变化对地应力的控制

新安煤田二1煤层顶板砂岩一般平整,产状稳定,但底板泥岩起伏较大。底板下凹,煤厚增大,底板凸起,煤厚减薄,因此,煤厚变化实际上也反映了煤层底板产状的变化,煤厚变化大,煤层底板产状变化也大。

根据煤层受力分析,当煤层底板产状变化时,在煤层内必然产生附加水平应力,该应力大小取决于煤层底板产状变化的大小,煤层产状变化大,附加水平应力也大(图4);如果煤厚稳定,煤层底板产状也稳定,则水平附加应力为零。

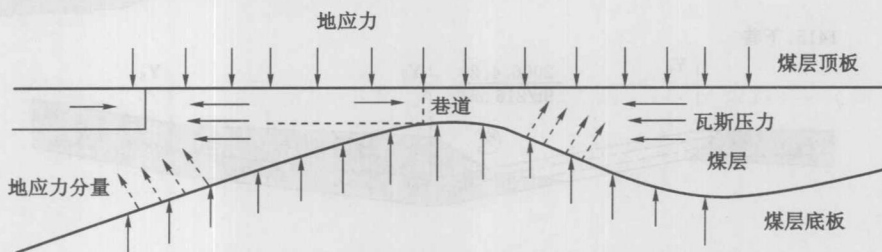


图4 煤厚变化引起的瓦斯突出力学机制示意图

3.3 煤厚及其变化对煤与瓦斯突出危险性的控制

一定厚度的构造煤是煤与瓦斯发生突出的必备条件之一。国内外的研究者大都认为,构造煤厚度越大,越容易发生煤与瓦斯突出,相反,厚度越小,突出的可能性就越小,这一结论已得到学术界的普遍认同,大量的研究也均证实了这一点^[1,2]。

构造煤厚度大有利于突出的机理是:煤厚大,瓦斯含量也大,瓦斯在突出中所提供的膨胀能是突出的最主要动力,其次是地应力潜能,再次是由瓦斯产生的煤体弹性能^[3,4]。另一方面,瓦斯含量增大,使煤抵抗破坏的能力降低,根据研究,煤在饱含 CO_2 状态时,比在空气中的强度下降70%~80%;而在煤- CH_4 体系中,其强度下降56%^[5,6]等。

煤厚变化对突出的控制机理是:当煤层厚度由厚急剧变薄时,瓦斯含量和瓦斯压力减小,但水平地应力增大,容易出现压出,压出过程中地应力起着比较重要的作用;当煤层厚度由薄急剧变厚时,地应力作用的水平分量指向巷道里端,其趋势是不利于瓦斯突出,但瓦斯含量和瓦斯压力是不断增大的,容易发生突出,突出中瓦斯起着比较重要的作用。

4 结论

- (1) 豫西煤田主采煤层二1煤全层构造煤,煤厚大,煤厚变化大,似鸡窝状。
- (2) 煤厚及其变化是控制煤与瓦斯突出的主要因素,煤厚大,煤厚变化大,突出危险性也大。
- (3) 煤厚及其变化控制煤与瓦斯突出的机理是,在煤层中产生了瓦斯增量和地应力增量,当这种增量达到临界值时,就会发生突出。

参考文献

- [1] 蔡成功,王佑安.煤与瓦斯突出一般规律定性定量分析研究[J].中国安全科学学报,2004,14(6):109-112.

- [2] 邵强,王恩营,王红卫,等.构造煤分布规律对煤与瓦斯突出的控制[J].煤炭学报,2010,35(2):250-254.
- [3] 文光才.煤与瓦斯突出能量的研究[J].矿业安全与环保,2003,30(6):1-3,9.
- [4] 张我华,金黄,陈云敏.煤/瓦斯突出过程中的能量释放机理[J].岩石力学与工程学报,2000,19(增):829-835.
- [5] 刘建军,梁冰,章梦涛.煤和瓦斯突出过程中瓦斯作用机理的研究[J].中国安全科学学报,2000,1(3):63-66.
- [6] 朱连山.煤与瓦斯突出机理浅析[J].矿业安全与环保,2002,29(2):23-25.

作者简介:牛森营(1963—),男,河南临颖人,博士,教授级高级工程师。

变形煤的微观结构特征及其吸附特性研究现状及展望

郎伟伟 张子戌 刘高峰

(河南理工大学资源环境学院 河南焦作 454000)

摘要:煤的微观结构特征是影响瓦斯吸附性的一个重要影响因素,从构造煤的分类、煤变形机制、影响瓦斯赋存的因素、国内外对变形煤体的吸附性能研究现状等几个方面进行了阐述,并就这个领域存在的亟待解决的问题和研究难点,提出自己的研究思路和解决问题的方法。对于深化煤吸附瓦斯机理研究,提高煤与瓦斯突出预测的准确性和瓦斯灾害防治,具有指导意义。

关键词:煤;变形;微观结构;吸附;瓦斯

我国煤炭、煤层气资源非常丰富,然而我国的煤盆地因复杂的构造演化史,形成了广泛分布的构造煤。煤层是含煤地层中的相对软弱层,在变形过程中,不同的应力性质、方式和强度、变形环境,煤的物理性质、化学结构、化学成分都呈规律性变化^[1,2]。煤体变形对煤岩的孔隙度、分子结构、煤岩的变质程度、煤岩的双反射率、煤岩的导电性、声波在煤中的传播速度及煤岩的吸附特性等都有很大的影响。国内外研究表明,煤是一种具有复杂孔、裂隙结构系统的多孔介质,煤的微观结构特征是影响其吸附性的一个重要影响因素^[3-5]。

1 研究历史与现状

前人从资源角度(此处称为煤层气)或是从煤矿瓦斯灾害防治角度,对变形煤的微观结构特征及其吸附特性进行了大量的研究,取得了丰硕的研究成果,主要体现在以下几个方面。

1.1 构造煤的分类、成因

煤体结构是影响煤与瓦斯突出的重要因素之一,也是进行煤与瓦斯突出预测的重要指标。煤由于变形程度、变形作用类型(脆性变形和韧性变形等)及变形环境的不同常形成各种类型的构造煤^[6],不同的煤体结构类型其突出危险性亦不同,因而不同研究者从不同的煤体原生结构破坏程度入手可将煤体结构划分为若干类型。比较有代表性的分类方案有苏联东方煤炭研究所四类分类,苏联科学院地质研究所的5种破坏类型,中国矿业大学分甲、乙、丙三类,中华人民共和国煤炭工业部以苏联的5类划分为基础提出的5类分类法,袁崇孚和孙传显的4类分类方案^[7,8]。据宜文等按构造变形机制把构造煤分为脆性变形、脆韧性变形和韧性变形三个变形序列的10类煤^[9]。

通过对构造煤的不断深入研究,前人已从构造地质学角度将宏观和微观特征结合起来进行分析并探讨了其成因机制。李涛和王桂梁等详细研究了构造应力作用下煤层流变的特征和机制^[10,11]。朱兴珊等根据煤分层的平均破碎程度级别将煤体宏观破坏类型分为两类4

型 7 种^[12]。郭德勇等对构造煤形成的力学条件及其对煤与瓦斯突出的影响进行了探讨^[13]。

由此可见,煤体结构破坏是构造应力作用的结果,构造煤破坏程度反映了构造应力的相对大小。构造煤的分布不同程度地影响着瓦斯突出的分布。

1.2 煤变形的高温高压实验研究

煤是一种对温度、压力和构造应力都十分敏感的有机岩。因此,煤田地质工作者对煤本身变形特征的研究也越来越重视,分别从不同角度论述了煤的碎裂变形、煤岩的流变机理、煤层流变机制^[11]和层滑构造中煤系及煤层的变性特征^[14],但只有在实验的基础上才能进一步认识煤的变形微观机制。

迄今为止,有关煤的高温、高压实验无论是国内还是国际上都还进行的较少。国际上 Bustin 等做过有关实验^[15]。我国周建勋选择了镜质组最大反射率($R_{o,max}$)分别为 0.67%, 3.14% 和 4.90% 的 3 种煤级的样品进行了高温、高压实验^[16],结果表明煤的变形受温度、煤级和气体等多种因素影响,其中与煤级的关系更为密切。姜波等通过对煤的高温高压煤变形实验,深入探讨了不同煤化程度煤的变形行为,论述了温度和压力是影响煤变形的重要因素,揭示了变形煤结构演化的微观机理及其与镜质组反射率光性变异的内在联系,阐明了不同应变环境中应力作用的差别在一定程度上控制了碳结构的演化,而镜质组反射率的差别正是煤结构差异的外在反映,完善了变形煤光性组构在煤田地质中应用的理论和实验基础^[17,18]。

杨光等对沁水盆地煤岩样品实验结果表明,不同煤级的煤岩(中煤级的高煤化烟煤和高煤级的低级无烟煤),在其相同的实验条件下,煤岩强度既表现出一致性又显现出差异性。而在不同的实验条件下,对于煤岩强度的影响,温度效应要高于压力效应。煤岩的脆—韧性转变发育于 200 °C/200 MPa 和 300 °C/300 MPa 之间,此时煤储层的孔隙率在减小,同时产生了一些裂隙,增加了煤储层的渗透性。煤岩的脆性变形产生了宏观破裂带和透入性破裂组合,而大量发育的波状消光、变形纹和动态重结晶颗粒等充分反映了较高温度和压力条件下晶质塑性变形过程的主导地位^[19]。

1.3 煤孔隙的结构特征及其变化研究

煤中的孔隙在成煤过程中形成,经过地质构造作用的改造,部分煤遭到剧烈的破碎,扩展了孔隙数量和容积,改变了煤的孔隙结构。煤中孔隙的性质直接关系到煤中气体(主要是甲烷)的吸附性、解吸性及其在煤层中的流动性。

研究表明,煤的破坏程度与其孔隙体积有着密切的关系^[20]。一般认为,破坏程度大的煤具有较大的孔隙体积,突出煤的孔隙体积比非突出煤大 1.2~5 倍,并且含有较多孔径(直径)大于 0.1 μm 的孔隙类型。吴俊等对煤的孔隙系统进行了研究和分析^[21]。煤的孔隙通道和结构性质基本控制了煤层气的排驱机制。研究发现:突出煤的压汞曲线波折,具有多个孔隙突破压力特征。第一个孔隙突破压力通常小于 1 MPa;第二个孔隙突破压力通常为 1~5 MPa。煤层气体在煤层中的压力通常在 8 MPa 以下,从气体运移角度出发,表明煤层气体易进行运移富集。

Kirstin Taske 使用微孔测定仪对煤样进行测量,测定了压力、孔径、平均直径、累计体积、体积增加量和微分体积,进行了孔隙分布讨论,推知煤中大孔和中孔的分布是非常易变且无规律^[22]。但随着煤体破坏类型的提高(I~IV),总孔隙有规律地增加,在所有的孔中,中孔增加的最为显著,微孔变化不太明显^[23]。但微孔在煤岩中现存特征可作为煤岩变形的

佐证^[24]。张井、于冰分析认为,糜棱状煤中孔大量的增加是因为煤体受构造严重挤压摩擦,破碎的微粒(常达零点几个微米)充填于大的孔隙中造成的^[25]。

由此可见,研究者们通过对孔隙体积、孔道分布、比表面积、孔隙突破压力等来研究煤的孔隙结构类型,对比原生结构煤和构造煤分析分析孔隙结构变化规律。

1.4 煤体变形对煤结构影响的研究

X射线衍射法是精确测定固体晶体结构最直接的方法之一。用X射线衍射法对人工炭化物的测试表明,随炭化度的提高,基本结构单元的高度 L_c 呈阶段性增减^[26]。秦勇用X射线衍射法对反射率为1.32%~17.9%的煤和石墨做了研究,发现 L_c 和 L_a 的增升演化都具有阶段性^[27]。

从低阶烟煤到无烟煤,选取不同变形类型构造煤做X衍射研究发现^[28]:①剪切韧性变形特征的构造煤的芳核大于由碎裂流动所形成的构造煤;②动力变质作用所引起的煤芳核变化具有阶段性演化规律,在低煤阶烟煤至中煤阶无烟煤阶段,动力变质作用主要表现导致 L_c 的增大,而 L_a 变化幅度较小。在中煤阶无烟煤 $R_{o,max}$ 在3.5%以后,主要引起 L_a 增大, L_c 变化有所增大,但增大幅度没有 L_a 明显。

姜波、秦勇等研究认为^[29]:构造煤基本结构单元面网间距 d_{002} 随镜质组最大反射率的增高而逐渐减小,但 $R_{o,max}$ 在4%之后减幅明显变缓,并趋于稳定。一般情况下,煤阶低者 d_{002} 的减小较为显著,煤阶高者反之,但强烈的应变可能造成较高煤阶煤 d_{002} 值的大幅度降低。

对于煤的显微组分来说,由于不同煤微组分不同量脂肪(环)物质引起芳香层弯曲程度不同,使其表现出结构差异。不同的显微组分中,惰质组芳香层平均直径最大,弯曲程度最小,芳香层平行堆垛最好;壳质组芳香层平均直径最小,弯曲严重,芳香层平行堆垛较差;而镜质组的结构特征介于上述两者之间^[30]。

1.5 变形煤体的吸附性能研究

煤层中气体90%以上以吸附态存在,煤层气主要以吸附状态存储于煤的微孔隙—裂隙中,影响煤层气吸附性能的因素有煤的变质程度、物质组成、煤层中的水分、煤体的孔隙结构、温度和压力、煤粒大小以及气体组成等。

对于不同变质程度的煤,低煤阶煤以大孔为主,孔隙度较大,吸附能力强;随着煤变质程度的加深,孔隙变为以微孔为主,造成中等变质程度煤孔隙度和内表面积小,吸附能力小;高变质程度煤因孔隙度和内表面积大而吸附能力也强^[31]。煤岩吸附能力与显微组分的关系随着煤阶的不同而变化^[46]。钟玲文等发现惰质组含量与兰氏体积之间的关系较为复杂,粗粒体、微粒体和惰屑体的吸附量一般较低,而细胞腔未被充填的丝质体和半丝质体的吸附量通常较高^[4]。张群认为兰氏体积随镜质组含量增加而增大,随惰质组含量的增大而减小^[32]。

水分对煤储层吸附能力的影响是煤样在达到临界水分值(w_c)以前,随水分的增加, V_L 值变小, p_L 值增大;当达到或超过临界水分值(w_c)时,水分只是覆盖在煤的颗粒外表面, V_L 和 p_L 的值均不再随水分的增加而变化^[33]。

对于构造煤来说,强大的构造应力作用促使严重破碎的煤在煤化程度上比正常煤有所加深。在煤体变形的过程中,由于破坏程度的加深,使煤体的微孔隙与比表面积都显著增加^[23]。