

文章编号: 1673-3363-(2014)01-0154-07

巨厚火成岩对下伏煤层瓦斯赋存的控制作用

王伟, 程远平, 王亮, 王海锋, 卢守青, 蒋静宇

(中国矿业大学瓦斯治理国家工程研究中心, 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要 为了研究巨厚火成岩对下伏煤层瓦斯赋存的控制作用, 以海孜煤矿 10 煤层火成岩不同覆盖厚度区域所取 5 个煤样为研究对象, 测定了坚固性系数、瓦斯放散初速度、瓦斯吸附常数、突出危险性指标 K 值等参数随火成岩覆盖厚度的变化, 同时采用工业分析、 CO_2 测微孔、电镜扫描、显微组分分析、镜质组反射率测定等方法研究了火成岩对煤质、孔隙结构的影响。结果表明: 巨厚火成岩分布对下伏煤层煤质及瓦斯赋存具有控制作用, 其热演化和热变质作用提高了 10 煤层变质程度, 10 煤层由无火成岩覆盖区的长烟煤逐渐演化为巨厚火成岩覆盖下的瘦煤; 随上覆火成岩厚度增加, 10 煤层微孔发育, 吸附和储集瓦斯的能力增强, 瓦斯含量增加; 火成岩侵入带来的挤压作用使厚覆盖层下煤层强度降低, 局部更易形成软煤分层, 增加了煤与瓦斯突出危险性。

关键词 巨厚火成岩; 热变质作用; 煤质; 镜质组反射率; 瓦斯赋存

中图分类号 TD 712 **文献标志码** A

Controlling effect of extremely thick igneous rock on gas occurrence of underlying coal seam

WANG Wei, CHENG Yuanping, WANG Liang, WANG Haifeng, LU Shouqing, JIANG Jingyu

(National Engineering Research Center of Coal Gas Control, Faculty of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract To study the controlling effect of extremely thick igneous rock on gas occurrence of underlying coal seam, five coal samples had been selected in igneous rock covered areas with different thickness in No.10 Coal Seam of Haizi Coal Mine. The changes of coal firmness coefficient, initial methane diffusion velocity, methane adsorption constants, outburst risk index value, etc, as the increasing of igneous rock thickness were tested in this paper. Meanwhile, the proximate analyses, micro porous measured by carbon dioxide, scanning electron microscopy and maceral were used to study the influence of igneous rock on the coal quality and pore structure. The results show that the distribution of extremely thick igneous rock plays a control role in the coal property and gas occurrence of underlying No.10 Coal Seam. The metamorphic degree of No.10 Coal Seam has been improved under the thermal evolution and thermal metamorphic effects of igneous rock. The underlying coal seam is gradually improved from long flame coal in without igneous rock covered area to lean coal under the extremely thick igneous rock. With the thickness increase of overlying igneous rock, the micro porous of No.10 Coal Seam develops, the ability of gas adsorption and reservoir enhances, and the gas content increases. The strength of underlying No.10 Coal Seam decreases under the squeezing action of igneous rock intrusion, and soft

收稿日期: 2012-11-15

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51004106); 中国博士后科学基金项目(2012M510145); 国家“十二五”大型油气田及煤层气开发重大专项项目; 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室开放基金项目(2013-005)

作者简介: 王伟 (1987-), 男, 山东省滨州市人, 博士, 从事煤矿瓦斯防治方面的研究。

E-mail: cumtsafety_wangwei@163.com

Tel: 15262143305

coal layer can be easily formed in local area. Thus, the risk of coal and gas outburst increases.

Key words extremely thick igneous rock; thermal metamorphic effect; coal property; vitrinite reflectance; gas occurrence

在煤矿采动覆岩中常有火成岩侵入体，火成岩侵入体的产状、岩性及分布形式对矿山开采、煤质变化、瓦斯赋存、突出灾害控制等具有极其重要的作用^[1]。从工业分析和煤的变质程度等方面研究火成岩对煤质和瓦斯赋存的影响，靠近火成岩，煤的挥发分和水分变小，灰分增大，煤的变质程度提高^[2-3]。靠近火成岩，连续煤样的 R_m 有单调增加的趋势，研究矿区火成岩的热演化范围为 1.2 倍火成岩厚度，岩浆侵入边界附近是煤与瓦斯突出的高发区^[4]。火成岩岩体侵入所伴随的热力和应力，不仅显著促进煤的变形-变质进程，而且对已有构造格局产生一定程度的改造^[5]。区域岩浆的热变质作用有利于提高煤层含气量和渗透率，煤吸附和储存瓦斯的能力增强^[6]。岩浆侵入作用产生的构造应力和热应力使围岩破坏，煤层节理裂隙发育，煤层的导流能力提高^[7]。煤层受巨厚火成岩高温烘烤作用，煤体变质程度高，煤层瓦斯含量高，突出指标更加危险^[8]。由于不同矿区火成岩的时空演化过程不同，侵入区煤体结构、变质程度等物性特征不同，导致不同矿井瓦斯赋存规律差异很大，淮北矿区 80% 的矿井存在岩浆侵入煤层现象^[9]，应引起足够的重视。2009 年 4 月 25 日，淮北海孜煤电公司 10 煤层位于矿井巨厚火成岩覆盖区域的 II 102 采区西翼三区段的 II 1026 机巷掘进工作面发生煤与瓦斯突出事故，突出煤量 656 t，突出瓦斯量 13 210 m³，造成 1 人死亡，

直接经济损失 76.48 万元^[10]。

淮北矿区海孜煤矿 10 煤层上覆火成岩厚度变化范围大，从无火成岩覆盖变化到超过 120 m 巨厚火成岩覆盖，10 煤层瓦斯赋存受上覆火成岩影响控制作用明显，可研究性强。上述文献均未对巨厚火成岩覆盖条件下火成岩对下伏煤层煤质变化及煤层瓦斯赋存的控制作用进行详细的研究。本文以淮北矿区海孜煤矿为背景，对不同火成岩覆盖厚度下 10 煤层的多元物性参数进行对比分析，讨论远程上覆巨厚火成岩的存在对矿井 10 煤层煤质及瓦斯赋存的控制作用，为该特殊地质条件下的煤层瓦斯综合治理及安全开采提供有益的帮助。

1 矿井地质背景

海孜煤电公司在安徽省淮北市濉溪县境内，矿井东南以大马家断层与临涣煤矿毗邻，西以大刘家断层为界，北至 3 煤层-800 m 水平投影线，井田平面呈不规则三角形^[10]。矿井 10 煤层属二叠系，为主采煤层之一，属于突出煤层，位于山西组中部，目前开采深度为 525~675 m，煤层厚度 0~7.04 m，平均 2.67 m，无煤层露头，煤层倾角 5°~14°，煤层顶底板以泥岩、粉砂岩为主，研究区内井田无大的构造发育，在 10 煤层顶板 170 m 处存在厚达 120 m 的岩浆岩床(本文称为巨厚火成岩)。矿井位置及火成岩区域分布情况如图 1 所示。

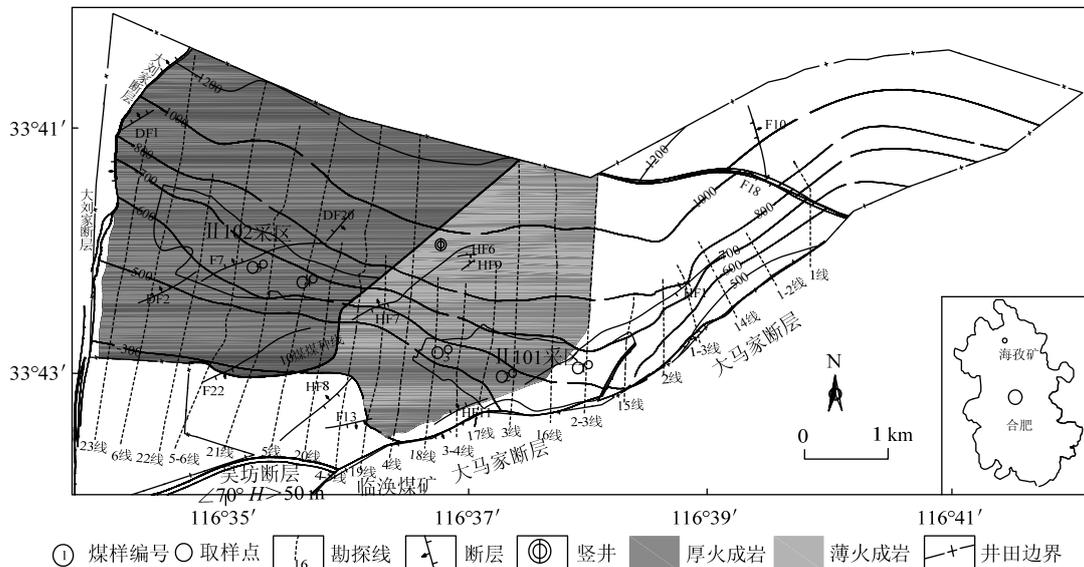


图 1 海孜煤矿位置及火成岩区域分布图

Fig.1 Geographical position and distribution of igneous rocks of Haizi mine

海孜矿岩浆侵入的矿区演化历史可概括为：在燕山期，地层深部岩浆上涌并沿宿北断裂的上盘由北向南侵入海孜井田。岩浆的侵入形状主要包括岩墙、锥形、杯形、飞碟形、岩床、岩盆、岩盘、岩盖和环状岩墙^[1]，从地勘钻孔的勘探结果可知海孜矿的岩浆侵入形状以岩床为主。巨厚火成岩在矿井东西两翼均有分布，覆盖厚度从 II 101 采区到 II 102 采区逐渐变厚，其中 II 101 采区受火成岩侵蚀影响比较小，厚度分布不稳定，东翼顶部无火成岩覆盖，西翼覆盖火成岩厚度处于 0~35 m 之间，而 II 102 采区大部分区域为火成岩覆盖，分布稳定，厚度一般大于 120 m，其最大厚度 169.18 m。火成岩距离 10 煤层 170 m 左右，沿走向绵延长度 6.5 km，主要由闪长岩和闪长玢岩组成^[12]。

2 取样与实验方法

2.1 取样

新鲜煤样分别取自海孜煤矿 10 煤层 II 101 和 II 102 采区，采样地点布置如图 1 所示，其中 II 101 采区东翼无火成岩覆盖区 1 个，中部和西翼薄火成岩覆盖区各 1 个，II 102 采区巨厚火成岩覆盖区 2 个，共 5 个煤样作为实验和研究对象，依次编号为 1[#]，2[#]，3[#]，4[#]，5[#]。

2.2 试验方法

工业分析采用 5E-MAG6600 全自动工业分析仪进行测定，煤样粒径为 0.074~0.20 mm。镜质组反射率及显微组分测定在中国矿业大学分析测试中心完成，使用德国(ZEISS)显微镜光度计，粒径小于 0.2 mm 煤样用胶黏合后烘干，抛光，油浸，白色反射光。电镜扫描采用日本生产的 HITACHIS-3000N 在中国矿业大学材料学院测定完成。煤的微孔孔容、微孔比表面积和微孔平均孔半径采用低压 CO₂ 吸附法(273 K)进行测定，在中国矿业大学化工

学院完成，使用仪器为美国 Quantachrome 公司生产的 AUTOSORB-1。煤的坚固性系数测定采用常用的落锤破碎测定法，煤样粒径选用 1~3 mm，落锤次数为 3 次。瓦斯放散初速度测定使用煤炭科学研究总院沈阳研究院生产的 WT-I 型瓦斯放散初速度测定仪，要求煤样粒径为 0.20~0.25 mm。煤的吸附常数 *a*，*b* 值采用煤炭科学研究总院重庆研究院研制的 HCA 高压容量法瓦斯吸附装置进行测定，煤样粒径为 0.20~0.25 mm。

3 结果与讨论

3.1 巨厚火成岩对煤质的影响

从图 2 和表 1 可看出，煤样最大镜质组反射率随巨厚火成岩覆盖厚度的增加呈单调增加的趋势，由正常区域的 0.6901% 逐渐增大到巨厚火成岩覆盖区域的 2.1262%，有机显微组分成分中镜质组均超过 60%，为煤主要成分，且具有逐渐增大的趋势。进一步对煤样进行工业分析，从无火成岩覆盖区域到巨厚火成岩覆盖区域，挥发分由 24.19% 减小到 10.04%，水分由 0.63% 减小为 0.27%，呈逐渐降低的趋势，然而，灰分和固定碳的含量有总体增大的趋势，其中灰分由 11.16% 增大到 18.73%，固定碳含量由 64.02% 增大到 70.97%。

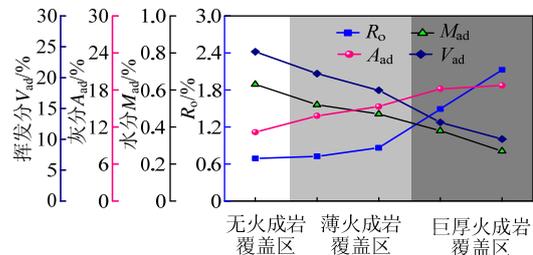


图 2 镜质组反射率及工业分析变化关系图
Fig.2 Variation relation among the proximate analysis and vitrinite reflectance

表 1 巨厚火成岩下煤样镜质组反射率及工业分析

Table 1 Coal samples under thick magmatic rocks test result of proximate analysis and vitrinite reflectance

取样位置	煤样编号	工业分析				<i>R_o</i> /%	有机显微组分		变质阶段
		<i>M_{ad}</i> /%	<i>A_{ad}</i> /%	<i>V_{ad}</i> /%	<i>F_{cad}</i> /%		镜质组	惰质组	
无火成岩覆盖区	1 [#]	0.63	11.16	24.19	64.02	0.690 1	61.58	37.29	低变质烟煤-长烟煤
	2 [#]	0.52	13.81	20.64	65.03	0.723 4	66.15	27.04	低变质烟煤-长烟煤
薄火成岩覆盖区	3 [#]	0.47	15.32	17.95	66.26	0.863 4	67.86	21.20	低变质烟煤-气煤
	4 [#]	0.38	18.17	12.75	68.91	1.490 6	77.03	16.22	中变质烟煤-焦煤
巨厚火成岩覆盖区	5 [#]	0.27	18.73	10.04	70.97	2.126 2	86.91	4.72	高变质烟煤-瘦煤

巨厚火成岩覆盖在 10 煤层上部就会形成一个热力变质带，受火成岩热变质作用的影响，煤的变质程度逐渐增大，煤的挥发分、水分、氢含量等有规律地降低，碳含量有规律地增加，碳氢原子比 (C/H) 不断增加，煤的内部结构发生急剧变化。随着上覆火成岩厚度的增加，10 煤层由长烟煤逐渐变为瘦煤，在平面上形成环形的变质分带。从煤岩显微组成来看，镜质组含量越高，氢和挥发分含量越低，氧含量越高，生成瓦斯的能力越强，而且微孔孔容和比表面积越大，吸附储存瓦斯的能力增强。

3.2 巨厚火成岩对煤物性参数的影响

3.2.1 扫描电镜

扫描电子显微镜具有样品制备简单快捷、不损伤样品、观察视域广、图像富立体感强、放大倍数连续可调且可调范围较宽和能对样品表面进行多种信息综合的特点^[13]。受燕山期岩浆活动影响，在热演化作用下，煤层会出现叠加生烃现象，同时伴随热解气孔的形成^[14]。由图 3 对比可看出，从无火成岩覆盖区到巨厚火成岩覆盖区，即从 1[#]煤样到 5[#]煤样，热解气孔数量逐渐增多，1[#]煤样几乎观察不到热解气孔，2[#]煤样开始有部分热解气孔出现，3[#]煤样有明显热解气孔出现，4[#]煤样出现较多热解气孔，5[#]煤样出现大量热解气孔。

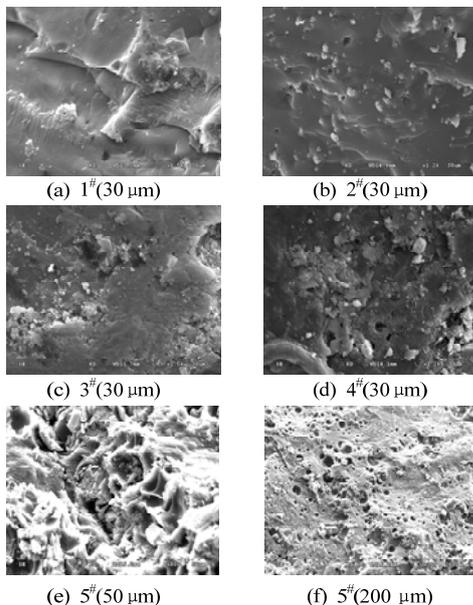


图 3 海孜煤矿 10 煤层煤样电镜扫描典型照片

Fig.3 Scanning microscope photographs of Haizi coal mine

由上部火成岩的热演化作用引起储层结构和构造改变，在热力烘烤下，煤层局部区域发生分子断裂、分解形成液态烃(低分子化合物)和气态烃(瓦

斯)，使煤中有机质挥发，留下很多密集成群的浑圆状或管状热解气孔，提高了储层的孔隙度，对煤层的吸附瓦斯能力和对瓦斯的储集能力有一定程度的提高。火成岩的热演化作用使煤层发生热分解反应，产生大量的 CO，CO₂，CH₄ 等有害气体，吸附在煤体中，从而增加了煤层中的瓦斯含量。

3.2.2 二氧化碳测微孔

煤的孔隙特性(如大小、形态及其发育规律)直接关系到煤中气体(CH₄)的吸附/解吸特性及其在煤层中的运移规律^[15]。岩浆活动对煤储层的微孔隙分布具有显著的影响，煤样 BET 比表面积和微孔各参数测定结果见表 2，从图 4 可发现，从无火成岩覆盖区域到巨厚火成岩覆盖区域，BET 比表面积和 D-R 微孔孔容均有逐渐增大的趋势，BET 比表面积由 1.522 m²/g 增大到 20.04 m²/g，D-R 微孔孔容由 5.31×10⁻⁴ cm³/g 增大到 7.13×10⁻³ cm³/g。不同压力条件下各煤样 CO₂ 吸附情况见图 5，5 个煤样吸附曲线均属于经典的具有代表性的朗格缪尔模型 (Langmuir model) I 类吸附曲线 (Langmuir, 1910)^[16]，从无火成岩覆盖区域到巨厚火成岩覆盖区域，煤层吸附 CO₂ 能力逐渐增强。

表 2 煤样 BET 比表面积和微孔孔容测定结果

Table 2 Test results of surface area and porosity

覆盖区	煤样编号	BET 比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	D-R 微孔孔容/(cm ³ ·g ⁻¹)	微孔平均直径/nm
无火成岩	1 [#]	1.52	5.31E-04	0.899
	2 [#]	2.07	7.23E-04	1.036
薄火成岩	3 [#]	2.59	9.03E-04	1.209
	4 [#]	6.04	2.11E-03	1.067
巨厚火成岩	5 [#]	20.42	7.13E-03	1.167

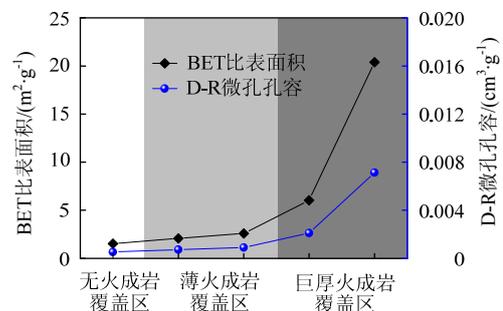


图 4 煤样微孔比表面积和微孔孔容变化趋势图

Fig.4 Change trend of surface area and porosity

煤的孔隙特征是体现煤吸附瓦斯能力和瓦斯运移性的重要标志^[17]。岩浆侵入对煤层的改造主要表现在 2 方面：一是岩浆活动提供了一个高温环境；

二是岩浆在侵入作用下对煤层产生了附加应力^[7]。岩浆侵入活动产生的高温环境，促使煤中有机质挥发，提高了储层的孔隙度；上覆火成岩的动力挤压，产生的外生裂隙与内生裂隙(割理)叠加，裂隙度提高，渗透性增强。由于温度和压力的作用，煤层中的微观及宏观孔隙、裂隙的数量和规模都产生了不同程度的增加，既提高了煤层的吸附瓦斯能力又提高了煤层对瓦斯的储集能力。

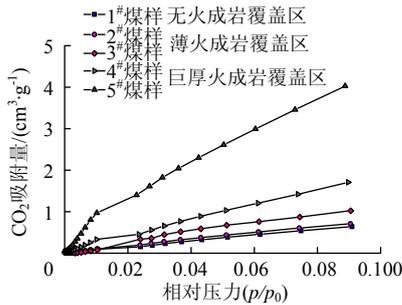


图 5 煤样不同相对压力下 CO₂ 吸附曲线

Fig.5 Quantities of carbon dioxide adsorbed onto coal samples at atmospheric pressure

3.3 巨厚火成岩对煤层瓦斯突出危险指标的影响

从表 3 和图 6 可看出，煤坚固性系数 f 值和瓦斯放散初速度从无火成岩覆盖区到巨厚火成岩覆盖区有逐渐增大的趋势，所取煤样的 f 值从 0.389 增大到 0.470，均小于临界指标值 0.5，煤的硬度小，瓦斯放散初速度 Δp 从 3.53 mmHg 增大到 10 mmHg。突出危险性指标 K 是坚固性系数和瓦斯放散初速度的综合反映，从 9.07 变化到 21.28，存在明显逐渐增大的趋势，其中 4[#]、5[#]煤样均大于 15，且 5[#]煤样大于 20。煤体结构按是否遭受构造应力破坏以及破坏的程度可分为原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤、糜棱煤等 4 种类型^[18]，本次划分主要依据煤的坚固性系数和瓦斯放散初速度 2 个指标，其中 1[#]、2[#]和 3[#]煤样为碎裂煤，4[#]和 5[#]煤样为碎粒煤。从表中反映煤样瓦斯吸附能力的瓦斯吸附常数 a 、 b 值来看，瓦斯极限吸附量 a 值从 19.33 逐渐增大到 36.35，与温度和被吸附气体有关的参数 b 值从 0.87 增大到 1.071，煤层吸附瓦斯能力逐渐增强。

表 3 突出危险性指标及吸附常数汇总表

Table 3 Test results of outburst index and adsorption constant

取样位置	煤样编号	f	瓦斯放散初速度 $\Delta p/\text{mmHg}$	煤体结构类型	突出危险性指标 K	吸附常数	
						$a/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	b/MPa^{-1}
无火成岩覆盖区	1 [#]	0.389	3.53	碎裂煤	9.07	19.33	0.87
	2 [#]	0.397	4.30	碎裂煤	10.83	21.32	0.89
薄火成岩覆盖区	3 [#]	0.401	4.55	碎裂煤	11.35	24.12	0.91
	4 [#]	0.450	7.36	碎粒煤	16.36	31.67	1.043
巨厚火成岩覆盖区	5 [#]	0.470	10.00	碎粒煤	21.28	36.35	1.071

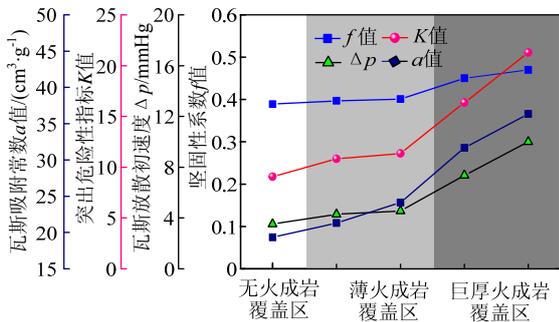


图 6 突出指标及吸附常数变化关系图

Fig.6 Variation relation among the outburst index and adsorption constant

巨厚火成岩使煤层变质程度提高和应力分布发生变化，产生强大的推挤力，使煤层发生位移，受力、揉搓粉碎，造成煤体结构破坏，降低了煤的坚固性系数，形成软煤分层；受巨厚火成岩热变质

作用的影响，地温场升高，煤的物理化学特性发生改变，煤层物性参数的变化，使得煤体瓦斯极限吸附量逐渐增大，其瓦斯吸附能力也相应增加。

3.4 巨厚火成岩对煤层瓦斯赋存控制作用原理

巨厚火成岩对下伏煤层瓦斯赋存的控制作用主要包括热演化作用、热变质作用、推挤作用和圈闭作用，作用原理如图 7。所选研究区域火成岩覆盖厚度变化明显，从东侧无火成岩覆盖区域逐渐过渡到西侧的覆盖厚度超过 120 m，对煤层的影响作用逐渐增强。在上覆巨厚火成岩的热演化作用和热变质作用下，煤层的变质程度增大，镜质组含量提高，生成及放散瓦斯的能力增强；煤层微观及宏观孔隙、裂隙的数量和规模都产生了不同程度的增加，瓦斯吸附位增加，吸附储集瓦斯能力增强。由于巨厚火成岩处在煤层上覆岩层中，对游离瓦斯起

到圈闭作用，更易于保存瓦斯，使得煤层瓦斯含量增大。巨厚火成岩对下伏煤层的推挤作用，使煤层受力，揉搓粉碎，局部形成软煤分层。多种因素共同作用下，煤层瓦斯含量、瓦斯压力及瓦斯涌出量增大，且煤体变软，更易发生煤与瓦斯突出。

从现场具体数据来看，10 煤层巨厚火成岩覆盖区域的瓦斯压力、瓦斯含量及瓦斯涌出量均大于薄火成岩和无火成岩覆盖区域。在 10 煤层无火成岩覆盖或薄火成岩覆盖的 II 101 采区煤层瓦斯压力变化范围为 0.4~2.07 MPa，瓦斯含量变化范围为 4.56~10.03 m³/t，绝对瓦斯涌出量为 19.02 m³/min；而在巨厚火成岩覆盖的 II 102 采区煤层瓦斯压力变化范围为 1.02~3.46 MPa，瓦斯含量变化范围为 8.12~19.3 m³/t，绝对瓦斯涌出量为 27.71 m³/min，且 II 102 采区曾发生过煤与瓦斯突出事故。

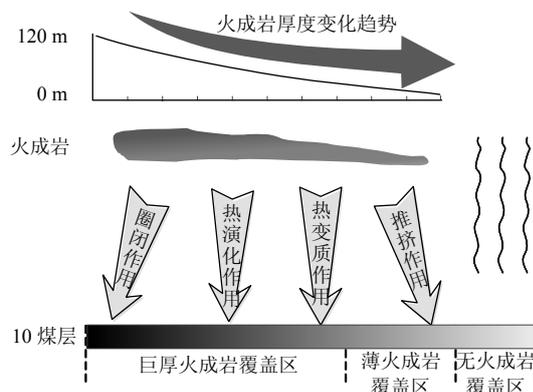


图 7 巨厚火成岩对下伏煤层瓦斯赋存控制作用原理图

Fig.7 Principle of the controlling effect of extremely thick igneous rocks on gas occurrence of underlying coal seam

4 结 论

1) 受上覆巨厚火成岩热演化和热变质作用的影响，煤的变质程度提高。10 煤层从无火成岩覆盖区域到巨厚火成岩覆盖区域，煤的挥发分和水分变小，灰分增大，镜质组反射率增大，煤的变质程度提高，由长烟煤逐渐变为瘦煤，在平面上形成环岩体的变质分带。

2) 上覆巨厚火成岩使 10 煤层生成和保存瓦斯的能力增强。主要表现在：① 使煤层受热力变质后炭化程度增高，进一步生成瓦斯，且微裂隙增多，吸附瓦斯量增加；② 由于岩床处在煤层顶板部位，对排放瓦斯通道起封闭作用，易于保存瓦斯。

3) 上覆巨厚火成岩增大了煤层发生煤与瓦斯突出的危险性。巨厚火成岩使煤层瓦斯压力、瓦斯含量及瓦斯涌出量增大，并且使煤层受力，揉搓粉

碎，造成煤体结构破坏，形成软煤分层，使局部煤系地层处于不均衡的应力紧张状态，积蓄了弹性潜能，形成诱发煤与瓦斯突出的重要隐患。

参考文献：

- [1] 王亮, 程远平, 聂政, 等. 巨厚火成岩对煤层瓦斯赋存及突出灾害的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1): 29-34.
WANG Liang, CHENG Yuanping, NIE Zheng, et al. Effects of an extremely thick igneous rock on gas occurrence and outburst disasters in a coal seam[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(1): 29-34.
- [2] 徐永忠, 崔若飞, 潘冬明, 等. 煤田采区火成岩分布地震反演技术的应用研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2): 265-268.
XU Yongzhong, CUI Ruofei, PAN Dongming, et al. Application of seismic inversion based on model for igneous distributing in coalfields[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(2): 265-268.
- [3] 刘金华, 杨少春, 陈宁宁, 等. 火成岩油气储层中构造裂缝的微构造曲率预测法[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(6): 815-819.
LIU Jinhua, YANG Shaochun, CHEN Ningning, et al. Forecasting method of tectoclase in the igneous reservoirs using a curvature of the microtectonics[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(6): 815-819.
- [4] STEWART A K, MASSEY M, PADGETT P L, et al. Influence of basic intrusion on the vitrinite reflectance and chemistry of the Springfield(No. 5) coal, Harrisburg, Illinois[J]. International Journal of Coal Geology, 2005, 63(1/2): 58-67.
- [5] 曹代勇, 占文峰, 李小明. 商城岩体侵入对杨山煤系构造格局的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(3): 320-324.
CAO Daiyong, ZHAN Wenfeng, LI Xiaoming. Effect of intrusion of the Shangcheng granite body on structural framework of the Yangshan coal-bearing series, the Beihuaiyang area, China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(3): 320-324.
- [6] 杨起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤含气量和渗透率的影响[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(3): 273-277.
YANG Qi, TANG Dazhen. North China coal metamorphism and permeability of coal gas containing the influence[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 273-277.

- [7] 王红岩, 万天丰, 李景明, 等. 区域构造热事件对高煤阶煤层气富集的控制[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 363-369.
WANG Hongyan, WAN Tianfeng, LI Jingming, et al. The control of tectonic thermal events on the concentration of high coal-rank coalbed methane[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 363-369.
- [8] 王亮, 程远平, 蒋静宇, 等. 巨厚火成岩下采动裂隙场与瓦斯流动场耦合规律研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(8): 1287-1291.
WANG Liang, CHENG Yuanping, JIANG Jingyu, et al. The coupling laws between fissure field and gas flow field under an extremely thick igneous rock[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(8): 1287-1291.
- [9] 王亮. 巨厚火成岩下远程卸压煤岩体裂隙演化与渗流特征及在瓦斯抽采中的应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
- [10] 蒋静宇, 程远平, 王亮, 等. 巨厚火成岩对下伏煤层煤与瓦斯突出事故控制作用[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(1): 42-47.
JIANG Jingyu, CHENG Yuanping, WANG Liang, et al. The controlling effect of extremely thick igneous intrusions on coal and gas outburst[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(1): 42-47.
- [11] MATHIEU L, VAN WYK DE VRIES B, HOLOHAN E P, et al. Dykes, cups, saucers and sills: analogue experiments on magma intrusion into brittle rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008, 271(1/4): 1-13.
- [12] 蒋静宇. 岩浆岩侵入对瓦斯赋存的控制作用及突出灾害防治技术——以淮北矿区为例[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.
- [13] 张慧, 李小彦, 郝琦, 等. 中国煤的扫描电子显微镜研究[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 4-5.
- [14] 杨起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤含气量和渗透率的影响[J]. 中国地质大学学报, 2000, 25(3): 273-277.
YANG Qi, TANG Dazhen. Effect of coal metamorphism on methane content and permeability of coal in North China[J]. Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 273-277.
- [15] 陈萍, 唐修义. 低温氮吸附法与煤中微孔隙特征的研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(6): 552-556.
CHEN Ping, TANG Xiuyi. Low-temperature nitrogen adsorption method and the micropore characteristics of coal[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(6): 552-556.
- [16] LANGMUIR I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum[J]. Journal of American Chemical Society, 1918, 40: 1361-1362.
- [17] 虞继舜. 煤化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 117-119.
- [18] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室. 瓦斯地质概论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991: 10-102.

《采矿与安全工程学报》2013年第5期 Ei 收录情况

根据 Ei 中国信息部发布的最新收录结果, 本刊 2013 年第 5 期共发表论文 26 篇, 其中 Ei Compendex 收录论文 26 篇, 收录率为 100%。