

非常规天然气

晋城寺河矿东区 3[#]煤储层流体压力特征研究

杨青雄¹, 王生维¹, 刘旺博¹, 张典坤¹, 曹国华², 文国军³

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 晋煤集团寺河矿, 山西 晋城 048000;
3. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:煤层瓦斯原位探测技术能够完整的记录煤层瓦斯流体的细节变化。利用煤层瓦斯原位探测技术,对寺河东四盘区 3[#]煤储层流体压力进行测试。3[#]煤储层的宏观以及显微观察结果表明寺河 3[#]煤储层裂隙系统具有很强的非均质性,抽放后的残留煤层瓦斯流体的运移具有明显的瞬时波动性;该残留气体的压力总体比较低。流体的运移在不同的煤岩体以及不同的裂隙发育带具有不同的特点,流体的压力变化也与裂隙带发育特征有关。

关键词:煤层瓦斯压力原位探测;大裂隙系统;残留煤层瓦斯;运移特征

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1926(2011)02-0361-06

引用格式:杨青雄,王生维,刘旺博,等. 晋城寺河矿东区 3[#]煤储层流体压力特征研究[J]. 天然气地球科学,2011,22(2):361-366.

0 引言

煤层瓦斯压力是指煤层孔隙内气体分子自由热运动所产生的作用力,由游离瓦斯形成。煤层瓦斯压力是评价煤层突出危险性的一个重要指标^[1]。目前,寺河矿井上用于测试煤储层压力的方法是采用煤炭行业标准 AQ10478-2007《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》,该方法为注浆泵封孔的主动式直接测试储层压力法。该测试技术利用穿层钻孔将导气管放置在煤层中,导气管与孔口压力表相接,煤层瓦斯流体的压力变化通过导气管反映在外接压

力表上,每天观察压力值的变化,待压力值达到稳定一周后完成该孔的煤储层压力测试,一般测试一个孔的周期为 30 d 左右^[1-2]。

煤层瓦斯原位探测技术直接深入煤层,能够在待测煤层点的内部进行探测,提示煤层瓦斯的原始赋存状态以及变化,在获取煤储层瓦斯流体压力变化的同时还可以详细记录瓦斯流体的瞬时变化,并且还能够测试得到该测试点煤层的温度数据。这是对传统测压技术的一个很好的补充,同时使用该探测技术能够大大缩减测试时间,测试完成的时间只需要 8 h。2 种测试煤层瓦斯压力的技术特点见表 1。

表 1 传统测压方法与煤层瓦斯原位探测技术比较

比较内容	传统方法测压	煤层瓦斯原位探测技术
封孔方法	水泥浆密封	水力密封
封孔位置	孔壁	煤层中
测试时间	30d	8h
测试数据	压力	压力、温度
测试结果	比较接近原始储层瓦斯压力	能准确测试原始压力,反应瓦斯流体的瞬时变化
钻孔深度	<40m	<200m
适用范围	大多用于石门穿层孔	煤层顺层孔以及穿层孔
测定孔室	一般>2m	<0.5m

收稿日期:2009-10-26;修回日期:2010-03-03.
基金项目:国家重大专项“大型油气田与煤层气开发”(编号:2008ZX05034-002);国家“863”课题“晋城煤层气探测与增产技术研究”(编号:2006AA06Z232)联合资助.
作者简介:杨青雄(1982-),男,湖北襄樊人,硕士研究生,主要从事煤层瓦斯及煤层气开发研究. E-mail: smileyangqx@gmail. com.

1 寺河矿 3[#]煤储层特征

煤层气的解析与扩散均发生在煤储层内,孔裂隙系统是煤层气解析与扩散的桥梁,孔隙是煤层气储积空间,大部分煤层气以吸附态吸附在孔隙表面,裂隙系统是煤层气运移的通道,游离气存在于微裂隙和大裂隙系统中^[3-4],利用煤层瓦斯原位探测技术测试的煤层瓦斯流体即为绝大多数的游离气和少量的解析气。

寺河矿 3[#]煤储层属于裂隙型储层(图 1),但是裂隙发育欠饱和,即煤储层内部裂隙的连通性欠佳,尤其是外生节理,很少具有穿透顶底板的大型节理穿透煤层,使得煤层气的保存具有很好的封闭环境,从而导致煤储层内部就有较高的瓦斯压力与含气量。

寺河矿 3[#]煤储层中的大裂隙系统具有明显的非均一性(图 2)。外生节理的发育具有成组特点,局部密集成组成带发育,其主要方向为 NE 向和 NW 向 2 组。气胀节理具有明显的成分选择性,在剖面的光亮煤分层内最为发育,而在暗淡煤中则基本不发育。内生裂隙系统也有很强的成分选择性,这就导致剖面上明显的大裂隙系统发育分层。从大裂隙系统的孔隙度看,大裂隙发育层的有效孔隙度高,低孔隙度与高孔隙度分层之间的差别至少为一个数量级。大裂隙系统的方向性和空间非均一性导致渗透率随方向和层位而变化,可导致煤储层渗透性的空间各向异性,这种煤储层渗透性的空间各向异性可以达到 1 个数量级,从而在不同的裂隙发育带具有不同的压力变化。

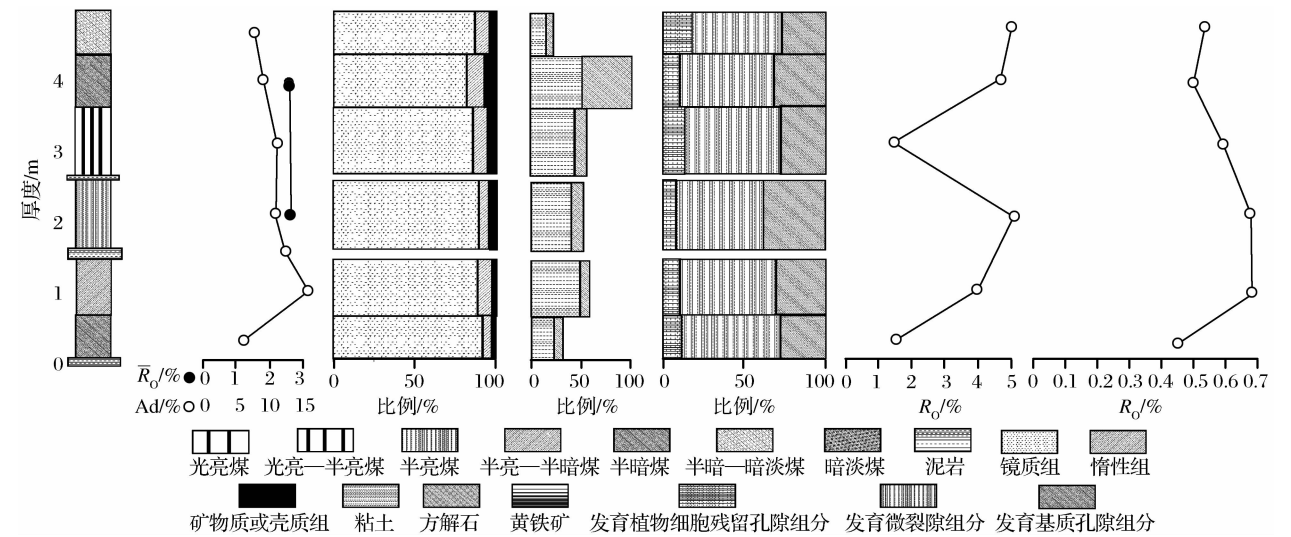


图 1 寺河矿 3[#]煤储层媒体结构特征

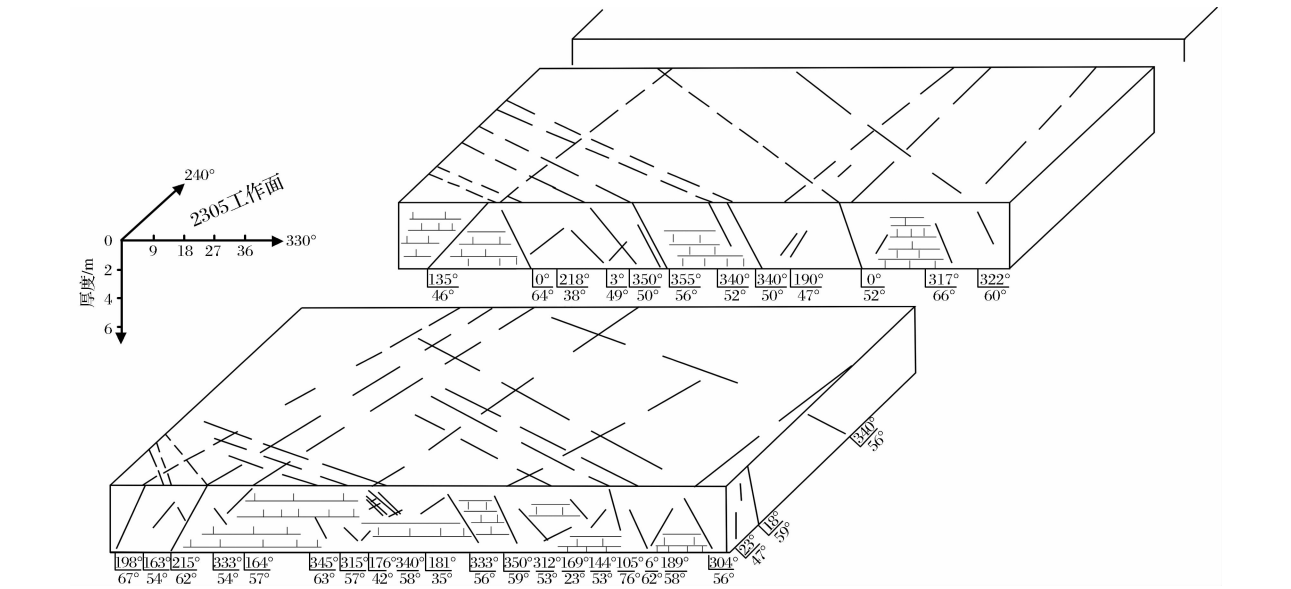


图 2 寺河矿 3[#]煤储层大裂隙系统发育特征

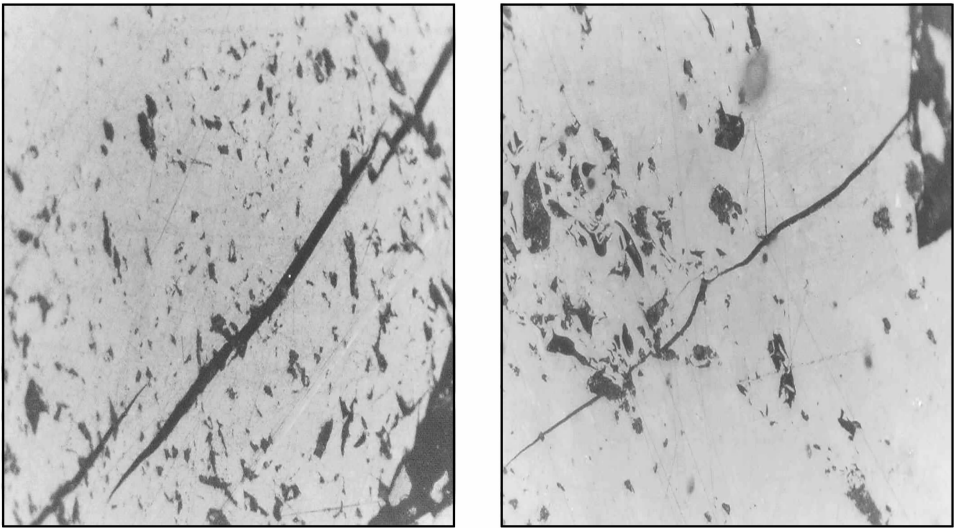


图3 寺河矿 3[#]煤储层微裂隙

2 煤层瓦斯压力测试

煤层瓦斯原位探测仪(图 4)的特点是可以准确记录煤层瓦斯抽放孔内瓦斯压力和温度随时间变化数值,而煤层瓦斯流体运移近乎一种脉冲间歇式方式流动,探测仪的记录频率很高,每秒可记录 1~2 个数据,能够完整的记录流体的变化情况。该技术

包括水力密封、原位探测、气体采样 3 个组成部分。利用煤层瓦斯原位探测技术在寺河东区四盘区进行测试,东四盘区煤层瓦斯钻孔的成孔率高达 85% 以上,钻孔深度一般超过 100 m,孔壁比较完整,除在软煤区比较容易塌孔、堵孔外,适合该技术的测试环境。测试位置位于 43013 巷道(图 5),测试深度在 50~100 m 之间。

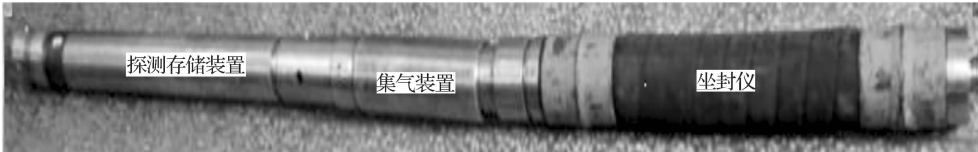


图4 仪器总装置照片

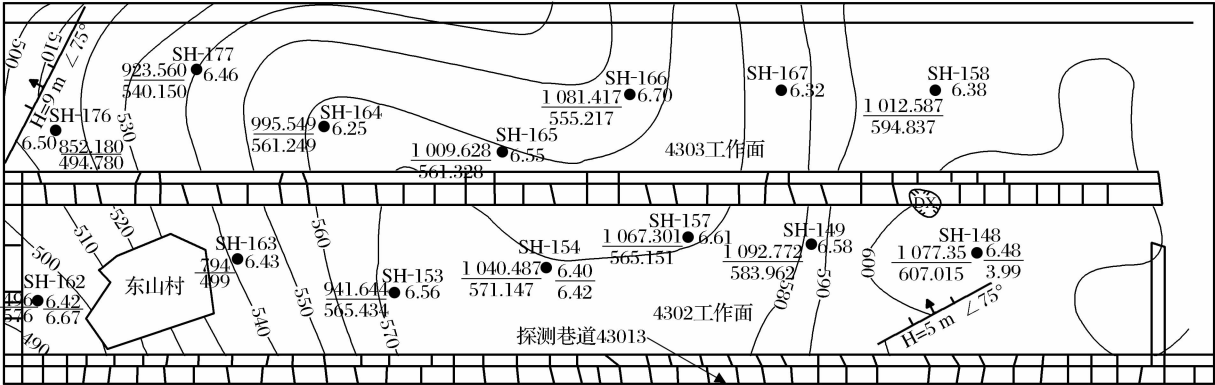


图5 测试巷道

煤层瓦斯原位探测技术既可以在巷道顺层煤层中进行也可以在穿层孔中测试。测试方法是:通过钻机将测试仪放入已经钻进好的顺层煤层抽放孔(抽放孔深度在 30 m 以上)或者穿层孔中(探测部位必须位于煤层中),坐封利用泥浆泵对静压水加

压,当泥浆泵的压力表泵压达到坐封压力(1.2~1.5MPa)时,坐封仪的胶囊部位会膨胀,紧贴煤壁或者岩壁,使测试存储装置处于封闭的环境中,测试存储装置包含了压力和温度传感器以及存储部位,传感器将探测的数据以电子信号形式存储在内置的 U

盘中,当测试结束时,气体采样部位根据机械原理会自动采集封闭空间的煤层瓦斯气样,以供实验室分析,同时,泥浆泵的泄压阀将压力表的压力降为零,这时,坐封仪的胶囊会自动收缩,恢复到原来状态,再退出钻杆将仪器取出,即完成一个钻孔的测试。

在通过钻机送钻杆的过程中和完成坐封后,严禁强烈敲打钻杆,强烈敲打钻杆会使连接存储器位置的接头部位短暂的脱落而影响数据的记录;其次,存在塌孔的区域内严禁测试,以免由于塌孔而使探测仪埋在钻孔内。

3 结果与讨论

针对不同的煤体类型:软煤以及正常煤体,配合所处的裂隙发育情况,流体的运移方向以及压力会发生不同的变化。

软煤所在区域由于煤体比较破碎,比表面积较大^[5],而且空隙率一般较高,因而可以保存更多的游离瓦斯;同时,软煤的透气性一般较小,与外界的沟通能力比较差,因而能够保持相对较高的瓦斯压力^[6],原始储层压力比较高。在打破该区域的平衡状态后,压力差以及浓度差的存在会导致流体向压力较小、浓度小的方向移动,同时煤体由于压力的降低会产生解析效应,气体逐步从煤体中解析出来^[4,7]。由于软煤区外孔裂隙系统不发育,瓦斯流体的扩散和渗流通道被堵塞,流体就会单一的沿着钻孔方向向孔口运移。

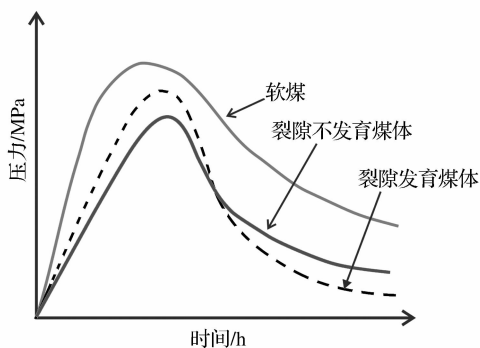


图6 不同煤体所对应的压力变化示意

正常煤体结构比较完整,由于孔裂隙的发育,它与外界的沟通能力较强,原始储层压力处于正常状态,储层中的流体构成统一的流体场,处于稳定的流动状态。在打破区域的平衡状态后,压力差以及浓度变化促使游离气流动,同时裂隙系统的发育加强了流体的移动能力以及流动方向的改变。作为主要的储存空间和运移通道,煤系地层的裂隙预测可有效指导煤层气的勘探^[8],并且对瓦斯突出的防治具

有重要的意义。对正常煤体分以下2个方面来分析在打破原始储层的流体平衡状态后流体运移的变化情况:

(1)裂隙发育区:流体运移的方向变得多样化,钻孔形成后,压力差会促使流体向孔口方向移动,同时广泛发育的裂隙系统增加了流体运移的方向,使得瓦斯流体沿着裂隙方向扩散;由压力降低产生的解析气以及通过裂隙通道扩散渗流补充来的游离气沿着裂隙系统扩散,从而导致压力下降比较快。

(2)裂隙不发育区:裂隙不发育,阻碍了流体与外界的流通,流体的运移变化相对比较小。如煤储层内部的层间滑动,造成的煤体错动,使得煤层结构发生变化,产生软煤,煤质软而疏松,渗透率低,裂隙不发育,瓦斯易赋存,煤层易发生突出^[9]。钻孔形成后,游离气会顺着钻孔向孔口方向流动,裂隙的不发育,导致流体与外界沟通能力弱,沿着裂隙扩散和补充的流体比较少,从而压力下降的比较缓慢。

寺河东四盘区瓦斯抽放孔布置的比较密集,孔距为2~2.5 m,并且千米钻的覆盖面积比较大,抽放时间比较长,抽放效果比较好,抽放率达到40%。赋存在煤层中的瓦斯流体基本都是抽放后晚期的残留气,即原始赋存在煤层中的游离气以及部分由于解析产生的瓦斯和通过裂隙系统补充的游离气由于抽放孔的负压而被抽放出来,残留下来的流体是少量的游离气和解析气,它们的运移很缓慢,基本就不具备高压特征。

图7a压力值变换开始是急剧增加,表明瓦斯有一个瞬间的释放以及运移过程,随后达到稳定的流动状态后保持一个比较稳定的压力值,此处的裂隙系统不发育,可能处于软煤带中;图7b、图7c压力值一直处于比较稳定的波动范围,表明瓦斯流体的运移相对比较稳定,不会有比较发育的裂隙系统,瓦斯的扩散和补充比较均衡,可以间接的表示探测点处于正常煤体的裂隙不发育区,瓦斯流体与外界的连通性相对较差;图7d压力值一直都处于很凌乱的波动,表明瓦斯流体的运移很复杂,通道比较多,与外界的沟通能力很强,且压力值比较低,说明该探测位置的裂隙系统比较发育,瓦斯的扩散速度比补充速度要快;图7e显示出了压力变化的一个周期,即压力先开始缓慢增加,达到一个峰值后逐渐降低,恢复到原始状态,也从侧面表示流体的运移具有瞬时性。

寺河东区在瓦斯抽放孔的抽放区域,煤层瓦斯压力普遍比较低,利用传统测压方法测试的压力一

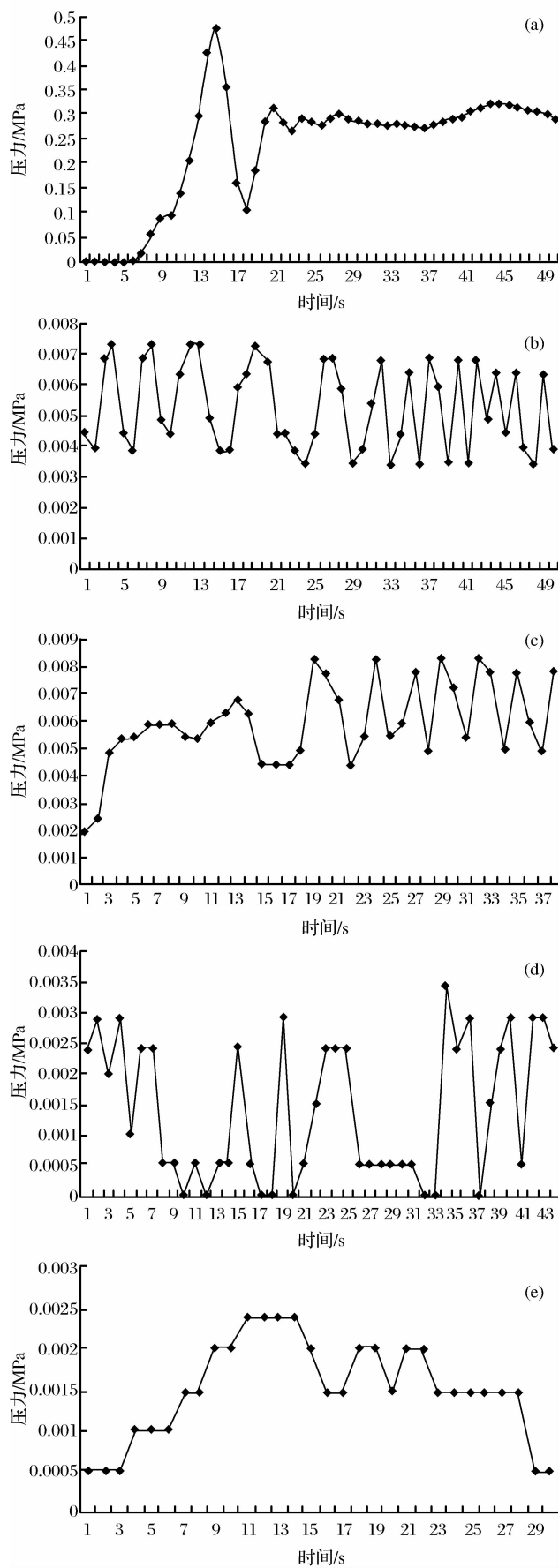


图7 压力随时间变化特征

一般在 0.046MPa 左右,未抽采的瓦斯压力在 0.2~0.6MPa 之间。煤层瓦斯探测技术测试的压力值在未抽采的区域与传统测试的值相近似,在未抽采的区域瓦斯压力为 0.5MPa,而在抽采后的区域则具有较大的差异。未抽采的区域煤体保留原始的相对统一的流体场,煤层瓦斯在煤体内部运移,不受到外界干扰,因而 2 种方法测试的结果能够相互印证。在抽采区域,由于外界的强大干扰,即抽放孔的负压抽放,使得原始相对简单的煤层瓦斯流体的运移发生了变化,再加上两者的测定孔长的一致,测试原理以及测试时间的不同,两者的测试结果有了较大的差异。

4 结论

(1)传统测压方法和煤层原位探测技术各有特点,传统测压的结果比较接近原始储层的瓦斯压力,而原位探测技术则能够完整的记录流体压力和温度的细节变化。

(2)煤层原位探测技术在未抽放的区域测试的结果与传统测试结果一致,而在已抽放区域由于二者之间的测试原理和时间的长短不同两者之间有较大的差异。

(3)寺河矿东区四盘区瓦斯抽放孔的布置比较紧密,孔间距为 2~2.5 m,且千米钻机覆盖了整个工作面,抽放时间比较长,抽放率比较高,因而赋存的煤层瓦斯流体是经过抽放孔抽采后的残留气,残留气包括少量的游离气、解析气以及通过裂隙系统扩散渗流的气体,它们不具有高压的特性。

(4)由于裂隙发育的不连续性以及方向性,因而残留气在运移过程中具有明显的瞬时性和极强的波动性,且残留气在软煤部位具有相对较高的压力和较为稳定的压降,而在裂隙发育区由于具有较高的渗透性压降比较快,在裂隙不发育区压降比较慢。

(5)利用煤层瓦斯原位探测仪进行测试得到的压力测试结果,对压力结果的分析可以认识到:在压力相对比较凌乱的测试区域,即高渗区区块,可以加密瓦斯抽放孔的布置,同时也可以在地面相应的位置补充地面煤层气井;在压力相对比较高的探测区域,即软煤区块,需要密切关注,预防瓦斯突出,需要做好防突措施;在压力相对比较稳定的测试区域,即裂隙不发育区块,抽放孔的布置可以相对减少,以做到不必要的人力、物力以及财力的浪费。

致谢:在完成该论文所需的测试过程中得到了晋煤集团寺河矿领导以及通风科的大力帮助,对于寺河矿的贺广会、冯强、曹国华、王志玉、毕国文等同志在完成测试过程中给予的帮助和切实的建议表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] Yu Qixiang. Mine Gas Prevention and Control[M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 1992. [俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.]
- [2] Ministry of Coal Industry of China. Detailed Rules of Coal and Gas Outburst Prevention and Control[M]. Beijing: Coal Industry Press, 2005. [中华人民共和国煤炭工业部. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.]
- [3] Wang Shengwei, Chen Zhonghui, Zhang Ming, *et al.* Pore and microfracture of coal matrix block and their effects on the recovery of methane from coal[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(5): 557-561. [王生维, 陈钟惠, 张明, 等. 煤基岩块孔隙裂隙特征及其对煤层气产出的意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1995, 20(5): 557-561.]
- [4] Li Xiaoyan, Xie Guangxin. Effect of pore structure on CBM transport: Taking Qinshui basin as the example[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 341-344. [李小彦, 解光新. 孔隙结构在煤层气运移过程中的作用——以沁水盆地为例[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 341-344.]
- [5] Chen Jingang, Zhang Jingfei. Systematic control effect of structures on permeability of high coal rank reservoirs: Taking Qinshui basin as the example[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 134-136. [陈金刚, 张景飞. 构造对高煤级煤储层渗透率的系统控制效应——以沁水盆地为例[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 134-136.]
- [6] Hao Jisheng, Yuan Chongfu, Zhang Zixu. The tectonic coal and its effects on coal and gas outburst[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 2000, 19(6): 403-406. [郝吉生, 袁崇孚, 张子戌. 构造煤及其对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 焦作工学院学报, 2000, 19(6): 403-406.]
- [7] Hu Dianming, Lin Boquan. Gas Occurrence Law and Prevention Technique[M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 2006. [胡殿明, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存规律及防治技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.]
- [8] Wang Yun, Gao Yuan, Jie Mingxun. The prediction of fractured zone in coal-series strata[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(6): 565-567. [王贇, 高远, 接铭训. 煤系地层裂缝裂隙发育带的预测[J]. 煤炭学报, 2003, 28(6): 565-567.]
- [9] Zhang Jianmin. The effects of geological factors and coal body structure on coal and gas outburst[J]. Safety in Coal Mines, 2004, 35(5): 43-45. [张建民. 地质因素和煤体结构对煤与瓦斯突出的影响[J]. 煤矿安全, 2004, 35(5): 43-45.]

Characteristics of Fluid Pressure Research on 3[#] Coalbed Reservoir in Esat of Jinchengsihe Mine

YANG Qing-xiong¹, WANG Sheng-wei¹, LIU Wang-bo¹,
ZHANG Dian-kun¹, CAO Guo-hua², WEN Guo-jun³

(1. Faculty of Resource, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China;

2. The Ventilation Division, Jincheng Mine Group Sihe Mine, Jincheng 048000, China;

3. Faculty of Mechanical and Electronic Information, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

Abstract: Coalbed gas in-situ exploring technology can completely record the details of coalbed gas fluid changes. Using this technology to system test the fluid of Sihe East 4th zone 3[#] coalbed reservoir systematically, combined with the 3[#] coalbed reservoir underground observations, as well as indoor microscopic observations, the results showed that the fracture system of Sihe East 4th zone 3[#] coalbed reservoir is strong heterogeneity; the coalbed gas is the residual of discharging gas, of which the migration has obvious strong fluctuation and transient characteristic; the residual gas does not have high pressure; and the fluid is transported in different coal-rocks and various fractured zones with different movement laws, and its pressure changes in different fracture zones.

Key words: Coalbed gas in-situ exploring; Fracture zone; Residual gas; Movement law.