

鄂尔多斯盆地东缘煤层气构造控气特征

李勇¹ 汤达祯¹ 许浩¹ 孟尚志² 刘一楠² 张文忠² 陈跃¹

(1. 中国地质大学(北京)煤层气国家工程中心煤储层实验室,北京 100083; 2. 中联煤层气有限责任公司,北京 100011)

摘要:为总结鄂尔多斯盆地东缘构造变形对煤层气的控制作用,结合不同区块构造演化、构造类型、含气量和岩石力学性质,分析了影响煤层气开发的关键因素。结果表明:研究区煤系在三叠纪达最大埋深,在研究区中南部的大地热流有明显上升,较煤变质程度较热流平稳下降的北部高;缓倾斜、单斜、背斜、向斜、推覆构造、逆断层和挤压型层滑等7种有利的阻气构造发育,以缓倾斜和单斜广泛发育且最为有利;受地应力影响,同一井位上下煤层的气体富集程度有较大差异;煤层顶板有泥岩、砂岩和灰岩等,灰岩也具有较好的封存效果。在分析不同顶底板组合和构造结合的基础上,提出了“砂通煤”“水包气”的构造控气模式,并划分了有利的储气构造位置。

关键词:鄂尔多斯盆地东缘;煤层气;构造演化;构造特征;封闭条件

中图分类号:TE131 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)06-0113-05

Characteristics of Structural Controlled Coalbed Methane in East Margin of Ordos Basin

LI Yong¹, TANG Da-zhen¹, XU Hao¹, MENG Shang-zhi², LIU Yi-nan², ZHANG Wen-zhong², CHEN Yue¹

(1. Coal Reservoir Laboratory of National CBM Engineering Center, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

2. China United Coalbed Methane Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: In order to conclude the structural control effect on coalbed methane in East Margin of Ordos Basin, the key elements control coalbed methane development were analyzed based on tectonic evolution, structural types, gas content and rock mechanic of coal bearing strata in different blocks. Results showed that the coal strata in the study area were subsided into the deepest depth in Triassic, and the heat flow in the south and middle area increased obviously, which resulted in a higher coal rank than the north under a steadily declined heat flow condition; seven types structure favorable for gas accumulation were developed, e. g. gently incline, monocline, anticline (syncline), nappe tectonics, reverse fault and extruded layer slip, of which the gently incline and monocline developed largely and the most favorable; under the influence of in-situ stresses, the two sets coal seams of the same well showed magnificent difference in gas accumulation; the coal roof developed mudstone, sandstone and limestone, with different effects on methane preservation, of which the limestone showed good sealing effect. Based on the analysis of different coal roof combination and structural patterns, the "co-produced sandstone reservoiring" and "water confining gas reservoiring" were proposed, and the prolific structural area were also plotted.

Key words: East Margin of Ordos Basin; coalbed methane; tectonic evolution; structure characteristics; sealing condition

0 引 言

鄂尔多斯盆地东缘(以下简称东缘)煤层气勘探开发区块沿黄河呈南北向分布,长约560 km,东西宽50~200 km,面积约 2.5×10^4 km²,埋深1 500

m,以浅的煤层气地质资源量约 9×10^{12} m³[1-4]。东缘是一条复杂的构造-地貌边界带,由北向南可分为伊盟隆起、晋西挠褶带和渭北隆起。不同性质、不同类型的构造控制煤层的形态、连续性和渗透性,影响煤层气的生成、运移和保存[5-8]。东缘总体为一

收稿日期:2014-02-15;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.06.024

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41272175);国家科技重大专项资助项目(2011ZX05062-01,2011ZX05034-01);国土资源部公益性行业科研专项资助项目(201311015)

作者简介:李勇(1988—),男,山东潍坊人,博士研究生。Tel:010-82322011, E-mail: cugbliyong@gmail.com

引用格式:李勇,汤达祯,许浩,等.鄂尔多斯盆地东缘煤层气构造控气特征[J].煤炭科学技术,2014,42(6):113-117,129.

LI Yong, TANG Da-zhen, XU Hao, et al. Characteristics of Structural Controlled Coalbed Methane in East Margin of Ordos Basin[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 113-117, 129.

向西和北西缓倾的大型单斜构造,其上发育轻微褶皱,断层较少且规模小,具备大型煤层气田形成的条件^[9-10],但东缘不同地区构造特征的差异性,对煤层气富集和开发的影响不同。结合保德、三交、柳林、大宁-吉县和韩城地区的煤层气开发实践,在建设东缘大型煤层气田过程中有如下问题亟需厘清:①由北到南构造演化的差异性对煤层气生成的影响;②构造类型的差异对煤层气保存的影响,是否存在有利煤层气富集的构造共性;③山西组和太原组2套煤层气开发目标层,在构造变形影响下煤层气富集和产出的异同;④因不同顶板岩性的煤层在构造密集区,煤层气产出具有差异。笔者基于鄂尔多斯东缘煤层气开发的基本现状,结合区域构造演化史、不同构造类型对煤层气赋存的影响、构造变形影响下的煤层气含气量出发,结合煤层气开发实践,剖析符合东缘实际的构造控气机理,以期深入研究东缘煤层气的勘探开发机理。

1 区域地质构造特征

鄂尔多斯盆地东缘行政区域隶属内蒙古、陕西、山西三省(区),北起准格尔市,南抵铜川县-韩城市,西起神木-佳县-宜川一带,东到盆地边界,沿黄河流域分布(图1)。至2011年底,东缘煤层气勘探已做工作量:二维地震7762.4 km,三维地震100 km,钻井1723口,其中探井305口,遍布中石油、中石化、中联公司共16个煤层气矿权区(登记矿权区面积为21236.69 km²),累计探明面积1006 km²,提交煤层气探明地质储量1444.51×10⁸ m³。已建成韩产能达5×10⁸ m³,并对基本查明的4大煤层气区进行联合开发^[4],分别为渭北区块、临汾午城-窑渠井区、柳林-三交区块和保德-神府井区(表1)。

东缘含煤地层为上古生界石炭系-二叠系,煤层层数多,分布较稳定,集中分布在海陆交互相沉积的太原组和陆相、海陆过渡相沉积的山西组^[11-13],可供煤层气勘探的主力煤层有2~3层,总体呈现北厚南薄的趋势,煤阶由北向南逐渐增高,含气量也南高北低,煤层顶板山西组主要为山西组的泥岩,太原组在东缘中部为灰岩,在开发过程中表现为水动力条件相对较强,试井渗透率变化范围大,总体北高南低。

2 构造演化差异影响的煤层气生成特征

构造演化是影响中国煤层气成藏的关键地质因



图1 鄂尔多斯盆地东缘地质构造展布

素,上覆盖层不仅通过控制煤层的压力而影响煤层气的吸附量,而且控制着游离气的散失,而构造演化控制着成藏过程中上覆盖层厚度的变化^[14-15]。三叠纪是本区煤层重要的埋藏时期,煤系普遍在这一时期达到最大埋藏深度,研究区内三叠系沉积厚度向南、向西南逐渐增大,河东煤田南北段推测原始厚度差可达1500 m以上^[16]。大地热流在该时期也有一定幅度的增高,在东缘的北部大地热流也处于相对稳定的减弱趋势(图2a),构造沉降幅度较小,对应煤变质程度也相对较低,以深成变质作用生气为主;在东缘的中部和南部均有体现(图2b、2c),说明在研究区具有较为普遍的适应性,其原因应与岩石圈下部的物质相变有关^[16]。

临县、石楼地区由于燕山期岩浆活动,使煤层在深成变质作用的基础上叠加了岩浆热变质作用^[16-17]。因此除了深成变质作用阶段生气外,东缘中部地区的岩浆活动时期也是重要的生气阶段。其中燕山期的岩浆活动在兴县和临县交界处,有紫金山碱性岩体出露,以浅成侵入和火山相为主,其正长

斑岩的同位素年龄为 1.25 亿年。石楼楼 1 号孔的钻孔显示煤的实测反射率达 2.10% ,这一晚白垩世的岩浆热流活动,对从兴县 - 石楼地区的煤层气生成提供了极为重要的补充^[16]。东缘中部在三叠纪

和晚白垩纪 2 次生烃,生气量高,煤层气逸散时间短,煤层气得以更多保存,含气量相对较高。不可忽略的是,在东缘北部煤阶较低地区,次生生物成因气的生成也是不可忽略的煤层气重要补充^[18]。

表 1 鄂尔多斯盆地东缘典型区块煤层特征

区块	埋深/m	最大镜质组反射率/%		厚度/m		含气量/(m ³ ·t ⁻¹)		顶板岩性		煤层渗透率/(10 ⁻⁹ μm ²)
		上煤层	下煤层	上煤层	下煤层	上煤层	下煤层	上煤层	下煤层	
渭北	400~1 000	1.60~2.00	1.60~2.00	3~10	4~10	8~14	6~14	厚层泥岩	泥岩	0.22~3.50
临汾	800~1 100	1.39~1.94	1.45~1.87	5~8	5~10	13~21	9~20	泥岩	石灰岩	0.04~42.86
柳林 - 三交	300~800	1.43~1.49	1.65~1.75	5~9	5~8	4~14	4~13	泥岩	石灰岩	0.01~10.00
保德	300~1 000	0.57~0.78	0.53~0.81	5~10	5~14	4~10	4~12	泥岩	泥岩	2.50~8.00

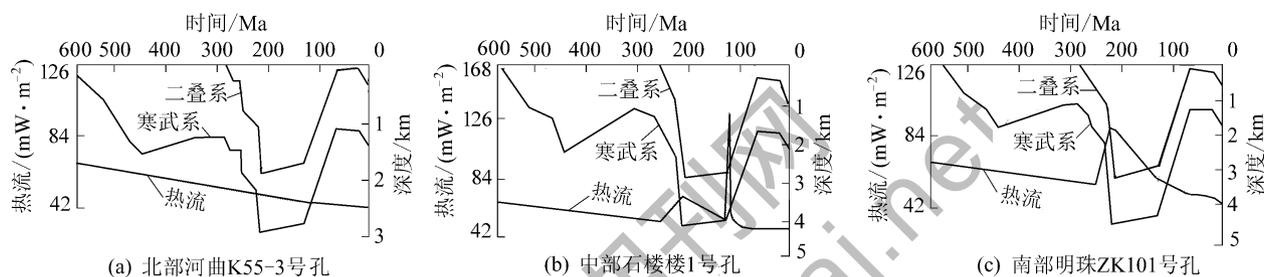


图 2 东缘大地热流及地质历史模型

3 构造类型差异控制的煤层气赋存特征

东缘作为一条复杂的构造 - 地貌边界带,具有盆 - 山耦合的性质,分割了西侧鄂尔多斯块体和东侧山西地隆。在其形成和演化中,经历多期次、不同性质的构造应力场作用,至少 4 次挤压应力事件和 1 次张应力事件^[19]。在鄂尔多斯盆地边界形成之前,印支运动时期扬子地块和华北地块碰撞形成近 NS 向挤压应力^[20],使东缘在单斜的构造背景上形成了近 EW 向的离柳宽缓鼻状构造,形成煤层气富集有利构造。另外 3 次挤压应力方向为 NW - SE、近 WE 和 NE - SW 向,其中燕山运动时期 NW - SE 向的挤压力,形成 NE - NNE 向次级褶皱,在局部形成煤层气有利于富集构造条件,在乡宁矿区可见。同时受吕梁山隆起推挤的影响,近 NS 走向的晋西挠折带形成。喜山运动时期,以印度板块和欧亚大陆碰撞作用为主产生的 NE - SW 向挤压力,使鄂尔多斯盆地发生负反转,在周边形成断陷,先期的压性断裂多变为张性,不利于煤层气保存,其中韩城矿区经受先压后张,现变为正断层,较为发育,造成象山、燎原等矿的煤层气含量相对较低,但次级构造轴向深部一侧的含气量通常相对较高,如象山背斜。最后一期引张应力方向为 NW - SE 向,使边界带发

生弱伸展变形,伸展作用产生的正断层切割了早期逆冲构造变形^[9-10]。

东缘在大型单斜构造的基础上,发育轻微的北东向或北北东向断层,断层发育相对少且规模小。其中晋西挠折带上发育有保德 - 兴县背斜区,临县 - 柳林背斜区,永和 - 石楼背斜区,以及蒲县 - 吉县背斜区,控制着中北部的煤层气地质条件。渭北挠折带主要作用于南部韩城地区,总体构造形态为倾向北西的具有波状起伏的倾大型单斜构造^[21]。东缘由北向南断层主要有离石断层、三交北断层、午城窑渠断层、薛峰北断层和前高断层。不同类型的地质构造在形成过程中构造应力场特征和内部应力分布状况的不同,导致煤储层和封盖层的结构、产状、裂隙发育和地下水的流动情况出现差异,从而影响煤层气的保存。根据构造应力特征和组合关系,总结出东缘主要发育有 7 种有利阻气构造:①缓倾斜:构造简单,含气性、渗透性、保存条件均好,次级褶皱部位聚气条件好,典型矿区/煤田:有准格尔、乡宁、韩城;②单斜:易形成水封堵气藏,煤层甲烷有利保存区带是近供水区和承压区,水充填于孔、裂隙中,形成水体压力圈闭,典型矿区/煤田有:柳林;③背向斜:背斜密集矿区煤层气含量较高,背斜两翼含气性较好,背斜轴部含气性取决于发育构造性质和盖层

剥蚀程度;④向斜构造的两翼与轴部中和面以上表现为压应力,阻止煤层气向上逸散,有利于煤层气在富集,典型矿区/煤田有:三交-离柳、韩城象山;⑤推覆构造:推覆体及推覆面构成良好的区域构造封闭系统,有利于煤层气保存,强烈褶皱伴生可使煤层原生结构破坏而使煤储层渗透性降低,典型矿区/煤田有:韩城;⑥逆断层:封闭性断层对地下水和煤层气的导通作用均不好,但起到一定的封闭性,或与背向斜协同发育,典型矿区/煤田有:延川南;⑦挤压型层滑:位于煤层顶板或煤层中的滑动面有利于封闭煤层气,但导致煤储层渗透性变差,典型矿区/煤田有韩城。

4 构造变形影响下的煤层气富集状态差异

鄂尔多斯盆地东缘发育有山西组和太原组2套主力开发煤层,在煤层气开发实践过程中,受顶板岩性、埋藏深度、构造变形等条件的影响,2套煤层在产气量和产水量均值变化有很大差异。东缘在单斜构造背景下,褶皱和挠曲普遍发育,特别是从保德到吉县几大背斜区的发育控制着煤层气赋存的地质条件,而背、向斜发育区上下煤层的含气量存在较大差异。选取大宁-吉县区块,大宁到黑龙关的吉试10、14、4、13、6号共5口井的含气量进行对比分析(图3)。上主煤层在向斜轴部对应的地区煤层含气量远大于下主煤层,吉试10井2套煤层的含气量分别为18.76和3.79 m³/t,这在一定程度上也会受泥岩和石灰岩不同封闭性的影响;随着向对应的背斜轴部地带过渡,上主煤层含气量逐渐下降,下主煤层的含气量则相对上升。由含气量变化模式可知,上煤层含气量从向斜向背斜过渡区,其含气量由高变低,下主煤层的含气量则由低变高。

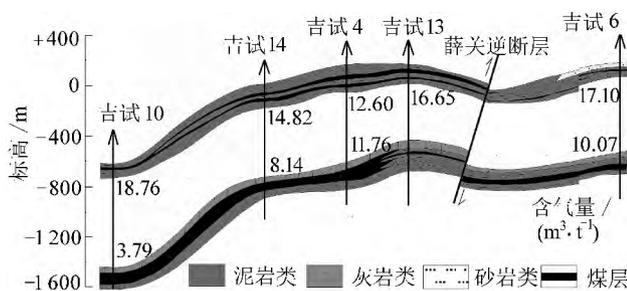


图3 大宁-吉县地区主力煤层连井剖面

5 煤层气构造控气特征及规律

泥岩、砂岩、灰岩均可构成煤层气有利盖层,其中泥岩盖层一般封闭性好,砂岩盖层既可作为有利

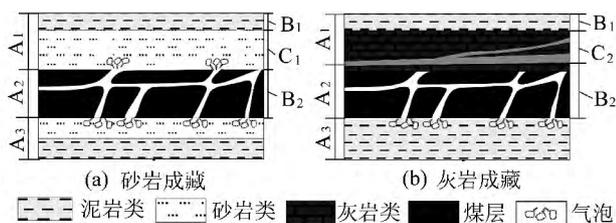
盖层,也能形成伴生气藏,是煤层气开发气源的有利补充;灰岩盖层在三交-乡宁地区太原组煤层中普遍,封闭性也较好,但对应煤层气开发产水量大。韩城WL2-015井揭煤层顶板3m厚的砂岩,日产气2400 m³;沁水气田也发现游离气藏显示,在砂岩、石灰岩共解释气层43层156m,含气面积320 km²,预测储量251 × 10⁸ m³,晋试79井试气,日产气量4000 m³[22-23]。

东缘煤层的上覆盖层主要发育有泥岩、砂岩、灰岩等各类岩性,其中上主煤层以泥岩和砂岩为主,下主煤层以泥岩和灰岩为主。煤层及顶、底板的力学性质是影响储层改造效果的重要因素,尽管岩石力学性质数据的变化范围较大,影响因素较多,但其平均值还是可以清楚地反映出岩性差异对岩石力学性质的影响,且不同岩类力学性质的差异非常明显。抗压强度和抗拉强度以石灰岩类最大,砂岩次之,泥岩较小,煤层最小;弹性模量的差距更为明显,煤岩与泥岩、砂岩和石灰岩相比可差一个数量级;煤岩的泊松比则高于顶底板的其他岩性。

应力作用下煤岩易于发生塑性变形,上覆岩层的相对较高抗压和抗拉强度会在一定程度上起到保护作用。灰岩的抗压和抗拉强度最大,在构造发育区会在一定程度上起到保护作用。同时,在勘探中发现东缘煤层上覆灰岩中一般含水较多,在构造运动过程中也会起到一定程度的保护作用。在东缘构造变形较为密集的离石鼻状构造带,太原组8+9号煤层的含气量仍然相对较高,平均为8.45 m³/t,与山西组3+4号煤层的9 m³/t含气量反映了灰岩有相对较好的保存条件。

结合以上认识,提出了适应于东缘砂岩和灰岩不同岩性封盖的煤层气成藏模式。从长焰煤开始,煤层累计生气量都在50 m³/t以上,远超煤层的现今实际含气量[24]。地质演化历史中的煤层保存条件是成藏的关键。针对山西组煤层中上覆砂岩多见,将其划分为三级封闭条件,一是煤层本身的吸附封闭,二是受上覆砂岩中一定的气体含量影响,形成气压封闭,三是砂岩之上致密的泥岩会形成良好的岩性封闭。鉴于此,存在3个层次的气藏组合,即自生自储的煤层主体气藏,上部砂岩的辅助气藏,以及在顶部良好封闭条件下,煤层内气体向下运移保存,储存在下部砂岩层的潜在气藏,定义为“砂通煤”的成藏模式(图4a)。

针对太原组常见的上部灰岩下部泥岩封闭模



A₁—辅助气藏; A₂—主体气藏; A₃—潜在气藏; B₁—岩性封闭; B₂—吸附封闭; C₁—气压封闭; C₂—水压封闭

图 4 鄂尔多斯盆地东缘砂岩和灰岩封闭成藏模式

式, 其上部的灰岩层会在水文条件的辅助下形成较好的封闭条件, 同时下部的泥岩也会在一定程度上成为潜在页岩气藏, 归纳为“水包气”的封闭成藏模式(图 4b)。同时, 结合东缘构造类型的差异性划分了几种有利的煤层气储层发育位置。在以砂岩为直接顶板的煤层中, 在单斜中部更有利煤层气开发, 其埋深适中, 渗透率随埋深增大而减小的趋势尚不明显, 煤层含气量也相对浅部高(图 5a); 在靠近背斜的轴部也有利煤层气富集(图 5b), 但是在轴部中心会由于盖层形变而使气体向上运移, 在上部砂岩形成一定规模储层; 逆断层附近的煤层和砂岩会由于气体向上运移而富集成藏(图 5c); 向斜轴部受煤层水的向心流动机制和高矿化度, 以及向斜两翼和轴部中和面以上压应力的作用, 会有利于煤层气的富集(图 5d)。在以灰岩为顶板的煤层中, 在单斜的上部, 尤其是低煤阶煤层中, 水文作用补充了生物活动, 会有生物气的相对富集, 形成有利开发层位(图 5e); 在背斜的轴部, 因灰岩的岩石抗压强度相对较大, 煤层气不易运移散失(图 5f); 同时在以泥岩为底板和盖层的煤层中, 在单斜下部会形成页岩气和煤层气的相对富集区(图 5g); 此外, 在煤层和细砂岩的混合层位中, 如在其上部有一定的泥岩或灰岩

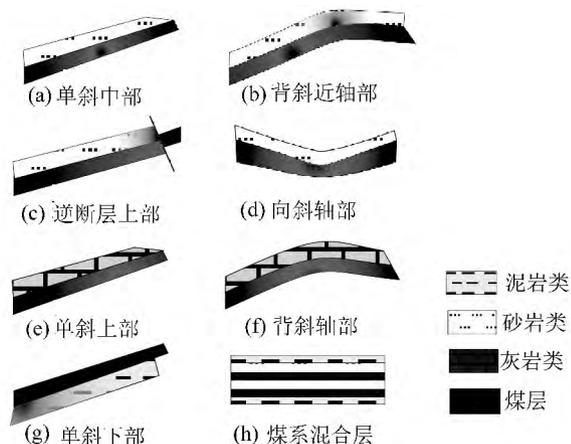


图 5 不同构造背景下的气藏有利分布区

封闭, 即可形成有利开发层位(图 5h)。

6 结 论

鄂尔多斯盆地东缘煤系普遍在三叠纪达到最大埋深, 大地热流在中部和南部均明显上升, 煤变质程度较热流平稳下降的北部高, 此外中部临县石楼地区叠加了燕山期的岩浆活动影响, 在局部地区是煤变质程度升高。鄂尔多斯盆地东缘共发育有缓倾斜、单斜、背向斜、推覆构造、逆断层和挤压型层滑共 7 种有利的阻气构造, 结合韩城地区象山、下峪口、桑树坪 3 个煤矿的钻孔含气量测试分析可知, 缓倾斜最有利于煤层气富集保存, 含气量相对较高。

受构造应力影响, 同一井位上下 2 套主力煤层的煤层气富集程度有较大差异, 通过乡宁地区的煤层气探井可知, 背向斜发育区上下煤层气含气量存在相逆的趋势, 其中上煤层在向斜轴部有利, 下煤层在背斜轴部更加有利。煤层顶板岩性发育有泥岩、砂岩、灰岩等, 通过煤系岩石的力学性质测试分析认为, 灰岩在构造密集区具有更好的封盖性; 提出了适应于东缘不同岩性封盖的“砂通煤”“水包气”的围岩封闭成藏模式, 并进一步划分了不同构造背景和岩性封闭条件下的有利储层发育位置。

参考文献:

- [1] 陈钟惠, 张年茂, 张守良, 等. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积体系和聚煤作用的时空演化[J]. 地球科学, 1989, 14(4): 357-366.
- [2] 王少昌. 鄂尔多斯盆地东缘上古生界煤成气初探[J]. 天然气工业, 1983, 8(2): 1-5.
- [3] 李 勇, 汤达祯, 许 浩, 等. 鄂尔多斯盆地东缘“翘板”支点影响下的含煤地层发育特征[J]. 煤炭学报, 2012, 37(S1): 406-410.
- [4] 接铭训. 鄂尔多斯盆地东缘煤层气勘探开发前景[J]. 天然气工业, 2010, 30(6): 1-6.
- [5] 秦 勇, 汤达祯, 刘大锰, 等. 煤储层开发动态地质评价理论与技术进展[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 80-88.
- [6] Bachu S, Michael K. Possible Controls of Hydrogeological and Stress Regimes on The Producibility of Coalbed Methane in Upper Cretaceous - Tertiary Strata of the Alberta Basin, Canada [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(11): 1729-1754.
- [7] Pashin J C. Variable Gas Saturation in Coalbed Methane Reservoirs of the Black Warrior Basin: Implications for Exploration and Production [J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 82(3): 135-146.
- [8] 宋 岩, 柳少波, 琚宜文, 等. 含气量和渗透率耦合作用对高丰度煤层气富集区的控制[J]. 石油学报, 2013, 34(3): 417-426.

(下转第 129 页)

的储层参数。在此情况下,测试过程中不再是单层渗流理论,而应采用多分层渗流模型。尤其是对夹矸分布不稳定的煤层,甚至会有层间越流出现,若采用现有方法解释,测试结果误差较大。

3) 井孔稳定性的影响。贵州省含煤地层经历了多期构造运动,岩层中发育薄弱层或节理,导致岩层力学性质十分复杂。在这样的复杂岩层中进行煤层气试井测试,井孔稳定性显得尤为重要^[14]。

在注入/压降试井过程中,井孔不稳定将对管柱及封隔器下入和上提造成困难,甚至导致管柱或封隔器卡死,不但测试失败,还导致重大的经济损失。例如,某矿区 J4105 井 17-2 号煤层试井过程中,井孔失稳导致封隔器被卡死,造成工程事故,长时间的事故处理延误工期,最后还是未能将封隔器提出,使得钻井无法继续,17-2 号煤层以下的煤层亦无法通过此孔再进行测试。

3 结 语

贵州省煤层气试井结果质量受到工程和地质 2 个方面因素的影响。为提高试井成果质量,建议在后续试井工作中对 3 个方面进行改进: ①采用更大排量范围的注入泵,以保证注入/压降试井时排量恒定; ②采用分层隔离封隔器坐封煤层,控制坐封层段有效范围,降低围岩对测试结果的影响; ③采用地面监控系统替代对注入压力及排量的人工调节,减少人为操作失误或滞后误差发生的可能性,使监测数据更为系统、规范、准确。

(上接第 117 页)

- [9] 姜波,许进鹏,朱奎等.鄂尔多斯盆地东缘构造-水文地质控气特征[J].高校地质学报,2012,18(3):438-446.
- [10] 王琳琳,姜波,屈争辉.鄂尔多斯盆地东缘煤层含气量的构造控制作用[J].煤田地质与勘探,2013,41(1):14-24.
- [11] 李增学,王明镇,余继峰,等.鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层层序地层与海侵成煤特点[J].沉积学报,2006,24(6):834-840.
- [12] 李勇,汤达祯,许浩,等.河东煤田北部典砂岩体沉积演化特征[J].天然气工业,2013,33(2):22-27.
- [13] 汪正江,陈洪德,张锦泉.鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J].沉积与特提斯地质,2002,22(2):18-23.
- [14] SONG Yan, ZHAO Meng-jun, HONG Feng *et al.* Pool-forming stages and enrichment models of medium-to-high-rank coalbed methane. *ACTA Geologica Sinica* 2010, 84(6):1539-1546.
- [15] 宋岩,柳少波,洪峰,等.中国煤层气地球化学特征及成因[J].石油学报,2012,33(S1):99-106.
- [16] 汤达祯,杨起,潘治贵.河东煤田地史-热史模拟与煤变质

参考文献:

- [1] 傅雪海,秦勇,韦重韬.煤层气地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [2] 贺天才,秦勇.煤层气勘探开发与利用技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:191-192.
- [3] 景兴鹏.基于注入压降法的煤层气指标试井试验[J].煤炭科学技术,2008,36(10):38-41.
- [4] 秦勇,高弟.贵州省煤层气资源潜力预测与评价[M].徐州:中国矿业大学出版社,2012.
- [5] 易同生.贵州省煤层气赋存特征[J].贵州地质,1997,14(4):346-348.
- [6] 王国司,刘诗荣,邬炳钊.贵州西部煤层气资源勘探前景[J].天然气工业,2002,21(6):22-26.
- [7] 常会珍,秦勇.黔西红梅勘探区主煤层含气性及其地质影响因素[J].煤炭科学技术,2012,40(2):107-110.
- [8] 杨世勇,毛登强,杨洪毅,等.贵州煤层气开采技术的研究与利用[J].煤炭科技,2009,2(2):36-38.
- [9] 赵霞,桑树勋,赵福平.煤层气试井的地质适应性及其工艺改进:以贵州省为例[R].贵阳:贵州省煤田地质局,2011.
- [10] 张奉东.煤层气井裸眼与套管注入/压降测试渗透率对比分析[J].煤田地质与勘探,2010,38(3):20-23.
- [11] 吴教银,牟景珊,隆清明.吸附作用对煤体瓦斯渗透规律的影响[J].煤炭科学技术,2012,40(9):39-41.
- [12] 赖晓晴,楼一珊,屈沉治,等.我国煤层气开发钻井液技术应用现状与发展思路[J].石油天然气学报,2009,31(5):326-328.
- [13] 秦勇,叶建平,林大扬,等.煤储层厚度与其渗透性及含气性关系初步探讨[J].煤田地质与勘探,2000,28(1):24-27.
- [14] 陈志胜,廉有轩.煤层气注入/压降试井测试中有关技术问题探讨[J].煤田地质与勘探,2003,31(4):23-25.
- [15] 演化[J].现代地质,1992,6(3):328-337.
- [17] 杨起.华北石炭二叠纪煤变质特征及地质因素探讨[M].北京:地质出版社,1988:1-106.
- [18] 田文广,汤达祯,王志丽,等.鄂尔多斯盆地东北缘保德地区煤层气成因[J].高校地质学报,2012,18(3):479-484.
- [19] 廖昌珍,张岳桥,温长顺,等.鄂尔多斯盆地东缘边界带构造样式及其区域构造意义[J].地质学报,2007,81(4):466-474.
- [20] 张泓.鄂尔多斯盆地构造演化与成煤作用[M].北京:地质出版社,2005:1-68.
- [21] 马行陟,宋岩,柳少波,等.鄂尔多斯盆地东缘韩城地区煤层气地球化学特征及其成因[J].天然气工业,2012,31(4):17-20.
- [22] 赵庆波,孙粉锦,李五忠.煤层气勘探开发地质理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2011:1-337.
- [23] 曹代勇,姚征,李靖.煤系非常规天然气评价研究现状与发展趋势[J].煤炭科学技术,2014,42(1):89-92.
- [24] 金裕科.影响煤层含气量若干因素初探[J].天然气工业,1995,15(5):1-5.