

# 煤层气与常规天然气测试技术的异同

刘曰武<sup>1</sup> 赵培华<sup>2</sup> 鹿 倩<sup>2</sup> 方惠军<sup>3</sup> 徐建平<sup>4</sup> 蒋 华<sup>4</sup> 林学敏<sup>4</sup>

(1. 中国科学院力学研究所 北京 100190; 2. 中石油煤层气有限责任公司 北京 100028;

3. 中国科学院广州地球化学研究所 广东广州 510640; 4. 大港油田测试公司 天津 300270)

**摘要** 煤层气测试资料的分析成果对确定煤层气的排采制度和制订合理的开发方案是至关重要的,研究该问题的目的在于解决目前只能利用常规方法进行测试、常规软件进行测试资料解释的问题。煤储层在成份、结构及其物理力学性质上与常规储层(如砂岩)有着明显的差异;煤层气的赋存和采出机理与砂岩中天然气也有着本质区别。要获取煤层准确参数、正确评价煤层,必须研究煤层气测试的相关理论方法。但目前对煤层气测试的认识较少。从常规天然气测试与煤层气测试的差异对比的角度出发,给出了煤层气测试的诸多特征。从研究对象的储层特征、煤层气的赋存特征以及不同开发阶段的流体分布及流动特征等方面,论述了煤层气与常规天然气测试技术异同的根本原因。从测试方法、测试工艺、解释模型和资料分析方法等方面,分析了煤层气与常规天然气测试技术的差异。研究成果对充分认识和理解煤层气测试的重要作用有积极的意义。

**关键词** 煤层气井 油气井 试井

## 0 引 言

我国属于煤层气资源比较丰富的国家<sup>[1,2]</sup>,全国陆上煤田 2000 m 以浅的资源量为  $36.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,与常规天然气资源量  $35.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$  相接近,在全世界排在俄罗斯、加拿大之后,居世界第三位<sup>[3]</sup>。但在煤层气产量方面,却远落后于其他国家的开发。技术落后的原因除了开发起步较晚、政策不够优厚之外,对技术研究重视程度也是非常重要的一个方面。目前,除国家重大专项外,支持项目仍然偏少。在这些技术的研究中,煤层气测试技术始终占有重要的地位,其原因在于试井是油气资源以及煤层气资源开发者了解生产状况的主要动态手段之一。

无论是煤层气的勘探,还是煤层气的开发都离不开煤层气试井,尤其在煤层气开发的中后期,由于煤层气大量解吸,气液两相流动使煤层中的流动复杂化。如何对煤层气的排采状况进行定量和定性评价、确定煤层基本参数变化、获取储层的评价参数,成为煤层气井试井所必须解决的问题。

然而,目前我国煤层气的开发技术主要仍然沿用了常规天然气的开发技术,在煤层气测试技术方

面体现最为明显的是目前仍然利用常规方法测试软件进行煤层气井测试资料的分析评价,这样获得的结果将难以为煤层气井的勘探开发和生产潜能评价提供科学的依据,甚至导致煤层气开发决策的失误。

但煤层气属于非常规天然气资源,它在储集、运移、产出机理方面与常规油气之间存在着明显的差异。因此,常规试井方法和技术是无法对其进行有效开发的。

本文将从试井方面简要介绍煤层气和常规油气井的区别,希望能为煤层气勘探和开发提供参考。韩永新等人<sup>[3]</sup>对煤层气测试方法,主要是注入/压降方法做了较为深入的研究。陈彦丽,刘启国等人<sup>[4]</sup>浅析了煤层气井与常规油气井在试井方面的差别,从煤层气试井的对象、煤岩结构、开采阶段、试井模型、试井分析方法等方面简要讨论了煤层气试井和常规油气井试井的差别,但没有从煤层气井试井的本质上进行深入的分析。本文从常规天然气测试与煤层气测试的差异对比的角度出发,给出了煤层气测试的诸多特征。文中从研究对象的储层特征、煤层气的赋存特征,以及不同开发阶段的流体分布及流动特征等方面论述了煤层气与常规天然气测试技

[基金项目] 本研究得到国家重大专项“大型气田及煤层气开发”专项支持,课题编号 2009ZX05038001。

[作者简介] 刘曰武,男,研究员,主要从事渗流力学及油气藏工程方面的研究。

术异同的根本原因。从测试方法、测试工艺、解释模型和资料分析方法等方面详细分析了煤层气与常规天然气测试技术的差异。

## 1 存在试井差异的根源

煤层气试井和一般油气井试井存在差别的根源主要有以下四个方面:①煤层气的组成及赋存特征;②煤层气储层特征;③煤层气的流动特征;④煤层气的开采方式。

### 1.1 煤层气与常规天然气的组成及赋存特征

从煤层气的组成来看,煤层气是一种以甲烷为主,另外含有乙烷、丙烷及丁烷等低阶重烃以及一些非烃类气体( $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等)的混合气体。Scott等人<sup>[5]</sup>曾对美国1380多口煤层气井的985个气样进行统计,得到煤层气的平均组成:甲烷占93.2%,二氧化碳占3.1%、重烃占2.6%、氮气占1.1%。李增学等人<sup>[6]</sup>对中国358个井田和矿井中的6000多个气样进行统计,所选气样来源于煤田地质勘探、煤层气开发井和煤矿瓦斯抽放,气样包含涉及全国各地不同地质时代、不同煤级和不同矿区的各种煤层气,得到中国煤层气的组成范围:甲烷含量为66.55%~99.98%,一般在85%~93%;二氧化碳含量为0~35.58%,一般小于2%,重烃含量变化范围较大,一般在1%~14.1%;氮气含量变化范围也较大,一般小于10%。由此可以得到,煤层气在组成上的特点是煤层气中甲烷含量高,而 $\text{C}_2$ 以上重烃含量低,煤层气中硫和氮等非烃元素的含量很低。而常规天然气的组成重烃含量较高,有的天然气,如凝析气还能在地层中产生凝析现象,这种现象对于煤层气是很难产生的。因此,煤层气与常规天然气在组成上有着重大区别。

常规天然气在天然气藏中主要以游离态存在,少部分以溶解态存在。煤层气主要是以吸附状态存在于煤层中,游离态和溶解态的煤层气含量较少。煤层气只有在煤层中的压力低于临界解吸压力时,才从煤层基质上解吸出来扩散到煤层的裂缝中参与气水两相流动。因此,煤层气井与常规天然气井在赋存状态上存在根本的区别。

### 1.2 煤层气与常规天然气的储层特征

常规天然气的储集层一般是砂岩、碳酸盐岩等地层,储集层一般情况下在开发过程中变形程度几乎可以忽略不计。由此可以确定,在天然气开发过程中,大多数情况下,地层的孔隙度和渗透率可以看

作常数。宏观上看,地层的均质性较好<sup>[7,8]</sup>。

常规天然气所存在地层的压力一般较高,地层压力系数一般大于1,有些地层的压力系数甚至超过1.8,成为超高压地层。

常规天然气藏中不含水或含有少量水,而且大部分情况下水是以束缚水的状态存在。

煤层气的储集层主要是煤层,煤层介质的基本结构如图1所示。在煤层中所包含的基本孔隙有两种:一种是煤基质的孔隙,其尺度较小;另一种是裂缝割理,尺寸较大。

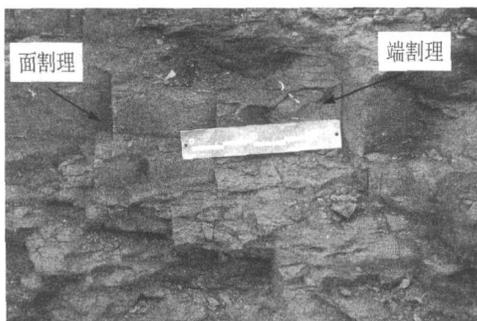


图1 煤层的基本结构

煤层在煤层气的开发中会产生一定的变形,主要原因有两方面:①煤层气不断从煤基质中解吸出来,导致煤层基质的孔隙度增大,渗透率增大,通常称为基质收缩效应。②在煤层气的开发过程中,由于排水降压开采,煤层压力降低,煤层上覆压力及周围地应力相对增大,煤层被压实,导致煤层基质的孔隙度减小,渗透率减小,通常称为煤层压实作用。这两种作用对煤层的影响是相反的,对于具体某一实际煤层的变化规律应通过三轴试验和解吸试验确定。因此,煤层气开发过程中煤层的孔隙度和渗透率是不断变化的,并且煤层由于端割理和面割理分布的不均匀性,导致了煤层在宏观上非均质性较强。

煤层的压力一般较低,地层压力系数一般小于1,煤层气藏含有大量水,而且在生产过程中常有煤粉产出。我国煤层气藏具有低压、低饱和、低渗透、非均质性强的特点,决定了开采煤层气的难度加大。

这些煤层物理特性是决定煤层气测试分析区别于常规天然气测试分析的重要因素。

(1)描述煤层气渗流过程的微分方程与常规天然气所依据的微分方程不同。甲烷气解吸使储层压缩系数中包含了解吸压缩系数,从而使其数量值提高了1~2个数量级。

(2)煤层一般都具有很低的渗透率,开采时都具有很低的储层压力。

从地质结构上看,煤层确实包含有煤基质和割理系统两种不同的介质。甲烷气和水赋存在煤基质和割理中。从煤层结构看,它也是一种“两重孔隙”结构。但试井时并不表现油气层中的双孔介质流动特征,显然它与 Barenblatt 于 1960 年定义的“双重介质”有着本质的差别。因此,流动机理也截然不同。

煤层气除少量游离气外,基本上是以吸附态赋存于煤基质中,水则只存在于割理中。随着割理中水的采出,储层压力降低,甲烷气从煤基质中解吸出来,解吸过程符合 Fick 扩散定律,继而在割理中流动,符合达西定律。与此不同的是,普通双重介质天然气层,天然气是以压缩状态同时存在于基质孔隙和裂缝中的。天然气的流动不论从基质到裂缝,或是在裂缝中的流动,都符合达西定律,因而形成“双重流动”。双重的存储和双重的流动构成普通裂缝性天然气层的双重介质流动特征。而煤层气层虽然有双重的结构,却不具备双重的渗流条件,因而也就不具备双重介质的渗流特征。某些现场测试资料虽被牵强地解释为双重介质,但就目前见到的这样资料,经分析核实后发现,实际是特定的测试方法所形成的变井储影响。

### 1.3 煤层气的流动特征

流动状态发生变化:从单相流变为多相流。

煤层气地层在初始打开时,由于地层压力一般高于临界解吸压力,常常不存在游离气(在美国的部分煤层气层中,也有存在游离气的情况)。此时,为了测试储层的渗透率,经常采用注入/降压试井方法。煤储层中裂隙等较大孔隙中的储层流体是水。煤储层压力表现为煤层水压力,被测井常常是水井,并按水井试井方法进行地层参数分析,而普通的试井分析的对象是油或气。

在煤层气井抽水降压后,煤层开始有甲烷气解吸进入裂缝,煤层中的流体为气、水混合物。此时,裂缝中的水仍然不能进入煤基质;而从煤基质中解吸出来的气进入裂缝后,也很少有可能再返回到煤层基质中。因此,关井测压力恢复时,实质上被测对象是均质地层的两相流。

作为两相流试井,至今仍是试井理论范畴的研究课题,并无成熟的方法。而且在低压开采状态下的煤层气层,既无特别的必要也较少有可能再开展大规模的试井测试研究。

煤层气渗流又与开采过程分不开。煤层从被打开排水开始,到采气结束,在流动上大致分为三个阶

段,即单相水裂缝流动段、井附近局部解吸时的过渡流动段和全面解吸时的气水两相流动段。以上阶段基本延续数年以至长达数十年,而煤层气试井过程涵盖的时间就只有几天,或者是在排水阶段,或者是在部分解吸阶段,或者是在全面解吸阶段。一次试井的过程,不会同时出现在开采中的不同阶段。与此不同的是,普通天然气层开采过程中出现的裂缝流动段,从基质向裂缝的过渡流动段、总系统流动段,在一次完整的试井中会同时存在。并且不但在开井降压过程中同时存在,在关井恢复过程中也会同时存在。早期测试时存在,过一段时间再测试时还会重复出现。这是与煤层气试井截然不同的,这也是煤层渗流与普通裂缝性天然气层渗流过程的一个重大差别。

### 1.4 煤层气的开采方式

煤层气在煤层中的存在状态有三种:吸附态、溶解态和游离态,其中吸附态所占比例最大,煤层气的产出机理,即排水-降压-解吸-扩散-渗流,其基本过程如图 2 所示。

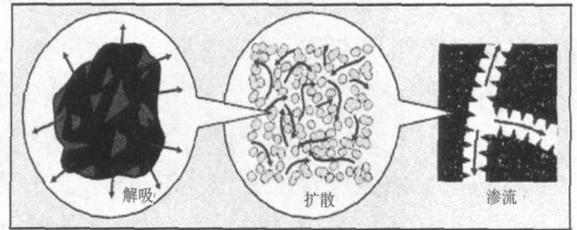


图2 煤层气解吸-扩散-渗流的基本流动模式图

现场一般用梁式抽油机排采井中的水,电潜泵和螺杆泵曾经试验过,因为其排量和寿命问题应用较少,煤层气从套管和油管环空产出;上述三种设备均可用于油气井排采生产,油气是从油管中产出。两者的排采控制要求也不尽相同,煤层气井主要通过控制产水量达到稳定降压目的,避免排采过快造成的裂缝闭合和出粉,油气井通过控制油嘴和产量达到控制压力的目的。

煤层气在开采方面有很大的不同。普通的气井只要有压差气体就可以流动,而煤层气是以吸附的形式存在于煤层中的,割理中饱和的是水,所以必须先排水,将煤层的压力降到气体的临界解析压力之下,才会有气体产出。所以,煤层气有压差也不一定产气,而且煤层气的渗透率极低,只有压裂才会产气,这也是和普通气藏的不同之处。

煤层气井直井的增产措施目前主要依靠压裂,不压裂的井几乎没有产量。油气田开发叫采油采

气,而煤层气开发叫排采。可以看出,投产后,油气田直接见产;而煤层气投产要靠排水降压到一定程度,然后解吸出来甲烷气,即先排后采。

## 2 测试方法和工艺上的差异

对于煤层气井,常常应用一些很简单的测试方法,例如注入/压降测试、罐测试和段塞测试等。

在煤层气井打开初期,煤层裂缝中充满了水,这些水并不能进入煤基质,煤基质中的甲烷气在未进行降压解吸以前也不参与裂缝中的流动。因此,试井是针对“单相水的裂缝均质流”。从中国国内大量的注入/压降试井资料看,确实证实了这一点。

从这一时期的试井研究可以发现并确认,煤层气开采区内的高导流裂缝区,也就是高产区的主要特征。因此,也就是煤层气区勘探井和开发评价井的主要研究内容。这一时期的试井测试和分析,也是煤层气试井的主要时段。

### 2.1 煤层气注入/压降试井方法

煤层气注入/压降试井方法是一种单井压力瞬变测试。测试时,以恒定排量将水注入井中一段时间后关井。注入和关井阶段都用井下压力计记录井底压力,这两个阶段的压力数据可独立用于分析求得渗透率。注入/压降测试方法在煤层气勘探中应用相当广泛。

注入/压降试井主要有以下优点:①流体的注入提高了地层压力,保证了在测试过程中为单相流,它适用于负压、正常压力和超压等各种情况的煤层气井;②不需要井下机械泵送设备,简化了操作步骤,降低了成本;③可以用标准试井分析方法来分析,结果比较可靠;④探测半径较大,时间相对较短。

注入/压降试井对于低渗透率煤层很难进行,必须保持非常低的注入排量。因此,在采用注入/压降方法时,必须预防以下两点:①地层伤害。其原因之一是由于注入的流体可能与地层的化学环境不相容,发生反应;之二是由于有可能注入会堵塞储层孔隙的微粒。因此,把取自被测试层位的地层水回注到测试井中是最理想的,至少应当采用与地层和气藏流体相容的淡水。②压开地层。如果注入过程中排量控制不好,使井底压力超过了测试层的破裂压力,就可能会压开地层,产生裂缝。这种裂缝的产生被认为是自然渗透率或井筒伤害的假象,使测试结果不可靠。因此,在注入/压降过程中,一定要保证井底压力低于地层破裂压力。

### 2.2 其他测试方法及各种方法的评价

其他方法主要包括: DST 测试、罐测试、段塞测试、压降/压恢测试和干扰测试等。

#### 2.2.1 DST 测试方法

DST 测试是利用钻杆地层测试器进行,依靠地层流体的流动、产出和压力恢复的过程求取地层参数,是认识测试层段的流体性质、产能大小、压力变化和井底附近有效渗透率,以及目的层段被污染状况的常用手段。煤层气井 DST 测试目的与常规油气井有些不同,由于煤层气多以吸附状态存在于煤储层中,因此煤层气井 DST 测试主要是了解煤储层中水的能量、割理的渗透能力、储层压力,以及判断原始游离气是否存在,为下一步的改善措施提供参数依据等。DST 测试方法常用于渗透率和储层压力较高的储层中。

#### 2.2.2 罐测试方法

罐注入测试是一种适用于高渗透、压力低于静水柱压力、水饱和煤岩层的测试方法,也可以说是一种简化的注入/压降测试方法。与注入/压降测试相比,罐注入测试使用成本较低的罐来代替注水泵,无需确定注入量的多少,只需确定罐的大小。它一方面节约施工成本,避免了地层被压开;另一方面可以考虑较长注入时间,获得较大的探测半径。这种测试依靠罐内高液面所产生的重力差,向地层内连续注水。罐内的压力用不断加水来维持,向罐内加水要迅速,并在加水前和加水后准确计量水位高度,以便用液面精确计量注入量,也可同时用流量计来记录。

#### 2.2.3 段塞测试方法

在段塞流测试前,先向井筒内注入一定量的水,使之形成一个段塞,水开始流入地层时进行压力监测。由于段塞流测试具有能够保持井筒与地层内为单相流,操作简单方便,测试时间短,费用小,可以用典型曲线进行分析的优点,因此在钻井和完井过程中经常采用此方法来及时获取煤层参数。但段塞流测试法同时也存在着测试半径较小、对一些井并不适合的缺点。

#### 2.2.4 压降/压恢测试方法

压降/压力恢复测试适用于压力高、渗透性好、地下流体能产出地面的煤层。若初始条件下存在一定量的游离气,对于压降测试中气水同产的情况,应避免测试中流体饱和度发生较大的变化,并且最好在压降/压力恢复测试后接着进行注入/压降测试,以便提供比较准确的相渗关系曲线用于测试数据的

分析。在抽水压降测试中,为简化数据分析,提高分析结果的准确性,应选择好“时间窗”,尽量保持在单相流条件下进行测试。所谓“时间窗”,是指试井曲线上用来解释参数的有效时间段,一般指单相水的径向流段。在径向流段的前面,是井筒储集引起的续流段,后面是抽水造成的脱气解吸段。

### 2.2.5 干扰测试方法

干扰测试方法是利用两口煤层气井进行测试,在一口煤层气井(激动井)上进行产量变化,从另一口煤层气井测得激动煤层井激动后,另一口煤层气井(观察井)测得压力变化,然后利用观察井的压力测试资料进行煤层参数评价。煤层气井的井间干扰试井的目的是为了评价煤层的连通性和非均质性。井间干扰试井资料在优化井网、提高甲烷气采收率方面十分有用。常规各向异性油气藏干扰试井的测试方法可用于水饱和或井间流体饱和度变化梯度小的两相煤储层。

理论上讲,要确定一个各向异性地层的最大、最小渗透率的方向性,至少需要三口不在一条直线分布的观察井。对煤储层而言,其最大、最小渗透率的方向可通过定向全直径取芯的裂缝描述来确定,且面割理和端割理间的夹角一般为典型的 $90^\circ$ 。因此,只在面割理和端割理方向上有两口观察井,便可确定出最大、最小渗透率的大小。

## 3 在试井解释模型方面的异同

任何试井模型的发展都经历了复杂的认识过程,通过对煤层气井与常规天然气井的试井差异的根源性分析和对测试方法的对比研究,认为煤层气井与常规天然气井试井理论模型的共同点包括以下三个方面:

(1) 试井理论模型中对外边界的性质描述和构造方法是相同的。无论是煤层气井还是常规天然气井,在进行试井理论模型的抽象概化时,都要给出固定的外边界描述,而且在两类模型中,外边界条件是没有本质区别的。常用的外边界条件包括:无限大外边界、半无限封闭外边界、半无限定压外边界、圆形封闭外边界、圆形定压外边界、角形封闭外边界、角形定压外边界、角形混合外边界、平行封闭外边界、平行定压外边界、平行混合外边界、“U”型混合外边界、矩形混合外边界,以及现行组合混合外边界等。

(2) 井筒内边界条件的描述也是基本一致的。无论是煤层气井还是常规天然气井,其基本的内边

界条件一般为定流量条件或定压条件。根据井身结构的不同,一般为垂直井的圆形井筒,垂直裂缝井、水平裂缝井或水平井井筒,以及水平井多段水力压裂裂缝等。煤层气井的洞穴完井井和羽状水平井等则另当别论。

(3) 储层性质的描述方法是一致的。无论是煤层气井还是常规天然气井,其储层性质的描述一般分为三类,即均质、弱非均质和非均质。具体的描述为:单孔隙均质、双重孔隙介质、多重孔隙介质、复合介质、多层介质等。

煤层气井与常规天然气井试井理论模型的不同点,主要是流体流动的控制方程的不一致性,包括以下四个方面:

(1) 解吸作用对控制方程的影响。煤层气试井模型的控制方程中,最基本的特征是煤层气解吸作用的描述。解吸作用从解吸状态上一般分为两类,即稳态解吸和非稳态解吸;从空间分布上一般也可以分为两类,即区域解吸和全区解吸。所谓稳态解吸是指解吸过程在瞬间完成与时间无关,相对应的非稳态解吸则是解吸量是随时间和压力变化的;区域解吸则是与煤层气排采过程相对应的。当煤层打开时,如果煤层压力低于临界解吸压力,那么就应当建立煤层气试井的全区域解吸模型。当煤层打开时,如果煤层压力高于临界解吸压力,煤层中没有煤层气解吸出来,随着煤层气排水降压过程的发展,煤层中压降漏斗不断向外扩散,使得近井区域的某一范围内压力低于煤层气的临界解吸压力,那么,在这个区域内煤层气就会发生解吸现象,这时就应当建立煤层气试井的区域解吸模型。煤层气解吸区域的大小是由压力降落在煤层中的传播速度和临界解吸压力的大小共同决定的。由于目前解吸规律的研究较少,在试井模型的建立过程中一般采用吸附规律进行描述。

(2) 煤层气变形对控制方程的影响。煤层气的排采过程中,煤层气的解吸作用使煤层基质孔隙度和渗透率增大,而由于压力降落会导致基质孔隙度和渗透率降低,这两种相反的作用使得煤层变形规律的研究复杂化了。一般描述多采用线性关系或指数关系对煤层气的变形进行描述。

(3) 流体流动状态对控制方程的影响。流体流动状态对控制方程的影响包括两个方面:煤层低渗透性质的影响和气水两相流分布状态的影响。

由于多数煤层气井的渗透率低于 $1\text{ mD}$ ,因此,

煤层中的流体流动存在一定的压力梯度,在建立煤层气试井模型时,应当考虑非达西渗流规律。

由于煤层气是降压开采,在不同的开发阶段,煤层中的气水分布存在较大的差异。基本上可以分为4个阶段,煤层气不同开发阶段的气水分布情况如图3所示。不同阶段的气水具体分布为:①排水降压期为单相水(见图3a)。②煤层气生产上升期,近井区域存在气水两相混合区(见图3b)。③煤层气生产稳定期,近井区域气水两相混合区向外扩大,并且扩展速度相对稳定(见图3c)。④煤层气生产衰竭期,煤层气井控制区域几乎被气相区所占据,远离地层区域含少量水,煤层气井产量递减(见图3d)。

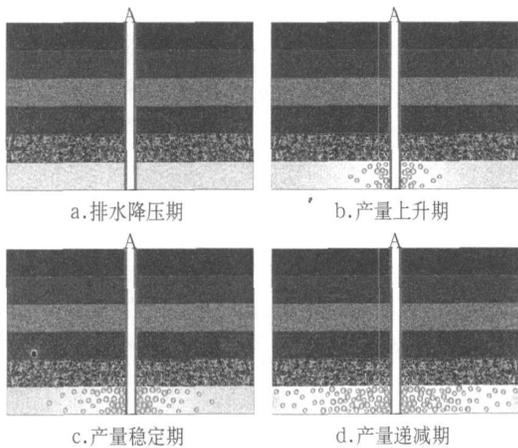


图3 煤层气不同开发阶段的气水分布图

因此,应当考虑煤层气不同排采阶段的特征,分别建立相对应的试井模型。在煤层气排水期,应当建立单相水流试井模型;在煤层气井产量上升期和产量稳定期,建立起水分区流动模型;在煤层气井产量递减期,建立气水两相流连续分布模型或建立单相气流模型。在美国部分高含气井,由于产水量极少,在煤层气井投产开始就使用单相气流模型。这也是国外许多研究只着重于煤层气单相气流试井模型的一个原因。

(4)煤层气井井身结构对控制方程的影响。现在煤层气井大多数还是直井,完井方式一般选择套管射孔完井。但对于煤岩力学性质较好的煤层通常采用洞穴完井方法或羽状水平井完井方法进行完井。因此,在建立煤层气井试井模型时,必须考虑井身结构对控制方程的影响。由于井身结构的变化,煤层内流体流动形态不再是常规天然气井地层中的径向流、线性流、椭圆流、密集流等流动形态,但目前还没有公认流体流动的流形或流态。因此,在建立模型时必须慎重考虑。

## 4 结 论

(1)煤层气试井和一般油气井试井存在差别的根源主要包括四个方面,即煤层气的组成及赋存特征;煤层气储层特征;煤层气的流动特征;煤层气的开采方式。

(2)说明了各种煤层气测试方法和测试工艺的差异,对各种测试方法的优缺点及使用范围进行了全面的评价。

(3)说明了煤层气不同排采阶段条件下,煤层气井试并解释模型的异同,给出了对应渗流规律及流体分布特征。

综上所述,我国煤层气的勘探开发处于起步阶段,对煤层气渗流机理和煤层气试井的研究也还刚刚起步,因此有待通过大量的实验研究和现场实践不断完善,逐步建立有中国特色的煤层气工业发展道路。

## 致 谢

本项目得到国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”专项的支持,课题编号2009ZX05038001,感谢中石油煤层气有限责任公司允许本论文的发表。

## 参 考 文 献

- [1] 赵庆波,等.煤层气地质与勘探技术.北京:石油工业出版社,1999:128-169.
- [2] 赵庆波,刘兵,等.世界煤层气工业发展现状.北京:地质出版社,1998:50-76.
- [3] 韩永新,刘振庆.煤层气试井测试方法.油气井测试,1997,6(3):59-63.
- [4] 陈彦丽,刘启国,等.浅析煤层气井与常规油气井在试井方面的差别.中国煤层气,2006,3(4):44-46.
- [5] Y Ham, A Kantzas. Development of Coalbed Methane in Australia: Unique Approaches and Tools. CIPQ SPE Gas Technology Symposium 2008 Joint Conference, 2008.
- [6] 李增学,魏久传,刘莹.煤成(型)气地质学.北京:地质出版社,2007.
- [7] 刘貽军,姜建青.中国煤层气储层特征及开发技术探讨.天然气工业,2004,24(1):68-71.
- [8] 杨建业,杜美利,苏小鹏,李慧利.煤层气藏的储集特征及储层评价.西安地质学院学报,1995,17(3):77-82.

本文收稿日期:2010-12-04 编辑:王 军

## WELL TESTING (YOUQLJING CESHI)

Vol. 19 No. 6 (Serial No. 123) 2010

## Abstracts

**Significance of Well Testing of Coalbed Methane.** 2010, 19(6): 1~ 5

Zhao Peihua, Lu Qian (Coalbed Methane Ltd. Company, Petrochina), Liu Yuewu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Xu Jianping, Jiang Hua, Han Xudong (Well Testing Company, Dagang Oilfield)

By analyzing the key cognition on CBM well test both at home and abroad, the fundamental view points are introduced in this paper. The importance of researching the well test technologies are discussed from different points, such as understanding the coalbed characteristics and the coalbed dynamic changing, evaluating the stimulating effect, determining the suitable flowing pressure, etc.

**Key words:** coalbed methane, well test, coalbed, two phase flow

**Differences of Well Testing Between CBM and Conventional Gas Well.** 2010, 19(6): 6~ 11

Liu Yuewu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Zhao Peihua, Lu Qian (Coalbed Methane Ltd. Company, PetroChina), Fang Huijun (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), Xu Jianping, Jiang Hua, Lin Xuemin (Well Testing Company, Dagang Oilfield)

The analysis results of well test data are significant important for ascertaining the well completion method of CBM and arranging the development plan. The purpose of this paper is to solve the well test problems that CBM test process and data analysis method only use all be used for the conventional gas by now. The coalbed is distinctly different from the conventional gas reservoir (e. g. sand formation) in aspects of component, structure, physical and dynamics property. The storage form and production mechanism in CBM are intrinsic different from that in conventional gas. In order to get the accurate parameter and evaluate coal bed exactly, the related theoretical approach for CBM well test which is known less must be researched. Therefore, comparing the CBM well test with the conventional natural gas test, characteristics of CBM well test are proposed in the paper. The paper discussed the fundamental reasons of difference between CBM well test technology and conventional gas, which was researched in reservoir characteristics, storage characteristics, fluid distribution characteristics in various stage and so on. The distinction of CBM test technology and conventional natural gas was analyzed in detail from test method, test technics, interpretation model to material analytic method. The research results have positive significance to comprehend and understand CBM well test adequately.

**Key words:** CBM well, oil and gas well, well testing

**Evaluation of CBM Well Test Methods.** 2010, 19(6): 12~ 18

Zhao Peihua, Lu Qian (Coalbed methane Ltd. Company, Petrochina), Liu Yuawu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Fang Huijun (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), Jiang Hua, Han Xudong, Lu Mei (Well Testing Company, Dagang Oilfield)

The purpose of CBM well test is to obtain physical parameters of coalbed which can provide scientific fundamental data for exploration and development of CBM and evaluation of production potential. CBM well test method is one of effective dynamic methods which is able to obtain coalbed parameters accurately, and can be used to analyze and evaluate coalbed qualitatively and quantitatively. This method has obvious advantages in determining the basic parameters of coal reserves, whose primary goal is to obtain evaluative parameters of coal reservoir. This paper focuses on CBM well test methods from the practical point of view. Those methods include mainly DST Test, Slug Test, Injection/Falloff Test, Tank Test, Pressure drawdown/buildup Test and so on. Because CBM is different from conventional gas well in storage, migration, and production mechanism, the conventional well test methods have some limitations in CBM well test. By comparing the advantages and disadvantages, range of application of well test methods, the characteristics of CBM well test are analyzed in detail and the ways to improve the well test methods in various developing stages are discussed in this paper, and pointed out the direction of well test and test data analyzing method in CBM exploration and development.

**Key words:** CBM, well testing, test method, material analytic method

**Study on Equipment and Process in Injection/Falloff Test in Coalbed.** 2010, 19(6): 19~ 22, 36

Liu Yuewu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Fang Huijun (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), Xu Jianping, Lin Xuemin, Lu Mei (Well Testing Company, Dagang Oilfield)

The basic theory, test method, equipment, test process, test data analysis of injection/falloff well test are introduced in detail in this paper. The advantages and disadvantages are analyzed. Based on the fundamental theory, discussed the problems on injection/falloff test designing, equipment, and test data analysis method and so on, point out the developing trend of the injection/falloff test.

**Key words:** coalbed methane (CBM), well test, equipment, process, injection/falloff

**Why Coalbed Methane Is a New Clean Efficient and Safe Energy.** 2010, 19(6): 23~ 28

Su Zhongliang, Liu Yuewu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Zhang Junqing (International Division, CNPC)

With the advent of low carbon economy time, coalbed methane (CBM), as is a clean, efficient and Safe energy, is paid more and more attention. By comparing the components of energy resources such as coal, oil and conventional natural gas etc, the analysis base is buildup to verify