

为什么说煤层气是一种清洁高效安全的新型能源

苏中良¹ 刘曰武¹ 张俊清²

(1. 中国科学院力学研究所 北京 100190; 2. 中石油国际事业部 北京 100007)

摘要 随着低碳经济时代的到来,煤层气作为一种清洁优质能源逐渐受到世界的重视。通过煤层气与煤炭、石油和常规天然气等常用化石能源的组成对比,建立了煤层气是一种清洁高效安全新型能源的分析基础。从能源开发历史和能源类型角度说明了煤层气是一种新型能源;从能源燃烧产物角度解释了煤层气是一种更加清洁的能源;从能源热值和能源利用率角度证实了煤层气是一种更加高效的能源;从大气环境保护和煤矿环境安全角度阐明了煤层气是一种更加安全的能源。提出了化石能源优劣程度的主要判别标准,即对于元素组成以C和H为主的化石能源,C/H原子比是决定该能源优劣的主要因素,C/H原子比越小,能源的清洁性、高效性和安全性越好。最后通过对煤层气能源清洁、高效和安全性等特点的研究,揭示了煤层气在能源与环境两方面的重要价值,表明了煤层气开发利用的重要意义。

关键词 煤层气(煤矿瓦斯) 清洁能源 高效能源 安全能源 环境污染

0 引言

目前,能源与环境问题十分突出,严重制约了世界经济社会的可持续发展。中国虽是第一大能源消费国,人均能源储量却远低于世界平均水平:煤炭人均储量占世界平均水平的56%、石油占11%、天然气仅占0.4%^[1]。目前,中国石油对外依存度为55.14%、天然气对外依存度为12.8%、煤炭对外依存度为3.2%,存在严重的能源安全问题。此外,中国煤炭在一次性能源消费结构中的比例一直在70%以上,大量煤炭的低效使用导致严重的环境问题:CO₂、CH₄和粉尘等大气污染物大量排放,世界上大气污染最严重的20个城市中的16个是来自中国^[2]。因此,中国乃至世界各国迫切需要解决当前的能源和环境问题。

历史上,美国曾通过开发煤层气有效地解决了能源与环境问题。1970年受能源危机影响,美国最早进行了煤层气开发,1981年已经在圣胡安和黑勇士两大盆地取得商业性成功^[3],到1993年年产量已接近 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$,煤层气生产基本形成了产业化^[4]。

这使得美国的天然气供应大大增加,能源危机被有效缓解,环境也得到有效保护,反映出煤层气的开发利用对能源和环境的重要性。但是,目前除了美国、加拿大和澳大利亚的煤层气开发实现了规模化和商业化外,中国、英国和俄罗斯等其他国家的煤层气开发均比较落后。

中国虽拥有丰富的煤层气资源,地质资源量为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$,高于美国的 $21.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$,但煤层气开发还处于起步阶段,与美国等国家相比还存在较大差距^[5]。据车长波估计^[5],中国要到2030年煤层气年产量才能达到 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$,届时才能与美国现阶段的年产量相当。中国煤层气发展远远落后美国的原因有很多方面,包括技术滞后、科技投入过低、政策扶持不够等^[6],但最关键的方面是对煤层气开发利用价值认识不足,只看到煤层气表面的能源价值,未深刻认识到煤层气隐含的重要的环境价值,最终阻碍了煤层气的快速发展。因此,有必要对煤层气的开发利用价值进行一次全面而深刻的研究,使煤层气在能源和环境两方面的重要价值得到充分体

[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] 苏中良,中国科学院力学研究所博士研究生,主要从事煤层气藏工程和煤层气渗流研究。

[联系作者] 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工作。地址:北京市北四环西路15号力学所,邮政编码:100190。

现,以促进煤层气更快更好地发展。

本文以能源元素组成上的杂质含量和 C/H 比值等方面的特征分析为出发点,从能源开发历史和能源类型、能源燃烧产物、能源热值和能源利用率、大气环保和煤矿安全等多个方面,通过与煤炭、石油和常规天然气等常用化石能源的对比分析,说明了煤层气是一种更加清洁、高效和安全的新型能源,揭示了煤层气在能源与环境方面的重要价值。

1 化石能源的组成分析对比

煤层气是一种以甲烷为主,另外含有乙烷、丙烷及丁烷等低阶烃类以及二氧化碳、氮气等非烃类的混合气体。Scott 等^[7] (1995) 曾对美国 1380 多口煤层气井的 985 个气样进行统计,得到美国煤层气的平均组成: 甲烷占 93.2%、二氧化碳占 3.1%、重烃占 2.6%、氮气占 1.1%; 张新民等^[8] (2002) 曾对中国不同地质时代和不同煤级的 358 个井田或矿井中的 6000 多个气样进行统计,得到中国煤层气的组成范围: 甲烷含量为 66.55%~99.98%, 一般为 85%~93%; 二氧化碳含量为 0~35.58%, 一般小于 2%, 重烃含量随煤级不同而变化, 平均为 1%~14.1%; 氮气含量变化较大, 但一般小于 10%。

常规天然气通常指油田气或气田气,成分以甲烷为主,另外含有乙烷、丙烷及丁烷等高级烃类以及二氧化碳、氮气、硫化氢、氢气等非烃类组分。据陈昭年^[9] 对世界若干地区天然气组成的统计数据,世界天然气的平均组成为: 甲烷含量为 40.0%~99.91%, 平均为 80.7%; 重烃含量为 0~49.9%, 平均为 11.71; 二氧化碳含量为 0~9.92%, 平均为

1.06%; 氮气含量为 0.33%~14.0%, 平均为 5.46%; 硫化氢含量为 0~15.2%, 平均为 1.65%。

石油的元素组成主要是碳和氢,其次是硫、氮、氧及一些微量元素。据陈昭年^[9] 的统计结果,世界石油的元素组成范围为: 碳含量为 80%~88%; 氢含量为 10%~14%; 氮含量为 0.1%~1.7%; 氧含量为 0.1%~4.5%; 硫含量为 0.1%~3.0%, 有些情况硫含量超过 10%。据 J. M. Hunt^[10] (1996) 的统计数据,世界石油的平均元素组成为: 碳为 84.5%、氢为 13.0%、硫为 1.5%、氮为 0.5%、氧为 0.5%。需要说明的是,与天然气中氮的存在形式不同,石油中的氮主要是以有机化合物的形式存在^[11]。

煤炭的组成包括有机质和无机质两大类,但以有机质为主。有机质主要包括碳、氢、氧、氮和硫五种元素,且碳、氢、氧和氮总量占有机质的 95% 以上,另外还有极少量的磷等元素;无机质主要是水分和矿物质,无机质降低了煤的利用价值,是煤中的有害成分。据任相坤^[12] (2005) 对中国神东矿区一些煤矿的煤样统计数据,得到神东矿区煤的平均元素组成: 碳为 66.6%、氢为 3.9%、硫为 10.5%、氧为 0.4%、氮为 0.78%, 其余为微量元素。

为了对煤层气、煤炭、石油和常规天然气等能源的组成进行详细对比,对上面统计数据进行整理,并将重烃组分全部看作乙烷,通过计算得出了四种能源的平均元素组成,如表 1 所示。从表 1 可以看出,与煤炭、石油和常规天然气等能源相比,煤层气的组成具有如下特点: 一是煤层气的 C/H 原子比最低; 二是煤层气中硫和无机氮等杂质的含量最低。这些特点奠定了煤层气比煤炭、石油和常规天然气等能源更加清洁、高效和安全的分析基础。

表 1 煤炭、石油、常规天然气和煤层气的平均元素组成

能源名称	主要组成元素(%)					合计 (%)	C/H 原子比
	C	H	O	N	S		
煤炭(据任相坤)	66.6	3.9	10.5	0.8	0.4	82.2	1.42
石油(据 J. M. Hunt)	84.5	13	0.5	0.5	1.5	100	0.54
天然气(据陈昭年)	69.5	22.6	0.8	5.5	1.6	100	0.26
煤层气(据 Scott)	72.8	23.8	2.3	1.1	0	100	0.25

2 清洁高效安全的新型能源论证分析

2.1 煤层气是一种新型能源

煤层气是一种新型能源,这体现在两个方面: 一方面煤层气是一种新兴能源; 另一方面煤层气是一

种非常规能源。

煤层气是一种新兴能源,这取决于煤层气的发展历史。煤层气在煤矿行业被称作瓦斯,过去很长时间内其能源价值并没有被意识到,而是被当作威

胁煤矿生产安全的有害气体,大部分随着煤炭开采被排放。直到 1970 年,煤层气才被真正当作能源在美国得到开发,1983 年美国煤层气进入规模化生产之后,煤层气开始向世界范围发展,当年美国煤层气年产量为 $1.7 \times 10^8 \text{ m}^{3[4]}$ 。中国煤层气勘探开发始于 1989 年,到 2005 年地面年产量才突破 0,为 $0.5 \times 10^8 \text{ m}^{3[6]}$ 。而煤炭、石油和常规天然气等能源在 1970 年已在世界范围普遍发展起来了。因此,相比之下煤层气是一种新兴能源。

煤层气是一种非常规能源,这主要取决于煤层气赋存状态的非常规性。煤层较常规储层(如砂岩层)有超强的吸附性,导致煤层气在煤层中主要以吸附态存在,而石油、常规天然气等常规能源却主要以游离态存在。煤层气赋存状态的非常规性决定了其产出方式与常规能源也大不相同,吸附态煤层气必须先解吸成游离气后才能在煤层中运移。因此,煤层气产出之前有一个明显的排水降压阶段,只有压力降到临界解吸压力之后才会有气体产出,这一点与石油、常规天然气等常规能源明显不同。这些特点说明,煤层气是一种非常规能源。

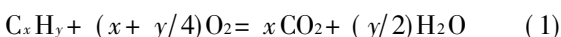
2.2 煤层气是一种清洁能源

与煤炭、石油和常规天然气等能源相比,煤层气是一种更加清洁的环保型能源,煤层气能源的清洁性是由其组成上的特点决定的。

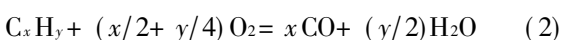
一方面,与煤炭、石油和常规天然气等能源相比,煤层气的硫和无机氮等杂质的含量最低,燃烧产物中的氮氧化物和硫氧化物等大气污染物的含量最少,因而能源更加清洁;另一方面,与煤炭、石油和常规天然气等能源相比,煤层气的 C/H 比值最低,燃烧产物中碳氧化物的含量最少,因而能源更加清洁。

为了说明这一点,(1)式和(2)式分别给出了烃类物质 C_xH_y 在完全燃烧和不完全燃烧两种情况下的化学方程式。

完全燃烧情况:



不完全燃烧情况:



可以看出,完全燃烧情况下,产物中碳氧化物所占质量比为 $44/(44 + 9y/x)$;不完全燃烧情况下,产

物中碳氧化物所占质量比为 $28/(28 + 9y/x)$ 。表明无论哪种情况产物中碳氧化物所含量均随着 C/H 比值(x/y 比值)的减小而减小。煤层气因为 C/H 比值较煤炭、石油和常规天然气等能源都要小。因此,燃烧产物中碳氧化物这种大气污染物含量最少,能源清洁性更高。

下面以煤炭和煤层气的燃烧为例,对比说明煤层气清洁能源的使用所带来的环境效益。煤炭的热值一般不超过 30 kJ/g,而煤层气的热值一般在 55 kJ/g 左右^[9]。假设完全燃烧情况,则产生同等的热量,比如 330 kJ 的热量,所需的煤炭至少为 11 g,所需的煤层气约为 6 g。根据表 1 提供的煤炭和煤层气的元素组成经过计算可以得到,11 g 煤炭燃烧产生的 CO_2 为 26.86 g、 NO_2 为 0.29 g、 SO_2 为 0.09 g,而 6 g 煤层气燃烧产生的 CO_2 为 16.02 g、 NO_2 为 0.22 g、 SO_2 为 0。因此,在充分燃烧产生同等热值的情况下,用煤层气代替煤炭可至少减排 CO_2 为 40.38%、 NO_2 为 25%、 SO_2 近 100%。但需要说明一点,由于实际情况下煤层气比煤炭更容易充分燃烧,因此以上减排数据比实际小很多,煤层气燃烧产生的 CO 和粉尘数量也比煤炭少得多。此外,煤层气中的氮是无机氮,通常不易燃烧,而煤炭中的氮是有机氮,容易燃烧,因此实际上煤层气燃烧产物中的氮氧化物的含量要比煤炭的少得多。实际上,据王宏等^[13]的研究结果,在燃烧产生相同热值的情况下,用煤层气代替煤炭通常可减排 CO_2 为 75%、 NO_x 为 88%,且几乎不产生硫化物、CO 和粉尘。

目前,煤炭在中国一次性能源消费中的比例高达 70% 左右,燃煤造成的 SO_2 、粉尘和 NO_x 排放量分别占全国相应污染物总排放量的 90%、70% 和 60%,严重危害环境安全。因此提高煤层气清洁能源的使用,相对降低煤炭消费,对减轻大气污染和降低温室效应具有重要作用。

2.3 煤层气是一种高效能源

煤层气组成上的特点决定了煤层气是一种比煤炭、石油和常规天然气等更加高效的能源,煤层气的高效性主要体现在高热值和高利用率两个方面。

煤层气的高热值是指煤层气的单位质量热值较煤炭、石油和常规天然气等能源要高。煤炭的热

值一般为 21~30 kJ/g, 石油的热值一般为 42~46 kJ/g, 煤层气的热值一般在 55 kJ/g 左右^[9], 说明煤层气的热值明显高于煤炭和石油。此外, 由于煤层气在组成上较常规天然气的干燥比要大一些, 其热值通常比常规天然气的要高一点, 这实际上是由天然气的 C/H 比值高低所决定的。为了说明这一点, 表 2 给出了天然气中主要烃类组分 C₁₋₅ 的热值随 C/H 比值的变化的情况。从中可以看出, 烃类组分的

单位质量热值随着 C/H 比值的增加而明显减少。在只考虑热值的情况下, 可以将煤层气和常规天然气看成是纯烃类的混合物, 这样他们的热值大小就完全由 C/H 比值决定。由于煤层气的 C/H 比值较常规天然气的低, 所以煤层气的热值相对高一些。综上所述, 煤层气的热值比煤炭、石油和常规天然气等能源都要高, 从热值方面看, 煤层气是更加高效的能源。

表 2 天然气中 C₁₋₅ 烃类组分在 15℃ 的热值^[14]

组分	C/H 比值	理想摩尔热值(kJ/mol)		摩尔质量 (g/mol)	单位质量热值(kJ/g)	
		高位	低位		高位	低位
CH ₄	0.25	890.63	802.60	16.043	55.515	50.028
C ₂ H ₆	0.333	1560.69	1428.64	30.070	51.902	47.510
C ₃ H ₈	0.375	2219.17	2043.11	44.097	50.325	46.332
C ₄ H ₁₀	0.40	2877.40	2657.32	58.123	49.505	45.719
C ₅ H ₁₂	0.417	3535.77	3271.67	72.150	49.006	45.345

燃料利用率指燃料在燃烧中被吸收的热量与该种燃料热值的比值。首先, 煤层气作为气态燃料, 它的燃料利用率要比煤炭、石油等非气态燃料要高得多。一方面, 气态燃料不像液态或固态燃料那样燃烧需要经过溶化、蒸发等准备过程, 容易实现充分燃烧; 另一方面, 气态燃料不像液态或固态燃料那样含有较多的水分或灰分, 因此既不会造成大量热损失, 也不会明显影响受热设备的吸热能力。据统计, 煤层气锅炉燃烧效率比燃煤锅炉高 20% 左右^[8], 煤层气的发电效率能达到 60%, 比煤和油的发电效率要高 20% 左右。其次, 虽然都是气态燃料, 但煤层气的燃料利用率通常比常规天然气高一点。一方面, 常规天然气通常比煤层气含较多的重烃组分和杂质硫, 这不仅使其充分燃烧受到影响, 而且降低了受热

设备的吸热能力; 另一方面, 煤层气的抗爆性较常规天然气的好, 而抗爆性好的燃料可以增大发动机的压缩比, 提高发动机的输出功率, 这相当于提高燃料利用率。煤层气抗爆性之所以比常规天然气的好, 是与天然气的 C/H 比值有很大关系。表 3 给出了实验测得的几种不同组成的天然气的马达法辛烷值(MON), 它是目前常用的表示燃料抗爆性的指标之一, 值越高表示燃料抗爆性越好。从表 3 中可以看出, 对于组成以烃类为主的燃料, 其抗爆性好坏很大程度上决定于燃料的 C/H 比值, 即 C/H 比值越低燃料抗爆性越好, 与常规天然气相比, 煤层气由于 C/H 比值稍低, 因此抗爆性更好一些。综上所述, 煤层气的燃料利用率比煤炭、石油和常规天然气等都要高, 因此是更加高效的能源。

表 3 几种天然气的实验测得的马达法辛烷值(MON)^[14]

气样	组成						C/H 比	MON
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	N ₂		
1#	100	0	0	0	0	0	0.25	> 127
2#	95.0	3.0	0.5	0.5	0.2	0.8	3.89	> 127
3#	92.5	3.5	1.0	0.5	1.0	1.5	3.87	> 127
4#	90.1	6.0	0.7	0.8	0.7	1.7	3.82	126.2
5#	88.3	7.8	1.2	0.3	1.8	0.6	3.80	126.7
6#	85.0	6.5	3.0	1.0	1.0	3.5	3.72	119.6
7#	82.1	14.0	1.2	0	0.7	2.0	3.71	118.9
8#	75.0	0	25.0	0	0	0	3.33	106.5

目前, 中国的煤炭、石油和常规天然气等能源已经开始净进口, 能源安全问题日益突出。中国煤层

气资源丰富, 地质资源量为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 已经超过了常规天然气的地质资源量($35.03 \times 10^{12} \text{ m}^3$)。由

于煤层气丰富的资源储备以及能源的高效性, 其开发利用必将在提高能源供应和缓解当前能源危机方面发挥重要作用。

2.4 煤层气是一种安全能源

煤层气是一种比煤炭、石油和常规天然气等更加安全的能源, 这里的安全主要指大气环境安全和煤矿环境安全。

煤层气的开发利用对大气环境的安全性是由煤层气本身的清洁性和温室效应决定的。一方面, 与煤炭、石油和常规天然气等能源相比, 煤层气的清洁性更好, 燃烧产生的碳氧化物、硫氧化物和氮氧化物等更少, 造成的大气污染和温室效应更低, 因而相对来说煤层气的使用更有利于大气环境安全; 另一方面, 煤层气的开发能减少煤层中的 CH_4 含量, 限制煤矿开采过程中的 CH_4 排放, 从而降低温室效应。据美国环保局 (EPA) 2006 年的统计数据, 全球煤矿排放的 CH_4 量约占人为排放的 CH_4 量的 8%, 说明煤矿 CH_4 排放是加重全球温室效应的一个重要方面。通过地面钻井方式开发煤层气一般可以使煤层中的 CH_4 浓度降低 70%~85%^[15], 因而能大大限制煤矿开采造成的 CH_4 排放, 有效降低温室效应。此外, 据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2007 年公布的数据显示, CH_4 是一种强烈的温室气体, 以 100 年衡量, 其单位分子数的温室效应相当于 CO_2 的 25 倍, 而且 CH_4 的大气寿命很短, 只有 12 年, 相当于 CO_2 大气寿命的 1/10, CH_4 温室气体的特点说明降低大气中 CH_4 的含量对降低温室效应有立竿见影的效果。这再次表明, 煤层气的开发对降低温室效应效果显著。

煤层气的开发利用对煤矿环境的安全性是指通过煤层气开发使煤层瓦斯的含量降低, 进而减少瓦斯事故发生, 保证煤矿环境安全。从世界范围看, 各国煤炭开采始终会伴随着一些瓦斯事故的发生, 根本原因是煤矿始终含有一定量的瓦斯, 而且瓦斯含量会随着煤矿开采深度的增加而上升, 因此煤矿不可避免地要存在瓦斯事故隐患。在中国煤矿存在严重瓦斯隐患, 国有重点煤矿中高瓦斯矿井约占 21%、瓦斯突出矿井约占 21.3%^[13]。导致瓦斯事故频发, 据国家安监总局事故查询系统的统计数据 (见图

1), 2001~2008 年中国煤矿年均发生瓦斯事故 215 起, 年均死亡人数 1255 人。据国家能源局煤炭司司长方君实统计, 中国煤炭产量仅占全世界煤炭总产量的 37% 左右, 但煤矿事故死亡人数却占全世界的 70% 左右。说明目前中国煤矿瓦斯事故极为严重, 问题亟待解决。如果在采煤之前先采出瓦斯, 通过矿井抽采方式一般可使煤层瓦斯含量降低 20%, 通过地面钻采方式可使瓦斯含量降低 70%~85%^[15], 无论哪种方式都能有效降低煤矿瓦斯涌出量, 保证煤矿作业安全。澳大利亚的煤矿安全水平一直保持世界领先, 2004 年澳大利亚的百万吨死亡率仅为 0.017, 目前已经基本上消灭了煤矿瓦斯灾害^[16], 根本原因是始终坚持采煤前先采气的原则, 广泛采取瓦斯抽发措施, 努力提高瓦斯抽放技术。中国自从部分煤矿采取采煤前先采气的措施后, 总体煤矿百万吨死亡率呈逐年下降趋势 (见图 2)。由此说明, 煤层气开发利用在解决煤矿瓦斯事故和提高煤矿环境安全方面具有重要作用。

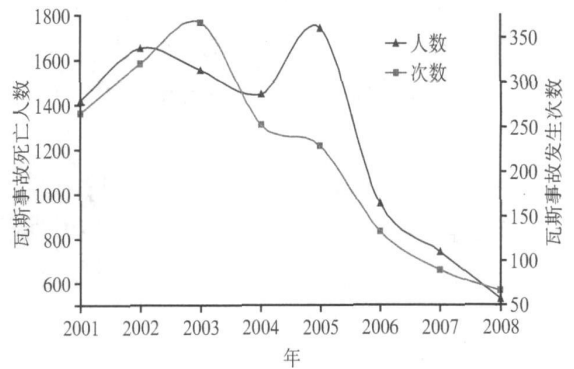


图1 2001~2008年中国的煤矿瓦斯事故

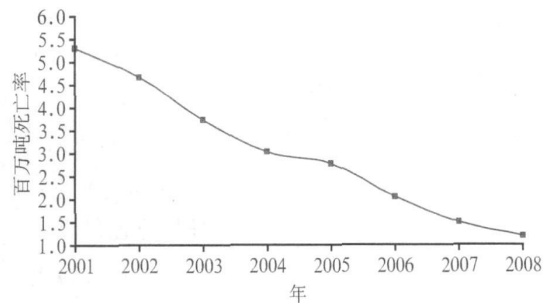


图2 2001~2008年中国的煤矿百万吨死亡率

3 结论

通过化石能源煤层气、煤炭、石油和常规天然

气等能源的元素组成的对比分析,得到了煤层气相比其他能源的元素组成特征,进一步分析了煤层气新型能源的清洁、高效和安全性特点,分别从不同角度说明了煤层气是一种清洁高效安全的新型能源,指出了煤层气开发利用的重要意义。具体结论如下:

(1) 通过对煤层气、煤炭、石油和常规天然气等能源组成的对比,得到了煤层气的组成的特点:一是煤层气的 C/H 原子比最低;二是煤层气中硫和无机氮等杂质的含量最低。建立了煤层气作为清洁、高效、安全能源的分析基础。

(2) 从能源开发历史和能源类型角度,煤层气开发历史短且具有非常规性特点,因此煤层气相比其他能源是一种新型能源。

(3) 与常规化石能源煤层气、煤炭、石油和常规天然气等相比,煤层气的元素组成的特点为: C/H 原子比最低(约为 1/4);硫和无机氮等杂质的含量最低。该特征决定了煤层气燃烧产物的大气污染物少,是一种更加清洁的能源;煤层气的能源热值和能源利用率高,是一种更加高效的能源;煤层气开发利用有利于大气环境保护和煤矿环境安全,是一种更加安全的能源。

(4) 提出了化石能源优劣程度的主要判别标准,即对于元素组成以 C 和 H 为主的化石能源, C/H 原子比是决定该能源优劣的主要因素, C/H 原子比越小,能源的清洁性、高效性和安全性越好。

(5) 煤层气能源的特点表明了其开发利用对能源与环境两方面均有重要意义:煤层气的清洁性说明其使用有利于降低大气污染和减轻温室效应;煤层气的高效性阐明其使用有利于增加能源供应和缓解能源危机;煤层气的安全性揭示其开发利用有利于大气环境保护和煤矿生产安全。

(6) 通过对煤层气能源清洁、高效和安全性等特点的研究,表明煤层气在能源与环境方面的重要价值,因此,煤层气是 21 世纪低碳经济时代应该大力发展的能源,煤层气开发利用的重要意义。

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] Anil Terway. 中国的能源与环境——经济发展的两大制约因素. 世界环境, 2006, 6(4): 71- 77.
- [2] Albert F Appleton. 中国环境与规划(一). 国际人才交流, 2010, 3(3): 60- 62.
- [3] Qu Qi, Zhao Jun, Guo Hua. Developments of Coal Bed Methane Development in the U. S. . Journal of Coal Science & Engineering(China), 2001, 7(2): 16- 25.
- [4] R A Schraufnagel, D G Hill, R A McBane. Coalbed Methane——A Decade of Success. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1994.
- [5] 全晓波. 中国煤层气发展任重道远——访国土资源部油气资源战略研究中心副主任车长波. 资源导刊, 2010, 11(5): 12- 13.
- [6] 叶建平. 中国煤层气勘探开发利用现状和前景. 2006 年煤层气学术研讨会, 2006.
- [7] Scott A R, Zhou N J, Levine J R. A Modified Approach to Estimating Coal and Coal Gas Resources: Example from the Sand Wash Basin, Colorado. AAPG Bulletin, 1995, 79(9): 1320- 1336.
- [8] 张新民, 庄军, 张遂安. 中国煤层气地质与资源评价. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] 陈昭年. 石油与天然气地质学. 北京: 地质出版社, 2005.
- [10] J M Hunt. Petroleum Geochemistry and Geology, Second Edition. W. H. Freeman and Company, 1996.
- [11] 任飞. 石油中的氮化合物. 广东化工, 2006, 33(8): 38- 40.
- [12] 陈鹏. 中国煤炭性质、分类和利用. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [13] 王宏, 杨丽丽, 李红, 等. 我国煤层气资源开发意义探究. 辽宁大学学报(自然科学版), 2008, 35(1): 85- 88.
- [14] 罗勤. 天然气国家标准实施指南. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [15] 许婷婷, 郑爱华. 煤层气利用率对其开发综合效益的影响. 矿产保护与利用, 2010, 30(1): 55- 58.
- [16] 马秀莲. 澳大利亚煤矿瓦斯治理印象. 能源技术与管理, 2005, (6): 1- 6.

本文收稿日期: 2010- 10- 28 编辑: 许兰婷

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

the problem why CBM is cleaner, efficient and safe energy resource. First, CBM is a new energy showed by its development history and unconventional properties. Second, CBM is cleaner than other energy resources considering its combustion products. Third, CBM is more efficient due to its calorific value and utilization ratio. In addition, CBM is safe in atmospheric environment and coal mine environment. In this paper, C/H ratio is considered to be a key factor to energy resources mainly comprised of carbon element and hydrogen element in determining the quality of the energy. That is to say, the smaller the C/H ratio is, the better (cleaner, more efficient and safer) the energy is. Finally, according to the advantages of CBM, it plays an important role in energy supply and environment protection, which shows the importance of development and utilization of CBM.

Key words: coalbed methane, clean energy, efficient energy, safe energy, environment pollution

Study on AGA8 92DC Method of Gas Deviation Factor Calculation. 2010, 19(6): 29~ 36

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

The deviation factor, as one of the most important physical property parameters of natural gas, plays an important role in the exploration, production, transportation, processing and use of natural gas. In this paper, the existing methods of calculating the gas deviation factors are summarized, and a special research of a widely used method named AGA8 92DC (AGA8) is conducted. Although AGA8 has been an international standards on calculating gas deviation factors since 1992, few studies have been conducted up to now. So the scope of application or the accuracy of AGA8 is not well known. Using the self compiled C++ program for AGA8, we obtain the deviation factors of the gases with different components under different temperatures and pressures. By comparing the computed deviation factors with the Standing-Katz chart data or experimental data, the scope of application of AGA8 is determined. This study will lay a solid foundation for the application and extension of AGA8 method.

Key words: natural gas, deviation factor (compressibility factor), critical properties, EOS

Review on CBM Desorption/ Adsorption Mechanism. 2010, 19(6): 37~ 44

Liu Yuwu, Su Zhongliang, Zhang Junqing (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences), Fang Hongbin (Institute of Aerospace Engineering and Mechanics, Tongji University)

By analyzing factors that restricting the development of CBM and energy demand at home and abroad, the paper pointed out that researching CBM desorption and adsorption mechanism is significant. Through analyzing domestic and international history and current status of CBM desorption and adsorption mechanism, CBM desorption and adsorption mechanism was grouped into two classes: monolayer adsorption and multi-molecular layer adsorption. CBM desorption and adsorption mechanism model was divided into five categories: Langmuir isothermal and the extended model, BET multi-molecular layer adsorption model, adsorption potential theoretical model, adsorption solution model and experimental data analysis model. Factors that affecting CBM desorption and adsorption which included coal bed property, pore structure, components of CBM, pressure conditions, temperature conditions and so on were analyzed in detail. The research showed future direction of desorption and adsorption mechanism, especially the way of methane and water combining and separation with carbon molecules in coal bed, was to study mainly the dynamic process of CBM desorption and adsorption states in the condition of complex factors at current.

Key words: coalbed methane (CBM), absorption/desorption, mechanism, model

Research on Unstructured Grid Generation for CBM Numerical Well Testing. 2010, 19(6): 45~ 48

Li Haisheng (College of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University), Liu Yuwu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

This paper analyzes the unstructured grid generation methods in numerical well testing. The "winged edge" data structure is designed by using the good characteristics of Delaunay triangulation. The constrained Delaunay triangulation algorithm with good mesh quality is achieved. Examples show that the resulting grid with boundary constraint consistency and better quality, which can meet the requirements of CBM computing numerical well testing.

Key words: CBM well testing, unstructured grid, Delaunay triangulation, constrained, Voronoi diagram

Numerical Well Testing Method for Well by Considering CBM Desorption. 2010, 19(6): 49~ 52, 70

Ouyang Weiping, Liu Yuwu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

The distinguish character between CBM well test and normal gas well test is the desorption phenomena in coalbed. This paper developed a new well test model for CBM well by considering the desorption effect in homogeneous coalbed. The stable source method is introduced to describe the desorption effect in the governing equation. And the numerical solution is obtained by finite element method. By analyzing the desorption coefficient, it shows that the desorption effect made the pressure drop slowly and the pressure wave propagate slowly also. When the desorption coefficient reached a certain value, the desorption rate will be equal to the production rate and the pressure wave will stop propagate. It is similar to that there exists a constant pressure boundary in the coalbed. In addition, by considering the effect of critical desorption pressure, it shows that the smaller difference between the critical desorption pressure and the initial pressure, the earlier emerging of the desorption effect and the greater impact on well test type test curve.

Key words: CBM, seepage, desorption, numerical well testing, finite element

Numerical Well Test Model for CBM Infinite Conductivity Vertical Fracture Well. 2010, 19(6): 53~ 56

Ouyang Weiping, Liu Yuwu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Considering the effects of CBM desorption and absorption in coalbed, a new infinite conductivity vertical fracture well test model is developed in this paper, the finite element equation was derived, and numerical solution was obtained. The type curve in double logarithmic form and pres-