

文章编号:1000-1964(2002)06-0630-04

用多元气体等温吸附成果 评价煤层气开发潜力

唐书恒¹, 韩德馨²

(1. 中国地质大学 能源系, 北京 100083; 2. 中国矿业大学 资源开发工程系, 北京 100083)

摘要: 针对煤层气中通常含有一定数量非CH₄气体的现实情况,进行了纯N₂、纯CH₄和CH₄-N₂二元气体等温吸附实验的对比研究,分析了煤层气中的N₂组分对煤层CH₄吸附性能的影响。结果表明,用纯CH₄气体的等温吸附资料进行煤层气开发潜力的评价,可能会产生不完全正确的结论;而多元气体的等温吸附曲线,可用于进行煤层气开发潜力的正确评价。

关键词: 多元气体; 吸附等温线; 煤层气; 开发潜力; 晋城地区

中图分类号: P 618.11; TD 712 **文献标识码:** A

在进行煤层气的开发潜力评价时,等温吸附曲线具有重要的作用^[1]。第一,它可以确定煤储层中煤层气的临界解吸压力;第二,可以估算煤储层的理论含气量以及确定煤层气的饱和状态;第三,预测煤储层在降压解吸过程中煤层气的采收率或可采资源量。通过在实验室内进行的等温吸附实验可以获得特定煤层的等温吸附曲线^[2]。

1 研究区的煤层气组成特征

晋城目标区是目前中国煤层气勘探开发最为活跃、开发效果最好的区块之一^[3]。10年来,晋城矿务局与美国美中能源公司、中国石油天然气集团公司新区事业部、中联煤层气有限责任公司等单位,均在此建立了煤层气开发试验区,并且都获得了工业性气流。其中,中联煤层气有限责任公司获得单井最高日产量1.6万立方米,反映了该区具有较好的煤层气开发前景。

而当根据甲烷的等温吸附曲线对晋城目标区的TL-003井进行开发潜力评价时,却发现计算的临界解吸压力比实际排采时的解吸压力低0.7 MPa。同样的情况也出现在寿阳目标区的HG6井和铁法目标区的DT3井。为了解释这种现象出现的原因,作者选择晋城目标区的甲、乙2口煤层气井,进行了煤层含气量和气体成分的实际测

定。

针对甲、乙2口煤层气井的山西组3号和太原组15号煤层,共采集了34个煤芯样进行含气量测定。样品的采集和测试按照中联煤层气有限责任公司制定的煤层气行业标准《煤层气含量测定技术规范》(1998)进行,测试方法为解吸法。解吸过程中将样品罐放置于恒温箱中,并将温度调节为储层温度。

这2口井的含气量测试结果见表1。

表1 两口煤层气井煤样含气量(daf)测试结果
Table 1 Gas content of coal samples from coalbed gas wells (daf)

井名	甲井		乙井	
煤层编号	3	15	3	15
总含气量/ (m ³ ·t ⁻¹)	9.56~16.14 13.26	19.93~27.91 22.80	17.77~23.82 20.74	20.86~24.60 22.21
甲烷含量/ (m ³ ·t ⁻¹)	8.76~15.22 12.44	19.33~27.29 22.16	16.63~22.28 19.42	19.55~22.96 20.74

由表1可以看出,煤层中的甲烷含量小于总含气量,说明煤层中吸附的煤层气,并不仅仅是甲烷,还吸附有其他气体^[4]。在进行煤芯样的解吸期间,为了检验气体的质量,分别对每个样品采集3个解吸气样,测定煤层气的组成。按照上述规范的要求,取样时间分别设为现场解吸的第1,3,5天,共采集102个气成分样进行分析,气体成分分析按照国标

收稿日期: 2002-04-24

作者简介: 唐书恒(1965-),男,河北省正定市人,博士,高级工程师。现在中国地质大学(北京)博士后流动站从事煤层气地质研究工作。

4 结 语

数值模拟计算和现场实践均表明,如空巷无有效支护,当工作面接近空巷时,支架压力增大,造成大面积来压甚至冒顶,工作面难以通过空巷.高水速凝材料充填体具有较大的强度和良好的塑性变形特性,既能承受工作面超前支承压力的作用,又能适当变形而让压,不发生脆性破坏,能有效支护顶板和空巷两帮.采用高水速凝材料充填解决了综采放顶煤工作面过空巷的技术难题,为工作面快速、安全过空巷,特别是已产生大范围片帮、冒顶的与工作面平行的高冒空巷提供了技术途径.用数值模拟计算方法科学地确定高水速凝材料充填体的力学参数,空巷维护效果好,工作面过充填段高冒空巷时人造顶板完整,没有发生片帮、冒顶、压死支架等不良矿压显现.高水速凝材料充填高冒空巷安全、可靠,工作面过空巷时的推进速度是木垛支护的2倍以上,但比木垛加固节省费用13.5万元.该项技术多回收煤炭31万t,创造产值3410万元,利

润1054万元.

参考文献:

- [1] 柏建彪,侯朝炯,张长根,等.高水材料充填空巷的工业性实验[J].煤炭科学技术,2000,28(10):30-31.
- [2] 任东元.综采工作面过空巷连续采煤的可行性探讨[J].山西煤炭,2000,20(2):24-26.
- [3] 袁素正,陈守义,孙重兴.综采工作面过老巷技术应用分析[J].中州煤炭,2001(1):32-33.
- [4] 王应国.浅谈12407综采工作面过3#空巷的方法[J].西山科技,1999(2):4-5.
- [5] 朱衍利,牛伟.工作面过顶底老巷围岩控制研究[J].山东煤炭科技,2000(增刊):130-132.
- [6] 郭金刚,牛宏伟,王睿,等.4326超长综放面矿压显现规律分析[J].煤,2000(2):16-18.
- [7] 侯朝炯,易宏伟,柏建彪.高水灰渣速凝材料巷旁充填沿空留巷的试验研究[J].煤炭科学技术,1995,23(2):15-18.
- [8] 柏建彪,侯朝炯,杜木民,等.复合顶板极软煤层巷道锚杆支护技术研究[J].岩石力学与工程学报,2000,20(1):53-56.

Technique of Filling Roof-Collapsed Roadway with Material with High Water Content in Fully-Mechanized Top-Coal Caving Faces

GUO Jin-gang^{1,2}

(1. College of Mineral and Resource Engineering, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;

2. Wangzhuang Coal Mine, Lu'an Mining Bureau, Changzhi, Shanxi 046031, China)

Abstract: Based on the analysis of surrounding rock movement of an old roof-collapsed roadway parallel to a fully-mechanized top-coal caving face, the new technique of filling this kind of roadway with the material with high water content was put forward. Through the theoretical analysis and the numerical stimulation calculation, the mechanical parameters of filling body were determined. It has great supporting pressure and good plastic deformation, so it can efficiently support an old roadway, descend the load and ensure the integrity of a filling body. The technique has been applied in field successfully, and resolves the problem how a coal face crosses an old roadway.

Key words: fully-mechanized top-coal caving face; old roadway; material with high water content; filling

表 3 纯气体及二元气体的等温吸附实验结果
Table 3 Adsorption isotherm experiment results of pure gas and binary component gas

实验气体	甲井 3 煤	甲井 15 煤	乙井 3 煤	乙井 15 煤
100%N ₂	V _L = 14.63 cm ³ /g p _L = 2.14 MPa	V _L = 30.38 cm ³ /g p _L = 5.70 MPa	V _L = 18.45 cm ³ /g p _L = 3.15 MPa	V _L = 21.72 cm ³ /g p _L = 3.37 MPa
100%CH ₄	V _L = 34.58 cm ³ /g p _L = 1.71 MPa	V _L = 45.57 cm ³ /g p _L = 2.01 MPa	V _L = 36.90 cm ³ /g p _L = 1.60 MPa	V _L = 36.93 cm ³ /g p _L = 1.34 MPa
80%CH ₄ +20%N ₂	V _L = 27.17 cm ³ /g p _L = 1.58 MPa	V _L = 36.45 cm ³ /g p _L = 2.11 MPa	V _L = 28.38 cm ³ /g p _L = 1.61 MPa	V _L = 30.77 cm ³ /g p _L = 1.53 MPa

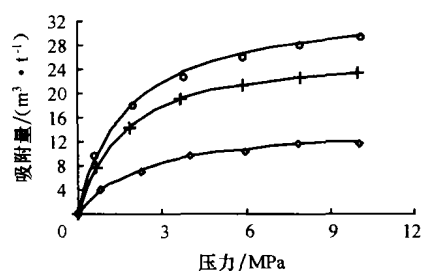


图 3 甲井 3 号煤样 CH₄, N₂ 及其二元气体的吸附等温线

Fig. 3 Adsorption isotherms of CH₄, N₂ and their binary component gas

◇, N₂ 吸附数据; +, 80%CH₄ + 20%N₂ 吸附数据;
○, CH₄ 吸附数据; —, Langmuir 方程拟合线

由实验结果可见,同一煤样对 CH₄ 和 N₂ 的吸附试验结果相比,CH₄ 的 V_L 值要比 N₂ 的 V_L 值大得多,而 p_L 值却小很多.这种结果与前人的研究结论一致,即 CH₄ 的吸附量远大于 N₂ 的吸附量.而 N₂ 比 CH₄ 更容易解吸.

与纯 CH₄ 气体相比,20% N₂+80% CH₄ 的二元气体吸附试验的 V_L 值有较大幅度降低,4 个煤样 V_L 值的降幅范围为 16.68%~23.09%.这一结果证实了艾鲁尼^[5]的研究结论,即当煤层气中含有一定数量的 N₂ 时,将会降低煤层对气体的总吸附量,当然也就降低了对其中 CH₄ 组分的吸附量.

3 煤层气的开发潜力评价

如前所述,根据纯 CH₄ 的等温吸附曲线进行煤层气的开发潜力评价,可能会产生不完全正确的结论,这是因为实际的煤层气成分中,除了 CH₄ 以外还含有其他气体,非 CH₄ 气体的存在,会对煤的等温吸附特性产生显著影响.因此,必须根据实际气体组分进行吸附等温线的测定,才能对煤层气的开发潜力进行正确评价.

研究中虽然没有按照实际的煤层气成分配置混合气体进行吸附等温线的测定,但是通过设定组分的二元气体与纯甲烷气体的等温吸附实验的对比分析,也可以发现,用纯甲烷气体的吸附等温线来评价煤层气的开发潜力,其结论显然不一定正确.以甲井 3 号煤为例,其煤层气成分中含 CH₄ 约

94%,N₂ 约 6%,而研究中进行了 80%CH₄+20% N₂ 二元气体以及纯甲烷气体的等温吸附实验.3 号煤的储层压力是 4.0 MPa,总的含气量为 16.0 m³/t,按照实验气体的组成,则其中的 CH₄ 含量为 12.8 m³/t.

3.1 用纯 CH₄ 吸附等温线计算煤储层的含气饱和度和临界解吸压力

根据实验结果(表 3),用纯 CH₄ 气体测定该煤层的吸附等温线,则其 Langmuir 常数为: V_L = 34.58 m³/t, p_L = 1.71 MPa.由此计算出煤层在储层压力下的饱和 CH₄ 含量为

$$V_s = \frac{V_L \cdot p}{p + p_L} = \frac{34.58 \times 4.0}{4.0 + 1.71} = 24.22 \text{ m}^3/\text{t},$$

煤层含气饱和度 = 实测 CH₄ 含量/饱和 CH₄ 含量 = 12.8/24.22 = 52.85%;

其临界解吸压力为

$$p_d = \frac{V \cdot p_L}{V_L - V} = \frac{12.8 \times 1.71}{34.58 - 12.8} = 1.0 \text{ MPa},$$

临储比 = 临界解吸压力/储层压力 = 1.0/4.0 = 0.25.

3.2 用二元气体吸附等温线计算煤储层的含气饱和度和临界解吸压力

根据实验(表 3),用 80%CH₄+20%N₂ 二元气体测定该煤层的吸附等温线,则其 Langmuir 常数为: V_L = 27.17 m³/t, P_L = 1.58 MPa.由此计算出煤层在储层压力下的饱和含气量为

$$V_s = \frac{V_L \cdot p}{p + p_L} = \frac{27.17 \times 4.0}{4.0 + 1.58} = 19.48 \text{ m}^3/\text{t},$$

煤层含气饱和度 = 实测含气量/饱和含气量 = 16/19.48 = 82.14%;

其临界解吸压力为

$$p_d = \frac{V \cdot p_L}{V_L - V} = \frac{16 \times 1.58}{27.17 - 16} = 2.26 \text{ MPa},$$

临储比 = 临界解吸压力/储层压力 = 2.26/4.0 = 0.565.

可以看出,对于煤层气中含有 80%CH₄ 和 20%N₂ 的煤层来说,用二元气体等温吸附方程计

GB/T13610-92 进行,采用气相色谱法,获得了甲、乙 2 口井 3 号和 15 号煤层的煤层气组成(表 2)。仅从这 2 口井来看,晋城地区的煤层气成分以甲烷为主,含少量氮气,而二氧化碳和重烃含量极少。其中, φ (甲烷)达 91.56%~97.71%, φ (氮气)为 2.18%~8.34%, φ (二氧化碳)为 0.02%~0.22%, φ (重烃)为 0.03%~0.10%。

表 2 晋城地区两口井煤层气组分测试结果
Table 2 Coalbed gas component measurement results of Jincheng region φ / %

井名	甲井		乙井	
煤层编号	3	15	3	15
甲烷	91.56~94.92 93.67	96.23~97.71 97.09	93.26~93.83 93.55	93.00~93.64 93.32
氮气	4.98~8.34 6.2	2.18~3.66 2.75	5.89~6.58 6.21	6.06~6.72 6.41
二氧化碳	0.04~0.10 0.068	0.02~0.15 0.08	0.19~0.22 0.21	0.18~0.22 0.21
重烃	0.03~0.10 0.059	0.05~0.09 0.07	0.06~0.08 0.07	0.06~0.08 0.07

通过分析这 2 口井 3 号和 15 号煤层的煤层气组成发现,由于取样时间的不同,解吸出的煤层气组分发生规律性的变化(图 1,图 2)。随着解吸时间的延长,煤层气中的 CH_4 浓度逐渐增加,而 N_2 浓度逐渐减少。

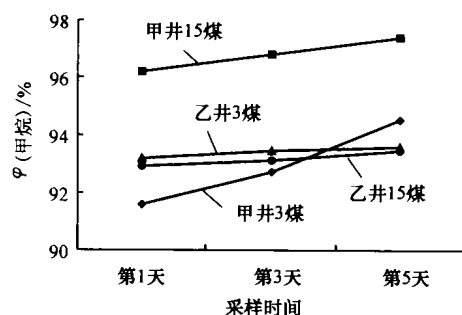


图 1 各煤样中不同采样时间的 CH_4 浓度平均值

Fig. 1 Average concentration of methane for samples collected in different periods

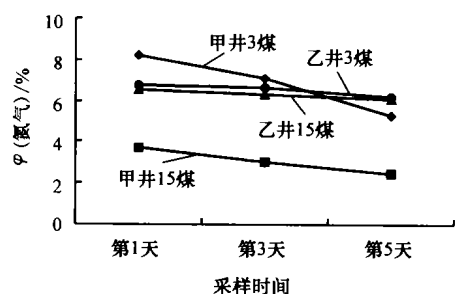


图 2 各煤样中不同采样时间的 N_2 浓度平均值

Fig. 2 Average concentration of nitrogen for samples collected in different periods

艾鲁尼^[5]对煤中不同配比混合气体做了吸附

实验,结果发现,无论二元混合物的化学成分如何,其中的 CH_4 组分吸附量总是小于纯 CH_4 的吸附量。特别是当吸附相成分中有少量的 N_2 或 H_2 时,可明显地降低 CH_4 的吸附。按照这一结论,晋城地区的煤层气成分中含有的 N_2 ,必然对煤层气的吸附产生明显的影响。因此,用纯 CH_4 进行煤的等温吸附试验,所获得的煤储层的吸附-解吸特性,不能代表煤储层的真实情况,以此为依据来评价煤层气的开发潜力,必将产生不尽真实的结论,以致误导投资者,使其或造成不必要的损失,或失去成功的机遇。所以,研究多元气体的吸附-解吸特性也就成为当务之急。

2 多元气体等温吸附实验

Arri L E, Yee D, Chaback J, Greaves, Hall F E, Harpalani 等,均针对美国圣胡安盆地果园组的湿煤样进行过多元气体的等温吸附实验。结果表明,每种气体不是独立吸附的,而是互相竞争相同的吸附位。这是由于吸附平衡是动态平衡,气体在煤中的吸附和解吸一直在进行着,而分子间范德华力较大的气体会优先占据煤表面的吸附位,分子间范德华力较小的气体会被从煤表面置换下来,其中一部分可能又被吸附到新的吸附位。因此,在吸附实验过程中,从吸附实验开始到结束,吸附能力不同的气体,在游离相中的浓度在不断发生着变化。吸附能力强的气体在气相中的浓度下降,相反,吸附能力弱的气体在气相中的浓度会上升。多元气体的吸附性不仅与各组分的吸附性强弱有关,而且还与各组分的分压有关,分压越大,气体的吸附量越大。多元气体吸附量与各组分的吸附性及分压的关系可以用扩展 Langmuir 等温吸附方程表示。

作者针对晋城目标区甲、乙 2 口煤层气井的 3 号和 15 号煤层共 4 个煤样,利用中国矿业大学分析测试中心从美国 Terra Tek 公司引进的 IS-100 型气体等温吸附解吸仪,模拟实际储层温度和平衡水条件,进行了纯 N_2 , 纯 CH_4 和 CH_4 - N_2 二元气体的等温吸附实验研究^[6]。实验内容包括:

- 1) 100% N_2 的等温吸附实验;
- 2) 100% CH_4 的等温吸附实验;
- 3) 20% N_2 + 80% CH_4 的等温吸附实验。

依次进行上述实验,获得 4 个煤层样的等温吸附实验结果见表 3。图 3 为甲井 3 号煤样的等温吸附曲线。