

Experimental Study on Carbon Dioxide Flooding Methane to Improve Coalbed Methane Recovery

Yuwei Xiao Song Cai Xinyi Huang Yuyi Shen Xue Wang

School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083, China

Abstract

The basic characteristics of coalbed methane and carbon dioxide, the main development methods of coalbed methane and the mechanism of carbon dioxide flooding coalbed methane are briefly described. It is confirmed by injection and desorption of methane and carbon dioxide that the injection of CO₂ can increase the relative desorption rate of CH₄^[1], to achieve the purpose of replacing methane gas. By adjusting the relevant experimental parameters, the relationship between displacement pressure, displacement velocity (flow), and carbon dioxide injection amount is investigated.

Keywords

coalbed methane characteristics; methane; carbon dioxide; experiment; displacement

二氧化碳驱替甲烷提高煤层气采收率实验研究

肖昱薇 蔡嵩 黄欣怡 沈禹亦 王雪

中国地质大学(北京)能源学院, 中国·北京 100083

摘要

简述煤层气和二氧化碳的基本特征、煤层气主要开发方式及二氧化碳驱替煤层气机理,通过甲烷、二氧化碳的注入吸附、解吸试验,证实注入CO₂可以提高CH₄的相对解吸速率^[1],实现置换甲烷气体的目的。通过调整相关实验参数,探究驱替压力、驱替速度(流量)、与二氧化碳注入量的存在关系。

关键词

煤层气特征; 甲烷; 二氧化碳; 实验; 驱替

1 引言

随着近年来中国经济持续高速增长,中国能源需求持续上升,中国石油经济技术研究院2019年1月16日发布的《2018年国内外油气行业发展报告》数据反映,2018年中国天然气进口超过日本成为全球第一大天然气进口国,对外依存度大幅攀升至45.3%。现阶段开发煤层气,不仅能够增加清洁能源供给,还能降低煤层开采风险,因此受到各方高度重视。本文通过一系列的实验,探索将CO₂注入煤层中,驱替煤层气主要成分CH₄的方法及关系。

2 煤层气及二氧化碳简介

2.1 煤层气

煤层气俗称“瓦斯”,是指储存在煤层中以甲烷为主要

成分,以吸附态、游离态和溶解态三种形式储集在煤的孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体^[2]。其中处于吸附态的甲烷占总量的80%以上,煤层气是一种较好的工业、化工、发电和居民生活燃料。中国煤层气资源丰富,埋深2000m的浅煤层气地质资源量约36万亿m³,可采资源总量约10万亿m³。

2.2 二氧化碳

二氧化碳分布广泛,既有独立天然二氧化碳气、伴生气田,也有游离于空气中的二氧化碳气、溶解于各种液体中的二氧化碳,还有各种燃烧、化学反应的二氧化碳。它是一种具有较强的保温性能的温室效应气体。一般来讲,大气中的二氧化碳只占到空气总量的0.03%,二氧化碳在各地质介质中都表现出了较好的吸附性。

3 煤层气主要开发方式及二氧化碳驱替煤层气机理

3.1 开采方式

煤层气的开采一般有两种方式：一是地面钻井常规开采；二是井下瓦斯抽放系统抽出，开采出的煤层气（瓦斯）都可作为清洁能源利用。地面钻井常规开采主要采用排水降压驱气法或注水驱气法，由于煤层的低渗透性，使用排水降压法抽采时压力降低，部分能量流失，难以利用其天然能量实现从储层到井筒的运移，抽采效率较低；而注水驱气法则会因为注入的水流会封闭煤层中的微孔与微裂隙而降低产出率。

3.2 二氧化碳驱替煤层气机理

由于气体的沸点各不相同，与煤分子之间的分子间作用力也不同，一般来说，沸点越高，被吸附能力越好^[1]。当二氧化碳和甲烷同时存在于煤基质中时它们之间会产生竞争吸附现象，二氧化碳气体置换甲烷气体的实质是用游离态二氧化碳在竞争吸附中的优势夺取甲烷原本吸附的位置，使得原本处于吸附态的甲烷转化为游离态。

4 二氧化碳驱替煤层气实验研究

4.1 实验条件

本文采用毫米级以下的煤粉颗粒和 0.2m × 0.1m × 0.1m 的大尺寸煤样（制成相同的两份 1 号煤样、2 号煤样），在给定压力及驱替压力条件下，进行注 CO₂ 驱替煤层中 CH₄ 试验研究。实验材料选择中国陕西东胜煤田的不黏结煤和平衡水，实验条件设置为温度 25℃。

4.2 对煤粉的实验步骤及结果

4.2.1 实验步骤

将煤样破碎后制备成毫米级以下的颗粒状煤粉。完成平衡水测定，将煤样均匀分成每份 100g 的两份。取其中一份密封后装入全自动等温吸附仪箱中进行 Langmuir 常数的测定后进行 80%CH₄+20%CO₂ 的二元气体的等温吸附解吸实验。取另一份煤粉，将通入的气体换成甲烷气体，恒压连续通入 24h 以上并静置 12h 后，将箱中处于游离态的甲烷排出并测定其体积。关闭出气口恒压连续注入二氧化碳气体，使其与甲烷在煤体内可以充分竞争吸附置换，最后开启出气口收集产气，分析气体成分与含量，记录实验数据并绘图。

4.2.2 实验结果

首先利用全自动等温吸附仪对二氧化碳和甲烷的 Langmuir 常数进行测定，结果见表 1。

表 1 二氧化碳和甲烷的 Langmuir 常数

Langmuir 常数	CO ₂	CH ₄
V _L (g/cm ³)	47.84	35.69
P _L (Mpa)	0.79	1.54

然后进行 80%CH₄+20%CO₂ 二元气体的等温吸附实验、等温解吸实验，测定出样品室中混合气体的平衡压力以及在平衡压力下的游离气体化学组分浓度。

表 2 二氧化碳与甲烷的同等温吸附解吸实验中游离相组分浓度

P(平衡) Mpa	9.14	8.21	7.22	6.19	5.21	4.17	3.23	2.18	1.18	0.22
X(CH ₄)	83.65	83.54	82.85	82.15	81.77	81.63	81.26	80.78	80.16	78.47
X(CO ₂)	16.35	16.46	17.15	17.85	18.23	18.37	18.74	19.22	18.94	21.53

利用公式 $\alpha = \frac{(V_L / P_L)_i}{(V_L / P_L)_j}$ 得出分离因子 α 约等于 2.6126。

设游离态组分浓度为 X，吸附态组分浓度为 Y，有 $\frac{X(CH_4)}{X(CO_2)} = \alpha \frac{Y(CH_4)}{Y(CO_2)}$ ，Y(CH₄)+Y(CO₂)=1，可计算出吸附相组分浓度、吸附量，绘制压力与体积关系图。

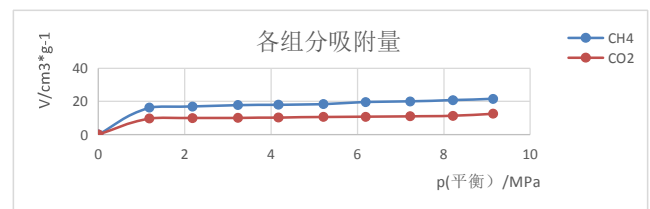


图 1 甲烷与二氧化碳吸附相压力与体积关系图

对比表 2 与图 1 可以发现，二氧化碳和甲烷在煤基质中的吸附性能存在着差异，它们之间会发生竞争吸附，且甲烷处于劣势，因此注入二氧化碳可以提高甲烷的相对解吸速率，实现置换甲烷气体的目的。

4.3 对煤样的实验步骤及结果

4.3.1 实验步骤

将 0.2m × 0.1m × 0.1m 的 1 号煤样封装在三轴渗透驱替试验装置中，在始终保持轴压大于围压的条件下，让轴压与围压分级交替加载至设定值。关闭出气口，以设定压力向试样中持续 24h 以上注入甲烷，保持 12h 左右，令甲烷在煤样孔隙中充分渗透吸附。打开出气口，排出游离态的甲烷气体并测量排放体积；然后关闭出气口，从注气口以设定压力注

入二氧化碳,持续注入24小时以上,测量并记录注入体积,最后开启出气口,收集产气并分析气体的成份与各自所占的百分比含量。

4.3.2 实验结果

1号煤样在4Mpa驱替压力,0.5Mpa注气压力下,注入CH₄稳定后,持续通入CO₂24h后,测定CH₄的解吸量(图2)。结算出CO₂/CH₄置换体积比为6.78。

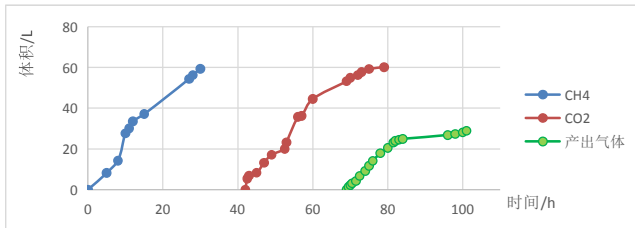


图2 4Mpa 驱替压力下注入气体与产出气体关系图

改变驱替压力,分别在5Mpa、6Mpa、7Mpa、8Mpa条件下,保持0.5Mpa注气压力不变,重复进行1号煤样所做的实验,测定CH₄的解吸量,结算出CO₂/CH₄置换体积比。

表3 不同驱替压力下二氧化碳与甲烷注入体积与产出体积对比表

驱替压力	气体类型	注入体积 (L)	产出体积 (L)	吸附体积 (L)	驱替比
4MPa	CH ₄	59.3	5.4	53.9	6.78
	CO ₂	60.1	23.5	36.6	
5MPa	CH ₄	59.6	6.2	53.4	6.35
	CO ₂	60.1	20.7	39.4	
6MPa	CH ₄	59.1	6.7	52.4	6.17
	CO ₂	59.5	18.2	41.3	
7MPa	CH ₄	60.4	7.1	53.3	5.96
	CO ₂	59.9	17.6	42.3	
8MPa	CH ₄	59.2	5.6	53.6	8.45
	CO ₂	59.8	12.5	47.3	

采用2号煤样,保持4Mpa驱替压力不变,将驱替速度分别控制在20L/h、25L/h、30L/h、35L/h、40L/h条件下,重复进行上述所做的实验,测定CH₄的解吸量。

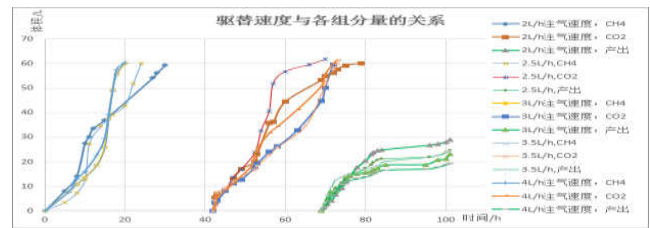


图3 相同驱替压力、不同驱替速度下甲烷与二氧化碳注入量与产出量对比图

这一实验说明,驱替压力、驱替速度、二氧化碳注入量等因素都会影响到二氧化碳对甲烷的驱替效果,驱替压力、驱替速度(流量)、二氧化碳注入量的增大(增加)在一定程度上可以提高驱替效率,存在“∧”型关系。在超过最佳驱替效率对应的压力、速度后,驱替效率将会显著降低。

5 结语

(1) 由于以甲烷为主的煤层气分子量远低于二氧化碳,因此煤层气比二氧化碳活跃,在相同储存介质下,煤层气逸散速度高于二氧化碳,通过注入二氧化碳,增加地层压力,能够实现二氧化碳对煤层气的驱替,提高煤层气采收率。

(2) 不同地区不同层系煤层气的含气量、孔渗性、地层孔隙流体压力不同,因此最佳的驱替压力、驱替速度、二氧化碳注入量不同,为提高开发效益,应提前通过矿场试验获得相关注入参数。

参考文献

- [1] 张新民,赵靖舟等.中国煤层气技术可采资源潜力[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 梁卫国,吴迪,赵阳升.CO₂驱替煤层CH₄试验研究[J].岩石力学与工程学报.2010,29(4).665-673.
- [3] 王首同.CH₄-CO₂催化重整对煤层气利用的意义及应用原理[N].科技创新导报.2010.50.