

文章编号: 1001-1986(2004)03-0027-03

# 我国煤储层煤层气解吸特征

李小彦<sup>1</sup>, 司胜利<sup>2</sup> (1. 煤炭科学研究院西安分院, 陕西 西安 710054;  
2. 云南省煤田地质局, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 通过大量煤层气勘探井试验测试, 对我国各时代不同煤级煤在储层温度和常压条件下气体解吸试验结果进行了系统研究, 分析了解吸过程中气体析出的变化规律及煤层气解吸参数的变化态势, 探讨了我国煤层气解吸特征的变化, 为煤层气采收率研究提供理论依据。

**关键词:** 气含量; 吸附时间; 解吸特征; 煤储层

中图分类号: P 618.11 文献标识码: A

## 1 引言

从 2002 年 11 月召开的第三届全国煤层气研讨会上获悉<sup>[1]</sup>, 我国已施工地面煤层气井 212 口, 建成煤层气井组 10 个, 获得了第一批煤层气探明地质储量  $1023 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 打出单井稳定日产气量 6 000~7 900  $\text{m}^3$  的高产煤层气井。笔者有幸参与勘探试验, 对我国主要煤层气勘探区数十口参数井进行气含量测试, 取得了第一手基础资料。

勘探试验井主要分布在我国东北辽宁铁法( $J_3$ )、云南曲靖恩洪( $P_2$ )、安徽新集、山西阳泉、屯留、晋城、大宁等矿区( $C-P$ ), 涉及到 4 个主要成煤期和不同变质程度烟煤和无烟煤煤级, 煤层埋深大多在 400~800 m 以浅, 解吸样品均来自于绳索取心, 气含量测试采用美国矿业局直接法<sup>[2]</sup>和煤层气行业测试规范。煤层气勘探多集中在华北地区中—高煤级煤层中, 本文兼顾地质条件和煤级, 试图得出规律性认识。

## 2 煤层气基本特征

由于成煤地质条件差异、煤岩组成差异、煤储层介质的非均质性和各向异性, 不同煤层的气含量大小不一, 解吸过程中解吸量、损失量、残余量、吸附时间、解吸速率等参数表现出明显的差异性。笔者用这些量化参数来表征我国煤储层解吸特征。

### 2.1 煤层气含量变化

赋存在煤层中的气体呈吸附态, 随煤层埋深增大, 温度压力增大, 煤级增高, 生气量增大。煤的吸附试验显示, 褐煤时朗格缪尔体积最小( $10 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), 至肥煤阶段吸附量缓慢增加, 焦煤后快速增加, 2 号无烟煤时达到最大值( $60 \text{ cm}^3/\text{g}$ )。

对各时代不同煤级煤层的实际测试, 低煤级烟煤(新集)气含量为  $4.92 \text{ cm}^3/\text{g}$ , 到高煤级无烟煤(晋城大宁)气含量可达  $31.38 \text{ cm}^3/\text{g}$ ; 峰值出现在  $7 \sim 8 \text{ cm}^3/\text{g}$ , 分布在  $6 \sim 8 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间的频率占 30%。煤层气含量主要受控于煤级<sup>[3]</sup>, 其次煤层埋深、煤岩组成、储层压力等多种地质因素对气含量也有影响, 我国煤层气含量分布频率如图 1。

### 2.2 煤层甲烷含量

研究表明, 煤层气的成因类型有 3 种: 生物气、次生生物气和热解气。气成分以甲烷为主, 含有少量  $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2+$ 、 $\text{H}_2$  等成分, 低煤化阶段氮气相对高, 并有微量重烃气, 中高煤化阶段甲烷百分含量达 80% 以上, 整个煤化作用过程二氧化碳的比例无明显变化。甲烷含量与煤级表现出较好的线性关系<sup>[3]</sup>; 369 个解吸气甲烷浓度统计分析认为, 煤层气中甲烷浓度变化为 70%~99%, 峰值分布在 96%~97% 之间。(图 2)

### 2.3 煤层气吸附时间

煤层气解吸得到的吸附时间参数, 反映了气体在煤层中的扩散速度大小。125 个解吸样品的吸附时间最小仅几小时, 最大可达 35.64 d, 峰值分布在  $10 \sim 11 \text{ d}$ , 分布在  $0 \sim 16 \text{ d}$  之间的频率占 89%。(图 3)

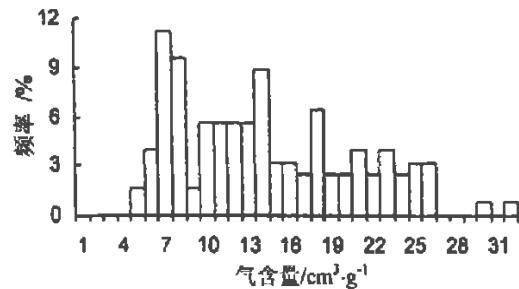


图 1 我国部分煤层气含量分布直方图

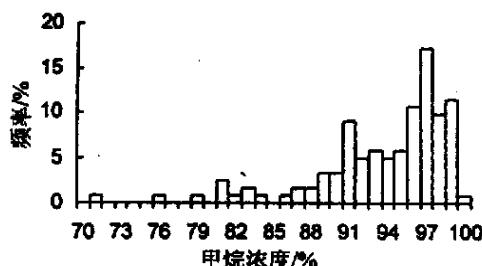


图 2 我国部分煤层甲烷浓度分布直方图

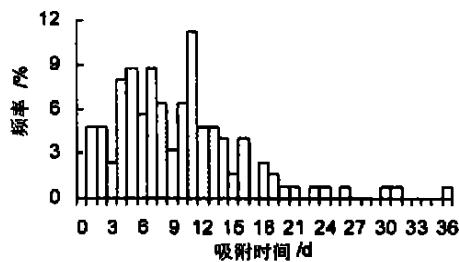


图 3 我国部分煤层吸附时间分布直方图

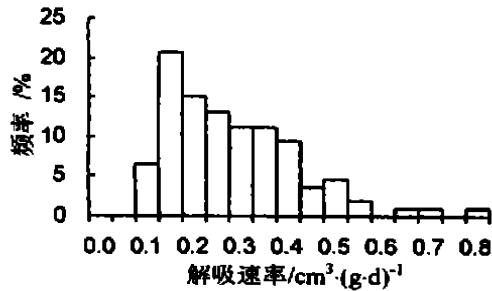


图 4 我国部分煤层解吸速率分布直方图

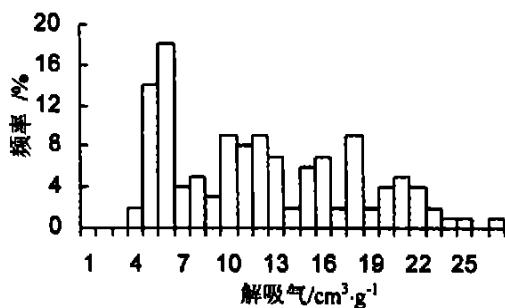


图 5 我国部分煤层解吸气量分布直方图

解吸样品的吸附时间变化与煤级没有明显的关系,更直接地与煤层的裂隙发育程度有关,裂隙控制着煤的块度<sup>[4]</sup>,裂隙的间距决定了气体的扩散距离,块度越小气体扩散运移的路径越短,扩散运移速度越快;裂隙的开度、长度、连通性控制着气体的流量。

#### 2.4 煤层气解吸速率

单位时间和单位重量样品的解吸量称之为“解吸速率”。107 个样品的计算发现,我国部分煤层的解吸速率大多在  $0.06 \sim 0.79 \text{ cm}^3/\text{g} \cdot \text{d}$  之间,峰值出现在  $0.1 \sim 0.15 \text{ cm}^3/\text{g} \cdot \text{d}$ ,占样品总数的 22.4%。大于  $0.5 \text{ cm}^3/\text{g} \cdot \text{d}$  的样品很少(图 4)。可以看出,吸附

时间和解吸速率互为逆关系。

### 3 煤层气解吸特征

解吸—吸附是一动平衡过程,降低储层压力时,气体从煤中自然解吸,直到达到常压条件气体解吸殆尽。赋存在煤层中的气体,通过解吸试验可以得到定量描述。

#### 3.1 解吸气变化特征

自然解吸过程与时间和气体的分压有关,气体解吸随时间推移压力降低,解吸量与时间、压力之间呈非线性变化,可用 Langmuir 方程来描述。

煤心样品的解吸量变化随煤级变化,解吸率(解吸量占总气含量的百分比)与煤级呈正相关关系,我国煤层气解吸量变化在  $3.50 \sim 26.11 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间,占总气含量的 70%~95%,平均可达 80% 上;解吸气峰值分布在  $4 \sim 6 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间,占总气含量的 25%(图 5)。

#### 3.2 损失气变化特征

损失气利用直接法计算得到。低煤级阶段,煤层孔隙度高,煤孔隙结构中大孔、中孔所占比例较大,解吸初期气体扩散速率快,损失气含量高,占总气含量的 20% 左右;高煤级阶段,煤中微孔比例增大,气体扩散速率减慢,损失气含量相对降低,占 5% 左右。损失量变化在  $0.03 \sim 3.24 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间,峰值分布在  $0.1 \sim 0.2 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间,分布频率占总气含量的 31%(图 6)。

#### 3.3 残余气变化特征

残余气含量随煤级增高而增大;有研究认为,影响残余气的因素除原地气含量以外,还与储层压力有关<sup>[5]</sup>。在极其破碎的煤中,残余气几乎测不到,因为煤样的几何形态已接近残余气测试要求的下限,气体已逸散殆尽。

我国煤层气残余量变化在  $0.0 \sim 3.90 \text{ cm}^3/\text{g}$  之间,在总气含量中一般小于 10%。残余量有 2 个峰值,分别分布在  $0.0 \sim 0.05 \text{ cm}^3/\text{g}$  和  $1.9 \sim 2.0 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,频率达 20%(图 7)。前者主要为构造煤和破碎煤,

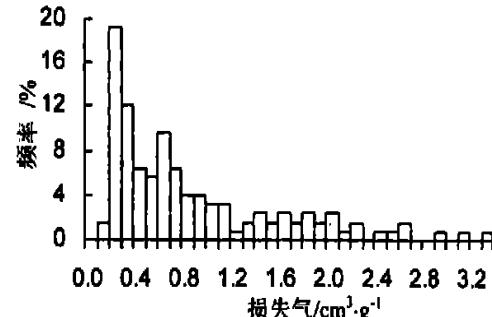


图 6 我国部分煤层损失气量分布直方图

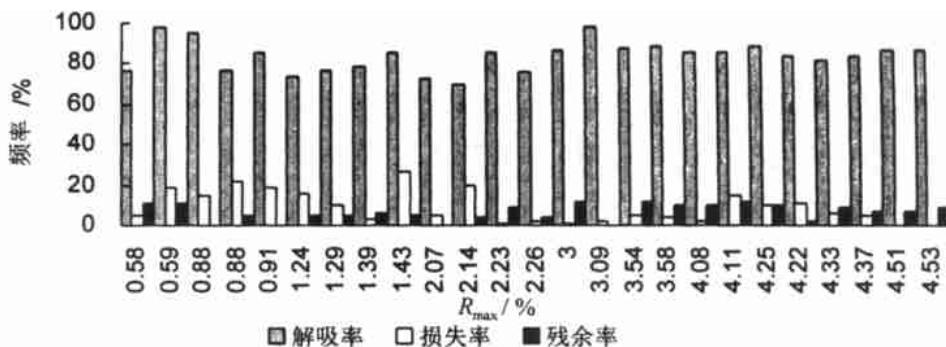


图 8 煤层气解吸气 损失气 残余气随煤级的变化

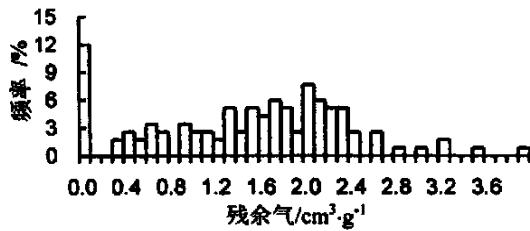


图 7 我国部分煤层残余气量分布直方图

残余气量很低; 后者为原生结构煤, 残余气量较高。

#### 4 结果讨论

理论上, 煤层气的解吸量代表了可从煤层中产出的气体量, 实际上由于地质因素的作用, 煤层气产量应低于解吸量。关于煤层气的采收率是开发最为关注的问题。据傅雪海等研究<sup>[6]</sup>, 气含量由4部分(解吸气、损失气、粉碎前脱气、粉碎后脱气)组成时, 我国煤层甲烷解吸率(损失气和解吸气占总气量的百分比)变化在9.1%~59.0%。本文基于3个阶段(解吸气、损失气、残余气)时, 研究我国煤层气解吸率(解吸气占总气量的百分比)达80%以上, 损失气在20%~5%, 残余气在10%以下(图8)。

如果把损失气与解吸气之和与总气含量之比称之为解吸率, 认为它是理论上可从煤层中开采出来的, 代表煤层气的回采率, 即解吸率与残余率互为消长关系。研究证明:

a. 我国煤层气基本特征: 气含量受控于煤级, 从长焰煤到无烟煤为4~31  $\text{cm}^3/\text{g}$ , 分布在峰值6~8  $\text{cm}^3/\text{g}$ 处的频率占30%。煤层气中甲烷浓度变化为65%~99%, 峰值分布在96%~97%之间。吸附时

间受控于心样块度, 块度小的煤解吸路径短而吸附时间小; 我国煤层气吸附时间多在0~16 d。解吸速率与吸附时间为互逆关系, 解吸速率大则吸附时间小; 我国煤层气解吸速率多在0.1~0.4  $\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{d}$ 。

b. 煤层气解吸特征: 随煤级增高解吸气增大, 变化在3.50~26.11  $\text{cm}^3/\text{g}$ , 占总气含量的80%, 损失气减小, 变化在0.03~3.24  $\text{cm}^3/\text{g}$ , 占总气含量的10%左右, 残余气增大, 变化在0.0~3.90  $\text{cm}^3/\text{g}$ , 在总气含量中不超过10%。

c. 不考虑地质因素影响, 根据实际解吸率达80%以上, 则理论上煤层气开采应有较高的采收率。

煤层气的可采性受气藏深度、地质条件、储层性质、技术经济条件等多因素制约; 如果单从煤储层来说, 煤层气解吸特征对采收率非常重要, 则在自然条件下可解吸出来的气量越大, 煤层气可采性越好, 理论采收率越大。了解我国煤层气解吸特征, 对于研究煤层气可采性、煤层气采收率、气井产能预测有重要的指导意义。

#### 参考文献

- [1] 张新民. 第三届全国煤层气学术研讨会于2002年11月在昆明召开[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(1): 59.
- [2] Mcclennan J D, Schafer P S, Pratt T J. A Guide to Determining Coalbed Gas Content, Gas Research Institute Report No, GRI-94/0396[R], Chicago, Illinois(1995). Available from AAPG.
- [3] 李小彦等. 我国煤层气成分的变化与时空分布[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(6): 22~24.
- [4] 李小彦等. 煤储层吸附时间参数变化及影响因素[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 502~505.
- [5] 张群, 杨锡禄. 煤中残余气含量及其影响因素[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(5): 26~28.
- [6] 傅雪海, 秦勇. 中国部分煤储层解吸特性及甲烷采收率[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(2): 19~21.

#### Coalbed gas desorption characteristics of coal reservoir in China

LI Xiao-yan<sup>1</sup>, SI Sheng-li<sup>2</sup> (1. Xi'an Branch, CCRI, Xi'an 710054, China;

2. Yunnan Provincial Coalfield Geology Bureau, Kunming 650034, China)

**Abstract:** A large sum of gas desorption results from different coal rank and different age coals in China, measured under reservoir temperature and atmospheric pressure, are systematically researched. And gas desorption regularities and variation pattern of gas desorption parameters during gas desorption processes are analyzed, as well as the gas desorption characteristics of coal seams in China are discussed, providing basic theoretical foundation for improving coalbed gas production rate.

**Key words:** gas content; adsorption time; desorption characteristics; coal reservoir