

· 煤层气 ·

# 煤中残余气含量及其影响因素

张 群 杨锡禄 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

**摘要** 煤中残余气是煤层气的一个组成部分,其含量直接影响到煤层气含量和煤的含气饱和度。本文对不同地区、各种煤级的近 100 个煤心煤样的残余气含量测试结果进行了综合分析研究,找出了煤中残余气含量的分布变化规律,探讨了其影响因素。结果表明:不同煤的残余气含量不相同,变化范围为  $0 \sim 3 \text{ m}^3/\text{t}$ ;残余气在煤层气中占的比例变化很大,为  $1.5\% \sim 30.0\%$ ;残余气含量的高低受煤级、灰分和煤样粒度等因素影响,煤级和灰分越高,残余气含量亦越高。

**关键词** 煤 残余气含量 煤级 灰分

**中国图书资料分类法分类号** P618.11

**作者简介** 张群 男 41 岁 高级工程师 博士研究生 煤岩学

## 1 引言

煤层气含量是评价煤层气储层特征的重要参数之一,是决定一个地区煤层气资源能否进行商业化勘探开发的先决条件。根据目前煤层气勘探中常用的取心方式,煤层气含量为损失气、解吸气和残余气含量三部分之和。关于煤层气含量,国内的工作主要着重于损失气和解吸气,而对不同煤残余气含量分布规律的研究工作开展很少。据美国报道的许多实例(GRI, 1996),残余气含量在煤层气含量中占有重要的比例,影响煤的含气饱和度,因此分析和研究残余气具有重要的意义。本文通过对采自不同地区、各种煤级近 100 个煤心煤样的残余气含量测试结果进行综合分析研究,找出了煤中残余气含量的分布变化规律,探讨了其影响因素。这项工作对于煤层气资源评价和实验室相关试验结果的质量评价具有一定的实用价值。

## 2 试验方法

残余气含量是指煤样在解吸罐中的常规解吸试验结束之后仍然残留在煤中的那一部分煤层气的含量。本文采用的煤层气含量测试方法是参照美国天然气研究所推荐的方法(GRI, 1995),与我国早年使用的煤矿瓦斯含量测试方法区别很大。残余气含量测试方法是:在解吸试验结束之后,选择有代表性的煤样  $400 \sim 500 \text{ g}$ ,装入球磨罐中密封,破碎到

$0.2464 \text{ mm}$ (60 目)以下。然后将球磨罐放入恒温装置中,待恢复到储层温度后按规定的時間间隔,反复进行气体解吸,记录量筒中解吸出的气体体积,以及相应的大气温度、压力和解吸时间。当连续 7 天解吸的气体平均小于或等于  $10 \text{ ml/d}$ ,则残余气测试工作结束。

同时,对煤样进行工业分析和镜质组反射率测定。

## 3 结果与讨论

95 个煤心煤样的各种测试综合结果见表 1。

### 3.1 煤中残余气含量与煤层气含量之间关系

由表 1 和图 1 可见,不同煤的残余气含量不相同,变化范围为  $0 \sim 3 \text{ m}^3/\text{t}$ 。随着煤层气含量增加,残余气含量增高,两者呈正相关关系,相关系数  $r$  为 0.790。残余气含量在煤层气含量中所占的比例,不同的煤变化很大,(图 2)为  $1.5\% \sim 30.0\%$ ,但总体变化趋势是,在煤层气含量低的煤中,残余气占的百分含量较高,反之则较低。

### 3.2 影响煤中残余气含量的地质因素

相关分析结果认为,煤中残余气含量大小受煤级、灰分和煤心尺度等因素影响,具体情况如下:

#### 3.2.1 残余气含量与镜质组反射率之间的关系

图 3 显示,残余气含量随着煤的镜质组反射率增大而增高,两者呈良好的正相关关系,相关系数  $r$  为 0.782,表明残余气含量受煤级影响,随着煤级增

表 1 残余气含量、工业分析和煤岩测试综合结果

样品 编号	样品 数量	水分 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_d/\%$	镜质组 反射率 $R_{max}\%$	残余气含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$		煤层气含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	
					$G_{r,ad}$	$G_{r,daf}$	$G_{ad}$	$G_{daf}$
1~12	12	3.52~5.12	11.36~30.20	0.56~0.60	0.15~0.71	0.18~1.08	2.65~6.95	4.53~8.90
13~23	11			0.85~0.98	0.18~0.28		2.05~3.69	
24~35	12	1.00~1.96	7.38~34.00	0.88~0.91	0.8~1.48	1.10~1.93	3.82~9.49	6.77~10.61
36~43	12	0.50~0.70	6.84~32.20	1.46~1.70	0.75~1.40	1.19~1.56	8.86~13.25	10.44~14.92
44~48	5	0.50~0.70	6.84~32.20	1.95~2.09	1.36~2.09	1.50~2.46	9.06~9.62	10.10~11.45
49~51	3	1.10~1.18	9.91~11.40	2.14~2.25	0.76~1.09	0.90~1.25	6.38~12.02	7.54~13.74
52~58	7	1.02~1.19	6.41~21.10	2.06~2.09	1.73~2.32	1.93~2.54	5.96~9.29	6.66~10.11
59~76	18	0.76~0.94	7.39~24.30	2.21~2.23	0.60~1.11	0.69~1.38	8.16~11.88	10.59~13.88
77~79	3	0.48~0.55	21.5~38.6	2.12	1.13~1.51	1.45~2.48	12.63~13.06	16.76~20.72
80~95	16	0.48~1.16	8.71~38.60	2.12~3.01	1.13~2.55	1.45~2.48	12.63~21.85	16.76~25.30

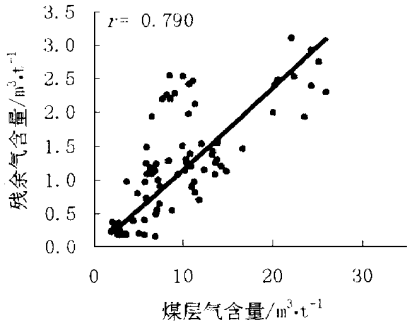


图 1 残余气与煤层气含量的关系

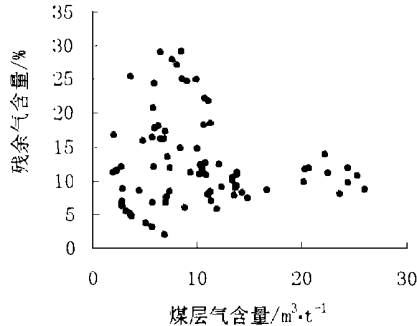


图 2 残余气在煤层气含量中的比例

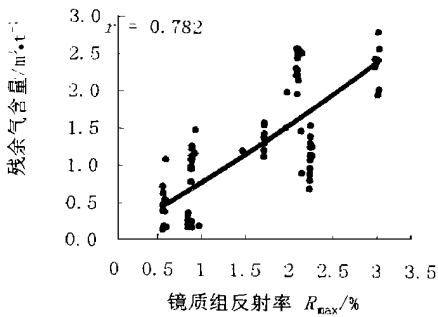


图 3 残余气含量与镜质组反射率的关系

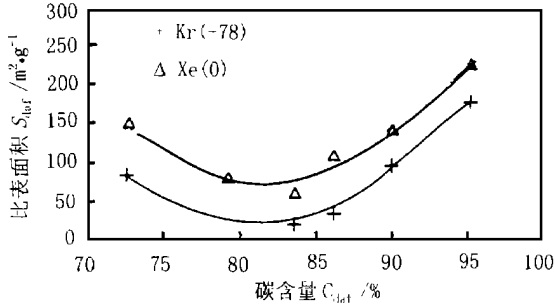


图 4 煤的比表面积与碳含量的关系  
(据 Walker 和 Kini, 1965)

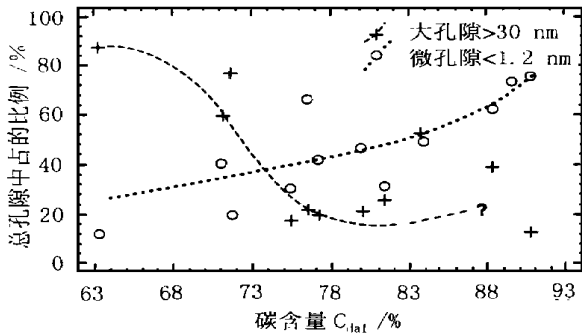


图 5 煤中大孔隙和微孔隙相对含量与碳含量的关系  
(据 Gan 等, 1972)

加,残余气含量增高。

根据 Walker 和 Kini 以及 Gan 等( 1972) 对煤的孔隙结构和比表面积研究结果,( 图 4 和图 5) 笔者认为,煤中残余气含量与煤级之间存在的这种正相关关系主要是由于煤级增加导致煤的孔隙结构和比表面积发生相应变化产生的结果。煤是具有基质孔隙和裂隙的双重孔隙介质,煤层气主要以吸附状

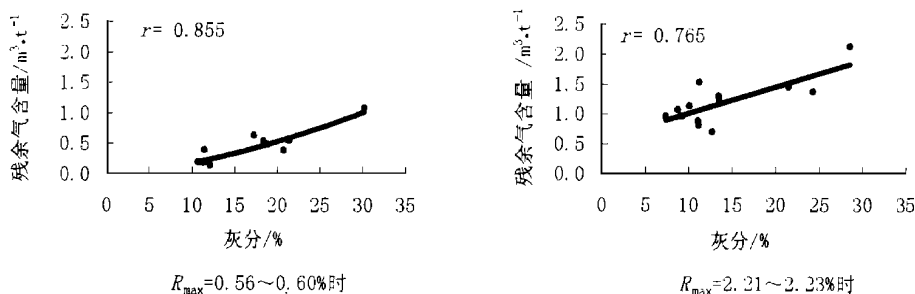


图 6 残余气含量与灰分的关系

态赋存于煤基质孔隙中,以扩散方式在其中运移。低煤级煤,虽然比表面积大,但以大孔隙( $>30\text{ nm}$ )为主,气体在煤基质中运移受到的扩散阻力较小,容易从煤中解吸出来,因而残余气含量低。随着煤级的增加,煤中微孔隙( $<1\text{ nm}$ )数量增多,在孔隙中逐渐占主导地位,煤的比表面积增大,吸附储集气体的能力增加,但气体在煤基质中运移受到扩散阻力越来越大。随着常规解吸试验的进行,煤基质中气体浓度逐渐减小,产生扩散的驱动力——浓度梯度亦随之减小,越来越多的气体难以克服微孔隙产生的扩散阻力,不能从煤中解吸出来。因而随着煤级的增加,煤中的残余气含量逐渐增高。

### 3.2.2 煤中残余气含量与灰分之间的关系

图 6 表明,随着煤中灰分的增加,残余气含量逐渐增高,两者呈较好的正相关关系。相关程度随地点和煤级不同有所差异,在镜质组反射率为 0.58% 和 2.20% 的煤中,其相关系数分别为 0.855 和 0.765。这些关系说明,煤中残余气含量不仅受煤级控制,也受煤中灰分影响。通过煤岩学和扫描电子显微镜研究,初步认为,这是因为煤中存在的细小矿物如粘土矿物等充填在煤的孔隙中,不同程度地阻碍了气体的运移通道,使气体在煤中扩散运移的能力减弱,不利于气体从煤中解吸出来所致。

### 3.2.3 煤心煤样的尺度大小对煤中残余气含量的影响

在大量的解吸试验工作中发现,当煤心煤样破碎呈碎粒状或粉状时,煤的残余气含量都很低;而柱状或块状的煤心煤样,残余气含量明显较高。不论煤的煤级高低或煤层气含量高低,这一现象普遍存在,说明煤心煤样的尺度大小对残余气含量有一定影响。当煤样破碎呈粒状或粉状时,气体在煤中的扩散

距离缩短,扩散阻力减小,使得在柱状和块状煤样情况下不能解吸出来的一些气体解吸出来,因而破碎呈粒状或粉状的煤样中残余气含量普遍较低。

另外,煤的显微组分组成对煤的残余气含量也可能有一定的影响,因为不同的显微组分,孔隙结构不同,扩散系数亦有差异。

## 4 结论

通过上述分析研究,获得如下结论:

- 不同煤的残余气含量不相同,变化范围为  $0 \sim 3\text{ m}^3/\text{t}$ 。残余气在煤层气中占的比例变化很大,为 1.5%~30.0%。
- 煤中残余气含量的高低受煤级、灰分和煤心尺度等因素影响。煤级和灰分越高,残余气含量亦越高。

本文编写得到煤炭科学研究总院西安分院煤层气中心实验研究室和评价室的大力支持,在此深表谢意。

## 参考文献

- Gas Research Institute. A guide to coalbed methane reservoir engineering. GRI Reference No. GRI-94/0397. Published by Gas Research Institute, Chicago, Illinois, U.S.A, 1996.
- Gas Research Institute. A guide to determining coalbed gas content. GRI Reference No. GRI-94/0396. Published by Gas Research Institute, Chicago, Illinois, U.S.A, 1995.
- Walker P L, Kini K A. Measurement of the ultrafine surface area of coals. Fuel, 1965;44:453~459
- Gan H, Nandi S P, Walker P L. Nature of the porosity in American coals, Fuel, 1972;51:272~277

# 煤等温吸附特性测试中体积校正方法探讨

崔永君 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

**摘要** 首先肯定了在等温吸附测试过程中,计算吸附量时应进行体积校正,然后论述了原体积校正方法,认为采用原公式有一定的试验条件,并提出可以分别利用直接法和间接法求出真实吸附量。直接法是利用质量守恒定律,把吸附相体积作为考虑对象直接放在方程中求出真实吸附增量  $\Delta V_s$ ,间接法仍以原校正方法为思路,但先对视吸附增量进行修正得到  $\Delta V_{a修}$ ,再利用原校正公式求出  $\Delta V_s$ 。同时指出校正方法基于两个假设条件:即煤体积随吸附过程保持不变;和吸附相密度为恒定值。

**关键词** 煤 甲烷 吸附相 体积 校正

**中国图书资料分类法分类号** O 647.32

**作者简介** 崔永君 男 30 岁 硕士 工程师 煤岩学煤化工

## 1 引言

在煤对甲烷的吸附过程中,吸附质(甲烷)被吸附剂(煤)以物理吸附方式形成吸附相(sorbed phase),处于吸附相状态的甲烷分子其物理性质发生显著变化,尤其吸附相密度( $\rho_{\text{sorbed}}$ )远高于自由气体密度( $\rho_{\text{free}}$ )。在物质量相同的条件下,以被吸附状态存在的甲烷体积和以自由气体状态存在的体积相比,吸附相体积小得多,但它的存在是一个客观事实。

煤对甲烷等温吸附特性的测试方法,一般采用静态法,按方式它又分为容量法和重量法。以常用的容量法为例,在测试煤对甲烷的吸附特性时,一般用氦气作为测量气体先测出煤的体积,(因为氦气是惰性气体,不被煤吸附)再利用系统总空间体积减去煤体积得到自由空间体积或死体积(freevolume)。随着吸附的进行,吸附相将占据部分自由空间体积,也

就是说自由空间体积实际在不断减小,处于变化状态。事实证明在求不同压力点下吸附量或吸附常数(兰氏体积、兰氏压力)时,如果不考虑吸附相体积引起自由空间体积的变化,将会导致计算结果出现偏差,进而会影响到对煤的吸附能力、临界解吸压力、含气饱和度以及产气量等参数的正确判断。对于重量法而言,同样会出现这种问题,虽然在数据处理过程中不需考虑吸附相体积对自由空间体积的影响,但是要利用它和煤体积之和,准确求出煤样所受到的浮力。因此作者认为在测试过程中,应对吸附相体积的影响加以考虑,对数据进行校正,一般称之为体积校正(Volume Correction)。因为国内外现有测试设备以容量法为主,本文即以容量法作为讨论对象。

## 2 校正公式的推导

目前所采用的校正公式最早是 Sommen J,

## Residual Gas In Coals And Control Factors

Zhang Qun Yang Xilu (Xian Branch of China Coal Research Institute)

**Abstract** Residual gas is one part of coalbed gas and has an impact on gas saturation in coal. This paper has analyzed and researched residual gas, proximate analysis and coal petrology measurements of approximate 100 coal core samples with different rank and from different places. It has been concluded that residual gas contents in coals are different with wide range from 0 to 3 m<sup>3</sup>/t. The ratios of residual gas content to coalbed gas content are greatly variable from 1.5% to 30.0%. Residual gas content is controlled by coal rank, ash content, coal core size and so on. It is directly proportional to coal rank and ash content.

**Keywords** coal; residual gas content; coal rank; ash constituent