



中华人民共和国国家标准

GB/T 19560—2025

代替 GB/T 19560—2008

煤的高压等温吸附试验方法

Experimental method of high-pressure isothermal adsorption to coal

2025-08-01 发布

2025-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 方法提要 1

5 仪器设备 1

 5.1 平衡水分测定 1

 5.2 等温吸附装置 1

6 试剂或材料 2

7 样品的制备与平衡水分测定 2

 7.1 制样 2

 7.2 工业分析 2

 7.3 平衡水分测定 3

8 试验步骤 3

 8.1 试样装缸 3

 8.2 气密性检查 3

 8.3 自由空间体积测定 3

 8.4 等温吸附试验 4

9 数据处理 4

 9.1 煤样的体积和自由空间体积计算 4

 9.2 各压力点吸附量计算 5

 9.3 朗格缪尔体积(V_L)和朗格缪尔压力(p_L)计算 6

 9.4 等温吸附曲线绘制 6

10 精密度..... 6

 10.1 重复性限 6

 10.2 再现性限 6

11 试验报告..... 6

 11.1 附录 6

 11.2 试验结果 6

附录 A（规范性） 等温吸附试验报告 7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 19560—2008《煤的高压等温吸附试验方法》，与 GB/T 19560—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了等温吸附设备示意图(见 5.2)；
- b) 增加了对试剂的要求(见 6.2)；
- c) 更改了平衡水分计算公式(1)(见 7.3.3, 2008 年版的 6.3.3)；
- d) 增加了部分章节标题(见 8.3.4、8.3.5、8.4.6、11.1)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国煤炭工业协会提出。

本文件由全国煤炭标准化技术委员会(SAC/TC 42)归口。

本文件起草单位：中煤科工西安研究院(集团)有限公司、西安煤科检测技术有限公司、中海油能源发展股份有限公司、易安蓝焰煤与煤层气共采技术有限责任公司、中联煤层气有限责任公司。

本文件主要起草人：林佩瑶、郑玉柱、杨新辉、张庆玲、李育辉、田新娟、马立涛、武杰、姚晋芳、陈召英、孟尚志。

本文件于 2004 年首次发布，2008 年第一次修订，本次为第二次修订。

煤的高压等温吸附试验方法

1 范围

本文件描述了煤的容量法高压等温吸附试验方法。

本文件适用于烟煤和无烟煤对甲烷、二氧化碳等气体吸附能力的测定。褐煤对甲烷、二氧化碳等气体吸附能力的测定参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 212 煤的工业分析方法

GB/T 474 煤样的制备方法

GB/T 31537 煤层气(煤矿瓦斯)术语

3 术语和定义

GB/T 31537 界定的术语和定义适用于本文件。

4 方法提要

将达到平衡水分的一定粒度的煤样样品置于密封容器中,测定其在相同温度、不同压力条件下达到吸附平衡时所吸附的甲烷、二氧化碳等试验气体的体积;根据朗格缪尔单分子层吸附理论,通过理论计算求出表征煤对甲烷、二氧化碳等试验气体吸附特性的吸附常数[朗格缪尔体积(V_L)、朗格缪尔压力(p_L)]以及等温吸附曲线。

5 仪器设备

5.1 平衡水分测定

5.1.1 干燥器。

5.1.2 天平:感量 0.1 mg。

5.1.3 恒温系统。

5.2 等温吸附装置

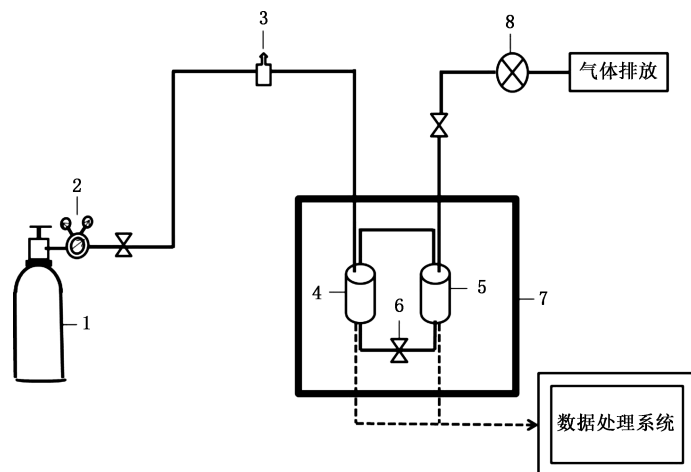
等温吸附设备示意图如图 1 所示:

——样品缸;

——参考缸;

——恒温控制系统:灵敏度 0.3 °C;

- 温度检测系统:温度传感器灵敏度 0.3 ℃;
- 压力监测系统:压力传感器灵敏度 0.001 MPa;
- 数据处理系统:微机及数据处理软件。



标引序号说明:

- 1——高压瓶;
- 2——减压阀;
- 3——增压泵;
- 4——参考缸;
- 5——样品缸;
- 6——阀门;
- 7——恒温装置;
- 8——尾气处理装置。

图 1 等温吸附设备示意图

6 试剂或材料

- 6.1 硫酸钾过饱和溶液。
- 6.2 甲烷、二氧化碳等气体:纯度 99.99%。
- 6.3 氦气:纯度 99.99%。
- 6.4 蒸馏水。

7 样品的制备与平衡水分测定

7.1 制样

按照 GB/T 474 制取粒度为 0.25 mm~0.18 mm(60 目~80 目)的煤样 200 g。

7.2 工业分析

按照 GB/T 212 执行。

7.3 平衡水分测定

7.3.1 称量

称取空气干燥基煤样,样量不少于 35 g。

7.3.2 水分平衡

将称量后的煤样置于干燥器中,均匀加入适量蒸馏水。将装有样品的器皿放入湿度平衡的干燥器中,干燥器底部装有足量的硫酸钾过饱和溶液,每隔 24 h 称量一次,直到相邻两次称量变化不超过试样质量的 2%。

7.3.3 计算

平衡水分计算公式见式(1):

$$M_e = \frac{m_1}{m_2} \times M_{ad} + \left(1 - \frac{m_1}{m_2}\right) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- M_e ——样品的平衡水分含量,%;
- m_1 ——平衡前空气干燥基样品质量,单位为克(g);
- m_2 ——平衡后样品质量,单位为克(g);
- M_{ad} ——样品的空气干燥基水分含量,%。

8 试验步骤

8.1 试样装缸

将达到平衡水分的煤样准确称量,迅速装入样品缸内。

8.2 气密性检查

8.2.1 调节温度

设置并调节系统温度,使样品缸和参考缸的温度稳定在储层温度。

8.2.2 充气

向系统充入氦气,压力高于等温吸附试验最高压力 1 MPa。

8.2.3 采集数据

系统采集参考缸和样品缸的压力数据,压力在 6 h 内保持不变,则视为系统气密性良好。

8.3 自由空间体积测定

8.3.1 调节温度

设置并调节系统温度,使样品缸和参考缸的温度稳定在储层温度。

8.3.2 充气

打开氦气瓶,向系统充入氦气,调节参考缸压力值达到 2 MPa~3 MPa,然后关闭参考缸阀门。

8.3.3 采集数据

打开参考缸阀门与样品缸阀门,待压力平衡后采集一组数据。

8.3.4 重复测定

重复 8.3.2~8.3.3 两次。自由空间体积重复测定 3 次,相邻两次差值应不大于 0.1 cm^3 。

8.3.5 自由空间体积计算

求得煤样的体积,计算出样品缸内自由空间体积。

8.4 等温吸附试验

8.4.1 最高试验压力的确定

最高试验压力通常设置为储层压力的 1.1 倍,且最高试验平衡压力不应低于 8 MPa 。

8.4.2 试验压力点分布

当最高试验平衡压力为 8 MPa 时,试验压力点不少于 6 个。

当最高试验平衡压力大于 8 MPa ,且小于或等于 12 MPa 时,试验压力点不少于 7 个。

当最高试验平衡压力大于 12 MPa 时,试验压力点不少于 8 个。

8.4.3 充气

打开调节阀门和参考缸阀门,向系统充入甲烷气体或其他试验用气体,调节参考缸压力至目标压力。

8.4.4 数据采集

达到目标压力,且温度稳定后,启动等温吸附试验程序自动采集样品缸和参考缸内的时间、压力、温度等相关数据,并将数据记录为数据文件。

8.4.5 吸附平衡时间确定

吸附平衡时间不应少于 12 h。根据煤样的变质程度、样品质量等实际情况确定,可适当延长平衡时间。

8.4.6 重复测定

重复 8.4.3~8.4.5 步骤,自低而高逐个压力点进行试验,直至最后一个压力点试验结束。

9 数据处理

9.1 煤样的体积和自由空间体积计算

煤样的体积计算公式见式(2):

$$V_s = \frac{(p_2 \times V_2)/(Z_2 \times T_2) + (p_3 \times V_3)/(Z_3 \times T_3) - (p_1 \times V_1)/(Z_1 \times T_1)}{p_3/(Z_3 \times T_3) - p_1/(Z_1 \times T_1)} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

V_s ——煤样的体积,单位为立方厘米(cm^3);

p_2 ——参考缸初始压力,单位为兆帕(MPa);
 V_2 ——参考缸体积,单位为立方厘米(cm^3);
 Z_2 ——参考缸初始气体的压缩因子,无量纲;
 T_2 ——参考缸初始温度,单位为开(K);
 p_3 ——样品缸初始压力,单位为兆帕(MPa);
 V_3 ——样品缸体积,单位为立方厘米(cm^3);
 Z_3 ——样品缸初始气体的压缩因子,无量纲;
 T_3 ——样品缸初始温度,单位为开(K);
 p_1 ——平衡后压力,单位为兆帕(MPa);
 V_1 ——系统总体积,单位为立方厘米(cm^3);
 Z_1 ——平衡条件下气体的压缩因子,无量纲;
 T_1 ——平衡后温度,单位为开(K)。

求得煤样的体积,计算出样品缸内自由空间体积。

计算公式如式(3)所示:

$$V_f = V_0 - V_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

V_f ——自由空间体积,单位为立方厘米(cm^3);
 V_0 ——样品缸总体积,单位为立方厘米(cm^3);
 V_s ——煤样的体积,单位为立方厘米(cm^3)。

9.2 各压力点吸附量计算

根据参考缸、样品缸的平衡压力及温度,计算不同平衡压力点的吸附量。

按公式(4)计算:

$$pV = nZRT \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

p ——气体压力,单位为兆帕(MPa);
 V ——气体体积,单位为立方厘米(cm^3);
 n ——气体的物质的量,单位为摩(mol);
 Z ——气体的压缩因子,无量纲;
 R ——摩尔的气体常数,单位为焦每摩开($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$);
 T ——平衡温度,单位为开(K)。

分别求出各压力点平衡前样品缸内气体的物质的量(n_1)和平衡后样品缸内气体的物质的量(n_2),则煤样吸附气体的物质的量(n_i)按式(5)计算:

$$n_i = n_1 - n_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

n_i ——吸附气体的物质的量,单位为摩(mol);
 n_1 ——平衡前样品缸内气体的物质的量,单位为摩(mol);
 n_2 ——平衡后样品缸内气体的物质的量,单位为摩(mol)。

各压力点的吸附气体的总体积(V_i)见式(6):

$$V_i = n_i \times 22.4 \times 1\,000 \quad \dots\dots\dots (6)$$

各压力点的吸附量($V_{\text{吸附量}}$)见式(7):

$$V_{\text{吸附量}} = \frac{V_i}{G_c} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$V_{\text{吸附量}}$ ——吸附量,单位为立方厘米每克($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$);

V_i ——吸附气体的总体积,单位为立方厘米(cm^3);

G_c ——煤样质量,单位为克(g)。

9.3 朗格缪尔体积(V_L)和朗格缪尔压力(p_L)计算

根据朗格缪尔方程:

$$\frac{p}{V} = \frac{p}{V_L} + \frac{p_L}{V_L} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

p ——气体压力,单位为兆帕(MPa);

V ——在压力 p 条件下吸附量,单位为立方厘米每克($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$);

V_L ——最大吸附容量,又称朗格缪尔体积,单位为立方厘米每克($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$);

p_L ——朗格缪尔压力,单位为兆帕(MPa)。

若令 $A=1/V$ 、 $B=p_L/V_L$,可以将公式(8)推导为 p/V 与 p 的函数:

$$\frac{p}{V} = \frac{p}{V_L} + \frac{p_L}{V_L} \text{ 或 } \frac{p}{V} = Ap + B \quad \dots\dots\dots (9)$$

依据公式(9),可将实测的各压力平衡点的压力与吸附量数据绘制为以 p 为横坐标,以 p/V 比值为纵坐标的散点图,利用最小二乘法求出这些散点图的回归直线方程及相关系数(R),进而求出直线斜率(A)和截距(B),根据斜率和截距求出朗格缪尔体积(V_L)和朗格缪尔压力(p_L),即:

$$V_L = \frac{1}{A} \quad p_L = \frac{B}{A} \\ \text{或 } p_L = V_L B \quad \dots\dots\dots (10)$$

9.4 等温吸附曲线绘制

根据各平衡压力点吸附量 V 和压力 p 绘制等温吸附曲线。

10 精密度

10.1 重复性限

平衡水分、 V_L 、 p_L 的重复性限均为 10%。

10.2 再现性限

平衡水分、 V_L 、 p_L 的再现性限均为 15%。

11 试验报告

11.1 附录

报告应符合附录 A 的规定。

11.2 试验结果

V_L 、 p_L 修约到小数点后两位有效数字。

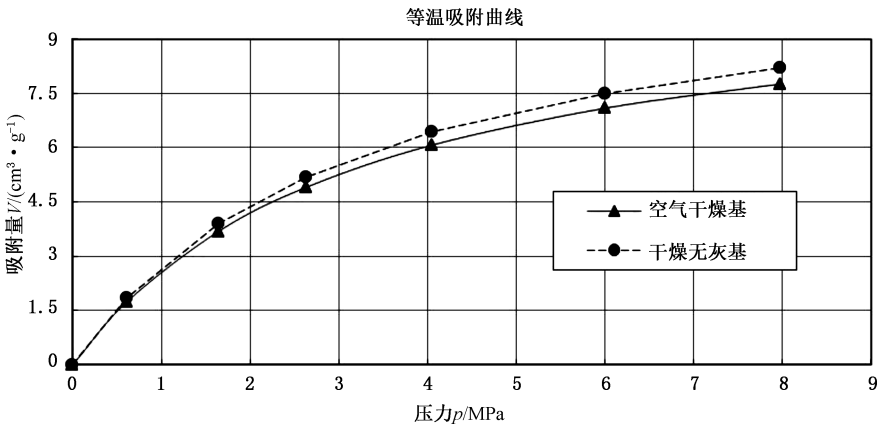
附录 A
(规范性)
等温吸附试验报告

试样编号	_____	采样地点	_____
送样号	_____	煤层	_____
样品质量/g	_____	灰分 $A_{ad}/\%$	_____
平衡水分 $M_e/\%$	_____	水分 $M_{ad}/\%$	_____
试验温度/℃	_____	测试气体及浓度/％	_____
氦气浓度/％	_____	测定日期	_____

记录号	压力/MPa	平衡水分基	空气干燥基		干燥无灰基	
		吸附量 $V/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	吸附量 $V/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	p/V	吸附量 $V/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	p/V
	0	0	0		0	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

朗格缪尔方程: $V = V_L \cdot p / (p_L + p)$

试验参数	朗格缪尔体积 $V_L/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	朗格缪尔压力 p_L/MPa	R
空气干燥基			
干燥无灰基			



试验人 _____ 审核人 _____ 依据标准 GB/T 19560—2025

