

# 微量煤热解中气体检测装置的改进及应用

谷晓凤<sup>1,2,\*</sup>, 冶育芳<sup>1</sup>, 周明扬<sup>2</sup>, 刘宝堂<sup>3</sup>

(1.新疆师范大学 化学化工学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2.华南理工大学 环境与能源学院, 广东 广州 510006; 3.河南省生态环境技术中心, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 煤热解气是重要的化工原料, 常规煤热解气的研究采用载气的方式, 以热重分析和其他技术联用分析气体组成, 实验设备复杂、成本高, 为此设计一种简单高效的微量煤热解气检测装置。本文以哈密煤为研究对象, 使用皂膜流量计和气相色谱仪检测煤热解气的流速和气体组分。通过实验数据分析, 发现煤在 600~750 °C 时热解气的速率明显增大, 与氩气氛下的热重分析数据一致, 并且在 500~800 °C 温度区间内可燃性气体 (H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>) 产生的量逐渐增加。结果表明改进后的实验装置小型化、样品微量化, 也可较准确检测煤热解气产生的流速和气体组分。

**关键词:** 微量煤; 热解气; 检测装置改进

## Improvement and application of detection device in trace coal pyrolysis gas

Xiaofeng Gu<sup>1,2,\*</sup>, Yufang Ye<sup>1</sup>, Mingyang Zhou<sup>2</sup>, Baotang Liu<sup>3</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054; 2. School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006; 3. Henan Ecological Environment Technology Center, Zhengzhou 450000.)

**Abstract:** Coal pyrolysis gas is an important chemical raw material. The research of conventional coal pyrolysis gas adopts the carrier gas method, and the gas composition is analyzed by thermogravimetric analysis and other technologies. The experimental equipment is complex and the cost is high. Therefore, a simple and efficient trace coal pyrolysis gas detection device is designed. This paper takes Hami coal as the research object, and uses soap film flowmeter and gas chromatograph to detect the flow rate and gas composition of coal pyrolysis gas. Through the

---

\* 通讯作者: 谷晓凤 (1985—), 女, 河南扶沟人, 实验师。

analysis of experimental data, it is found that the rate of pyrolysis gas of coal increases significantly at 600 ~ 750 °C, which is consistent with the thermogravimetric analysis data in argon atmosphere, and the amount of combustible gas ( H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> ) increases gradually in the temperature range of 500 ~ 800 °C. The results show that the improved experimental device is miniaturized and the sample is miniaturized. It can also accurately detect the flow rate and gas composition produced by coal pyrolysis gas.

**Keywords:** trace coal; pyrolysis gas; improvement of detection device

## 1 前言

能源是推动经济社会发展的重要物质基础,中国是多煤、少油、少气的国家。<sup>[1]</sup>近年来,从中国的能源生产和消耗结构中可以看出,煤炭是主要的能源,而且煤在相当长一段时间仍然是非常重要的能源资源。<sup>[2]</sup>由于中国煤的储量丰富,价格便宜,煤的转化和利用尤为重要。煤的热解过程是其转化和利用的重要途径之一。<sup>[3-4]</sup>煤热解是指在隔绝空气下,按照一定的升温速率,发生一系列的物理和化学变化的过程。大多数关于煤热解的研究,通常采用热重分析或者与质谱、红外、气相色谱等联合的技术分析热解产物,并且在热解过程中使用氩气或氮气为载气。尤其,煤在热解过程中产生的气体主要以 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub> 等可燃性小分子气体为主。<sup>[6]</sup>为此,分析煤在热解过程中产生气体流速和组分,可了解煤热解过程中产生可燃性气体的量,为煤的转化和利用奠定基础。

本文选用新疆哈密煤为研究对象,使用微量的煤,设计一种无氧条件下的煤热解装置,如图 1 微量煤热解气检测装置。由于微量的煤热解过程中产生气体的流速或压力较小,不能满足气体流量计的量程,故使用皂膜流量计测定煤热解过程中气体产生的流速,同时使用气相色谱分析热解气的组分,进而实现热解气检测装置的小型化、煤样品的微量化。这种微量煤热解气检测装置小、安全性高、样品取样量少、实验更加绿色化,在检测过程中不仅节约实验成本,还能高效测定煤热解气的流速和组分,也适用于微量化其他样品的热解气检测。

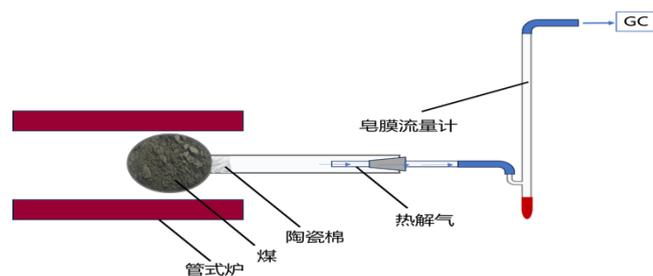


图 1 微量煤热解气检测装置图

## 2 实验部分

### 2.1 煤燃料的处理

通过电动粉碎机将大块的煤块粉碎成小颗粒，之后过 70 目筛，获得煤样。

### 2.2 煤热解气流速和气体组分的测定实验

使用定制的圆底石英管（一端为球形燃料端，另一端为细口径出口端），称取一定的煤放置到球形管内，并用高温棉固定燃料，出口端使用带导气管的胶塞塞紧，装置固定后，按照程序升温至 800 °C，并使用皂膜流量计检测气体产生的体积。

本实验取 1 g 煤进行热解，使用 5 ml 的皂膜流量计测试每个温度区间气体的流速，记录在不同的温度区间产生 5 ml 气体需要的时间，用体积除以时间即为此温度区间的平均流速，此时取温度区间内的中间温度为平均速率对应的温度。同时，将不同温度区间的气体收集，分析每个温度区间热解气的组分。

### 2.3 表征

采用热重分析仪（TGA/DSC 3+, 荷兰, Mettler Toledo 公司）分析煤燃料中在氩气气氛下的热解情况。使用 GC（Agilent, 7890B）对不同温度区间的热解气成分进行分析。

## 3 结果与讨论

### 3.1 煤燃料在氩气气氛下的热重分析

图 2 是煤在氩气气氛下的热重曲线，其升温速率为 5 °C min<sup>-1</sup>。通过图示可以看到，原煤在 400 °C 之前有少量的质量损失，这个过程可能是煤的干燥脱水脱气阶段，导致原煤质量略有下降。在 400 °C 到 800 °C 内有明显的质量损失，这个过程主要是煤热解产生一定的气体（或挥发分）造成质量的下降，尤其是在 600 °C 至 700 °C 的下降趋势最大，说明此时煤热解气产生的速率较大。在 800 °C 到 1000 °C 这一阶段曲线趋于平稳不变，说明该过程中煤基本形成稳定的焦炭。

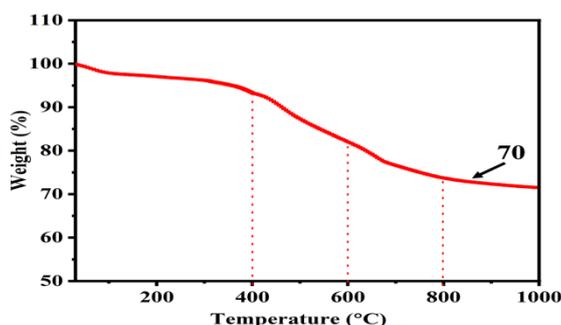


图 2 煤在氩气气氛下的热重曲线图

### 3.2 煤热解气流速的测定

图 3 是煤在热解过程中气体产生的流速图。图中显示煤在 400 °C 开始有明显的气体产生，而且随着温度的升高，热解气的流速越来越大，尤其在 600 °C 到 750 °C 有较高的热解速度，直到 750 °C 左右热解速度达到最大，之后开始下降，此数据跟煤在氩气气氛热解情况基本一致。本实验数据主要采用皂膜流量计测定煤热解过程中气体产生的流速，可以看出数据的重复性较好，拟合出一条归整的煤热解气流速曲线。同时也可以深入了解热解气的组分含量，进一步开展实验和数据分析，对整个热解过程中产生的热解气体积进行分析。

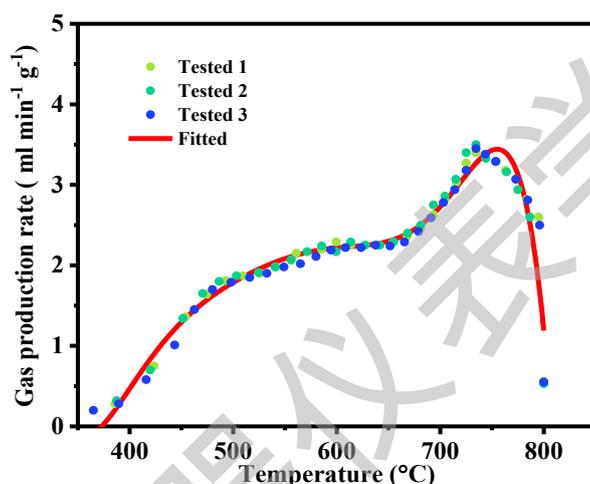


图 3 煤热解过程中热解气产生的流速

### 3.3 热解气不同温度区间气体组分分析

通过图 4 (a) 热解气体组分分析，发现其主要是 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>，以及少量的 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 和 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 等烃类气体物质。在不同的温度区间内 CO 气体含量相对较多，H<sub>2</sub> 气体的量随着温度的升高而增加，CH<sub>4</sub> 气体在煤热解过程中占有一定的比例，而 CO<sub>2</sub> 气体随着温度的升高而减少。从温度区间段来看，在中低温下（小于 500 °C 时）主要为 CO、CO<sub>2</sub> 和少量的 CH<sub>4</sub> 等烃类气体；在中高温下（500~800 °C），H<sub>2</sub> 的量随之增加，并且以 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub> 气体为主。与此同时，可以直观看出热解气中以 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub> 气体为主，其次是 CO<sub>2</sub> 气体，其他烃类气体最少。

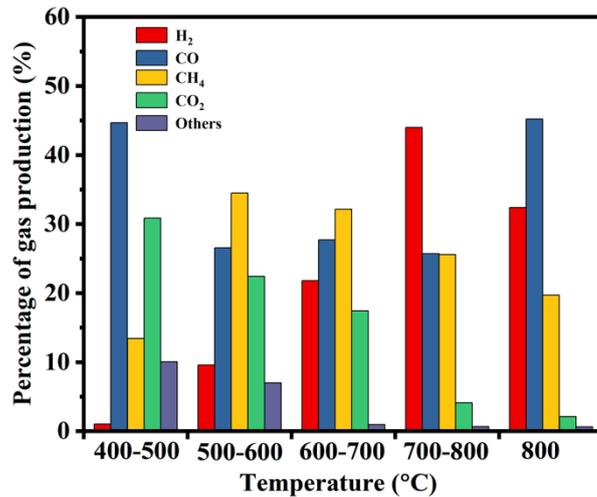


图4 不同温度区间热解气体组分

## 4 结论

通常情况下对煤热解气的研究,使用常量分析的方式,取较多的煤样品,并且在载气下热解,分析手段复杂、安全隐患较多。<sup>[5]</sup>本文设计一种简单高效的微量煤热解气测定装置,通过使用皂膜流量计可直观测量出煤热解气产生的流速和体积,与煤在氩气气氛下的失重情况一致,同时使用气相色谱对气体成分测试,分析发现:哈密煤在400~800℃温度区间有热解气产生,且随着温度的升高,热解气的速度越来越大,尤其在600℃到750℃有较高的热解速度,直到750℃时热解速度开始下降。而且热解气主要成分是H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>气体,以及少量的烃类气体,其中H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>等烃类气体都是可燃性气体,因此可将煤热解气收集后进行工业应用。这种样品微量化、装置小型化的热解气检测装置,不仅可安全高效便捷完成数据检测,还可用于生物质气体的检测。

### 参考文献:

- [1] 袁亮.我国煤炭工业高质量发展面临的挑战与对策[J].中国煤炭,2020,46(1):6-12
- [2] IEA.Energy statistics data browser [DS]. IEA, 2023.
- [3] 赵小楠,丁力,郭启海,等.实验条件对天脊褐煤热解产物的影响研究[J].煤炭加工与综合利用,2017,(02):49-52+64.
- [4] 潘生杰,陈建玉,范飞,等.低阶煤分质利用转化路线的现状分析及展望[J].洁净煤技术,2017,23(05):7-12.

[5] 曹景沛,姚乃瑜,庞新博,等.煤热解研究进展及其发展历程[J].化工进展,2024,43(07):3620-3636.

[6] 靳立军,刘铮铮,李扬,等.耦合富氢小分子催化活化的煤热解提高焦油产率策略与实践[J].化工进展,2024,43(07):3613-3619.

中国仪器仪表学会