



中华人民共和国国家标准

GB/T 39833—2021

煤的燃烧特性测定方法 一维炉法

Test method for coal combustion characteristics—
One-dimensional furnaces method

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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。

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：浙江大学、西安热工研究院有限公司、上海交通大学、煤炭科学技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：程军、刘建忠、王桂芳、姚伟、张忠孝、王东升、杨晓毓。

煤的燃烧特性测定方法 一维炉法

1 范围

本文件规定了煤粉气流燃烧过程中的着火温度和燃尽率的一维炉测试方法、仪器设备、试验工况条件、试验测试、数据处理和分析方法、评价指标、精确度。

本文件适用于褐煤、烟煤和无烟煤的煤粉气流着火温度和煤粉燃尽率的一维炉燃烧测试。

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 474 煤样的制备方法

GB/T 19494.2 煤炭机械化采样 第2部分：煤样的制备

DL/T 567.5 火力发电厂燃料试验方法 第5部分：煤粉细度的测定

DL/T 567.6 火力发电厂燃料试验方法 第6部分：飞灰和炉渣可燃物测定方法

DL/T 1106—2009 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤粉气流着火温度 ignition temperature

T_i

煤粉气流与周围空气形成可燃混合物发生着火反应的起始温度。

3.2

煤粉燃尽率 burnout efficiency

B

煤粉气流在一维炉内燃烧试验条件下，在炉膛出口处抽取固体试样并分析其可燃物含量，已燃尽的可燃物占初始可燃物的百分数。

4 原理

一维炉试验过程中以一定量的空气流携带煤粉，进入炉膛后接受炉壁放热而着火、燃烧，以致燃尽。一维炉在动态条件下实现煤粉与空气的悬浮燃烧试验，燃烧着的煤粉气流沿炉膛高度方向向下运动，通过测试炉膛烟气温度可得到煤粉气流着火温度，通过对燃烧产物的分析可评价煤粉燃尽特性。

5 方法提要

由一维炉的炉膛顶部向下沿程布置多个温度测点，利用热电偶测量煤粉气流的沿程温度变化，分析

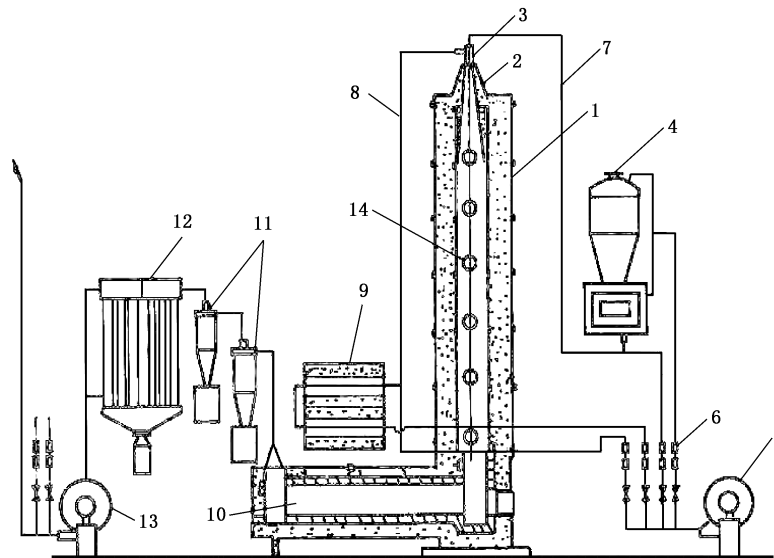
得到煤粉气流着火温度。在尾部烟道除尘器处对飞灰取样,在炉底的灰渣槽处对底渣取样,测试飞灰和底渣中的可燃物含量计算分析得到煤粉燃尽率。

6 仪器设备

6.1 一维炉试验装置

一维炉试验装置示意图如图 1 所示。一维炉试验台主要由给粉系统、加热和温度控制系统、燃烧炉体系统、风烟系统和取样分析系统等组成。一维炉炉体采用垂直布置的电加热积木式结构,主要由着火段、稳燃段和燃尽段组成。着火段上接给粉机,燃尽段末端与烟气冷却器相连,后接除尘器和引风机等。炉体底部为灰渣槽,用于收集煤粉气流燃烧所剩的灰渣。炉膛外面包覆耐火材料和保温材料以保证炉体外壁温度 $\leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。煤粉颗粒在炉内停留时间控制为 $2\text{ s}\sim 10\text{ s}$,可满足煤粉颗粒在炉内的燃尽要求。整个一维炉试验装置的漏风率(即漏入空气质量占该装置进口烟气质量的百分数)控制在 5% 以内。

煤粉燃烧器装于炉膛顶部,一次风携带煤粉由炉膛顶部送入,二次风布置在一次风周围也由炉膛顶部送入,一次风和二次风流量可通过流量计测量和控制。采用热风送粉,空气预热器可根据需要调节热风温度。炉膛布置电加热元件,通过控制柜结合热电偶自动控制炉壁温度。采用热电偶测量炉膛沿程的煤粉气流温度,以煤粉由炉顶送入炉膛处为零点,沿炉膛轴线向下设置多个温度测点。煤粉燃烧气流沿炉膛由上而下一维运动,最后高温烟气经冷却和除尘后排放,在尾部烟道除尘器处对飞灰取样,在炉底的灰渣槽处对底渣取样。



标引序号说明:

- 1——炉体;
- 2——炉顶;
- 3——燃烧器;
- 4——给粉机;
- 5——送风机;
- 6——流量计;
- 7——次风管;

- 8——二次风管;
- 9——空气预热器;
- 10——尾部烟道;
- 11——除尘器;
- 12——烟气冷却器;
- 13——引风机;
- 14——炉膛测试孔。

图 1 一维炉燃烧试验装置示意图

6.2 试验用仪表

- 6.2.1 一次风和二次风温度表(测温元件为热电偶):控制温度误差为±5℃。
- 6.2.2 一次风和二次风流量计:精确度等级为4%。
- 6.2.3 煤粉燃烧烟气温度表(将热电偶插入炉膛中测试):精确度等级为0.25%。

7 试验工况条件

7.1 煤粉细度要求

7.1.1 煤粉细度实测值

按照 GB/T 474 或 GB/T 19494.2 的要求制备煤粉,取不少于 100 g 的空气干燥煤样全部研磨,按照 DL/T 567.5 的要求筛选并计算煤粉细度,直至试验样煤样全部满足 R_{200} 和 R_{90} 细度要求, R_{200} 和 R_{90} 的计算按照式(1)和式(2)进行:

$$R_{200} = m_{200} / m \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$
$$R_{90} = (m_{200} + m_{90}) / m \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

R_{200} ——粒径大于 200 μm 的煤粉的质量分数,%;

R_{90} ——粒径大于 90 μm 的煤粉的质量分数,%;

m_{200} ——200 μm 筛上的煤粉质量,单位为克(g);

m_{90} ——90 μm 筛上的煤粉质量,单位为克(g);

m ——煤粉试样质量,单位为克(g)。

7.1.2 煤粉细度计算值

试验时将煤粉细度 R_{200} 控制为 0.1~1,按照 DL/T 1106—2009 根据式(3)控制煤粉细度 R_{90}' :

$$R_{90}' = 0.5nV_{\text{daf}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

n ——煤粉均匀性系数(取 $n=1$);

V_{daf} ——煤粉的干燥无灰基挥发分,%。

7.1.3 煤粉细度偏差要求

煤粉细度偏差根据(4)式计算:

$$\Delta R_{90} = | R_{90} - R_{90}' | \quad \dots\dots\dots (4)$$

R_{90} 允许偏差随 V_{daf} 升高而升高:当 V_{daf} 小于 15%时, $\Delta R_{90} = 1 \sim 2$; $V_{\text{daf}} = 15\% \sim 25\%$ 时, $\Delta R_{90} = 2 \sim 3$; V_{daf} 大于 25%时, $\Delta R_{90} = 3 \sim 4$ 。

7.2 试验参数控制

主要试验参数控制如表 1 所示。

表 1 一维炉主要试验参数

煤种	控制试验参数	给煤粉量/ (g·min ⁻¹)	过量空气系数	热风温度/ ℃	炉壁温度/℃		
					着火段	稳燃段	燃尽段
褐煤	推荐值	2.5	1.2	300	1 100	1 200	1 200
	允许范围	2.0~3.0	1.1~1.3	250~350	1 000~1 200	1 100~1 300	1 100~1 300
烟煤	推荐值	3.0	1.2	400	1 200	1 300	1 300
	允许范围	2.5~3.5	1.1~1.3	350~450	1 100~1 300	1 200~1 400	1 200~1 400
无烟煤	推荐值	3.5	1.2	500	1 300	1 400	1 400
	允许范围	3.0~4.0	1.1~1.3	450~550	1 200~1 400	1 300~1 500	1 300~1 500

8 试验测试

8.1 根据 7.2 试验工况的规定条件,将各段炉体预热到设定温度,先后启动引风机和送风机,调整热风温度和过量空气系数;启动给粉机调整给煤粉量。检查一维炉试验系统和各辅机部件运行是否正常。

8.2 待炉壁温度稳定后,采用热电偶对各段炉膛烟气温度进行测量,分别记录煤粉由炉顶送入炉膛零点处到各温度测点的距离。

8.3 保持一维炉内煤粉燃烧稳定运行 ≥ 2 h,然后在尾部烟道除尘器处对飞灰取样,在炉底的灰渣槽处对底渣取样,测定飞灰和底渣中的可燃物含量。

8.4 对每一个要求的试验工况,按 7.2 规定调整试验参数进行 8.1~8.3 试验工作至少重复两次。

9 数据处理和分析方法

9.1 煤粉气流着火温度

煤粉送入一维炉膛后发生煤粉气流的吸热和放热过程,根据图 2 所示方法来确定煤粉气流着火温度:首先求得给煤粉后烟气温度与给煤粉前烟气温度的差值曲线,然后将此差值曲线对横坐标测点位置进行求导而得到一条微分曲线,可以分为煤粉缓慢氧化、着火过渡和高速燃烧三个阶段。将该一阶微分曲线上过渡阶段的谷底点确定为着火点,此点所对应的测点位置即为着火距离,与着火距离相对应的煤粉气流温度即为着火温度。煤粉气流着火温度 T_i 以摄氏度(℃)表示(精确到 1℃)。

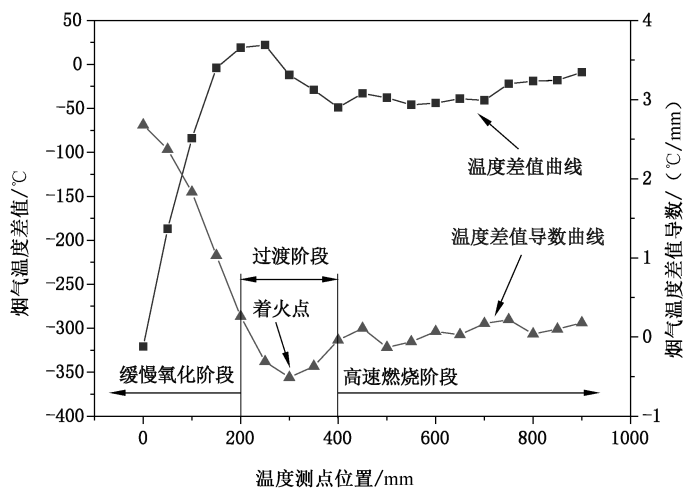


图2 一维炉煤粉气流着火温度的确定方法示意图

9.2 煤粉燃尽率

煤粉在一维炉内燃烧后对飞灰和底渣取样分析计算确定煤粉燃尽率。依据 DL/T 567.6 计算得到原煤粉、飞灰和底渣中的干燥基可燃物含量 C_0 、 C_{fh} 和 C_{dz} ，用式(5)计算煤粉燃尽率(精确到 0.1%)为：

$$B = 1 - (M_{fh} \cdot C_{fh} + M_{dz} \cdot C_{dz}) / (M_0 \cdot C_0) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- B ——煤粉燃尽率，%；
- M_0 ——燃烧前的干燥基给煤粉量，单位为克每分(g/min)；
- M_{fh} ——燃烧后的干燥基飞灰产量，单位为克每分(g/min)；
- M_{dz} ——燃烧后的干燥基底渣产量，单位为克每分(g/min)；
- C_0 ——原煤粉的干燥基可燃物含量，%；
- C_{fh} ——飞灰中的干燥基可燃物含量，%；
- C_{dz} ——底渣中的干燥基可燃物含量，%。

10 精确度

每一试样作重复性测定两次，取重复测定数据的算术平均值。煤粉气流着火温度的两次重复测定值差值不应超过 10 °C。煤粉燃尽率的两次重复测定值差值不应超过 2.0%(绝对值)。

11 燃烧特性评价指标

煤的燃烧特性评价指标及分级参见附录 A。

附 录 A
(资料性)
燃烧特性评价指标

A.1 着火特性

煤粉气流燃烧着火温度用来对比不同煤种的着火特性,表征煤粉着火的难易程度。 T_i 值越小,表示煤粉越易着火。煤粉燃烧的着火特性评价分级见表 A.1。

表 A.1 一维炉判定煤粉燃烧的着火特性分级

着火特性等级	极易	易	中	难	极难
$T_i/^\circ\text{C}$	$T_i\leq 600$	$600<T_i\leq 800$	$800<T_i\leq 1\,000$	$1\,000<T_i\leq 1\,200$	$T_i>1\,200$

A.2 燃尽特性

煤粉燃尽率用来对比不同煤种的燃尽特性,表征煤粉燃尽的难易程度。 B 值越大,表示煤粉越易燃尽。煤粉燃烧的燃尽特性评价分级见表 A.2。

表 A.2 一维炉判定煤粉燃烧的燃尽特性分级

燃尽特性等级	极难	难	中	易	极易
$B/\%$	$B\leq 89$	$89<B\leq 93$	$93<B\leq 96$	$96<B\leq 98$	$B>98$