

ICS 27.100

F 29

备案号: 26349-2009

DL

中华人民共和国电力行业标准

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

Test methods for pulverized coal combustion slagging characteristics
and burnout rate on one-dimensional flame furnace



2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 试验原理..... 2

5 试验装置..... 2

6 试验用仪表及元件..... 3

7 试验工况条件..... 3

8 试验方法及要求..... 4

9 数据处理和计算方法..... 4

10 评价指标..... 5

附录 A（资料性附录） 一维火焰试验炉试验数据记录..... 7

附录 B（资料性附录） 试验报告示例..... 8

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2004 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2004] 872 号）安排制定的。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站锅炉标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：王桂芳、姚伟、相大光。

本标准是首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法

1 范围

本标准规定了进行煤粉燃烧结渣特性和燃尽率的一维火焰炉测试方法。

本标准适用于不同煤种的结渣特性和燃尽率的一维火焰炉测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 212 煤的工业分析方法

GB/T 213 煤的发热量测定方法

GB 474 煤样的制备方法

DL/T 567.5 火力发电厂燃料试验方法 煤粉细度的测定

DL/T 567.6 火力发电厂燃料试验方法 飞灰和炉渣可燃物测定方法

3 术语和定义

3.1

燃尽率 *B* burnout rate

煤粉的燃尽率 *B* 是指在试验条件下，抽取固体试样并分析其灰分含量，计算已燃尽的可燃质占初始可燃质的百分数。

3.2

结渣特性 *slagging characteristics*

煤粉燃烧结渣特性是采用硅碳棒作为结渣探针，反映不同区域煤粉燃烧过程中灰颗粒的形态和黏结强弱，从而更直观地反映煤的结渣趋势。

在结渣探针上附着的灰渣依照其黏结的紧密程度，由强到弱分为熔融、黏熔、强黏聚、黏聚、弱黏聚、微黏聚及附着灰七个渣型。

3.3

熔融 *molten ash deposits*

碳化硅棒表面由全熔融致密凝固渣层所覆盖，并有渣泡形成。

3.4

黏熔 *partially fused ash deposits*

沉积灰层由部分凝固渣层黏聚而成，已无法切削。

3.5

强黏聚 *high agglomerated ash deposits*

灰层坚硬，切削后碳化硅棒上仍会残留不规则的黏结硬渣。

3.6

黏聚 *agglomerated ash deposits*

灰层黏聚成硬渣，切削困难，但仍能从渣棒上切削下来。

3.7

弱黏聚 low agglomerated ash deposits

灰有明显黏聚特征，切刮较容易，切下渣块具有一定的硬度。

3.8

微黏聚 slightly agglomerated ash deposits

灰呈略黏聚特征，切下渣块呈疏松状。

3.9

附着灰 adhesive ash deposits

渣棒上的灰已无黏聚特征，灰粒呈松散堆积状。

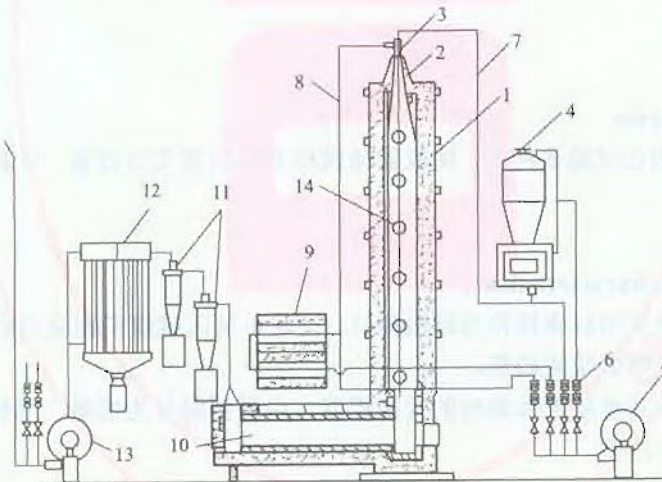
4 试验原理

以一定量的空气流携带煤粉，垂直向下通过燃烧器进入圆筒形试验炉炉膛。炉膛初始段呈锥形，顶部直径与燃烧器出口直径相同。风粉混合物在进入炉膛后即呈柱塞状流动，无轴向回流，也极少可能有径向混合。射流在行进过程中接受炉壁放热而着火、燃烧，以致燃尽。由于燃烧着的煤粉气流基本上只沿轴向下行运动，故试验炉称为“一维火焰炉”。

5 试验装置

5.1 一维火焰炉试验装置

5.1.1 一维火焰炉试验装置示意简图见图 1。



1—炉体；2—锥形炉顶；3—燃烧器；4—给粉机；5—送风机；6—流量计；7—一次风管；
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 一维火焰炉试验装置

5.1.2 试验设备。

一维火焰试验炉炉体及外接系统参见图 1。炉体为电加热积木式结构，垂直布置，共分为 6 段，最上面一段为锥形段（第 1 段）。所有 6 段均为碳化硅烧制而成，并分别装设电热丝以控制各段壁温。炉膛内径为 150mm~200mm，有效高度 h 约为 2m。沿炉膛轴线从入口端算起，每隔 $1/6h$ 距离开有一个径向观测孔（共 6 个，入口端无），用于测量火焰温度，抽取飞灰样品及插入结渣探针。

炉膛下部连接水平烟道，其后布置有除尘器及烟气冷却装置。试验炉配有送风机、引风机、给粉机和用于加热二次风的空气预热器。

5.2 试验描述

炉膛沿轴线开有数个观测孔，通过这些观测孔，可以分别插入热电偶以测量火焰沿程温度变化，插入结渣探针以检验沉积物形态及其沿程变化，插入取样管抽取飞灰样以化验其可燃物及其沿程变化；然后可据以较准确地评价采用不同煤种在煤粉燃烧过程中的沾污结渣特性和燃尽特性。

6 试验用仪表及元件

- 6.1 一、二次风量流量计：精确度等级为 4%。
- 6.2 一、二次风温度表：精确度等级为 2.5%。
- 6.3 各段炉壁温度表（其热电偶嵌入碳化硅炉壁内）：精确度等级为 0.5%。
- 6.4 各段烟温温度表（用抽气热电偶选定观测孔内测量）：精确度等级为 0.5%。
- 6.5 烟气分析仪：取样点在尾部烟道上，抽取烟气，测量烟气中 O_2 、 CO_2 含量。
- 6.6 结渣探针：截面为 $12\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的矩形，长为 200mm 的碳化硅棒（插入选定的观测孔内）。

7 试验工况条件

7.1 试验煤粉细度。根据煤的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 按式（1）取定 $90\mu\text{m}$ 筛上剩余量百分率 R_{90} （取 $n=1$ ）。煤粉细度按式（1）选取，即

$$R_{90}=0.5nV_{\text{daf}} \tag{1}$$

式中：

- R_{90} ——试验煤粉细度，%；
- n ——煤粉均匀性系数，取 $n=1$ ；
- V_{daf} ——煤的干燥无灰基挥发分，%。

将空气干燥后的煤样全部研磨至上述细度（ R_{90} 允许偏差随 V_{daf} 升高而升高： $V_{\text{daf}} < 15\%$ 时， $\Delta R_{90}=1\% \sim 2\%$ ； $15\% \leq V_{\text{daf}} \leq 25\%$ 时， $\Delta R_{90}=2\% \sim 3\%$ ； $V_{\text{daf}} > 25\%$ 时， $\Delta R_{90}=3\% \sim 4\%$ ）。

7.2 试验给粉量。分两种工况：

第一工况按炉膛容积热负荷为 $145\text{kW}/\text{m}^3$ 计，给煤量按式（2）计算，即

$$G=522V/Q_{\text{net},V,\text{ad}} \tag{2}$$

式中：

- G ——第一工况的试验煤给粉量， kg/h ；
- V ——炉膛有效容积， m^3 ；
- $Q_{\text{net},V,\text{ad}}$ ——试验煤空气干燥基低位发热量， MJ/kg 。

第二工况的给粉量为第一工况的 2 倍，即炉膛容积热负荷为 $290\text{kW}/\text{m}^3$ 。

7.3 试验参数控制。第一、二工况试验参数控制分别如表 1 所示。

表 1 主要试验参数控制

工况	过量空气系数	一次风		二次风		炉膛容积放热强度 kW/m^3
		风率 %	风温 $^{\circ}\text{C}$	风率 %	风温 $^{\circ}\text{C}$	
一	1.25	55	22	45	120	145
二	1.25	45	22	55	200	290

7.4 炉壁电加热控制温度。第一、二工况各段壁温控制范围见表 2。

表 2 各段炉壁加热温度范围 ℃

工况	第 1 段	第 2 段	第 3 段	第 4 段	第 5 段	第 6 段
一	900~930	1100~1130	1200~1230	1200~1230	1100~1130	1100~1130
二	800~830	1000~1030	1100~1130	1100~1130	1100~1130	1000~1030

7.5 炉膛出口烟气压力应维持在-50Pa~+50Pa。

8 试验方法及要求

8.1 燃尽率的试验方法

8.1.1 按 7.4 试验工况的规定条件，将各段炉体预热至给定温度；启动引风机、送风机，按 7.3 调整一次风量、二次风量和风温；启动给粉机，按 7.2 的规定调整好给粉量。注意检查炉内气粉混合物着火燃烧状况和炉膛出口氧量表指示是否正常，将炉膛出口压力调整到-50Pa~+50Pa 范围内。检查系统及各辅机部件运行是否正常。

8.1.2 待炉壁温度及炉膛出口氧量稳定后，用抽气热电偶逐次插入炉膛各段下部共 6 个观测孔内测取火焰沿程温度。

8.1.3 在完成 8.1.2 温度测定后，换用飞灰取样装置从前述观测孔内抽取固体试样，并测定其可燃物含量。

8.1.4 在完成 8.1.3 取样工作后，调整各段炉壁温度、一次风量、二次风量、风温及给粉量至工况二规定量值，再重复进行 8.1.2 和 8.1.3 要求的工作。

8.2 结渣特性的试验方法

8.2.1 在试验前，先将风、煤参数调整到试验工况条件规定的第二工况条件，而壁温则调整到第一工况温度，待燃烧稳定后，完成 8.1.2 要求的工作。

8.2.2 插入结渣探针。

8.2.3 维持稳定运行工况，等待结渣探针上沉积足够量的灰垢渣层；其持续结渣时间宜根据煤的灰分含量而定，一般为 20min~30min。

8.2.4 试验结束后，小心地抽出结渣探针，保持其原有状态，冷却后将其剖析，观察并记录其结渣特性，并参照附录 A 记录试验数据。

9 数据处理和计算方法

9.1 燃尽率

9.1.1 按式 (3) 计算燃尽率，即

$$B=[1-(A_0/A_f)]\times 100/(1-A_0/100)$$

(3)

式中：

B ——燃尽率，%；

A_0 ——原煤粉干燥基灰分，%；

A_f ——固体试样灰分，%。

9.1.2 在两种工况下沿火焰行程诸观测孔抽取固体试样，测定灰分含量，并按式 (3) 计算其燃尽率。

9.1.3 取第一工况及第二工况炉膛出口观测孔（即第 6 级最下一个观测孔）的煤粉燃尽率，按式 (4) 求得该煤种的煤粉燃尽率指标 B_p ，即

$$B_p=(B_1^*+B_2^*)/2$$

(4)

式中：

B_p ——煤粉燃尽率平均值，%；
 $B_1^*、B_2^*$ ——第一工况及第二工况炉膛出口观测孔的煤粉燃尽率，%。

9.2 结渣指数

9.2.1 按 8.2.3 试验取得的沉积有灰渣层的 6 只结渣探针，依次将其灰渣层的特征状态与其黏结的紧密程度按 3.3~3.9 所述来确定其各自的渣型。

9.2.2 根据经验给予这 7 种渣型以赋值，使其便于参与结渣特性数字化对比，将弱黏聚以上等级的渣型赋值如表 3 所示。

表 3 弱黏聚以上等级的渣型赋值

渣 型	赋 值 N
弱黏聚	0.25
黏聚	0.50
强黏聚	1.00
黏熔	1.75
熔融	2.50

9.2.3 确定出结渣最严重的渣棒，其渣型赋值为 N_{max} ，该渣棒观测孔的相应火焰温度为 T_{max} 。

9.2.4 确定与该渣型相对应的表征温度 θ ，采取以下规定：

9.2.4.1 如上下两相邻观测孔有一观测孔的渣型低一个等级，则 θ 取为该观测孔火焰温度与 T_{max} 的平均值；如上下两相邻观测孔的渣型都只低一个等级，则取该两观测孔中的偏高温度参与平均。

9.2.4.2 如相邻观测孔的渣型仅有一个低两个等级，则取 $\theta=(T_{max}-\Delta T)/4$ （式中 ΔT 为 T_{max} 与该低渣型观测孔温度的差值）；如上下两观测孔的渣型都低两个等级，则取该两观测孔中的偏高温度参与 ΔT 计算。

9.2.5 按式（5）计算结渣特性指数，即

$$S_c=100N_{max}/(\theta-1000) \tag{5}$$

式中：

S_c ——煤粉燃烧的结渣特性指数；
 N_{max} ——结渣最严重的渣型对应的赋值；
 θ ——渣型相对应的表征温度值，℃。

10 评价指标

10.1 煤粉燃烧的燃尽特性评价指标

10.1.1 煤粉燃烧的燃尽率 B_p 值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_p 值越大，表示煤粉越易燃尽。

10.1.2 煤粉燃烧的燃尽率 B_p 值的评价指标见表 4。

表 4 一维火焰炉判定煤粉燃烧的燃尽特性分级 %

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

10.1.3 给出两工况诸观测孔的火焰温度（ T_1 及 T_2 ）和燃尽率（ B_1 及 B_2 ）随火焰行程的变化曲线。某一煤种的实测结果及曲线图参见附录 B。

10.2 煤粉燃烧的结渣特性评价指标

10.2.1 煤粉燃烧的结渣特性指数 S_c 值用来判断煤的结渣严重程度。 S_c 值越大，表示煤的结渣程度越严重。

10.2.2 煤粉燃烧的结渣特性指数 S_c 值的评价指标见表 5。

表 5 一维火焰炉判定煤粉燃烧结渣特性分级

S_c	$S_c > 0.65$	$0.45 < S_c \leq 0.65$	$0.25 < S_c \leq 0.45$	$S_c \leq 0.25$
结渣特性等级	严重	高	中	低



附录 A
(资料性附录)
一维火焰试验炉试验数据记录

试验数据记录参见表 A.1。

表 A.1 试验数据记录

电厂 (或委托单位):

日期:

试验煤种:

煤粉细度 R_{90} :

%

$M_{ad} =$ %;

$A_{ad} =$ %;

$V_{daf} =$ %;

$Q_{net, V, ad} =$ MJ/kg

工况一 (给煤量: g/min

给粉刻度:

时间:

):

测 点	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级	第 6 级
壁温 ℃						
烟温 ℃						

工况二 (给煤量: g/min

给粉刻度:

O_2 :

时间:

):

测 点	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级	第 6 级
壁温 ℃						
烟温 ℃						

结渣工况 (给煤量: g/min

给粉刻度:

O_2 :

时间:

):

测 点	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级	第 6 级
壁温 ℃						
烟温 ℃						
渣型						

试验人:

记录人:

校对人对:

附录 B
(资料性附录)
试验报告示例

一维火焰试验炉试验报告单参见表 B.1。

表 B.1 一维火焰试验炉试验报告单

报告编号		委托单位		漳泽电力娘子关项目部				
试样名称		设计煤		试样来源		委托单位提供		
试验项目		煤燃烧与结渣特性的 小型工业性试验		试验标准		DL/T 1106—2009		
完成日期		年 月 日		委托日期		年 月 日		
试 验 结 果								
制 样：实验室		R_{90} ：		8.9		%		
1. 一维火焰炉燃烧结渣试验结果								
测 点 位 置		I-6	II-6	III-6	IV-6	V-6	VI-6	
距喷口占全火焰的百分数		17	32	49	64	82	100	
燃 烧	工况一	烟温 T ℃	870	1360	1335	1300	1205	1085
		燃尽率 B %	16.06	36.57	81.01	87.83	91.63	92.14
		飞灰可燃物含量 C_{fh} %	67.20	60.76	31.68	22.90	16.96	16.09
		煤粉停留时间 t s	0.95	1.73	2.40	3.08	3.79	4.56
		各级平均燃尽速度 $\Delta B/\Delta t$	16.91	26.25	66.41	10.01	5.35	0.66
	工况二	烟温 T ℃	550	760	1425	1400	1300	1130
		燃尽率 B %	15.37	35.03	76.10	84.93	88.37	90.10
		飞灰可燃物含量 C_{fh} %	67.38	61.33	36.84	26.89	22.11	19.46
		煤粉停留时间 t s	0.61	1.20	1.60	1.92	2.26	2.63
		各级平均燃尽速度 $\Delta B/\Delta t$	25.05	33.43	102.79	27.28	10.23	4.72
结 渣	烟温 ℃		650	1000	1455	1325	1305	1165
	渣 型		附着灰	附着灰	强黏聚	黏聚	弱黏聚	附着灰
	结 论		0.256 中					
2. 结论 燃尽：难 结渣：中								
3. 附图 共 6 幅，见图 B.1～图 B.6。								
试验人		审核人		批准人				

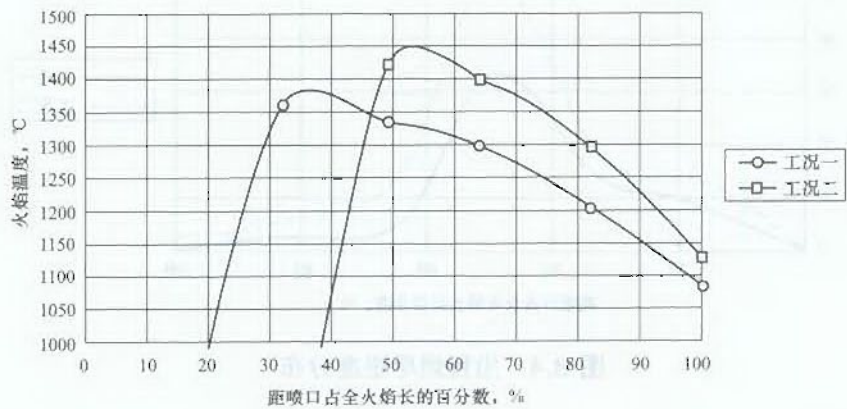


图 B.1 沿程火焰温度分布

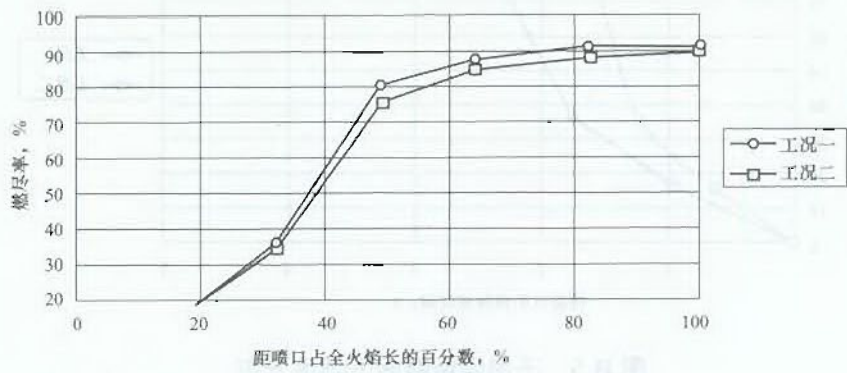


图 B.2 沿程燃尽率分布

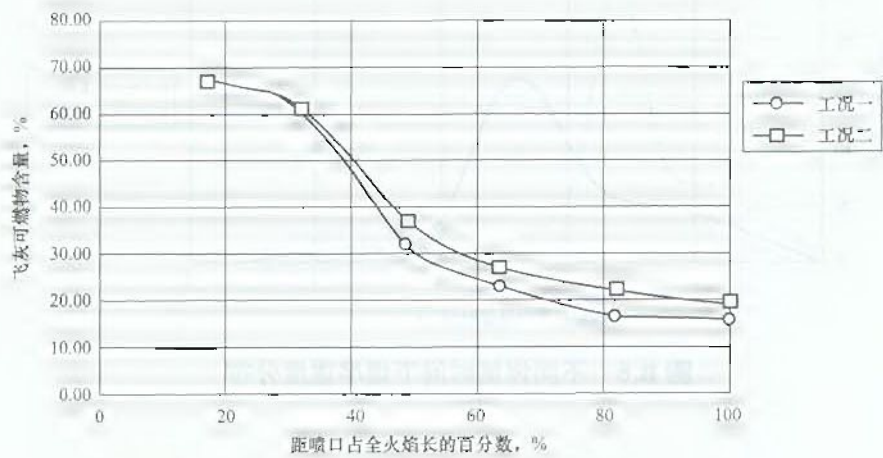


图 B.3 沿程飞灰可燃物含量分布

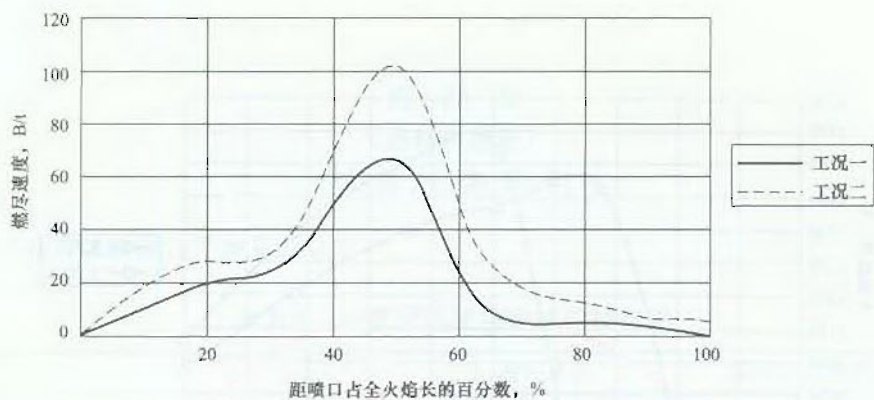


图 B.4 沿程燃尽速度分布

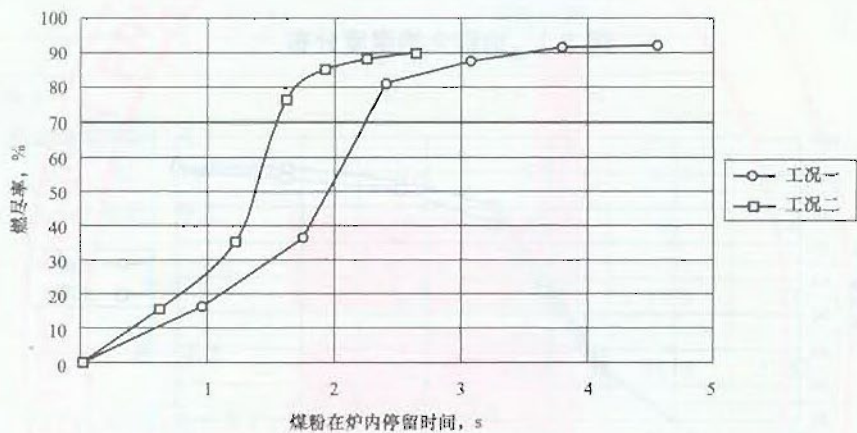


图 B.5 不同停留时间下燃尽分布

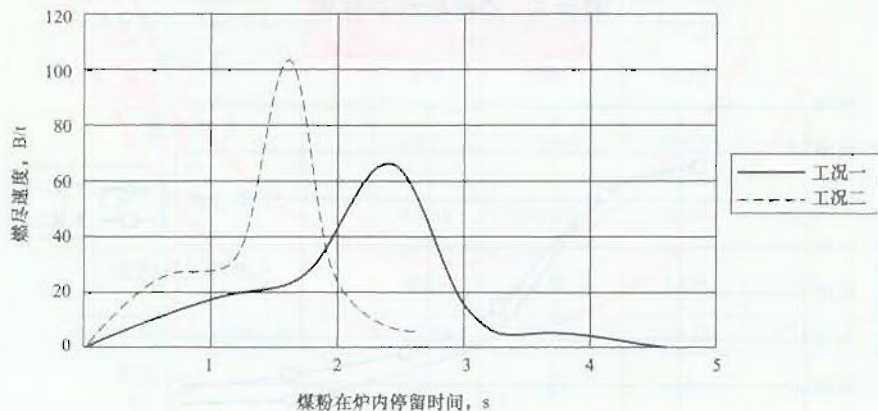


图 B.6 不同停留时间下燃尽速度分布

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
煤粉燃烧结渣特性和燃尽率
—维火焰炉测试方法
DL/T 1106—2009

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2009年12月第一版 2009年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 22千字
印数 0001—3000册

*

统一书号 155083·2232 定价 5.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155083.2232

销售分类建议：规程规范/
电力工程/火力发电