

# T/GDAQI

## 广东省质量检验协会团体标准

T/GDAQI 013—2019

---

### 生物质气化炉热工性能试验规程

Thermal performance test regulation of biomass gasifier

2019 - 06 - 26 发布

2019 - 06 - 26 实施

广东省质量检验协会

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 符号和单位 .....	3
5 气化炉热平衡边界 .....	5
6 试验准备工作 .....	6
7 现场试验 .....	6
8 测量项目和试验用仪器仪表 .....	7
9 测试方法 .....	9
10 气化炉效率的计算 .....	11
11 试验报告 .....	17
附录 A（规范性附录） 燃气中焦油、飞灰含量的分别测定 .....	18
附录 B（资料性附录） 生物质气化炉热工性能试验数据表 .....	22
附录 C（资料性附录） 常用气体的有关量值 .....	26
附录 D（资料性附录） 常用气体在不同温度下的平均定压比热容 .....	27
附录 E（资料性附录） 水在常压（100 kPa）下的焓值表 .....	28



## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由广东省质量检验协会提出和归口。

本标准起草单位：广东省特种设备检测研究院珠海检测院、广东省特种设备检测研究院顺德检测院。

本标准主要起草人：江洪明、李新爱、喻孟全、郭捷昕、黄桂林、朱渝诚、杨宁祥、杨泽榕、崔大光。

本标准为首次发布。



# 生物质气化炉热工性能试验规程

## 1 范围

本标准规定了生物质气化炉热工性能试验规程的术语和定义、符号和单位、气化炉热平衡边界、试验准备工作、现场试验、测量项目和试验用仪器仪表、试验方法、气化炉效率的计算和试验报告。

本标准适用于以木本、草本或果壳（谷壳）类等原料为燃料的生物质气化炉。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 211 煤中全水分的测定方法
- GB/T 10180—2017 工业锅炉热工性能试验规程
- GB/T 10410 人工煤气和液化石油气常量组分气相色谱分析法
- GB/T 12208 人工煤气组分与杂质含量测定方法
- GB/T 28730 固体生物质燃料样品制备方法
- GB/T 28731 固体生物质燃料工业分析方法
- GB/T 28732 固体生物质燃料全硫测定方法
- GB/T 28733 固体生物质燃料全水分测定方法
- GB/T 28734 固体生物质燃料中碳氢测定方法
- GB/T 30726 固体生物质燃料灰熔融性测定方法
- GB/T 30727 固体生物质燃料发热量测定方法
- GB/T 30728 固体生物质燃料中氮的测定方法
- GB/T 31428—2015 煤化工术语
- GB/T 31741—2015 林业生物质能源名词术语
- DL/T 567.6 飞灰和炉渣可燃物测定方法
- DL/T 567.8 火力发电厂燃料试验方法燃油发热量的测定
- DL/T 567.9 火力发电厂燃料试验方法燃油元素分析
- NY/T 1879 生物质固体成型燃料采样方法
- NY/T 1880 生物质固体成型燃料样品制备方法

## 3 术语和定义

GB/T 10180—2017、GB/T 31428—2015、GB/T 31741—2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了GB/T 10180—2017、GB/T 31741—2015中的某些术语和定义。

### 3.1

**生物质 biomass**

通过光合作用形成的各种有机体，包括植物、动物、微生物及其排泄和代谢物。  
[GB/T 31741—2015，定义2.1]

### 3.2

#### 生物质气化 **biomass gasification**

生物质在高温下与空气或水蒸气等气化剂作用生成可燃性气体的热化学过程。  
[GB/T 31741—2015，定义2.3.25]

### 3.3

#### 生物质气化炉 **biomass gasifier**

将生物质与气化剂作用转化为可燃气体的反应装置（以下简称“气化炉”）。  
[GB/T 31741—2015，定义2.3.32]

### 3.4

#### 生物质燃气 **biomass gas**

生物质在气化炉中经热化学转化形成的一种可燃气体。  
注：改写GB/T 31741—2015，定义2.3.57。

### 3.5

#### 粗生物质燃气 **crude biomass gas**

气化炉出口的未经净化、降温的高温生物质燃气称为粗生物质燃气（以下简称“粗燃气”）。

### 3.6

#### 净生物质燃气 **net biomass gas**

粗生物质燃气经过净化、降温除去其中水分和所夹带的焦油、飞灰等杂质后所得到的干气称为净生物质燃气（以下简称“净燃气”）。

### 3.7

#### 生物质焦油 **biomass tar**

生物质热解或气化过程中产生的一种常温下可凝的黑色或黑褐色粘稠状液体（以下简称“焦油”）。  
[GB/T 31741—2015，定义2.3.54]

### 3.8

#### 生物质炭 **biomass charcoal**

生物质在热化学转化过程排出的固体产物，也叫生物质焦，不包括随燃气夹带出炉外的细小颗粒。  
注：改写GB/T 31741—2015，定义2.3.56。

### 3.9

#### 输出热量 **heat output**

每 kg 燃料产生的燃气所携带的热量。

注：改写GB/T 10180—2017，定义3.5。在计算冷燃气效率时，仅包括经净化、冷却后的净燃气的低位发热量；在计算气化热效率时，出口粗燃气的热量，包括燃气及其所夹带的焦油、飞灰的低位发热量和显热。

## 3.10

**冷燃气效率 cold gasification efficiency**

同一时间内气化炉出口净燃气的热量占输入热量的百分比。

注：改写GB/T 31428—2015，定义5.17。本标准中冷燃气效率和气化热效率为不扣除辅机设备耗用动力折算热量的毛效率。必要时可进行扣除辅机动力折算热量的净效率计算，此时辅机用动力应在试验时予以记录。

## 3.11

**气化热效率 total gasification efficiency**

同一时间内气化炉出口粗燃气的热量占输入热量的百分比。

注：改写GB/T 31428—2015，定义5.18。

## 3.12

**气化强度 gasification intensity**

单位时间内气化炉内单位有效截面积上，气化的燃料量或产生的燃气的量或热值。

注：改写GB/T 31428—2015，定义5.16。有效截面积一般指炉膛内直段截面积，对于下吸式气化炉则指炉膛内缩口段的最小截面积。

## 3.13

**碳转化率 carbon conversion rate**

生物质气化过程中被转化的碳占入炉燃料中碳的质量百分数。

注：改写GB/T 31428—2015，定义5.19。

## 4 符号和单位

表1中所列符号及单位适用于本文件。

表1 符号及单位

序号	符号	名称	单位
1	A	气化炉内有效截面积	m <sup>2</sup>
2	A <sub>ar</sub>	燃料收到基灰分	%
3	B	燃气采样温度下的饱和水蒸气压力（查表）	Pa
4	B'	气化剂采样温度下的饱和水蒸气压力（查表）	Pa
5	C <sub>ar</sub>	生物质燃料的收到基含碳量	%
6	C <sub>ci</sub>	净燃气中第 n 种含碳气体摩尔（体积）分数	—
7	C <sub>hi</sub>	净燃气中第 n 种含氢气体摩尔（体积）分数	—
8	c <sub>p,i</sub>	净燃气中第 i 种气体在 101.325 kPa 下的定压比热容	kJ/(m <sup>3</sup> ·°C)
9	D	冷却水流量	kg/h
10	e	测试时间内的入炉气化剂量（测试温度、压力下）	m <sup>3</sup>
11	f	测试时间内的燃气产量（测试温度、压力下，以净燃气计）	m <sup>3</sup>
12	F	气化炉散热表面积	m <sup>2</sup>
13	G <sub>c</sub>	生物质炭质量	kg/h

表1 符号及单位 (续)

序号	符号	名称	单位
14	$G_d$	燃料消耗量	kg/h
15	$G_c^{hum}$	湿生物质炭质量	kg/h
16	$G_{q0}$	单位时间内气化剂流量	$Nm^3/h$
17	$H_{ar}$	生物质燃料收到基氢含量	%
18	$H_{ar, jy}$	焦油收到基氢元素质量分数	—
19	$H_{ar, q}$	气化剂收到基水蒸汽的摩尔(体积)分数	—
20	$H_c$	冷却水出口焓值	kJ/kg
21	$H_j$	冷却水入口焓值	kJ/kg
22	$\Delta I_{jy}$	焦油在采样温度下相对于基准温度下的焓值差	kJ/kg
23	$I_w$	气化炉出口温度下与基准温度下的水蒸气焓值差	kJ/kg
24	$M_s$	生物质炭淋水后含水量	%
25	$n_{ci}$	净燃气中第 n 种含碳气体中碳的原子数	—
26	$n_{hi}$	净燃气中第 n 种含氢气体中氢的原子数	—
27	$P'$	气化剂采样时气化剂压力	Pa
28	$P_0$	采样时大气压力	Pa
29	$Q_{jy, v, ar}$	焦油的低位发热量	kJ/kg
30	$Q_{net, v, ar}$	燃料收到基低位发热量	kJ/kg
31	$Q_r$	输入热量	kJ/kg
32	$Q_{rx}$	燃料物理热	kJ/kg
33	$Q_{rq, v, ar}$	净燃气的低位发热量	kJ/ $Nm^3$
34	$Q_{w1}$	外来热	kJ/kg
35	$q_{rh}$	飞灰热	%
36	$q_{jy}$	焦油热	%
37	$q_{qt}$	气体热	%
38	$q_2$	散热损失	%
39	$q_3$	水冷热损失	%
40	$q_4$	生物质炭热损失	%
41	$t$	测试时间	h
42	$t_{ct}$	生物质炭温度	$^{\circ}C$
43	$t_{jz}$	基准温度	$^{\circ}C$
44	$t_{qy}$	粗燃气的出口采样温度	$^{\circ}C$
45	$T$	燃气采样时燃气温度	$^{\circ}C$
46	$T'$	气化剂采样时气化剂温度	$^{\circ}C$
47	$V$	单位时间内产气量(测试温度、压力下,以净燃气计)	$m^3/h$
48	$V_0$	单位时间内净燃气产气量	$Nm^3/h$
49	$\alpha$	$N_2$ 占净燃气的摩尔(体积)百分数	%
50	$\beta$	气化炉散热系数	kJ/( $m^2h$ )
51	$\delta$	燃气中飞灰的含量	g/ $Nm^3$

表1 符号及单位 (续)

序号	符号	名称	单位
52	$\eta_c$	碳转换率	%
53	$\eta_l$	冷燃气效率	%
54	$\eta_r$	气化热效率	%
55	$\sigma_1$	气化强度 (以单位时间内单位截面积处理燃料量表征)	kg/(m <sup>2</sup> h)
56	$\sigma_2$	气化强度 (以单位时间内单位截面积产气量表征)	Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)
57	$\sigma_3$	气化强度 (以单位时间内单位截面积产气热量表征)	kJ/(m <sup>2</sup> h)
58	$\omega_c$	生物质炭的可燃物含量	%
59	$\omega_{hc}$	飞灰的可燃物含量	%
60	$\omega_i$	净燃气中第 i 种气体的摩尔 (体积) 分数	—
61	$\omega_{jy}$	单位体积燃气中的焦油含量	g/Nm <sup>3</sup>
62	$\omega_s$	粗燃气中的水分含量	g/Nm <sup>3</sup>

注: 气体 (燃气、气化剂) 体积在未特别说明情况下, 均指标准状态 (101 325 Pa 大气压力、0 °C) 下体积, 单位为标准立方米 (Nm<sup>3</sup>)。

## 5 气化炉热平衡边界

测量冷燃气效率和气化热效率的生物质气化炉热平衡边界如下图1所示。

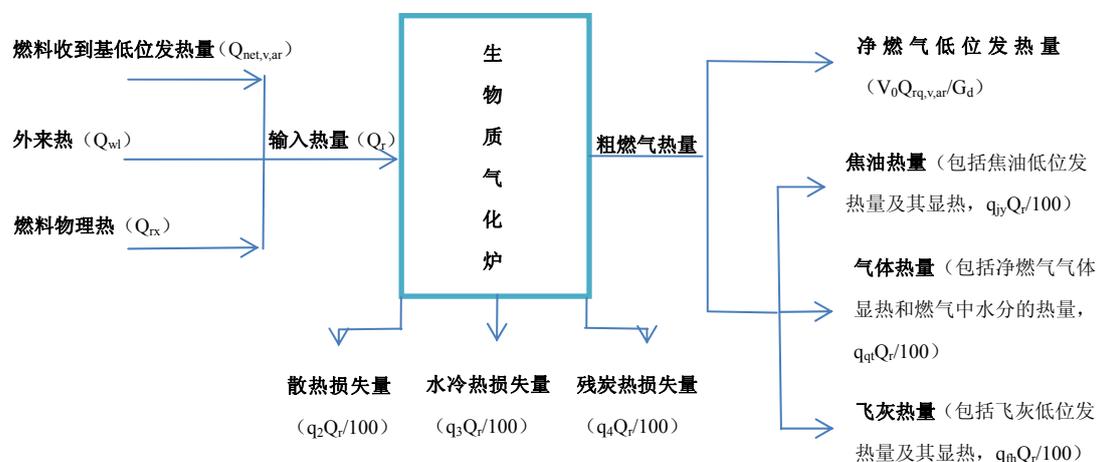


图1 生物质气化炉热平衡边界

## 6 试验准备工作

### 6.1 编制试验大纲

试验大纲的内容应包括:

- 试验目的和要求;
- 气化炉热平衡边界、测量项目、测量方法及要求;
- 测点布置和所需仪器、仪表;

- 人员组织和分工；
- 试验进度安排等。

## 6.2 试验人员

试验人员应由熟悉本标准并有试验经验的专业人员担任，在试验过程中试验人员不宜变动。

## 6.3 气化炉及其系统试验前检查

试验前应：

- 全面检查气化炉及辅机设备的运行状况是否符合试验要求，如不符合应排除；
- 应注意被试验气化炉的燃料、产气、除焦油、排生物质炭等与其他气化炉的燃料、产气、除焦油、排生物质炭等完全隔绝，以防止泄漏影响试验结果的准确性；
- 为全面检查试验用仪表是否正常工作、试验人员是否熟悉试验操作程序及试验人员之间相互配合程度，并确定合适的运行工况，可进行预备性试验；预备性试验的试验条件、试验内容和试验要求应与正式试验相同；如预备性试验能满足正式试验全部要求，经双方确认，可作为正式试验的一个工况。

## 7 现场试验

7.1 气化炉试验所使用的燃料应符合设计要求，无霉变，无碎石、铁屑、沙土等杂物。

7.2 在试验结束时，进料斗的料层高度应与开始试验时一致。试验期间鼓风量、进料量、炉内料层高度应基本相同。

7.3 正式试验时间每次应不少于 4 h。

7.4 基准温度一般选择试验地点的环境温度。

### 7.5 气化炉定型产品热效率试验

7.5.1 正式试验应在气化炉热工况调整到额定出力并稳定 1 h 后开始进行。

注：气化炉热工况稳定是指气化炉主要热力参数在许可波动范围内而且其平均值已不随时间不断变化的状态，热工况稳定所需的时间（自冷态点火开始）一般不少于4 h。

7.5.2 试验期间气化炉工况应保持稳定，并应符合以下规定：

- 气化炉出口燃气的产气速率的允许波动值在±10%以内；
- 固定床气化炉出口燃气的温度的允许波动值在±20 °C以内，流化床气化炉出口燃气的温度的允许波动值在±50 °C以内；

### 7.6 气化炉运行工况热效率试验

7.6.1 试验期间气化炉应能够稳定运行，不断火。

7.6.2 试验期间应采取措施控制气化炉燃料加料口和其他可能与大气连通的部位漏风。

### 7.7 气化炉验收试验

气化炉验收试验应由验收相关方（通常包括气化炉供货方、使用方、第三方检测机构等）协商确定相关试验要求，如燃料特性、运行出力、压力、温度等参数及波动范围等。第三方机构应按验收相关方协商一致的结果，采用本标准规定的方法进行试验。

## 8 测量项目和试验用仪器仪表

### 8.1 主要测量项目

#### 8.1.1 气化炉热工性能主要包括：

- 气化炉冷燃气效率；
- 气化炉气化热效率；
- 入炉空气温度和粗燃气温度；
- 产气量（以净燃气计）；
- 净燃气低位发热量；
- 燃料消耗量；
- 粗燃气中焦油、飞灰等杂质含量；
- 其他热损失等指标。

#### 8.1.2 气化炉热工性能试验测量主要项目见表2，但可不限于表2所列的项目。

表2 气化炉热工性能试验主要测量项目

序号	名称	备注
1. 燃料及生物质炭、净燃气、焦油、飞灰测量与采样		
1)	燃料消耗量及采样	—
2)	湿生物质炭的质量	—
3)	生物质炭、净燃气、焦油、飞灰的采样	—
2. 流量测量		
1)	入炉气化剂或气化炉燃气（以净燃气计）的流量	—
2)	冷却水流量	—
3)	粗燃气采样量	—
3. 温度测量		
1)	入炉气化剂温度	—
2)	环境温度	—
3)	冷却水进、出口温度	—
4)	粗燃气温度	—
5)	生物质炭温度	—
6)	炉体（包括气化炉热平衡边界范围内的烟道、循环水管等部件）外表面温度	—
7)	炉膛各部位（干燥区、热解区、燃烧区、还原区）温度	—
8)	流化床气化炉的流化层温度	受试气化炉为流化床气化炉时

表2 气化炉热工性能试验主要测量项目（续）

序号	名称	备注
4. 压力测量		
1)	粗燃气出口压力	—
2)	炉膛各部位（干燥区、热解区、燃烧区、还原区）压力	—
3)	一次风风压或流化床气化炉的风室风压	受试气化炉为流化床气化炉时
4)	入炉气化剂压力	—
5. 分析与化验项目		
1)	燃料的元素分析、工业分析	—
2)	燃料的收到基低位发热值	—
3)	净燃气的成份	—
4)	生物质炭淋水后含水量	—
5)	生物质炭、飞灰的可燃物含量	—
6)	焦油的收到基低位发热值	—
7)	焦油的元素分析（C、H）	—
8)	粗燃气中焦油、飞灰含量	—
6. 其他测量项目		
1)	散热面积	—
2)	试验开始和结束时间	—
3)	气化炉使用地大气压力	—
4)	入炉气化剂的湿度	—

表3 气化炉热工性能分析用测量项目

序号	名称	备注
1. 燃料特性测量		
1)	燃料粒度组成	—
2)	燃料灰熔点	受试气化炉为流化床气化炉时
2. 辅机用电量测量		
1)	鼓、送风机电机功率	—
2)	给料机电机功率	—
3)	循环水泵电机功率	—
4)	其他	—

## 8.2 试验用仪器、仪表

8.2.1 试验所用的仪器、仪表应在检定或校准合格有效期内。

8.2.2 所用仪器、仪表在测量量程内应满足测量项目的精度要求，主要测量项目所用仪器、仪表的精度应符合表4的规定。

8.2.3 仪器、仪表的安装及使用均应符合试验要求及仪器、仪表的使用要求。

表4 主要测量项目用仪器、仪表的精度要求

序号	测量项目		仪器和仪表的最低精度要求
1	质量测量	衡器	Ⅲ级
2	用电量测量	电度表	1.0级
		互感器	0.5级
3	流量测量	气体（空气和燃气）	1.5级
		液体	1.0级
4	温度测量		0.5级 [采用热电阻温度计时精度应不低于B级， 且其显示仪表（二次仪表）的读数分辨率应 不低于0.1℃]
5	压力测量		1.6级
6	长度测量		1.0级

## 9 测试方法

### 9.1 试验数据记录

9.1.1 燃气采样温度、冷却水进出口温度，应不大于5 min 采样并记录一次。

9.1.2 入炉空气量采用皮托管测量瞬时流速并计算流量时，应不大于5 min 记录一组数据。

9.1.3 入炉空气量、冷燃气量等流量的测量采用累计方法确定时，应不大于30 min 读数并记录一次。

9.1.4 需要称重的测量项目，时间间隔按实际操作并记录。

9.1.5 其他测量项目，一般应不大于15 min 测量并记录一次。

### 9.2 燃料的测量和采样

#### 9.2.1 测量要求

生物质燃料应使用衡器称重，一般在加入料斗、料仓或皮带输送机之前进行测量。人工加料时，燃料应与盛放燃料的容器一起称重并逐一记录。盛放燃料的容器应精确称重，并每隔一段时间（如1 h）复校一次。

#### 9.2.2 采样要求

9.2.2.1 入炉燃料采样按 GB/T 10180—2017 附录 C 或 NY/T 1879，样品制备按 GB/T 28730 或 NY/T 1880。

9.2.2.2 入炉燃料的采样应在称重地点进行，每次试验采集的原始燃料数量应不少于总燃料量的1%，且总采样量不少于10 kg。当气化炉实测热功率大于7 MW 时，采集的原始燃料数量应不少于总燃料样的0.5%。

9.2.2.3 对于混合燃料，可根据入炉各种燃料的元素分析、工业分析、发热量和全水分，再按照相应基质的混合比例求得对应值，然后作为单一燃料处理。

9.2.2.4 样品采样的有效时间应与气化炉试验工况时间相同，但采样结束时间应视燃料从采样点到送入气化炉所需的时间适当提前，以保证样品能代表试验期间所用燃料。样品采集后应立即密封保存。

### 9.3 生物质炭的测量和采样

#### 9.3.1 测量要求

9.3.1.1 试验过程中可在被测气化炉生物质炭出口处，将生物质炭与容器一并测量并逐一记录测量数据，每隔一段时间（如 1 h）应复核一次容器质量。

9.3.1.2 在湿法除渣且含有大量水分时，应将生物质炭铺开在清洁的地面上，待稍干除湿后再称量，一般逐车称量。若生物质炭有多个出渣口时，应对每个出渣口进行单独称量。

#### 9.3.2 采样要求

9.3.2.1 装有机械出渣设备的生物质气化炉，可在生物质炭出口处采样（一般每 15 min 采样一次），样品制备方法参照 GB/T 10180—2017 附录 C 进行。如有多个出渣口，应在各个出渣口分别采样，并将各自采样按照各出渣口的生物质炭量进行加权混合。

9.3.2.2 每次试验采集的原始炭应不少于总炭量的 2%，且总炭量应不少于 20 kg。当总炭量少于 20 kg 时，应予全部采样，缩分后不少于 1 kg。如样品需做全水分化验，则样品质量应不少于 3 kg。

### 9.4 流量测量

#### 9.4.1 净燃气流量的测量

9.4.1.1 对于气化炉定型产品热效率试验，气化炉出口燃气应经净化、冷却后直接测量净燃气流量。净燃气流量应采用气体流量计进行测量，并在流量计附近同时测量气体的温度和压力。

#### 9.4.1.2 对于气化炉运行工况热效率试验：

- 现场配备燃气净化、冷却设施的气化炉，流量测量应按照 9.4.1.1 的要求进行。
- 现场未配备燃气净化、冷却设施的气化炉，在确保气化炉密闭性的情况下，对于采用空气作为气化剂的气化炉，一般通过测量气化剂的流量和净燃气中  $N_2$  的含量利用“ $N_2$ 平衡”计算净燃气的流量；采用其他成分稳定的气化剂的气化炉，可以参照空气作为气化剂时采用一种不参与反应的惰性气体平衡来计算净燃气流量。空气流量一般采用气体流量计进行测量，测点一般布置在进风管道直段上；当通过测量流速计算流量时，测点应开设在进风管道直段上截面工质流速比较均匀的位置，采样点前、后气道应分别有不小于 6 倍直径（当量）和 3 倍直径（当量）的直段，采样参照 GB/T10180-2017 附录 D 规定的网格法等面积原则进行。

#### 9.4.2 冷却水流量的测量

冷却水流量一般在循环水管道上测量，测点通常布置在管道直管段上。

### 9.5 净燃气、焦油、飞灰和水分的采样方法

9.5.1 在只需要计算气化炉冷燃气效率的场合，气化炉中的飞灰、焦油可按照 GB/T 12208 中第 5 条采用滤膜法进行采样，冷却、净化后的净燃气采用铝箔气体采样袋收集。

9.5.2 在需要计算热燃气效率的场合，气化炉飞灰、焦油、水分和净燃气的采样方法参见附录 A；采样时间根据燃气中的焦油和飞灰浓度确定，采样体积不宜小于  $0.1 \text{ m}^3$ 。

## 9.6 温度的测量

9.6.1 测温仪表应符合试验要求。

9.6.2 工质温度测点应选择在被测工质温度分布比较均匀的位置，对于管道输送流体介质的温度，测温仪表的测温端应插至输送管道直径（当量）的 1/3—2/3 处。

9.6.3 入炉冷空气的温度测点应设在鼓（送）风机进风口处。如有多个鼓风机，应选在风量最大的鼓（送）风机进风口处。

9.6.4 生物质炭的温度可在放渣堆中进行测量，测温仪表的测温端应尽量处于生物质炭堆的重心位置，每堆测量 2—3 次。试验结束后，根据每堆生物质炭的质量，对试验数据进行加权平均，作为试验的结果数据。当生物质炭温度无法测量时，固定床气化炉的生物质炭按照 600 °C 选取，流化床生物质炭的温度按照 800 °C 选取。

9.6.5 粗燃气温度测点应设主燃气管道上，距离气化炉燃气出口应不大于 1 m。

## 9.7 压力的测量

9.7.1 测压仪表应符合试验要求。

9.7.2 工质压力测点应选择在被测工质压力分布比较均匀的位置。

## 9.8 燃料、燃气、焦油、生物质炭及飞灰的化验分析

9.8.1 生物质燃料的发热量测试、工业分析、全水分分析、元素分析、灰熔点的检测分别按照 GB/T 30727、GB/T 28731、GB/T 28733、GB/T 28732、GB/T 28734、GB/T 30728、GB/T 30726 的规定方法进行。

9.8.2 燃气的化验分析按照 GB/T 10410 中人工煤气的测定要求进行。

9.8.3 焦油的发热量测定时，应注意混匀后均匀采样，其余参照 DL/T 567.8 中轻油的要求进行。焦油的元素分析（C、H）参照 DL/T 567.9 进行。

9.8.4 湿生物质炭的含水量测定参照 GB/T 211 进行。生物质炭和飞灰的可燃物含量测定参照 DL/T 567.6 进行。

## 9.9 用电量测量

气化炉各辅机的用电量可采用符合要求的仪器和仪表进行测量，测点一般布置在气化炉配电柜中。

## 10 气化炉效率的计算

### 10.1 单位时间内产气量的计算

10.1.1 单位时间内燃气产气量计算按式（1）进行：

$$V = \frac{f}{t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$V$ ——单位时间内产气量（测试温度、压力下，以净燃气计），单位为立方米每小时（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）；  
 $f$ ——测试时间内的燃气产量（测试温度、压力下，以净燃气计），单位为立方米（ $\text{m}^3$ ）；  
 $t$ ——测试时间，单位为小时（h）。

10.1.2 将  $V$  换算至标准状态下的  $V_0$  的计算按式（2）进行：

$$V_0 = V \frac{273.15}{273.15 + T} \times \frac{P_0 + P - B}{101325} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$V_0$ ——单位时间内净燃气产气量，单位为标立方米每小时（ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ）；  
 $T$ ——燃气采样时燃气温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；  
 $P_0$ ——采样时大气压力，单位为帕斯卡（Pa）；  
 $P$ ——燃气采样时燃气压力，单位为帕斯卡（Pa）；  
 $B$ ——燃气采样温度下的饱和水蒸气压力（查表），单位为帕斯卡（Pa）；

10.1.3 通过测试气化剂流量计算产气量时，气化剂流量的计算按式（3）进行：

$$G_{q_0} = \frac{e}{t} \times \frac{273.15}{273.15 + T'} \times \frac{P_0 + P' - B'}{101325} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$G_{q_0}$ ——单位时间内气化剂流量，单位为标立方米每小时（ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ）；  
 $e$ ——测试时间内的入炉气化剂量（测试温度、压力下），单位为立方米（ $\text{m}^3$ ）；  
 $P'$ ——气化剂采样时气化剂压力，单位为帕斯卡（Pa）；  
 $B'$ ——气化剂采样温度下的饱和水蒸气压力（查表），单位为帕斯卡（Pa）；  
 $T'$ ——气化剂采样时气化剂温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

10.1.4 当气化剂为空气时，标准状态下单位时间内产气量的计算按式（4）进行：

$$V_0 = G_{q_0} \times \frac{78}{\alpha} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\alpha$ —— $\text{N}_2$ 占净燃气的摩尔（体积）百分数，%。

## 10.2 输入热量的计算

输入热量的计算按式（5）进行：

$$Q_r = Q_{net,v,ar} + Q_{wl} + Q_{rx} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$Q_r$ ——输入热量，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}/\text{kg}$ ）；  
 $Q_{net,v,ar}$ ——燃料收到基低位发热量，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}/\text{kg}$ ）；  
 $Q_{wl}$ ——外来热，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}/\text{kg}$ ）；  
 $Q_{rx}$ ——燃料物理热，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}/\text{kg}$ ）。

### 10.3 冷燃气效率的计算

冷燃气效率的计算按式(6)进行:

$$\eta_l = \frac{V_0 Q_{r,q,v,ar}}{Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\eta_l$  ——冷燃气效率, %;

$Q_{r,q,v,ar}$  ——净燃气的低位发热量, 单位为千焦每标立方米 ( $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ );

$G_d$  ——燃料消耗量, 单位为千克每小时 ( $\text{kg}/\text{h}$ )。

注: 常用气体的有关量值见附录C。

### 10.4 气化热效率的计算

气化热效率的计算按式(7)进行:

$$\eta_r = \eta_l + q_{jy} + q_{qt} + q_{fh} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\eta_r$  ——气化热效率, %;

$q_{jy}$  ——焦油热, %;

$q_{qt}$  ——气体热, %;

$q_{fh}$  ——飞灰热, %。

### 10.5 焦油热

#### 10.5.1 焦油含量的取值、测量和计算

焦油含量的检测和计算详见附录A。焦油在采样温度和基准温度下的焓值差可用苯的焓值差代替。

#### 10.5.2 焦油热的计算

焦油热的计算按式(8)进行:

$$q_{jy} = \frac{V_0 \omega_{jy} (Q_{jy,v,ar} + \Delta I_{jy})}{1000 Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$\omega_{jy}$  ——单位体积燃气中的焦油含量, 单位为克每标立方米 ( $\text{g}/\text{Nm}^3$ );

$Q_{jy,v,ar}$  ——焦油的低位发热量, 单位为千焦每千克 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ );

$\Delta I_{jy}$  ——焦油在采样温度下相对于基准温度下的焓值差, 单位为千焦每千克 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )。

### 10.6 气体热的计算

#### 10.6.1 粗燃气中水分产量的计算

水分含量采用氢平衡计算, 即入炉燃料和气化剂中的氢元素之和等于出炉的净燃气、焦油和水蒸气的氢元素之和。粗燃气中水分产量的计算按式(9)进行:

$$\omega_s = \frac{9000}{V_0} \left( \frac{G_d H_{ar}}{100} + \frac{2G_{q_0}}{22.4} H_{ar,q} - \frac{V_0}{22.4} \sum C_{Hi} n_{Hi} - \frac{V_0 \omega_{jy} H_{ar,jy}}{1000} \right) \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- $\omega_s$  ——粗燃气中的水分含量, 单位为克每标立方米 (g/Nm<sup>3</sup>);
- $H_{ar}$  ——生物质燃料收到基氢含量, %;
- $H_{ar,q}$  ——气化剂收到基水蒸汽的摩尔(体积)分数, 无量纲;
- $H_{ar,jy}$  ——焦油收到基氢元素质量分数, 无量纲;
- $C_{Hi}$  ——净燃气中第*n*种含氢气体摩尔(体积)分数, 无量纲;
- $n_{Hi}$  ——净燃气中第*n*种含氢气体中氢的原子数, 无量纲。

### 10.6.2 气体热的计算

气化炉出口热燃气带出的气体热包括净燃气气体显热和燃气中水分的热量, 气体热的计算按式(10)计算:

$$q_{qt} = \frac{V_0 (\sum c_{p,i} \omega_i + 0.001244 \omega_s c_{p,H_2O}) (t_{qy} - t_{jz})}{Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- $c_{p,i}$  ——净燃气中第*i*种气体在101.325 kPa下的定压比热容, 单位为千焦每立方米每摄氏度 (kJ/(m<sup>3</sup>°C));
- $c_{p,H_2O}$  ——水蒸汽的定压比热容, 单位为千焦每立方米每摄氏度 (kJ/(m<sup>3</sup>°C));
- $\omega_i$  ——净燃气中第*i*种气体的摩尔(体积)分数, 无量纲;
- $T_{qy}$  ——粗燃气的出口采样温度, 单位为摄氏度 (°C);
- $T_{jz}$  ——基准温度, 单位为摄氏度 (°C)。

注: 常用气体在不同温度下的平均定压比热容见附录D。

### 10.7 飞灰热的计算

#### 10.7.1 飞灰含量的测量和计算

飞灰含量的检测和计算详见附录A。

#### 10.7.2 飞灰热的计算

飞灰热的计算按式(11)进行:

$$q_{fh} = \frac{V_0 \delta (32866 \omega_{hc} / 100 + 0.837 (t_{qy} - t_{jz}))}{1000 Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- $\delta$  ——燃气中飞灰的含量, 单位为克每标立方米 (g/Nm<sup>3</sup>);
- 32866 ——碳的发热量, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);
- $\omega_{hc}$  ——飞灰的可燃物含量, %;
- 0.837 ——炭在101.325 kPa下的定压比热容, 单位为千焦每千克每开 (kJ/(kgK))。

## 10.8 散热损失的测算

### 10.8.1 热流计法

测量和计算方法按照 GB/T 10180—2017 附录 F.2 执行。

### 10.8.2 算法

散热损失的的计算也近似按式 (12) 进行：

$$q_2 = \beta \frac{F}{Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\beta$ ——散热系数，单位为千焦每平方米每小时 ( $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{h})$ )，当设备外表面温度等于或者低于  $60\text{ }^\circ\text{C}$  时， $\beta$  取  $1650\text{ kJ}/(\text{m}^2\text{h})$ ，当设备外表面温度高于  $60\text{ }^\circ\text{C}$  时，每高  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ， $\beta$  增加  $550\text{ kJ}/(\text{m}^2\text{h})$ ；

$F$ ——散热面积，包括气化炉热平衡边界内的气化炉本体、烟道和水管等部件，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )。

## 10.9 水冷热损失的计算

部分生物质气化炉采用水冷却炉体，其水冷热损失的计算按式 (13) 进行：

$$q_3 = \frac{D(H_j - H_c)}{Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$D$ ——冷却水流量，单位为千克每小时 ( $\text{kg}/\text{h}$ )；

$H_j$ ——冷却水出口焓值，单位为千焦每千克 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )；

$H_c$ ——冷却水入口焓值，单位为千焦每千克 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )。

注：水在常压 ( $100\text{kPa}$ ) 下的焓值见附录 E。

## 10.10 生物质炭热损失的计算

生物质炭质量的计算按式 (14) 进行：

$$G_c = G_c^{hum} \left(1 - \frac{M_s}{100}\right) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$G_c$  ——生物质炭质量，单位为千克每小时 ( $\text{kg}/\text{h}$ )；

$G_c^{hum}$  ——湿生物质炭质量，单位为千克每小时 ( $\text{kg}/\text{h}$ )；

$M_s$  ——生物质炭淋水后含水量，%。

生物质炭热损失的计算按式 (15) 进行：

$$q_4 = \frac{G_c (32866 \omega_c / 100 + 0.837 (t_{ct} - t_{jz}))}{Q_r G_d} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\omega_c$  ——生物质炭的可燃物含量，%；

$t_{ic}$  ——生物质炭温度，单位为摄氏度 ( $^\circ\text{C}$ )。

### 10.11 气化强度的计算

气化强度一般有三种表达方式：分别为单位时间内气化炉单位有效截面积上，气化的燃料量、产生的燃气量或者燃气的热量。三种气化强度的计算分别按照式（16）、式（17）和式（18）进行：

$$\sigma_1 = \frac{G_d}{A} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$\sigma_1$ ——气化强度（以单位时间内单位截面积处理燃料量表征），单位为千克每平方米每小时（kg/(m<sup>2</sup>h)）；

$A$ ——气化炉内有效截面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）。

$$\sigma_2 = \frac{V_0}{A} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\sigma_2$ ——气化强度（以单位时间内单位截面积产气量表征），单位为标立方米每平方米每小时（Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h)）；

$$\sigma_3 = \frac{V_0 Q_{rq,v,ar}}{A} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$\sigma_3$ ——气化强度（以单位时间内单位截面积产气热量表征），单位为千焦每平方米每小时（kJ/(m<sup>2</sup>h)）；

### 10.12 碳转换率的计算

碳转换率的计算按式（19）进行：

$$\eta_c = \frac{12V_0 \sum C_{Ci} n_{Ci}}{2240G_d C_{ar}} \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$\eta_c$ ——碳转换率，%；

$C_{ar}$ ——生物质燃料的收到基含碳量，%；

$C_{Ci}$ ——净燃气中第*n*种含碳气体摩尔（体积）分数，无量纲；

$n_{Ci}$ ——净燃气中第*n*种含碳气体中碳的原子数，无量纲。

### 10.13 试验次数及误差规定

10.13.1 气化炉定型产品热效率试验应进行两次，且两次试验测得的效率之差应不大于4%。

10.13.2 气化炉运行工况热效率试验应进行一次。

10.13.3 气化炉验收试验的次数应由验收相关方协商确定，如进行多次试验，每次试验测得的效率之差应不大于4%。

## 11 试验报告

### 11.1 试验报告至少应包含下列内容：

- 试验气化炉型号；
- 气化炉制造单位；
- 试验委托单位
- 试验地点；
- 试验日期；
- 试验负责单位；
- 试验报告编号。
- 试验目的和要求；
- 试验负责人、参加人员；
- 气化炉热平衡边界及测点布置图、试验项目及试验用仪器仪表说明；
- 试验工况说明和结果分析；
- 气化炉设计数据综合表（附录 B.1）；
- 试验数据综合表（附录 B.2）；
- 试验结果汇总表（附录 B.3）。

### 11.2 热工试验原始数据、试验报告应存档备案。

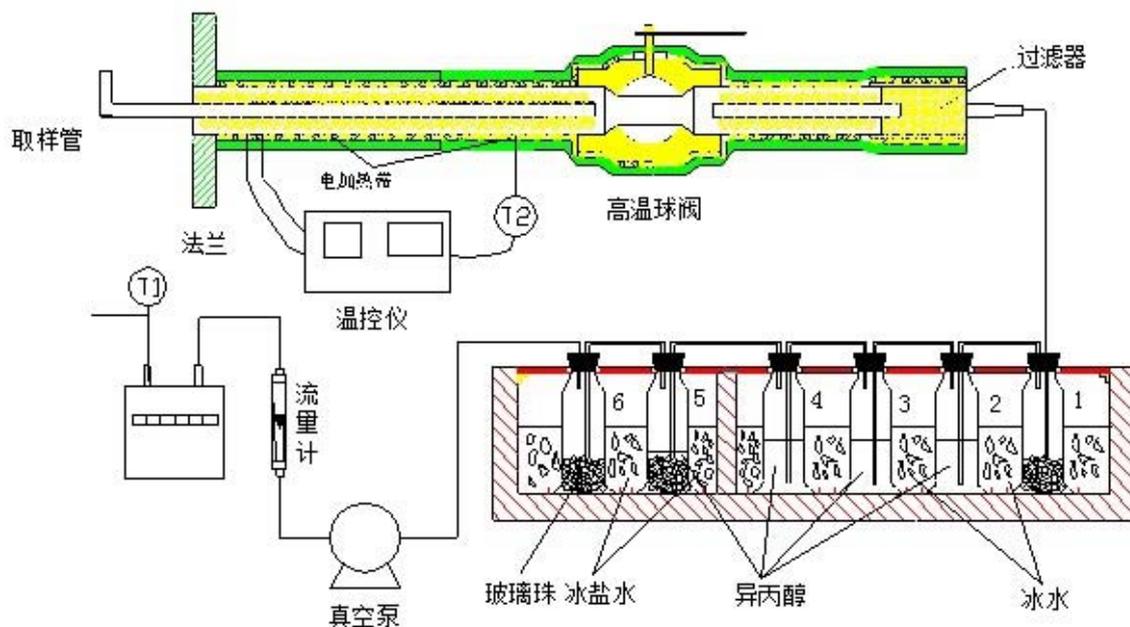
## 附录 A (规范性附录)

### 燃气中焦油、飞灰含量的分别测定

#### A.1 飞灰、焦油和净燃气采样系统

##### A.1.1 采样系统介绍

采用等速采样、冷态捕集的方法对飞灰、焦油采样，所用的采样系统基本布置如图A.1所示。燃气经与主燃气管道相联的采样管，经过电加热保温套管、高温球阀，进入高温过滤器，将飞灰分离出来。然后经过一系列的吸收瓶在冷态下以异丙醇作为吸收溶剂吸收燃气中的焦油成分。通过采样系统燃气的瞬时和累计流量由流量计计量。在焦油采样的过程中同时进行燃气的采样，所得样品存于铝箔气体采样袋中。



图A.1 飞灰、焦油采样系统布置图

##### A.1.2 采样系统要求

A.1.2.1 采样口应设在主燃气管道上，距离气化炉燃气出口应不大于1 m。

A.1.2.2 过滤器对于0.3 μm的颗粒物截留率应不小于99.998%；

A.1.2.3 对于上吸式气化炉，过滤器前的采样管线温度宜保持在100—125 ℃；对于下吸式、流化床和气流床气化炉采样温度宜保持在300—350 ℃；

A.1.2.4 1/2/3/4吸收瓶置于冰水混合物中（温度0 ℃左右），5/6吸收瓶置于冰盐水（冰盐质量比8—9：1，温度约为—15 ℃～—20 ℃）中，1/5/6吸收瓶中应放置直径约6 mm玻璃珠。

A. 1. 2. 5 采样时宜采用250 mL冲击瓶，此时宜通过改变采样管嘴管径的方式来保证净燃气采样流量为 $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ — $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ，但管嘴管径最小不宜小于4 mm。

A. 1. 2. 6 每次采样取得的液体样品连同吸收瓶清洗液一起存放于锥形瓶中，并移入冰箱保存。

### A. 1. 3 飞灰、焦油采样步骤

#### A. 1. 3. 1 飞灰采样前的准备工作

将过滤器在110 °C下烘干至恒重，取出在干燥器中冷却至室温后称重，读数 $m_1$ ，精确到0.1 mg。

#### A. 1. 3. 2 焦油采样前的准备工作

在开始焦油采样前，需按照顺序在通风良好的地方做好以下工作（参照图A. 1）：

- a) 向冷浴箱的第一级冷却部分加入冰水混合物至箱容积的1/4—1/3处，然后盖好顶盖；
- b) 向冷浴箱的第二级冷却部分添加冰盐混合物至箱容积的1/4处，并搅拌均匀，冰与氯化钠质量比约为8:1—9:1，盖好顶盖，减少散热损失；
- c) 依次向吸收瓶1、5、6加入半瓶高的玻璃珠；
- d) 依次向吸收瓶2、3、4、5加入异丙醇溶剂70 mL、70 mL、70 mL、30 mL；
- e) 将吸收瓶1—6快速转移到冷浴箱中适当位置，冷浴箱的第一级冷却部分放置前4个吸收瓶，第二级放置吸收瓶5、6。然后用硅胶管将6个吸收瓶首尾相连，并用聚四氟乙烯管连接采样探头和吸收瓶1的进口；用耐压橡胶管连接膜式真空泵与吸收瓶6的出口；
- f) 关闭高温球阀，启动真空泵，检查采样系统的密闭性，如发现有漏气的地方，认真检查并予以排除，确认系统可正常工作，转入下一步程序。

#### A. 1. 3. 3 飞灰焦油采样过程

飞灰焦油采样过程如下：

- a) 将焦油采样探头的法兰与燃气管道的法兰紧密连接，并将采样装置放在适当位置，尽量缩短探头与吸收瓶之间连接管路的距离，减少焦油在其中的冷凝机会；
- b) 更换采样探头中二级高温过滤器中的石英纤维滤料；
- c) 开启采样探头的电加热套电源，开始加热，待温度升至设定温度15 min后开始采样；
- d) 记录流量计的初始读数 $V_1$ ；
- e) 打开采样探头上的高温球阀，启动真空泵，使燃气通过采样系统，同时记录流量计出口燃气的温度 $T$ ；
- f) 采样结束后关闭高温球阀，记录流量计读数 $V_2$ ；
- g) 打开冷浴箱盖，拆下吸收瓶的连接管路，将吸收瓶内的溶液和玻璃珠同时转移至带有过滤网的分液漏斗中，并将吸收瓶和分液漏斗中的玻璃珠用异丙醇清洗，清洗液也倒入分液漏斗，最后将分液漏斗中的溶液转移至500 mL的锥形瓶中低温保留，并给予编号，供进一步分析。

## A. 2 飞灰含量的分析方法

### A. 2. 1 分析步骤

分析步骤如下：

- a) 将过滤器移入索氏抽提器，仔细加入合适量的异丙醇（250 mL），抽提6 h—8 h直至液滴变得干净；

- b) 将过滤器移入烘箱中在 110 °C 下干燥至恒重，取出在干燥器中冷却至室温后称重，读数  $m_2$ ，精确到 0.1 mg。

### A. 2.2 飞灰含量的计算

根据上述试验过程取得的参数，可以通过计算得到燃气中的飞灰含量，计算公式如下：

$$\delta = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1} \times \frac{T + 273}{273} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中：

- $m_1$ ——采样前过滤器重量 (g)；  
 $m_2$ ——采样后过滤器重量 (g)；  
 $\delta$ ——燃气中飞灰的含量 (g/Nm<sup>3</sup>)；  
 $V_2$ ——采样结束时流量计的读数 (dm<sup>3</sup>)；  
 $V_1$ ——采样开始时流量计的读数 (dm<sup>3</sup>)；  
 $T$ ——流量计出口处采样燃气的温度 (°C)。

## A. 3 焦油含量的分析方法

### A. 3.1 旋转蒸发器分离系统

旋转蒸发器分离系统是通过真空泵使蒸发烧瓶处于负压状态，同时恒速旋转的蒸发瓶又置于恒温水浴槽中加热，使烧瓶内的溶液随烧瓶的旋转在瓶内壁形成大面积薄膜，薄膜处于恒温加热和负压状态，促进了其蒸发扩散，提高了蒸发效率。蒸发出来的溶剂蒸汽经高效玻璃冷凝器水冷，液滴经分离储存在收集瓶内，收集的溶剂可循环再用。

### A. 3.2 焦油的分离与重度分析

焦油的分离与重度分析如下：

- a) 取下旋转蒸发器的旋转瓶，放在干燥器内干燥 5 min，然后放在 0.0001 g 的电子天平上称重，记为  $MT_0$ ；
- b) 设定水浴温度 55 °C，开始升温；
- c) 称量装有焦油溶液样品的锥形瓶重量，记为  $M_{21}$ ，然后倒入适量焦油溶液样品至旋转瓶中，称量剩余焦油溶液的重量，记为  $M_{22}$ ，将剩余焦油样品转移至另外的瓶中保留备用，用异丙醇溶剂清洗锥形瓶后放在通风厨内干燥 10 min 后称重，记为  $M_1$ ；
- d) 将旋转瓶迅速装在旋转蒸发器上，开启冷却水和真空泵，检查系统气密性，如有漏气，用真空硅脂涂抹在漏气的部位，保持系统完好的密封。当系统的真空度达到 0.09 MPa 时，关闭真空泵，调节旋转瓶的转速，开始溶剂的蒸发；
- e) 调节冷却水的流量和旋转瓶转速，使溶剂冷凝速度保持在 1—2 滴/s，当相邻两液滴下落间隔在 4 s 以上时，再继续蒸发 15 min，才可以认为溶剂蒸发结束；
- f) 如果溶剂蒸发结束后发现所得的焦油中有少量水分，就向旋转瓶内加入 20 mL 无水乙醇继续蒸发，直至看不到水分为止；

- g) 停止转动，打开进气阀，消除系统真空，取下旋转瓶，擦掉外壁面的水分，然后将其放置在干燥器内保持 5 min，在电子天平上称重，记为  $M_{T1}$ ；
- h) 用异丙醇清洗旋转瓶，放在通风厨内待溶剂挥发掉之后，放于干燥器内保存，供下一次分析使用。

### A.3.3 焦油含量的计算

根据上述试验过程取得的参数，可以通过计算得到燃气中的焦油含量，计算公式如下：

$$\omega_{jy} = \frac{(M_{21} - M_1)(M_{T1} - M_{T0})}{(V_2 - V_1)(M_{21} - M_{22})} \times \frac{T + 273}{273} \times 1000 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$\Omega_{jy}$ ——燃气中焦油的含量 (g/Nm<sup>3</sup>)；

$M_{21}$ ——锥形瓶与焦油溶液样品的总质量 (g)；

$M_1$ ——锥形瓶质量 (g)；

$M_{T1}$ ——旋转瓶与焦油的质量 (g)；

$M_{T0}$ ——旋转瓶质量 (g)；

$M_{22}$ ——锥形瓶与采样后剩余焦油溶液的质量 (g)；

$V_2$ ——采样结束时流量计的读数 (dm<sup>3</sup>)；

$V_1$ ——采样开始时流量计的读数 (dm<sup>3</sup>)；

$T$ ——流量计出口处采样燃气的温度 (℃)。

附 录 B  
(资料性附录)

生物质气化炉热工性能试验数据表

生物质气化炉设计数据综合表如表B.1，试验数据综合表如表B.2，试验结果汇总表如表B.3。

表B.1 生物质气化炉设计数据综合表

序号	名称	单位	设计数据
1	设备规格型号	—	
2	适用原料	—	
3	原料低位热值	kJ/kg	
4	原料含水湿度要求	%	
5	原料堆积密度要求	kg/m <sup>3</sup>	
6	原料灰份要求	%	
7	设备原料处理能力	kg/h	
8	设备安装尺寸	m	
10	循环水温	°C	
11	燃气温度	°C	
12	燃气显热	kJ/Nm <sup>3</sup>	
13	燃气压力	Pa	
14	工作电压	V	
15	设备总功耗	kW	
16	设备运行功耗	kW	
17	燃气输出管径	mm	
18	设备最大产气量	Nm <sup>3</sup> /h	
19	净燃气低位热值	kJ/Nm <sup>3</sup>	
20	冷燃气效率	%	
21	气化热效率	%	

表B.2 试验数据综合表

序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	试验数据I	试验数据II
(一) 燃料特性						
1	收到基碳	$C_{ar}$	%	化验数据		
2	收到基氢	$H_{ar}$	%	化验数据		
3	收到基氧	$O_{ar}$	%	化验数据		
4	收到基氮	$N_{ar}$	%	化验数据		
5	收到基硫	$S_{ar}$	%	化验数据		
6	收到基灰分	$A_{ar}$	%	化验数据		
7	收到基水分	$M_{ar}$	%	化验数据		
8	干燥无灰基挥发分	$V_{ar}$	%	化验数据		
9	收到基低位发热量	$Q_{net, v, ar}$	kJ/kg	化验数据		
(二) 净燃气特性						
10	收到基一氧化碳	CO	%	化验数据		
11	收到基氢气	$H_2$	%	化验数据		
12	收到基氮气	$N_2$	%	化验数据		
13	收到基甲烷	$CH_4$	%	化验数据		
14	收到基乙烷	$C_2H_6$	%	化验数据		
15	收到基丙烷	$C_3H_8$	%	化验数据		
16	收到基乙烯	$C_2H_4$	%	化验数据		
17	收到基丙烯	$C_3H_6$	%	化验数据		
18	收到基氧气	$O_2$	%	化验数据		
19	收到基二氧化碳	$CO_2$	%	化验数据		
20	容积成分之和	$\sum K_i$	%	$CH_4+C_2H_6+\dots+O_2+N_2+\dots+\sum C_nH_n$		
21	干气体密度	$\rho_d$	kg/m <sup>3</sup>	$0.0125(CO+N_2)+0.0009H_2+$ $\sum(0.54m+0.045n)C_nH_n/100+$ $0.0152H_2S+0.0197CO_2+0.0143O_2$		
22	收到基低位发热量	$Q_{r, v, ar}$	kJ/m <sup>3</sup>	$\sum_{100} \frac{K_i}{100} (Q_{net, v, ar}^d)_i$		
(三) 气化炉效率						
23	燃料消耗量	$G_d$	kg/h	试验数据		
24	燃料物理热	$Q_{rx}$	kJ/kg	试验数据		
25	加热燃料或外来热量	$Q_{w1}$	kJ/kg	试验数据		
26	输入热量	$Q_r$	kJ/kg	公式(5)		
27	标准状况下单位时间内 净燃气产气量	$V_0$	Nm <sup>3</sup>	公式(2)或(3)、(4)		
28	粗燃气采样温度	$t_{qy}$	℃	试验数据		
29	基准温度	$t_{jz}$	℃	试验数据		
30	焦油含量	$\omega_{jy}$	kg/Nm <sup>3</sup>	试验数据或查表		

表 B.2 试验数据综合表 (续)

序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	试验数据I	试验数据II
31	焦油低位发热量	$Q_{jy, v, ar}$	kJ/kg	化验数据		
32	冷燃气效率	$\eta_l$	%	公式 (6)		
33	燃气热效率	$\eta_r$	%	公式 (7)		
34	焦油热	$q_{jy}$	%	公式 (8)		
35	气体热	$q_{qt}$	%	公式 (10)		
36	飞灰热	$q_{fh}$	%	公式 (11)		
37	散热损失	$q_2$	%	试验数据或公式 (12)		
38	水冷热损失	$q_3$	%	公式 (13)		
39	生物质炭热损失	$q_4$	%	公式 (15)		
40	气化剂收到基水蒸气摩尔 (体积) 分数	$H_{ar, q}$	—	试验数据		
41	焦油收到基氢元素质量分 数	$H_{ar, jy}$	—	化验数据		
42	焦油在采样温度下相对于 基准温度下的焓值差	$\Delta I_{jy}$	kJ/kg	化验数据		
43	粗燃气中水分含量	$\omega_s$	g/Nm <sup>3</sup>	公式 (9)		
44	气化炉出口温度下与基准 温度下的水蒸气焓值差	$I_w$	kJ/kg	试验数据, 查表		
45	燃气中飞灰的含量	$\delta$	g/Nm <sup>3</sup>	试验数据		
46	飞灰的可燃物含量	$\omega_{hc}$	%	化验数据		
47	散热面积	$F$	m <sup>2</sup>	试验数据		
48	气化炉散热系数	$\beta$	kJ/(m <sup>2</sup> h)	查表		
49	冷却水流量	$D$	kg/h	试验数据		
50	冷却水入口焓值	$H_j$	kJ/kg	试验数据		
51	冷却水出口焓值	$H_c$	kJ/kg	试验数据		
52	生物质炭淋水后含水量	$M_s$	%	化验数据		
53	湿生物质炭质量	$G_c^{hum}$	kg/h	试验数据		
54	生物质炭质量	$G_c$	kg/h	公式 (14)		
55	生物质炭可燃物含量	$\omega_c$	%	化验数据		
56	生物质炭排出温度	$t_{ct}$	°C	试验数据		
57	气化炉内有效截面积	$A$	m <sup>2</sup>	设计数据或试验数据		
58	气化强度 (单位有效截面 气化燃料量)	$\sigma_1$	kg/m <sup>2</sup>	公式 (16)		
59	气化强度 (单位有效截面 产气量)	$\sigma_2$	Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	公式 (17)		
60	气化强度 (单位有效截面 产燃气的热量)	$\sigma_3$	kJ/m <sup>2</sup>	公式 (18)		
61	碳转换率	$\eta_c$	%	公式 (19)		

表B.3 试验结果汇总表

试验次数	标准状况 下单位时 间内净燃 气产气量 (Nm <sup>3</sup> /h)	净燃气低 位热值 (kJ/Nm <sup>3</sup> )	粗燃气温 度 (°C)	焦油含量 (g/Nm <sup>3</sup> )	水分含量 (g/Nm <sup>3</sup> )	飞灰含量 (g/Nm <sup>3</sup> )	冷燃气效 率 (%)	气化热 效率 (%)
1								
2								
平均值								

附 录 C  
(资料性附录)  
常用气体的有关量值

常用气体的有关量值见表C.1。

表C.1 常用气体的有关量值

名称	分子式	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	沸点(°C)	理想体积发热量 (MJ/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	
				低位发热量	高位发热量
甲烷	CH <sub>4</sub>	0.7168	—161.5	35.818	39.840
乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.3570	—88.6	63.76	69.79
丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.0200	—42.6	91.18	99.22
乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.2610	—103.5	59.04	63.06
丙烯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.914	—47	85.94	91.98
乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.1709	—83.6	56.07	58.08
氢气	H <sub>2</sub>	0.0899	—252.78	10.777	12.788
硫化氢	H <sub>2</sub> S	1.539	—61.8	23.10	25.12
水 <sup>b</sup>	H <sub>2</sub> O	0.804	100.00	0	2.01
一氧化碳	CO	1.2500	—191.5	12.62	12.62
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	1.9768	—78.48		
氧	O <sub>2</sub>	1.42895	—182.97		
氮	N <sub>2</sub>	1.2505	—195.81		
空气(干)		1.2928	—193		

<sup>a</sup>发热量燃烧和计量的参比压力均为 101.325 kPa，燃烧和计算参比温度均为 0℃，其他燃烧参比温度下的数值可参照 GB/T 11062—2014 中第 3 条。

<sup>b</sup>水蒸气的非零发热量是通过高位发热量的定义推导出来的，即要求燃烧产物中所有的水蒸气均冷凝为液相。因此换句话说，存在于干气中的任何水蒸气将为混合物的高位发热量贡献其汽化潜热。

附 录 D  
(资料性附录)

常用气体在不同温度下的平均定压比热容

常用气体在不同温度下的平均定压比热容见表D.1。

表D.1 常用气体在不同温度下的平均定压比热容

名称	分子式	定压101.325 kPa, 不同温度下的平均定压比热容 (0—t), 单位kJ/(m <sup>3</sup> ·°C)										
		0°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C
甲烷	CH <sub>4</sub>	1.550	1.642	1.759	1.886	2.016	2.140	2.261	2.377	2.494	2.603	2.699
乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.210	2.495	2.775	3.044	3.308	3.552	3.778	3.986	4.181	4.362	4.529
丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3.048	3.510	3.965	4.369	4.760	5.094	5.432	5.723	6.198	6.231	6.461
乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.827	2.062	2.283	2.495	2.686	2.863	3.026	3.170	3.308	3.432	3.547
丙烯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2.677	3.048	3.379	3.706	4.005	4.283	4.539	4.776	4.991	5.191	5.372
乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.870	2.046	2.164	2.261	2.344	2.416	2.482	2.543	2.600	2.662	2.701
氢气 <sup>a</sup>	H <sub>2</sub>	1.276	1.291	1.294	1.297	1.302	1.310	1.322	1.336	1.352	1.370	1.390
硫化氢	H <sub>2</sub> S	1.507	1.557	1.624	1.704	1.784	1.863	1.938	2.010	2.068	2.127	2.177
一氧化碳	CO	1.299	1.302	1.307	1.317	1.329	1.343	1.357	1.372	1.386	1.400	1.413
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	1.600	1.700	1.787	1.863	1.930	1.989	2.041	2.088	2.131	2.169	2.204
氧气	O <sub>2</sub>	1.306	1.318	1.335	1.356	1.377	1.398	1.417	1.434	1.450	1.465	1.478
氮气	N <sub>2</sub>	1.299	1.300	1.304	1.311	1.321	1.332	1.345	1.359	1.372	1.385	1.397
水	H <sub>2</sub> O	1.482	1.499	1.516	1.537	1.558	1.583	1.608	1.633	1.658	1.683	1.712
空气(干)		1.297	1.300	1.307	1.317	1.329	1.343	1.357	1.371	1.384	1.398	1.410
苯 <sup>b</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.943	1.146	1.326	1.492	1.637	1.765	1.880	1.981	2.072	2.155	2.230

<sup>a</sup>氢气的数据分别为300 K—1300 K (即26.85 °C—1326.85 °C) 的数据;  
<sup>b</sup>苯平均定压比热容单位为kJ/(kg·°C)。

附 录 E  
(资料性附录)

水在常压 (100 kPa) 下的焓值表

水在常压 (100 kPa)、不同温度下的焓值见表E.1。

表E.1 水在常压 (100 kPa) 下的焓值

温度(°C)	焓 (kJ/kg)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)	温度 (°C)	焓 (kJ/kg)
1	4.7841	21	88.659	41	172.24	61	255.85	81	339.65
2	8.9963	22	92.840	42	176.41	62	260.04	82	343.85
3	13.206	23	97.021	43	180.59	63	264.22	83	348.04
4	17.412	24	101.20	44	184.77	64	268.41	84	352.24
5	21.616	25	105.38	45	188.95	65	272.59	85	356.44
6	25.818	26	109.56	46	193.13	66	276.78	86	360.64
7	30.018	27	113.74	47	197.31	67	280.97	87	364.84
8	34.215	28	117.92	48	201.49	68	285.15	88	369.04
9	38.411	29	122.10	49	205.67	69	289.34	89	373.25
10	42.605	30	126.28	50	209.85	70	293.53	90	377.45
11	46.798	31	130.46	51	214.03	71	297.72	91	381.65
12	50.989	32	134.63	52	218.21	72	301.91	92	385.86
13	55.178	33	138.81	53	222.39	73	306.10	93	390.07
14	59.367	34	142.99	54	226.57	74	310.29	94	394.27
15	63.554	35	147.17	55	230.75	75	314.48	95	398.48
16	67.740	36	151.35	56	234.94	76	318.68	96	402.69
17	71.926	37	155.52	57	239.12	77	322.87	97	406.90
18	76.110	38	159.70	58	243.30	78	327.06	98	411.11
19	80.294	39	163.88	59	247.48	79	331.26	99	415.33
20	84.476	40	168.06	60	251.67	80	335.45	—	



广东省质量检验协会团体标准  
生物质气化炉热工性能试验规程

T/GDAQI 013-2019

官方网址: [www.gdaq.org](http://www.gdaq.org)

地址: 广东省广州市天河区黄埔大道中 144 号海景中心西塔六楼 4-4 室

业务部: 020-38835207 38835225

服务部: 020-38835208 38835251

邮箱: [gdaq@gdaq.org](mailto:gdaq@gdaq.org)

广东省质量检验协会编辑发布