

ICS 27.060.30

CCS J 98

团体标准

T/CIECCPA 017—2023

生物质锅炉能效及环保测试方法

Test method for energy efficiency and environmental
protection of biomass boilers

2023 - 04 - 26 发布

2023 - 04 - 27 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCPA

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 总则..... 2

 4.1 生物质锅炉能效测试类型及环保测试..... 2

 4.2 测试规定..... 2

 4.3 测试基本程序..... 2

 4.4 测试机构及测试人员..... 3

 4.5 测试用仪器仪表..... 3

5 测试准备工作..... 3

6 测试要求..... 4

7 测试项目..... 4

 7.1 测试项目的确定..... 4

 7.2 生物质锅炉能效测试主要项目..... 5

8 测试方法..... 5

9 锅炉热效率计算..... 6

 9.1 输入-输出法计算..... 6

 9.2 能量平衡法计算..... 7

 9.3 锅炉能效测试报告..... 10

10 锅炉大气污染物初始排放浓度测试..... 10

 10.1 锅炉大气污染物初始排放浓度测试基本要求..... 10

 10.2 基准氧含量基本要求..... 10

 10.3 实测排放浓度应按式（20）折算为基准氧含量下的排放浓度..... 10

 10.4 采样点和采样频次的确定..... 10

 10.5 烟尘（颗粒物）采样方法..... 11

10.6	二氧化硫测试方法	11
10.7	氮氧化物测试方法	11
10.8	锅炉大气污染物初始排放浓度测试报告.....	12
表 1	能效测试仪器仪表精度	3
表 2	锅炉产品能效测试、锅炉运行工况热效率详细测试主要项目	5
表 3	生物质锅炉基准氧含量.....	10
表 4	烟尘(颗粒物) 浓度测定的方法和标准	11
表 5	二氧化硫浓度测定的方法和标准.....	11
表 6	氮氧化物浓度测定的方法和标准.....	11

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口管理。

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。

本文件主要起草单位：甘肃省特种设备检验检测研究院、杭州市特种设备检测研究院、日照市特种设备检验科学研究院、嘉兴市特种设备检验检测院、宁夏特种设备检验检测院、凉山州综合检验检测中心、四川省特种设备检验研究院、吉林市特种设备检验中心、青岛市特种设备检验研究院、河北省特种设备监督检验研究院、赣州市特种设备监督检验中心、宜春市特种设备监督检验中心、松原市特种设备检验中心。

本文件主要起草人：包文红、邵松伟、赵辉、熊伟东、李敏、别磊、杨建华、吴益群、邓向辉、赵福国、王晓阳、杨正毅、马文全、吴晓涛、干兵、刘明旭、李兴军、王德林、李滨、王金富、付坤、李耀国、钟骏、杨生龙、黄彬、虞路生、张跃辉、沈海军。

本文件为首次发布。

生物质锅炉能效及环保测试方法

1 范围

本文件规定了生物质锅炉的能效测试及环保测试方法中的术语和定义、总则、测试准备工作、测试要求、测试项目、测试方法、锅炉热效率计算以及锅炉大气污染物初始排放测试。

本文件适用范围如下：

- a) 额定蒸汽压力大于或等于 0.1MPa，但低于 3.8MPa，且设计正常水位水容积大于或等于 30L 的蒸汽锅炉；
- b) 额定出水压力低于 3.8MPa，额定热功率大于或等于 0.1MW 的热水锅炉；
- c) 额定热功率大于或等于 0.1MW 的有机热载体锅炉。

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。

注：对于不注日期的引用文件，如果最新版本未包含所引用的内容，那么包含了所引用内容的最后版本适用。

GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉

GB/T 5468 锅炉烟尘测试方法

GB/T 10180 工业锅炉热工性能试验规程

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB 23971 有机热载体

GB/T 24747 有机热载体安全技术条件

HJ 57 固定污染源废气 二氧化硫的测定 定电位电解法

HJ 75 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范

HJ 76 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法

HJ 373 固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范

HJ 397 固定源废气监测技术规范

HJ 629 固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法

HJ 692 固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法

HJ 693 固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法

HJ 836 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法

TSG 91 锅炉节能环保技术规程

3 术语和定义

GB/T 2900.48 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生物质 biomass

主要指各类木本、草本农林废弃物、能源植物及其加工残余物等，不涉及工业及城市生活垃圾。

3.2

生物质锅炉 biomass boiler

以生物质为燃料来加热工质的锅炉。

3.3

锅炉额定工况 boiler rated working condition

锅炉在设计额定出力和参数下运行的状态。

3.4

锅炉运行工况 boiler operating condition

锅炉在满足用户实际热负荷需求下运行的状态。

3.5

输入-输出法（正平衡法） input-output method(direct procedure)

直接测量输入热量和输出热量来确定热效率的方法。

3.6

能量平衡法（反平衡法） energy balance method(indirect procedure)

通过测定各种燃烧产物热损失和锅炉散热损失来确定热效率的方法。

4 总则

4.1 生物质锅炉能效测试类型及环保测试

本文件的生物质锅炉能效测试包括：锅炉产品能效测试、在用锅炉定期能效测试（包括锅炉运行工况热效率详细测试以及锅炉运行工况热效率简单测试）；锅炉环保测试主要指锅炉产品能效测试时对大气污染物初始排放浓度的测试，包括烟尘（颗粒物）、二氧化硫和氮氧化物。

4.2 测试规定

4.2.1 手烧炉或下饲炉产品能效测试、运行工况热效率详细测试采用输入-输出法，对于其他生物质锅炉产品能效测试、锅炉运行工况热效率详细测试以及锅炉运行工况热效率简单测试采用能量平衡法。

4.2.2 手烧炉或下饲炉产品能效测试测试时间 $\geq 5\text{h}$ （至少一个完整出渣周期），测试次数 ≥ 2 次；锅炉运行工况热效率详细测试测试时间 $\geq 5\text{h}$ （至少一个完整出渣周期），测试次数 ≥ 1 次；

4.2.3 其他生物质锅炉产品能效测试测试时间 $\geq 4\text{h}$ ，测试次数 ≥ 2 次；锅炉运行工况热效率详细测试测试时间 $\geq 4\text{h}$ ，测试次数 ≥ 1 次；锅炉运行工况热效率简单测试测试时间 $\geq 1\text{h}$ ，测试次数 ≥ 1 次。

4.2.4 锅炉产品能效测试，每个工况锅炉平均（折算）负荷应当在额定负荷的 97%-105%，当蒸汽和给水参数与设计值不一致时，应按 GB/T 10180 规定进行修正；锅炉运行工况热效率详细测试以及锅炉运行工况热效率简单测试应当在锅炉设计工况范围内按照实际运行负荷进行。

4.2.5 本文件指的锅炉热效率为不扣除自用蒸汽和辅机设备耗用动力计算热量的毛效率，需要时可按 GB/T 10180 规定进行净效率折算。

4.2.6 锅炉大气污染物初始排放浓度测试应当与锅炉产品能效测试同时进行。

4.2.7 锅炉大气污染物初始排放浓度测试的边界应当以锅炉设计为准，测量位置原则上应当在锅炉最后一级受热面出口。

4.3 测试基本程序

锅炉能效测试及锅炉大气污染物初始排放浓度测试一般程序包括：现场条件勘察、测试方案编制、现场测试和测试数据分析处理等。

4.4 测试机构及测试人员

测试机构应当配备相应的测试仪器设备和专业技术人员，建立健全质量管理体系；测试人员应当由具有测试经验的专业人员担任，测试过程中人员不宜变动。

4.5 测试用仪器仪表

4.5.1 测试用仪器仪表应当满足精度要求且在检定或校准有效期内，测试前后应当对所用仪器仪表进行检查，确保仪器仪表正常。

4.5.2 当采用现场仪器仪表直接记录数据时，该仪器仪表的精度应满足本文件要求，且在检定或校准有效期内。

4.5.3 锅炉能效测试仪器仪表精度应满足表 1 的规定。

表 1 能效测试仪器仪表精度

序号	仪表名称	精度
1	衡器	不低于Ⅲ级
2	测量工质（不含空气、烟气）流量仪表	不低于 1.0 级
3	工质进出口温度表	不低于 0.5 级
4	工质进出口压力表	不低于 1.6 级
5	冷空气、烟气温度测量仪表	不低于 0.5 级
6	烟气 O_2 、 RO_2 （即 CO_2+SO_2 ）测量仪表	不低于 1.0 级
7	烟气 CO 、 H_2 、 H_2S 、 C_2H_6 、 NO_x 等测量仪表	不低于 5.0 级
8	空气、烟气的压力和流量测量仪表	不低于 1.5 级
9	蒸汽湿度和含盐量测量仪表	不低于 1.0 级

4.5.4 锅炉大气污染物初始排放浓度测试所用仪器仪表精度应满足相关标准要求。

5 测试准备工作

5.1 测试前测试人员应到测试现场勘察现场测试条件，根据测试炉型安排测试前的准备工作，确保测试现场满足测试要求。

5.2 锅炉产品能效测试及在用锅炉定期能效测试应当编制测试方案，测试方案应至少包括以下内容：

- a) 测试任务、目的与要求；
- b) 根据测试的目的、炉型和辅机系统特点确定测量项目；
- c) 测点布置与所需仪器仪表；
- d) 人员组织与分工；
- e) 测试工作安排等。

5.3 测试人员全面检查锅炉及其辅机设备的运行状况是否正常，是否存在跑、冒、滴、漏现象，如有不正常现象应当及时排除。

5.4 锅炉进行测试时，锅炉的介质(汽、水、有机热载体)、燃料、排渣(灰)、烟(风)道必须与其他锅炉

隔断，保证测试数据的准确性。

5.5 测试锅炉使用单位或委托单位应配合测试单位完成测试前的准备工作以及测试过程中的配合工作。

5.6 预备性试验的目的

- a) 全面检查测试仪器、仪表是否正常工作；
- b) 测试人员熟悉操作程序以及提高相互配合程度；
- c) 确定合适的测试工况。

6 测试要求

6.1 正式测试应在锅炉主要热力参数调整到试验允许参数范围内且稳定 1h 后进行。

6.2 锅炉产品能效测试主要热力参数的最大允许波动范围应符合 GB/T 10180 规定。

6.3 蒸汽锅炉的实际给水温度与设计值之差宜控制在 $+30^{\circ}\text{C}$ 至 -20°C 之间。当实际给水温度与设计给水温度偏差超过 -20°C 时，测得的锅炉效率应按每相差 -60°C 热效率数值下降 1%进行折算，大于或小于 -60°C ，则按比例折算，并在试验报告结果分析中对此予以扣除，对无省煤器的锅炉则不予扣除。

6.4 热水锅炉的进水温度和出水温度与设计值之差不宜大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。当实际进出水温平均值与设计值的偏差超过 -5°C 时，应对测试效率进行折算。出水温度与额定温度相差 -15°C ，热效率数值下降 1%。大于或小于上述温度时，按比例折算。对既有省煤器又有空气预热器的锅炉则不予扣除。

6.5 热水锅炉测试时的压力应保证出水温度比该压力下的饱和温度至少低 20°C 。

6.6 测试期间锅炉及辅助设备运行正常，不存在跑、冒、滴、漏现象。

6.7 试验期间锅炉不应吹灰，不应定期排污，连续排污一般亦应关闭。对过热蒸汽锅炉，当必须连续排污时，连续排污量应计量(计入锅炉取样量内)，其数值不得超过锅炉出力的 3%。

6.8 在试验结束时，锅筒水位和料斗的料位均应与试验开始时一致，如不一致应进行修正。试验期间过量空气系数、给料量、给水量、炉排速度、料层高度应基本相同。对于手烧锅炉在试验开始前和试验结束前均应进行一次清炉。注意结束时与开始时，料层厚度和燃烧状况应基本一致。

6.9 锅炉产品能效测试时测试燃料特性应当符合设计值。当测试燃料特性偏离设计值时，在测试燃料与设计燃料为同一类型燃料的前提下，将设计燃料的元素分析值及低位发热量设计值替代所有热损失计算有关公式中的分析值，即可求得修正后的热损失值。用经修正后的输入热量及热损失，代入锅炉热效率计算式中计算所得的锅炉热效率，就是燃料偏离设计值修正后的热效率。

灰渣比例结果的确定应采用测量飞灰质量的方法，计算锅炉飞灰比例，飞灰取样见 GB/T16157《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》；如采用其他灰渣比例测量方法，应当保证锅炉能效测试和大气污染物初始排放测试中的飞灰质量数值一致。

6.10 对于有机热载体（导热油）锅炉，在计算有机热载体（导热油）的比热容时，以其实测温度下的进、出口油的比热容与 0°C 时的比热容的平均值为准。

6.11 锅炉产品能效测试两个工况效率之差应当不大于 2 个百分点，锅炉测试结果为两个工况的算术平均值。

7 测试项目

7.1 测试项目的确定

锅炉产品能效测试（包括大气污染物初始排放浓度）、锅炉运行工况热效率详细测试以及锅炉运行工况热效率简单测试的主要测试项目应根据燃料及炉型，在测试方案中注明。

7.2 生物质锅炉能效测试主要项目

7.2.1 锅炉产品能效测试、锅炉运行工况热效率详细测试主要项目见表2。

表2 锅炉产品能效测试、锅炉运行工况热效率详细测试主要项目

序号	项目名称
1	燃料消耗量及采样
2	炉渣、漏料、烟道灰、溢流灰、冷灰、飞灰循环灰的质量及采样
3	炉渣含水量
4	炉渣、漏料、烟道灰、溢流灰、冷灰、飞灰循环灰可燃物含量
5	燃料的元素分析、工业分析及收到基低位发热量
6	有机热载体（导热油）物性参数
7	蒸汽锅炉给水流量、温度、压力
8	蒸汽锅炉主蒸汽流量、温度、压力
9	热水（有机热载体）锅炉循环流量
10	热水（有机热载体）锅炉进口温度、压力
11	热水（有机热载体）锅炉出口温度、压力
12	自用蒸汽量、排污量、
13	蒸汽、锅水取样量
14	饱和蒸汽湿度、过热蒸汽含盐量
15	入炉冷空气、炉渣、漏料、烟道灰、溢流灰、冷灰温度
16	锅炉散热面积、锅炉外表面温度
17	排烟温度
18	烟气成分（ O_2 、 RO_2 、 CO 、 H_2 、 H_2S 、 C_nH_n 、 NO_x 等）测量

7.2.2 锅炉运行工况热效率简单测试的主要测试项目按 GB/T 10180 规定执行。

7.2.3 锅炉大气污染物初始排放浓度的测试项目包括：烟尘（颗粒物）、二氧化硫和氮氧化物。

8 测试方法

8.1 测试数据的记录按 GB/T 10180 规定执行。

8.2 燃料、灰渣的测量、采样及化验分析按 GB/T 10180 规定执行。

8.3 热水（有机热载体）锅炉循环水（有机热载体）量可在锅炉进口直管段上安装流量计进行测定。

8.4 蒸汽锅炉给水流量及过热蒸汽流量测量按 GB/T 10180 规定执行，如果现场运行表计达到测试要求的精度等级，并经检定或校准合格，也可采用运行表计直接记录。

8.5 蒸汽锅炉给水温度、过热蒸汽温度、热水（有机热载体）锅炉进口、出口温度测量按 GB/T 10180 规定执行，如果现场运行表计达到测试要求的精度等级，并经检定或校准合格，也可采用运行表计直接记录。

8.6 入炉冷空气温度可采用热电阻温度计、热电偶温度计及水银温度计进行测定，测点位置应在鼓（送）风机进口处。

8.7 烟气温度测定可采用热电阻温度计、热电偶温度计，如果烟气分析仪自带热电阻精度满足要求可直接用烟气分析仪自带的热电阻进行测定，测点位置按 GB/T 10180 规定执行。

8.8 灰渣温度的测量按 GB/T 10180 规定执行。

8.9 锅炉蒸汽压力、给水压力、热水（有机热载体）锅炉进出口压力可采用压力表进行测定，如果现场运行表计达到测试要求的精度等级，并经检定或校准合格，也可采用运行表计直接记录，测点位置按 GB/T 10180 规定执行。

8.10 烟气成分测量按 GB/T 10180 规定执行。

8.11 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测定方法按 GB/T 10180 规定执行。

8.12 锅炉散热损失的测量与计算按 GB/T 10180 规定执行。

8.13 有机热载体（导热油）的化验分析按 GB 23971、GB/T 24747 的相关规定执行。

8.14 锅炉大气污染物初始排放浓度测试按本文件第 10 章规定执行。

9 锅炉热效率计算

9.1 输入-输出法计算

9.1.1 输入热量按（1）进行计算

$$Q_{in} = Q_{net.v.ar} + Q_{ex} + Q_f + Q_{pu} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Q_{in} ——输入热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 $Q_{net.v.ar}$ ——收到基低位发热值，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 Q_{ex} ——加热燃料或外来热量，单位为千焦每千克或千焦每立方米(kJ/kg 或 kJ/m³)；
 Q_f ——燃料物理热，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；
 Q_{pu} ——自用蒸汽带入热量，单位为千焦每千克或千焦每立方米(kJ/kg 或 kJ/m³)。

9.1.2 热水（有机热载体）锅炉热效率按（2）进行计算

$$\eta_1 = \frac{G(h_{ow} - h_{fw.h})}{BQ_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- η_1 ——输入-输出法效率，%；
 G ——热水（有机热载体）锅炉工质循环流量，单位为千克每小时（kg/h）；
 h_{ow} ——热水（有机热载体）锅炉出口工质焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 $h_{fw.h}$ ——热水（有机热载体）锅炉进口工质焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)。

注：对于有机热载体锅炉计算进、出口工质焓值时，应分别按进、出口工质的比热容与在0℃的比热容的平均值分别进行计算。

9.1.3 饱和蒸汽锅炉热效率按（3）进行计算

$$\eta_1 = \frac{D_{fw}(h_{sat.st} - h_{fw} - \frac{\gamma\omega}{100}) - G_{Hum}\gamma}{BQ_{in}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- D_{fw} ——给水流量，单位为千克每小时(kg/h)；
 γ ——汽化潜热，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 ω ——饱和蒸汽湿度，%；
 G_{Hum} ——测定蒸汽湿度时的锅水取样量，单位为千克每小时(kg/h)；
 B ——燃料消耗量(入炉燃料的质量)，单位为千克每小时 (kg/h)。

9.1.4 过热蒸汽锅炉热效率按式(4)、式(5)或式(6)进行计算

测量给水流量时：

$$\eta_1 = \frac{D_{fw}(h_{sat.sh.lv} - h_{fw}) - G_{Hum}(h_{sat.sh.lv} - h_{sat.st} + \gamma)}{BQ_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

测量过热蒸汽流量时：

$$\eta_1 = \frac{(D_{out} + G_s)(h_{st.sh.lv} - h_{fw}) + D_{pu}(h_{sat.st} - h_{fw} - \frac{\gamma\omega}{100}) + G_{Hum}(h_{sat.st} - \gamma - h_{fw})}{BQ_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots (5)$$

式中：

- G_s ——测定过热蒸汽含盐量时的蒸汽取样量，单位为千克每小时(kg/h)；
 D_{pu} ——自用蒸汽量，单位为千克每小时(kg/h)。

当锅炉自用蒸汽为过热蒸汽时

$$\eta_1 = \frac{(D_{out} + G_s)(h_{st.sh.lv} - h_{fw}) + D_{pu}(h_{pu} - h_{fw}) + G_{Hum}(h_{sat.st} - \gamma - h_{fw})}{BQ_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots (6)$$

式中：

- h_{pu} ——自用蒸汽焓，单位为千焦每千克(kJ/kg)；
 G_{Hum} ——测定蒸汽湿度时的锅水取样量，单位为千克每小时(kg/h)。

9.1.5 对于手烧或者下饲锅炉热平衡系统边界内有两种或两种以上的被加热工质时，应分别测量和计算不同工质的有效吸收热量，并将其累加作为锅炉正平衡热效率计算时的有效吸收热量。对于手烧或者下饲锅炉尾部安装有余热利用装置时，如回收的热量全部直接进入锅炉(如省煤器)，应按常规锅炉进行试验；如回收的热量先进入水箱再进入锅炉或另作他用，应分别测量和计算工质的有效吸收热量，并将其累加作为锅炉正平衡热效率计算时的有效吸收热量。

9.2 能量平衡法计算

9.2.1 能量平衡法计算按式(7)进行计算

$$\eta_2 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- η_2 ——能量平衡法效率，%；
 q_2 ——排烟热损失，%；
 q_3 ——气体不完全燃烧热损失，%；
 q_4 ——固体不完全燃烧热损失，%；
 q_5 ——散热损失，%；
 q_6 ——灰渣物理热损失，%；

9.2.2 排烟热损失按式(8)到式(16)进行计算

$$q_2 = \frac{K_{q4}}{Q_m} (h_{ds} - h_{ca}) \times 100 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$K_{q4} = \frac{100 - q_4}{100} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

K_{q4} ——修正系数;

h_{ds} ——排烟处烟气焓 (kJ/kg, kJ/m³);

h_{ca} ——入炉冷空气焓 (kJ/kg)。

$$h_{ds} = V_{d.f.g} c_{d.f.g} t_{ds} + V_{H_2O} c_{H_2O} t_{ds} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$h_{ca} = \alpha_{ds} V^0 (ct)_{ca} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$V_{d.f.g} = 1.866 \frac{C_{ar} + 0.375 S_{ar}}{100} + 0.79 V^0 + \frac{0.8 N_{ar}}{100} + (\alpha_{ds} - 1) V^0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$V^0 = 0.0889 (C_{ar} + 0.375 S_{ar}) + 0.265 H_{ar} - 0.0333 O_{ar} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\alpha_{ds} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O'_2 - (0.5 CO'_2 + 0.5 H'_2 + 2 C_m H'_n)}{100 - (RO'_2 + O'_2 + CO'_2 + H'_2 + C_m H'_n)}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$c_{d.f.g} = \frac{RO'_2 c_{RO_2} + N'_2 c_{N_2} + O'_2 c_{O_2} + CO'_2 c_{CO} + H'_2 c_{H_2} + \dots}{100} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$V_{d.f.g}$ ——排烟处干烟气体积 (m³/kg, m³/m³);

$c_{d.f.g}$ ——排烟处干烟气平均比定压热容 (kJ/(m³·°C));

t_{ds} ——排烟温度 (°C);

V_{H_2O} ——排烟处水蒸气体积 (m³/kg, m³/m³);

c_{H_2O} ——排烟处水蒸气平均比定压热容 (kJ/(m³·°C)), (查 GB/T 10180);

α_{ds} ——排烟处过量空气系数;

V^0 ——理论空气量 (m³/kg, m³/m³);

C_{ar} ——收到基碳, %;

H_{ar} ——收到基氢, %;

O_{ar} ——收到基氧, %;

N_{ar} ——收到基氮, %;

S_{ar} ——收到基硫, %;

$C_m H'_n$ ——排烟处 $C_m H'_n$, %;

RO'_2 、 N'_2 、 O'_2 、 CO'_2 、 H'_2 ——排烟处烟气中 RO'_2 、 N'_2 、 O'_2 、 CO'_2 、 H'_2 的体积分数;

c_{RO_2} 、 c_{N_2} 、 c_{O_2} 、 c_{CO} 、 c_{H_2} ——排烟处烟气中 RO'_2 、 N'_2 、 O'_2 、 CO'_2 、 H'_2 的定压比热容。

当燃料完全燃烧时

$$\alpha_{ds} = \frac{21}{21 - O'_2} \quad \dots\dots\dots (16)$$

9.2.3 气体不完全燃烧热损失按式 (17) 进行计算

$$q_3 = \frac{V_{d.f.g} K_{q4}}{Q_{in}} \times (126.36 CO' + 107.98 H_2' + 590.79 C_m H_n') \times 100 \quad \dots\dots\dots (17)$$

9.2.4 固体不完全燃烧热损失按式(18)进行计算

$$q_4 = (\alpha_s \frac{C_s}{100 - C_s} + \alpha_{cl} \frac{C_{cl}}{100 - C_{cl}} + \alpha_{pd} \frac{C_{pd}}{100 - C_{pd}} + \alpha_{oa} \frac{C_{oa}}{100 - C_{oa}} + \alpha_{ca} \frac{C_{ca}}{100 - C_{ca}} + \alpha_{rec} \frac{C_{rec}}{100 - C_{rec}} + \alpha_{as} \frac{C_{as}}{100 - C_{as}}) \times \frac{328.664 A_{ar}}{Q_{in}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

α_s ——炉渣含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{cl} ——漏料含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{pd} ——烟道灰含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{oa} ——溢流灰含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{ca} ——冷灰含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{rec} ——循环灰含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

α_{as} ——飞灰含灰量占入炉燃料总灰量的质量分数, %;

C_s ——炉渣可燃物含量, %;

C_{cl} ——漏料可燃物含量, %;

C_{cl} ——烟道灰可燃物含量, %;

C_{oa} ——溢流灰可燃物含量, %;

C_{ca} ——冷灰可燃物含量, %;

C_{rec} ——循环灰可燃物含量, %;

C_{as} ——飞灰可燃物含量, %。

9.2.5 散热损失 q_5 的计算

锅炉散热损失 q_5 按 GB/T 10180 的查表法或算法确定, 如果条件许可, 可用热流计测量锅炉外表面散热损失。

9.2.6 灰渣物理热损失按式(19)进行计算

$$q_6 = (\frac{\alpha_s (ct)_s}{100 - C_s} + \frac{\alpha_{cl} (ct)_{cl}}{100 - C_{cl}} + \frac{\alpha_{pd} (ct)_{pd}}{100 - C_{pd}} + \frac{\alpha_{oa} (ct)_{oa}}{100 - C_{oa}} + \frac{\alpha_{ca} (ct)_{ca}}{100 - C_{ca}} + \frac{\alpha_{rec} (ct)_{rec}}{100 - C_{rec}} + \frac{\alpha_{as} (ct)_{as}}{100 - C_{as}}) \times \frac{A_{ar}}{Q_{in}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$(ct)_s$ ——炉渣焓, kJ/kg;

$(ct)_{cl}$ ——漏料焓, kJ/kg;

$(ct)_{pd}$ ——烟道灰焓, kJ/kg;

$(ct)_{oa}$ ——溢流灰焓, kJ/kg;

$(ct)_{ca}$ ——冷灰焓, kJ/kg;

$(ct)_{rec}$ ——循环灰焓, kJ/kg;

$(ct)_{as}$ ——飞灰焓, kJ/kg。

9.2.7 锅炉热效率的确定

对于锅炉产品能效测试, 锅炉热效率测试结果为两个工况的算术平均值; 对于锅炉详细测试和锅炉简单测试, 以实际测试计算结果为准。

9.3 锅炉能效测试报告

锅炉能效测试报告至少应当包括以下内容：

- (1) 测试综合报告；
- (2) 测试结果汇总表；
- (3) 设计数据综合表；
- (4) 锅炉基本信息；
- (5) 测试主要内容；
- (6) 测点布置图及测试仪表说明；
- (7) 测试数据综合表；
- (8) 测试人员和相关负责人签字。

9.4 编写试验报告时，锅炉设计数据综合表、测试结果汇总表应根据本文件要求，选择必要的项目填写。

9.5 锅炉能效测试原始记录及报告应存档备查。

9.6 测试报告有效期应符合 TSG 91 要求。

10 锅炉大气污染物初始排放浓度测试

10.1 锅炉大气污染物初始排放浓度测试基本要求

锅炉大气污染物初始排放浓度测试应与锅炉产品能效测试同时进行，测试项目包括烟尘（颗粒物）、二氧化硫和氮氧化物。

10.2 基准氧含量基本要求

烟尘（颗粒物）、二氧化硫和氮氧化物初始排放浓度的测定应当按照 GB/T 16157进行采样，并且按照相关标准的要求折算为基准氧含量的排放浓度，生物质锅炉的基准氧含量按照表3的规定执行。

表3 生物质锅炉基准氧含量

项目	基准氧含量（O ₂ ）/%
工业锅炉	9
电站锅炉	6

10.3 实测排放浓度应按式（20）折算为基准氧含量下的排放浓度

$$\rho = \rho' \times \frac{21 - O_2}{21 - O_2'} \dots\dots\dots (20)$$

- ρ ——大气污染物基准氧含量下排放浓度，单位为毫克每立方米（mg/ m³）；
- ρ' ——实测的大气污染物排放浓度，单位为毫克每立方米（mg/m³）
- O_2 ——实测的氧含量，%；
- O_2' ——基准氧含量，按表3取，%。

10.4 采样点和采样频次的确定

按照 GB/T16157、HJ/T397《固定源废气监测技术规范》、HJ/T 373《固定污染源监测质量保证与

质量控制技术规范（试行）》、HJ75《固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范》和 HJ 76《固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法》及有关规定，确定采样位置、采样点及频次。

气态污染物采样点及采样频次应当与锅炉能效测试烟气成分测量一致，氮氧化物及其氧含量（氮氧化物折算时所使用的测试氧含量）测试应当在进入选择性催化还原装置等尾部脱硝设施之前进行，其他情况则应当在最后一级受热面后测量。

在烟道中心位置附近，至少有一个采样点预留采样孔径内径不小于80mm，其他气态污染物采样预留孔内径不小于 40mm，采样孔管长不大于 50mm。

10.5 烟尘（颗粒物）采样方法

烟尘（颗粒物）浓度的测定可采用表4所列的方法和标准。

表4 烟尘(颗粒物) 浓度测定的方法和标准

浓度范围（mg/m ³ ）	方法和标准名称	标准编号
≤20	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法	HJ 836
20~50	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法	HJ 836
>50	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
-	锅炉烟尘测试方法	GB/T 5468

注：对于颗粒物浓度大于20mg/m³的工业锅炉，固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法也可以使用 GB/T5468《锅炉烟尘测试方法》。

10.6 二氧化硫测试方法

二氧化硫测试方法可采用表5所列的方法和标准。

表5 二氧化硫浓度测定的方法和标准

方法和标准名称	标准编号
固定污染源废气 二氧化硫的测定 定电位电解法	HJ 57
固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	HJ 629

10.7 氮氧化物测试方法

氮氧化物的测定方法可采用表6所列的方法和标准。

表6 氮氧化物浓度测定的方法和标准

方法和标准名称	标准编号
固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	HJ 692
固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法	HJ 693

10.8 锅炉大气污染物初始排放浓度测试报告

锅炉大气污染物初始排放浓度测试报告至少应当包括以下内容：

- (1) 测试综合报告；
- (2) 测试结果汇总表；
- (3) 设计数据综合表；
- (4) 锅炉基本信息；
- (5) 测试主要内容；
- (6) 测点布置图及测试仪表说明；
- (7) 测试数据综合表；
- (8) 测试人员和相关负责人填字。

10.9 编写测试报告时，锅炉设计数据综合表、测试结果汇总表应根据本文件要求，选择必要的项目填写。

10.10 锅炉大气污染物初始排放浓度测试原始记录及报告应存档备查。