

ICS XXXXXX

CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

燃生活垃圾锅炉能效测试方法

Energy Efficiency and Air Pollutant Test Methods for Domestic
Waste-burning Boilers

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

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 技术要求	3
4.1 能效测试边界	3
4.2 热量平衡	3
4.3 测试的条件和要求	3
4.4 试验基准温度	5
4.5 渗滤液的热量	5
5 能效测试方法	5
5.1 总则	5
5.2 主要测试项目	5
5.3 垃圾燃料采样和分析的方法	5
5.4 入炉垃圾量的测定	6
5.5 灰渣份额的确定	6
5.6 减量比和热灼减率	6
6 能效计算方法	7
6.1 锅炉热效率计算方法	7
6.2 输入-输出热量法	7
6.3 热损失法	8
7 能效试验工况偏离设计值时的修正	11
7.1 试验工况偏离设计值时的修正	11
7.2 试验燃料特性偏离设计值时的修正	11

8 能效净效率计算.....	11
9 能效误差分析.....	12
10 能效试验报告.....	12
附录 A (资料性) 计算示例.....	13

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口管理。

本文件主要起草单位：湖南省特种设备检验检测研究院、宁夏特种设备检验检测院、金华市特种设备检验检测院、宁波市特种设备检验研究院、青海省特种设备检验研究院、山东省特种设备检验研究院集团有限公司、日照市特种设备检验科学研究院、湖州市特种设备检测研究院、吉林市特种设备检验中心（吉林市特种设备事故调查服务中心）、宜春市特种设备监督检验中心、绵阳市特种设备监督检验所、河北省特种设备监督检验研究院保定分院。

本文件主要起草人：廖盈，张华波，张林，文胜。

燃生活垃圾锅炉能效测试方法

1 范围

本文件规定了燃生活垃圾锅炉能效测试方法的技术要求、能效测试方法、能效计算方法、能效试验工况偏离设计值时的修正、能效净效率计算、能效误差分析、能效试验报告。

适用范围：本文件适用于《特种设备目录》范围内，以生活垃圾为燃料，以水为介质且额定蒸汽压力 $<5.3\text{MPa}$ 的承压蒸汽锅炉的能效测试。

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。

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 211 煤中全水分测定方法
- GB 212 煤的工业分析方法
- GB 213 煤的热值测定方法
- GB 476 煤的元素分析方法
- GB 2586 热能单位符号与换算
- GB/T 2587 热平衡通则
- GB/T 2588 设备热效率计算方法通则
- GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉
- GB 3101 有关量、单位和符号的一般原则
- GB/T 5468 锅炉烟尘测试方法
- GB/T 10180-2017 工业锅炉热工性能试验规程
- GB/T 10184-2025 电站锅炉性能试验规程
- GB 18485 生活垃圾焚烧污染控制标准
- GB/T 18750 生活垃圾焚烧锅炉
- GB 23971 有机热载体
- GB/T 24747 有机热载体安全技术条件
- CJ/J 90 生活垃圾焚烧处理工程技术规范
- CJ/T 313 生活垃圾采样和分析方法
- DL/T 964 循环流化床锅炉性能试验规程
- JB/T 10249 垃圾焚烧锅炉技术条件
- RS-3-1 燃油、飞灰和炉渣试样的制备
- RS-26-1 飞灰和炉渣中可燃物测定
- TSG 91 锅炉节能环保技术规程

3 术语和定义

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

生活垃圾 domestic waste

人们在日常生活中或为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物，以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废物。生活垃圾主要包括居民生活垃圾、集市贸易与商业垃圾、公共场所垃圾、街道清扫垃圾及企事业单位垃圾等。

3.1.2

辅助燃料 auxiliary combustion

确保生活垃圾稳燃而添加的其它类型的燃料。

3.1.3

渗滤液 leach ate

垃圾储存过程中渗沥出来的液体。

3.1.4

垃圾飞灰 waste fine ash

燃生活垃圾锅炉灰斗的排出灰、烟道中沉降灰、烟道灰及烟气中包含的固体颗粒物的总称，但不包括为烟气净化所投入的石灰石、活性炭等固体。

3.1.5

减量比 loss of reduction

用于衡量焚烧处理废物减量化效果的指标，定义为可燃垃圾在锅炉内焚烧处理后减少的质量占所投加垃圾总质量的百分比。

3.1.6

热灼减率 loss of heat inginition

燃生活垃圾锅炉产生的炉渣在 $600\pm 25^{\circ}\text{C}$ 保持3h的条件下，经灼热减少的质量占烘干后的原始炉渣质量的百分比。

3.1.7

一次样品 time sample

从垃圾采样点采集的样品，进行分选、破碎、缩分后得到，用于物理组分和含水量等分析的样品。

3.1.8

二次样品 secondary sample

一次样品进行物理组分和含水量分析后，再次进行粉碎、研磨、混配、缩分后得到的样品。用于可燃物、灰分、热值和元素成分含量等项目分析。

4 技术要求

4.1 能效测试边界

本文件规定的锅炉系统热平衡边界见图1。在特殊情况下,经协商也可更改上述系统界限,但应修改相应的测试项目和计算方法。

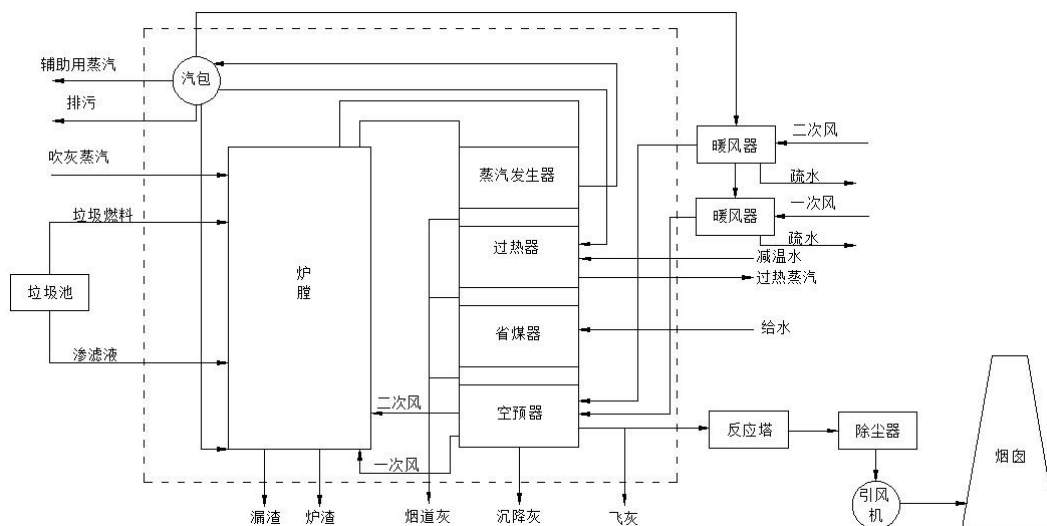


图1 燃生活垃圾锅炉系统能效测试边界图

4.2 热量平衡

燃生活垃圾锅炉系统热量平衡图见图2。热平衡系统内边界设备包括垃圾给料系统、汽水系统、一次风预热器系统、二次风预热器系统等,暖风器、送风机、引风机等为系统外设备。

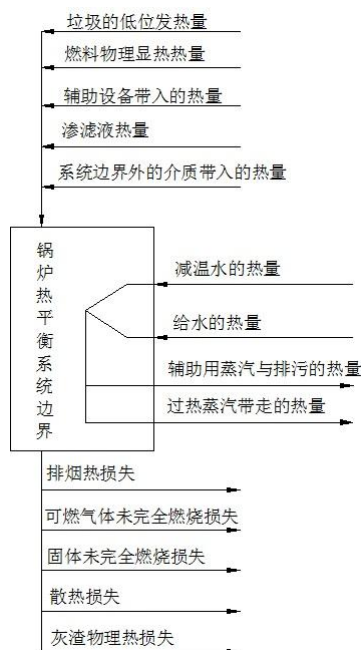


图2 燃生活垃圾锅炉系统热量平衡图

4.3 测试的条件和要求

在测试之前，测试的条件和要求除满足GB/T 10184-2025的规定之外，还应满足如下条件和要求：

- a) 锅炉试验期间的运行方式及操作参数应由锅炉生产厂家、用户和测试单位参照锅炉运行说明书，并根据现场实际情况和最优化工况及参数协商确定。
- b) 使用单位和测试单位应当做好参与试验人员的劳动防护工作。
- c) 使用单位应保证测试期间有足够的存放在垃圾池的垃圾燃料。
- d) 各部分灰、渣份额的测定和确定方法。
- e) 渗滤液流量及其热值的测量和确定方法。
- f) 正式试验之前，锅炉系统应连续正常运行3天以上。试验前的12小时，应采用同一天进入垃圾池的垃圾燃料，前9个小时在不低于75%试验负荷下运行，后3个小时在不超过试验负荷的允许偏差下运行，见表1。
- g) 测试期间锅炉主要参数的允许波动范围，但不得超过表1的规定。

表 1 主要参数的波动范围

参数		观测值偏离规定值的允许波动范围
额定蒸发量 (t/h)		±5%
额定蒸汽温度 (°C)	≥540	±5°C
	<540	+5°C -10°C
额定蒸汽压力 (MPa)	<9.8	±4%

4.4 预备性试验

预备性试验的要求、稳定试验工况的维持、试验记录的要求和工况试验的舍弃的条件按照GB/T 10184-2025的规定执行。预备性试验经各方认可、对试验数据无异议的，可转入正式试验，可作为正式试验的一部分。

4.5 试验持续时间

正式试验每次测试时间为6h~8h。

4.6 测量和取样的时间间隔

测量和取样的时间间隔见表2。各种运行参数记录以及取样的时间尽量在同一时间节点上进行。

表 2 测量和取样的时间间隔

项目	时间间隔	备注
垃圾燃料取样	4h	测试期间使用的垃圾燃料和取样垃圾存放垃圾池的时间一致，可用抓斗混合后，取样 2-3 次
辅助燃料、渗滤液和飞灰、炉渣取样	30min	若飞灰量较少，应连续取样
流量、重量	20min	—
其它参数	15-20min	—

4.7 试验次数和允许偏差

试验次数和偏差应满足如下要求：

- a) 试验应不少于两次，数据取其平均值。两次试验结果的差值不大于 6%。试验受各种条件限制的场合，经试验各方认可，可按协议认可的允许误差；

b) 若需要延长测试时间和增加测试次数，由测试方和用户共同商定。

4.8 试验基准温度

本文件规定基准温度为25℃。

4.9 渗滤液的热量

渗滤液的热量应加入到输入热量中，渗滤液的热值和单位时间内渗滤液的输入量应进行测量，若无条件，可取平时运行统计的平均数据。

5 能效测试方法

5.1 总则

按照GB/T 10184-2025执行并做以下修改或增加。

5.2 主要测试项目

5.2.1 输入—输出热量法

主要测试项目如下：

- a) 入炉垃圾量；
- b) 垃圾燃料的发热量及工业分析；
- c) 环境温度、垃圾池内温度和垃圾温度；
- d) 喷入锅炉渗滤液的流量和热值；
- e) 辅助燃料的质量和热值；
- f) 过热蒸汽的流量、温度和压力，饱和蒸汽的温度或压力，其它用途蒸汽的流量、温度和压力；
- g) 给水、减温水、排污水的流量；
- h) 暖风机进出口风温，一二次风风量及外来热源工质的流量、压力、温度。

5.2.2 热损失法

主要测试项目如下：

- a) 垃圾燃料的发热量，工业分析、元素分析（包括C、H、O、N、S、Cl）；
- b) 辅助燃料的发热量，工业分析、元素分析；
- c) 渗滤液的流量和热值；
- d) 烟气分析（包括CO₂、O₂、CO、H₂、C_mH_n、SO₂、NO_x）；
- e) 烟气温度；
- f) 燃料温度、一、二次风风量及温度；
- g) 环境干湿球温度、大气压力；
- h) 外来热源工质的流量、温度和压力；
- i) 炉渣、漏渣的质量以及炉渣、漏渣和飞灰的可燃物含量；
- j) 炉渣温度、漏渣温度；
- k) 炉膛温度。

5.3 垃圾燃料采样和分析的方法

垃圾燃料采样和分析参照CJ/T 313的相关规定执行。

5.4 入炉垃圾量的测定

5.4.1 称重法

可采用垃圾抓斗上的电子称重计（精度不低于0.5%）直接测量测试期间的入炉垃圾重量。

5.4.2 迭代法

若入炉垃圾量无法计量，可采用先假定锅炉热效率，通过正平衡有效吸热量的测定计算入炉垃圾量，然后按反平衡迭代计算（前后两次热效率之差小于0.1%为合格）的方法确定。

5.5 灰渣份额的确定

计量测试期间排放炉渣和漏渣的全部质量，并计算出炉渣排渣量和漏渣排渣量与通过入炉垃圾量计算的总排灰量之比的百分率，即分别为炉渣份额（炉渣流量占锅炉总排灰流量的质量含量百分率）和漏渣份额（漏渣流量占锅炉总排灰流量的质量含量百分率），余者为飞灰份额。如所试验锅炉运行中排放部分飞灰和尾部烟道沉降灰等灰渣，还需计量试验期间这两部分灰渣的排放质量。

$$\alpha_{dz} = \frac{G_{dz}}{G_{zh}} \left(1 - \frac{C_{dz}^c}{100}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha_{lz} = \frac{G_{lz}}{G_{zh}} \left(1 - \frac{C_{lz}^c}{100}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha_{cjh} = \frac{G_{cjh}}{G_{zh}} \left(1 - \frac{C_{cjh}^c}{100}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_{fh} = 1 - \alpha_{dz} - \alpha_{lz} - \alpha_{cjh} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

G_{zh} — 锅炉总排灰流量，kg/h；

G_{dz} — 炉渣排渣流量，kg/h；

G_{lz} — 漏渣排渣流量，kg/h；

G_{cjh} — 沉降灰排灰流量，kg/h；

α_{dz} — 炉渣排渣流量占锅炉总排灰量的质量含量百分率，%；

α_{lz} — 漏渣排渣流量占锅炉总排灰量的质量含量百分率，%；

α_{cjh} — 沉降灰排灰流量占锅炉总排灰量的质量含量百分率

α_{fh} — 飞灰排灰流量占锅炉总排灰流量的质量含量百分率，%；

C_{dz}^c 、 C_{lz}^c 、 C_{cjh}^c — 炉渣、漏渣、沉降灰含碳百分率，%。

5.6 减量比和热灼减率

减量比按照下式计算：

$$MRC = \frac{B - (G_{dz} + G_{lz})}{B - (G_{dz} C_{dz}^c + G_{lz} C_{lz}^c)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

热灼减率按照下式计算：

$$Q_R = \frac{(G_{dz} + G_{1z}) - G_d}{G_{dz} + G_{1z}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

MRC —减量比，%；

Q_R —热灼减率，%；

B —锅炉垃圾消耗量，kg/h；

C_{dz}^c 、 C_{1z}^c —分别为炉渣、漏渣中含碳量，%；

G_d —燃生活垃圾锅炉炉渣经 $600 \pm 25^\circ\text{C}$ 保持3小时，冷却至室温后的质量，kg/h。

6 能效计算方法

6.1 锅炉热效率计算方法

6.1.1 输入-输出热量法热效率，即直接测量锅炉输入和输出热量求得热效率。此法又称正平衡法。

$$\text{锅炉热效率} = \frac{\text{输出热量}}{\text{输入热量}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

6.1.2 热损失法热效率，即由确定各项热量损失求得热效率。此法又称反平衡法。

$$\text{锅炉热效率} = \left(1 - \frac{\text{各项热损失之和}}{\text{输入热量}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

本文件规定采用热损失法测定热效率。也可辅以输入-输出热量法热效率作为参考。

6.1.3 本文件所求的热效率为锅炉毛效率，即燃料燃烧产生的热量直接转化为有效热量的比例，必要时进行净效率计算。

6.1.4 采用垃圾燃料的收到基低位发热量。

6.2 输入-输出热量法

6.2.1 输入热量的计算

按照下式计算：

$$Q_r = Q_{ar.net} + Q_{sly} + Q_{rx} + Q_{wl} + Q_{fz} + Q_{wh} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

Q_r —输入热量，kJ/kg；

$Q_{ar.net}$ —收到基低位热值，kJ/kg；

Q_{sly} —燃烧单位质量的垃圾燃料所喷入的渗滤液的低位热值，kJ/kg；

Q_{rx} —燃料的物理显热，kJ/kg；

Q_{wl} —当用汽轮机抽汽或其它外来热源加热暖风器空气而带入锅炉系统内的热量，kJ/kg；

Q_{fz} —燃烧单位质量的垃圾燃料所带入的辅助燃料的低位热值，kJ/kg；

Q_{wh} —若辅助燃料为燃油且需要雾化时，燃烧单位质量的垃圾燃料所带入的燃油雾化蒸汽的热量，kJ/kg。

6.2.2 输出热量的计算

按照下式计算：

$$Q_1 = \frac{1}{B} [D_{gq} (h_{gq} - h_{gs}) + D_{bq} (h_{bq} - h_{gs}) + D_{ps} (h_{bs} - h_{gs})] \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- Q_1 —输出热量，kJ/kg；
- D_{gq} —主蒸汽流量，kg/h；
- h_{gq} —主蒸汽焓，kJ/kg；
- h_{gs} —给水焓，kJ/kg；
- D_{bq} —饱和蒸汽抽出量，kg/h；
- h_{bq} —饱和蒸汽焓，kJ/kg；
- D_{ps} —排污水流量，kg/h；
- h_{bs} —饱和水焓，kJ/kg。

6.3 热损失法

6.3.1 热损失法锅炉热效率按下式计算：

$$\begin{aligned} \eta &= 100 - \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{Q_r} \times 100\% \dots\dots\dots (11) \\ &= 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \end{aligned}$$

式中：

- η —锅炉热效率，%；
- Q_2 —每千克燃料的排烟热损失，kJ/kg；
- Q_3 —每千克燃料的可燃气体未完全燃烧损失热量，kJ/kg；
- Q_4 —每千克燃料的固体不完全燃烧损失热量，kJ/kg；
- Q_5 —每千克燃料的散热损失热量，kJ/kg；
- Q_6 —每千克燃料的灰渣物理损失热量，kJ/kg；
- q_2 —排烟热损失百分率，%；
- q_3 —可燃气体未完全燃烧热损失百分率，%；
- q_4 —固体未完全燃烧热损失百分率，%；
- q_5 —锅炉散热损失百分率，%；
- q_6 —灰渣物理显热损失百分率，%；

6.3.2 锅炉各项热损失

6.3.2.1 排烟热损失

锅炉排烟热损失按以下公式计算：

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_2 = Q_2^{\text{gy}} + Q_2^{\text{H}_2\text{O}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

Q_2^{gy} —干烟气带走的热量, kJ/kg;

$Q_2^{\text{H}_2\text{O}}$ —烟气中水蒸气带走的热量, kJ/kg。

$$Q_2^{\text{gy}} = V_{\text{gy}} c_{\text{p, gy}} (\theta_{\text{py}} - t_0') \dots\dots\dots (14)$$

式中:

V_{gy} —每千克垃圾燃料生成的干烟气体积, m^3/kg ;

$c_{\text{p, gy}}$ —干烟气从 t_0 到 θ_{py} 的平均比定压热容, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$;

θ_{py} —排烟温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0' —基准温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

$$V_{\text{gy}} = (V_{\text{gy}}^0)^c + (\alpha_{\text{py}} - 1) (V_{\text{gk}}^0)^c \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$(V_{\text{gy}}^0)^c$ —按收到基燃料成分, 由实际燃烧掉的可燃物计算的理论燃烧干烟气体积, m^3/kg ;

α_{py} —实测排烟过量空气系数;

$(V_{\text{gk}}^0)^c$ —按收到基燃料成分, 由实际燃烧掉的可燃物计算的理论燃烧所需干空气量, m^3/kg 。

$$\alpha_{\text{py}} = \frac{21}{21 - (\text{O}_2 - 2\text{CH}_4 - 0.5\text{CO} - 0.5\text{H}_2)} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

O_2 、 CH_4 、 CO 、 H_2 —干烟气中氧、甲烷、一氧化碳和氢的体积分数, %。

$$(V_{\text{gy}}^0)^c = 1.8651 \frac{C_{\text{ar}}^r}{100} + 0.79(V_{\text{gk}}^0)^c + 0.8 \frac{N_{\text{ar}}}{100} + 0.6989 \frac{S_{\text{ar}}}{100} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

C_{ar}^r —燃料应用基实际烧掉的碳质量含量百分率, %;

N_{ar} 、 S_{ar} —分别为燃料收到基氮、硫含量百分率, %。

$$C_{\text{ar}}^r = C_{\text{ar}} - \frac{A_{\text{ar}}}{100} \bar{C} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

C_{ar} 、 A_{ar} —分别为燃料收到基碳、灰分含量百分率, %

\bar{C} —灰渣中平均碳量与燃料灰分之比, %。

$$\bar{C} = \frac{\alpha_{\text{dz}} C_{\text{dz}}^c}{100 - C_{\text{dz}}^c} + \frac{\alpha_{\text{cjh}} C_{\text{cjh}}^c}{100 - C_{\text{cjh}}^c} + \frac{\alpha_{\text{fh}} C_{\text{fh}}^c}{100 - C_{\text{fh}}^c} + \frac{\alpha_{\text{lz}} C_{\text{lz}}^c}{100 - C_{\text{lz}}^c} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

C_{fh}^c —飞灰含碳量的百分率, %。

$$(V_{\text{gk}}^0)^c = 0.0888(C_{\text{ar}}^r + 0.375S_{\text{ar}}) + 0.265H_{\text{ar}} - 0.0333O_{\text{ar}} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

H_{ar} 、 O_{ar} 、 S_{ar} —分别为燃料收到基氢、氧、硫含量百分率, %。

$$c_{p,gy} = c_{p,CO_2} \frac{RO_2}{100} + c_{p,O_2} \frac{O_2}{100} + c_{p,N_2} \frac{N_2}{100} + c_{p,CO} \frac{CO}{100} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

c_{p,N_2} 、 c_{p,CO_2} 、 c_{p,O_2} 、 $c_{p,CO}$ 分别为 N_2 、 CO_2 、 O_2 、 CO 的平均定压比热容，可按排烟温度从 GB/T 10184-2025 附录 E 中查取， $kJ/(m^3 \cdot K)$ ；

RO_2 、 N_2 一干烟气中三原子气体和氮气的体积分数，%。

$$Q_2^{H_2O} = V_{H_2O} C_{p,H_2O} (\theta_{py} - t_0') \dots\dots\dots (22)$$

式中：

V_{H_2O} 一烟气中所含水蒸气容积， m^3/kg ，其中包括：垃圾燃料中的氢燃烧产生水蒸气；垃圾燃料中水分蒸发形成的水蒸气；空气中的水分带入的水蒸气；采用辅助燃料为燃油时，燃油雾化带入的水蒸气；渗滤液带入的水蒸气；

注：锅炉采用 SNCR 技术进行脱氮的，随还原剂尿素或氨水进入到炉膛内的水分也应计入。

C_{p,H_2O} 一水蒸气从修正基准温度到 θ_{py} 温度间的平均定压比热， $kJ/(m^3 \cdot K)$ 。

$$V_{H_2O} = 1.24 \left[\frac{9H_{ar} + M_t}{100} + 1.293 \alpha_{py} (V_{gk}^o)^c d_k + \frac{D_{sly}}{B} \kappa \right] \dots\dots\dots (23)$$

式中：

M_t 一垃圾燃料的全水分含量，%；

d_k 一空气的绝对湿度， kg/kg ；

D_{sly} 一喷入渗滤液的质量， kg/h ；

κ 一渗滤液的含水量，取值 95%。

$$d_k = 0.622 \frac{\frac{\varphi}{100} (p_b)_o}{p_{act} - \frac{\varphi}{100} (p_b)_o} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

φ 一相对湿度，%；

$(p_b)_o$ 一在 t_0' 温度下的水蒸气饱和压力，Pa；

p_{act} 一环境大气压，Pa。

注：本文件中所采用的立方米 (m^3)，除有特殊说明外，均指标准状态下的立方米。

6.3.2.2 可燃气体未完全燃烧热损失

可燃气体未完全燃烧热损失按 GB/T 10184-2025 计算。

6.3.2.3 固体未完全燃烧热损失

固体未完全燃烧热损失按下式进行计算：

$$q_4 = \frac{337.27 A_{ar} \bar{C}}{Q_r} \dots\dots\dots (25)$$

6.3.2.4 散热损失

锅炉散热损失采用以下方法确定：

- a) 锅炉散热损失量可由 GB/T 10180-2017 附录 F 中的热流计法来求得。具体的测试要求按照 GB/T 8174 来进行。

- b) 若用热流计法测试有困难的，可按照 GB/T 10180-2017 附录 F 的查表法和插值法取值，此值为锅炉在额定负荷下的散热损失，若实际运行在非额定工况下时，则按照下式进行折算：

$$q_5 = q_5^e \frac{D^e}{D} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

q_5^e —额定蒸发量下的散热损失，%；

D^e —锅炉的额定蒸发量，t/h；

D —锅炉热效率测定时的实际蒸发量，t/h。

6.3.2.5 灰渣物理热损失

灰渣物理热损失按下式进行计算：

$$q_6 = \frac{A_{js}}{Q_r} \left[\frac{\alpha_{dz}(t_{dz} - t_0')C_{dz}}{100 - C_{dz}^c} + \frac{\alpha_{lz}(t_{lz} - t_0')C_{lz}}{100 - C_{lz}^c} + \frac{\alpha_{fh}(\theta_{py} - t_0')C_{fh}}{100 - C_{fh}^c} + \frac{\alpha_{cjh}(t_{cjh} - t_0')C_{cjh}}{100 - C_{cjh}^c} \right] \dots\dots\dots (27)$$

式中：

t_{dz} —炉膛排出的炉渣温度，℃；

t_{lz} —炉膛排出的漏渣温度，℃；

θ_{py} 、 t_{cjh} —分别为锅炉排烟温度、沉降温度，沉降灰温度可取沉降灰斗上部空间的烟气温度；

C_{dz} 、 C_{lz} 、 C_{fh} 、 C_{cjh} —分别为炉渣、漏渣、飞灰、沉降灰的比热容，kJ/(kg·K)，在 GB/T 10184-2025 的附录 E 查取。

7 能效试验工况偏离设计值时的修正

7.1 试验工况偏离设计值时的修正

当基准温度和进水温度偏离设计值时，按照 GB/T 10184-2025 规定的有关方法进行修正。

7.2 试验燃料特性偏离设计值时的修正

试验燃料超出设计值偏离超过规定的范围时，经试验各方协商同意，可以设计垃圾燃料特性分析数据（工业分析和元素分析）替代锅炉热效率计算所有相关公式中得实测入炉垃圾燃料特性分析数据进行计算的方式进行修正。

8 能效净效率计算

锅炉能效净效率计算按如下公式计算：

- a) 锅炉用来发电的，按下式计算：

$$\eta_j = \frac{\eta Q_r}{Q_r + \frac{\sum Q_{zy}}{B} + \frac{3600}{\eta \eta_q \eta_r B} \sum P} \dots\dots\dots (28)$$

- b) 锅炉用来供热的，按下式计算：

$$\eta_j = \frac{\eta Q_r}{Q_r + \frac{\sum Q_{zy}}{B} + \frac{b}{B} 29310 \sum P} \dots\dots\dots (29)$$

式中：

η_j —锅炉净效率，%；

$\sum Q_{zy}$ —锅炉自用热耗，系指测试期间蒸汽驱动辅助设备和吹灰等所用外来总蒸汽热耗，kJ；

$\sum P$ —锅炉设备送风机、引风机、给水泵，除渣及除灰系统、烟气净化系统等辅助机械电动机的实际运行功率，kW；

η_q 、 η_f —分别为垃圾焚烧厂汽轮机和发电机的效率，可根据其性能试验报告取值，或取其设计值；

b —电能的当量折标系数，取值 0.1229kgce/kW·h。

9 能效误差分析

误差分析和处理按照GB/T 10184-2025中相关规定进行。

10 能效试验报告

燃生活垃圾锅炉的能效试验报告参照GB/T 10184-2025编写，主要试验结果中增加以下的项目：

- a) 减量比 MRC，%；
- b) 热灼减率 QR，%；
- c) 炉膛温度 T_{1t} ， $^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 过量空气系数；
- e) 二氧化碳排放浓度（干烟气， $\text{O}_2=11\%$ ） CO_2 ， mg/Nm^3 ；
- f) 二氧化硫排放浓度（干烟气， $\text{O}_2=11\%$ ） SO_2 ， mg/Nm^3 ；
- g) 一氧化碳排放浓度（干烟气， $\text{O}_2=11\%$ ） CO ， mg/Nm^3 ；
- h) 氮氧化物排放浓度（干烟气， $\text{O}_2=11\%$ ） NO_x ， mg/Nm^3 。

附录 A（资料性） 计算示例

本计算示例描述了燃生活垃圾锅炉能效测试计算的详细过程，计算公式参照第6章。燃料特性表见表A.1，灰渣特性见表A.2，其它输入热量计算见表A.3，有用输出热量计算见表A.4，热损失计算见表A.5，热效率计算表见表A.6。

表 A.1 燃料特性

描述	符号	单位	数值	备注
收到基含碳量	C_{ar}	%	46.49	化验
收到基含氢量	H_{ar}	%	5.28	化验
收到基含氮量	N_{ar}	%	2.44	化验
收到基含氧量	O_{ar}	%	33.53	化验
收到基全硫含量	$S_{t,ar}$	%	0.17	化验
收到基含灰量	A_{ar}	%	3.59	化验
全水分	M_t	%	8.5	化验
收到基低位发热量	$Q_{ar,net}$	kJ/kg	7588.99	化验
入炉垃圾量	B	kg/h	38200	试验
渗滤液的热值	Q_{sly}	kJ/kg	972.15	化验

表 A.2 灰渣特性

描述	符号	单位	数值	备注
炉渣可燃物含量	C_{dz}^c	%	4.40	化验
漏渣可燃物含量	C_{lz}^c	%	12.71	化验
飞灰可燃物含量	C_{fh}^c	%	10.72	化验
沉降灰可燃物含量	C_{cjh}^c	%	4.23	化验
炉渣中灰量占总灰量的质量百分率	α_{dz}	%	70	试验
漏渣中灰量占总灰量的质量百分率	α_{lz}	%	5	试验
飞灰中灰量占总灰量的质量百分率	α_{fh}	%	15	试验

沉降灰中灰量占总灰量的质量百分率	α_{cjh}	%	10	试验
炉渣温度	t_{dz}	°C	400	试验
漏渣温度	t_{lz}	°C	102	试验
沉降灰温度	t_{cjh}	°C	240	试验

表 A. 3 其它输入热量计算

描述	符号	单位	数值	备注
一次风				
质量流量	q_{mPL}	kg/s	13.90	试验
风机出口温度	t_{PL}	°C	34.6	试验
平均比热容	c_{pPL}	kJ/(kg·K)	1.01	查表
一次风输入热量	Q_{PL}	kW	134.8	计算
二次风				
质量流量	q_{mSL}	kg/s	5.90	试验
风机出口温度	t_{SL}	°C	35.2	试验
平均比热容	c_{pSL}	kJ/(kg·K)	1.01	查表
二次风输入热量	Q_{SL}	kW	60.8	计算
雾化风、冷却风等				
质量流量	q_{mFL}	kg/s	2.20	试验
温度	t_{FL}	°C	37.0	试验
平均比热容	c_{pFL}	kJ/(kg·K)	1.01	查表
雾化风、冷却风等输入热量	Q_{FL}	kW	26.7	计算
一次风、二次风蒸汽预热器				
预热器蒸汽质量流量	$q_{mD, LV}$	kg/s	1.29	测量值
预热器蒸汽焓	h	kJ/kg	2788.7	查表
预热器疏水焓	$h_{Kond, LV}$	kJ/kg	897.8	查表

描述	符号	单位	数值	备注
蒸汽预热器输入热量	Q_{LV}	kW	2439.3	计算
水蒸气输入热量	Q_{Bru}	kW	0	计算

表 A.4 有用输出热量计算

描述	符号	单位	数值	备注
给水				
质量流量	q_{mSp}	kg/h	41364	试验
压力	p_{Sp}	MPa	4.93	试验
温度	t_{Sp}	℃	131.1	试验
焓	h_{Sp}	kJ/kg	554.2	查表
过热蒸汽				
质量流量	q_{mD}	kg/h	38268	试验
压力	p_D	MPa	4.22	试验
温度	t_D	℃	452.3	试验
焓	h_D	kJ/kg	3333.3	查表
排污水				
质量流量	q_{mAb}	kg/h	360	试验
汽包压力	p_{Ab}	MPa	4.71	试验
饱和蒸汽温度	t_{Ab}	℃	260.3	查表
焓	h_{Ab}	kJ/kg	1136.0	查表
辅助用蒸汽				
质量流量	$q_{mD'}$	kg/h	2736	试验
压力	$p_{D'}$	MPa	4.71	试验
温度	$t_{D'}$	℃	260.3	查表
焓	$h_{D'}$	kJ/kg	2796.5	查表
输出热量	Q_1	kJ/kg	8452.35	计算

表 A.5 热损失计算

描述	符号	单位	数值	备注
排烟热损失				
排烟温度	θ_{py}	℃	224.9	试验
湿烟气平均比热容	c_{pg}	kJ/(kg·K)	1.09	查表
相对湿度	φ	%	60	试验
环境大气压	p_{act}	Pa	10^5	试验
基准温度下饱和蒸汽压力	$(p_b)_o$	Pa	0.003×10^6	查表
排烟处氧含量	O_2	%	8.47	试验
排烟处一氧化碳含量	CO	%	0.18	试验
排烟处氢含量	H_2	%	0.03	试验
排烟处碳氢化合物含量	$C_m H_n$	%	0.04	试验
排烟处甲烷含量	CH_4	%	0.04	试验
过量空气系数	α_{py}	-	1.65	计算
热损失	q_2	%	14.48	计算
气体未完全燃烧热损失				
损失热量	Q_3	kJ/kg	177.06	计算
热损失	q_3	%	2.02	计算
固体未完全燃烧热损失				
热损失量	Q_4	kJ/kg	74.95	计算
热损失	q_4	%	0.86	计算
散热损失				
额定蒸发量下的散热损失	q_5^e	%	0.6	查图
额定蒸发量	D^e	t/h	45	设计值

描述	符号	单位	数值	备注
实际蒸发量	D	t/h	38.268	试验
热损失	q_5	%	0.71	计算
灰渣物理热损失				
炉渣平均比定压热容	C_{dz}	kJ/(kg·K)	0.964	查表
沉降灰平均比定压热容	C_{cjh}	kJ/(kg·K)	0.906	查表
飞灰平均比定压热容	C_{fh}	kJ/(kg·K)	0.882	查表
漏渣平均比定压热容	C_{lz}	kJ/(kg·K)	0.837	试验
沉降灰温度	t_{cjh}	℃	240.7	试验
热损失	q_6	%	0.13	计算

表 A.6 效率计算

描述	符号	单位	数值	备注
排烟热损失	q_2	%	14.48	计算
可燃气体未完全燃烧热损失	q_3	%	2.02	计算
固体未完全燃烧热损失	q_4	%	0.86	计算
散热损失	q_5	%	0.71	计算
灰渣物理热损失	q_6	%	0.13	计算
锅炉热效率	η	%	81.76	计算