ICS 65.040.10
CCS B 90

T/CS

团 体 标 准

T/CS 251—2025

智能畜禽呼吸测热装置测量结果准确度测试方法

Testing method for the accuracy of measurement results of intelligent livestock and poultry respiratory calorimetry devices

2025－12－30 发布 2025－12－30 实施

中国商品学会 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　装置工作原理 1
5　准确度测试方法 3
6　数据处理 5
7　测试报告 5

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。

本文件由吉林省华明技术推广有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：吉林省华明技术推广有限公司、山东明骏生态农业科技有限公司、日照市自然资源和规划局、山东农业大学、扬州大学、吉林省农业科学院、吉林农业大学、中国农业大学、山东外国语职业技术大学、山东省烟台市农业科学研究院、山东益生种畜禽股份有限公司。

本文件主要起草人：杨华明、马训骏、林海、马春艳、杨海明、袁建敏、吴健、李志鹏、李瑞丽、李胜男、刘一辉、宋杰、楼梦良。

智能畜禽呼吸测热装置测量结果准确度测试方法

1 范围

本文件规定了智能畜禽呼吸测热装置（以下简称“装置”）测量结果准确度测试方法的装置工作原理、准确度测试方法、数据处理和测试报告。

本文件适用于测定猪、牛、羊、家禽、水禽等畜禽呼吸代谢过程中耗氧量（O_2）、二氧化碳产生量（CO_2）、甲烷产生量（CH_4）、呼吸熵（R.Q.）及产热量的智能呼吸测热装置。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

代谢舱 metabolic chamber

用于容纳畜禽、形成封闭呼吸环境的舱体结构内，可实现进气、使户外的空气与舱内畜禽呼出的气体快速混合后排出户外，持续维持舱内微负压平衡的核心测试单元。

3.2

呼吸熵 respiratory quotient，R.Q.

同一时间内畜禽呼吸过程中二氧化碳产生量与氧气消耗量的比值。

注：乙醇完全燃烧时理论 R.Q. 值为 0.67。

3.3

气体回收率 gas recovery rate

装置测定的目标气体实际量与理论注入量的百分比。

3.4

基线漂移 baseline drift

气体分析仪在稳定条件下，传感器输出值随时间的变化量，以“%/h”表示。

4 装置工作原理

装置测定原图如图 1、图 2 所示。装置通过“开路式气体排放－气体分析－数据采集”三步实现畜禽呼吸代谢在线参数测定，具体流程如下：

a) 进、排气体平衡：代谢舱排气口通过可调漩涡风机抽气，进气口自然被动进气，舱内排气量大于进气量，形成微负压，进舱内的户外空气与舱内的畜禽呼出气体充分混合后再排出；

b) 气体采集：通过舱室专用的气体采样口，以高压聚乙烯管连接微型气泵，将舱内混合气体抽送至多通路气路转换器；

c） 分析与数据处理：气路转换器按程序将气体输送至气体分析仪，测定 O_2、CO_2、CH_4 浓度；数据采集仪实时采集气体浓度、流量、温湿度和气压数据，通过软件存储并计算耗 O_2 量、产 CO_2 量、呼吸熵及产热量。

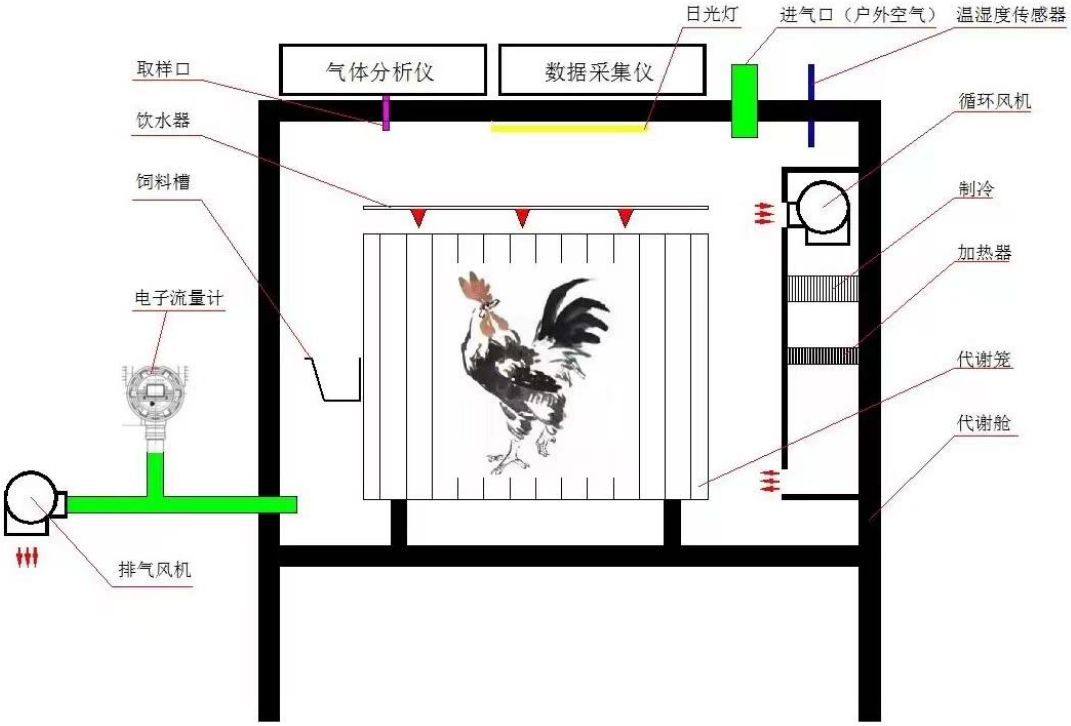


图 1　家禽“开路负压式”呼吸测热装置原理图

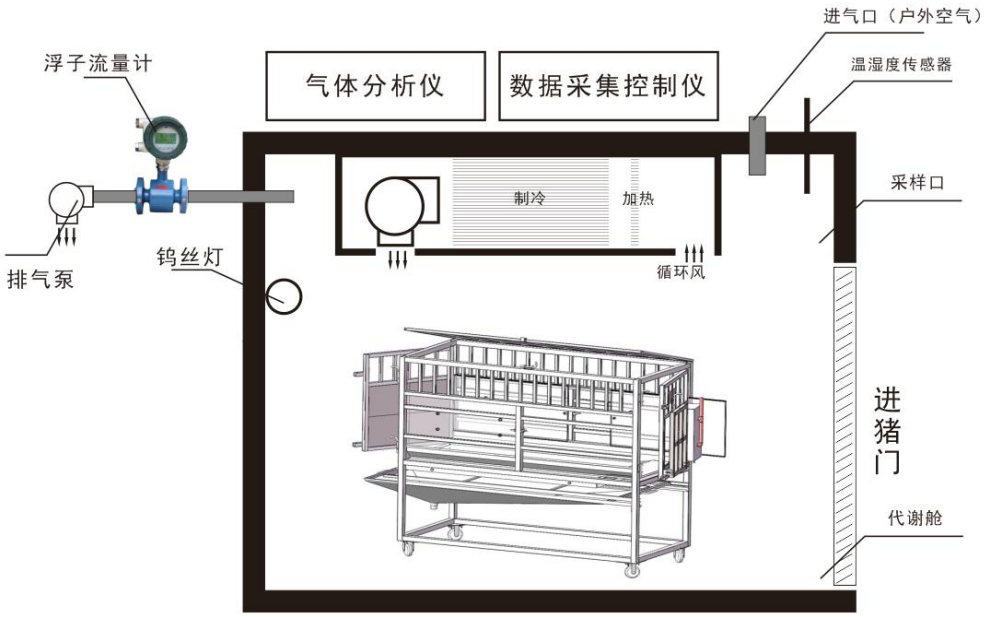


图 2　猪、羊用“开路负压式”呼吸测热装置原理图

5 准确度测试方法

5.1 气体分析仪稳定性测试

5.1.1 测试条件

5.1.1.1 实验室环境如下：

a) 温度：≤28 ℃；

b) 湿度：45%～75%，气压 880 hPa～1 030 hPa，无明显气流干扰。

5.1.1.2 实验气体和仪器包括：

a) 气体分析仪：O_2 量程 ：18.000%.～22.000%；CO_2 量程： 0.%.～1.000%；CH_4 量程：0%～0.050%；

b) 标准气体：O_2 20.95%、CO_2 0.04%、CH_4 0.0050%，纯度 ≥99.99%；

c) 多通路气路转换器；

d) 数据采集仪。

5.1.2 测试步骤

5.1.2.1 开启气体分析仪及数据采集仪，预热 1 h 后，用标准气体标定 O_2、CO_2、CH_4 传感器，直至读数与标准值偏差 ≤0.0003%。

5.1.2.2 将气路转换器转换至“户外空气”通道，设定数据采集周期为 90 s，连续采集 180 h～200 h。

5.1.2.3 每 24 h 记录一次传感器基线值，按公式（1）计算基线漂移量：

$$B_d = \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (1)$$

式中：

B_d——基线漂移量，单位为 %/h；

ΔC——浓度变化，单位为 %；

Δt——时间，单位为小时（h）。

5.1.3 判定标准

O_2、CO_2、CH_4 传感器基线漂移均小于 0.0001%/h，判定分析仪稳定性合格，否则不合格。

5.2 乙醇燃烧值测试

5.2.1 测试条件

5.2.1.1 应根据畜禽类型确定代谢舱容积，舱内预平衡至温度 25 ℃±0.5 ℃、湿度（50±3）%RH，舱内气流循环量 100 L/min～300 L/min。

5.2.1.2 试剂与仪器包括：

a) 无水乙醇：纯度≥99.7%；

b) 万分之一电子秤；

c) 电子打火器；

d) 硅胶塞：20 mm；

e) 回流风扇。

5.2.2 测试步骤

5.2.2.1 试验前用标准气体再次标定气体分析仪的传感器，确认代谢舱内气流量循环通畅，数据采集周期设为每分钟 1 次。

5.2.2.2 密封代谢舱进排气口，燃烧乙醇量与代谢舱的容积比约 0.4 g：100 L。用吸管吸取无水乙醇，电子秤称重约 2 g、3 g、4 g（精确至 0.001 g），放入舱内小瓷碟中；取出电子秤，关闭舱门。

5.2.2.3 通过舱体门上安装的 20 mm 专用孔道，插入电子打火器，点燃乙醇后迅速撤出打火器，用硅胶塞和丝堵密封孔口，避免气体外逸。

5.2.2.4 乙醇燃烧完毕后，开启舱内循环风扇，持续采集数据 40 min，记录燃烧前后舱内 O_2、CO_2 浓度及温湿度变化；每组质量重复测试 3 次。

5.2.3 判定标准

5.2.3.1 按公式（2）和（3）计算耗 O_2 量、产 CO_2 量，其回归系数 $R^2 \geq 0.999$。

$$耗\,O_2\ 量 = 户外\,O_2\,浓度 - 舱内\,O_2\,浓度 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$产\,CO_2\ 量 = 舱内\,CO_2\,浓度 - 户外\ CO_2\ 浓度 \quad \cdots\cdots (3)$$

5.2.3.2 平均呼吸熵（R.Q.）在 0.65～0.68 之间，且燃烧后 40 min 内 CO_2 浓度无下降、O_2 浓度下降 ≤0.001%，判定装置对耗 O_2 量、产 CO_2 量的测定准确度合格。

5.3 舱室 CO_2 平衡值与密闭性测试

5.3.1 测试条件

5.3.1.1 实验仪器包括：

a) CO_2 钢瓶：纯度 99.99%；

b) 气体浮子流量计：0.16 L/min ～1.6 L/min；

c) 电子流量计：0 L/min ～2.0 L/min。

5.3.1.2 家禽代谢舱：1～16 联排舱，排气流量设定为 20 L/min。

5.3.2 CO_2 平衡值测试步骤

5.3.2.1 将 CO_2 钢瓶通过高精度调压阀连接浮子流量计，再接入代谢舱总进气口，调节 CO_2 流量至 0.8 L/min。

5.3.2.2 开启装置进入“呼吸测热测定模式”，数据采集周期 90 s 采集一次，待各个舱内的数据稳定后，再连续采集 30 min 数据，记录各舱内 CO_2% 浓度、温湿度。

5.3.2.3 计算各舱 CO_2 浓度平均值，统计各个舱内平均值的极差。

5.3.3 密闭性测试步骤

5.3.3.1 密封舱内进排气口，将每个舱室注入 CO_2 0.45% 左右，测定各舱 CO_2 浓度达到峰值后，采集数据至 CO_2 浓度明显下降。

5.3.3.2 记录 CO_2 浓度从峰值下降 0.0023% 所需时间。

5.3.4 判定标准

5.3.4.1 CO_2 平衡值：各舱浓度极差 ≤0.0156%，且与畜禽实际测定值在 0.45% 左右，判定平衡值合格。

5.3.4.2 密闭性：CO_2 浓度下降 0.0023% 所需时间 ≥25.5 min，判定舱室密闭性合格。

5.4 气体回收率测试

5.4.1 测试条件

同 5.3.1，以及 CO_2 理论注入量计算工具或软件。

5.4.2 测试步骤

5.4.2.1 密封代谢舱进排气口，CO_2 钢瓶连接浮子流量计及电子流量计，浮子流量计调至 1.6 L/min，注入 CO_2 100 s。理论注入量约为 2.672 L。

5.4.2.2 提前开启装置的气体分析仪、数据采集仪，直至 CO_2 浓度达峰值后，再连续 2～3 次采集数据，约 51 min，记录各舱 CO_2 测定浓度及舱内本底值浓度。

5.4.2.3 按公式（4）计算气体回收率：

$$回收率 = \frac{（测定浓度 - 本底浓度）\times \frac{V_{STP}}{100}}{理论注入量} \times 100\% \cdots\cdots (4)$$

式中：

V_{STP}——标准状态下舱内容积，单位为升（L）。

5.4.3 判定标准

各舱 CO_2 回收率在 98%～102% 之间，判定气体回收率合格，否则不合格。

6 数据处理

6.1 标准状态下代谢舱内容积计算

标准状态下代谢舱容积按公式（5）计算：

注：标准状态指 0 ℃、1 013 hPa，干燥的环境条件下。

$$V_{STP} = V_C \times \frac{P - P_W}{1013} \times \frac{273}{273 + t_C} \cdots\cdots (5)$$

式中：

V_{STP}——标准状态下舱容，单位为升（L）；

V_C——舱内实际容积，单位为升（L）；

P——舱内气压，单位为百帕（hPa）；

P_W——舱内水蒸气压，单位为百帕（hPa）；

t_C——舱内温度，单位为摄氏度（℃）。

6.2 产热量计算

产热量按公式（6）计算：

$$产热量（\mathrm{kJ/min}） = 16.1753 \times O_2 + 5.0208 \times CO_2 - 2.1673 \times CH_4 - 5.9873 \times \mathrm{N}（尿氮\ \mathrm{g}） \cdots (6)$$

式中：

O_2——耗 O_2 量，单位为升每分钟（L/min）；

CO_2——产 CO_2 量，单位为升每分钟（L/min）；

CH_4——产 CH_4 量，单位为升每分钟（L/min）。

7 测试报告

报告应包括以下内容：

a) 本文件编号；

b) 必要说明；

c) 测试时间；

d) 测定结果；

e) 本文件未规定的操作；

f) 可能影响结果的任何情况。