

团 体 标 准

T/ISC 0083—2025

人体能量代谢监测平台测试方法

Test methods for human energy metabolism monitoring platform

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利与支持性文件一并附上。

（发布稿）

2025-09-18

2025 - 09 - 18 发布

2025 - 10 - 18 实施

中 国 互 联 网 协 会 发 布

目 次

前 言	III
人体能量代谢监测平台测试方法	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	3
5 数字代谢舱总体测试方法	3
5.1 平台架构总体设计框架参考	3
6 数字代谢舱总体要求	4
6.1 基础信息采集	4
6.2 生理指标动态监测	5
6.3 代谢指标动态监测	5
6.4 数据安全与信息保护	5
6.5 平台兼容性	6
6.6 性能指标	6
6.7 平台可靠性	6
6.8 平台易用性	7
6.9 平台稳定性	7
6.10 平台可维护性	7
6.11 平台可移植性	8
7 技术规格和性能指标测试方法	8
7.1 代谢测量系统测试方法	8
7.2 配备规范测试方法	9
7.3 生理指标系统测试方法	9
7.4 体形态及体成分系统测试方法	12
7.5 语音交互及行为识别系统测试方法	12
8 质量控制措施测试方法	12
8.1 月度质控检测	12
8.2 常规气体校准要求	13
8.3 其他质控要求	13
9 刺激系统测试方法	13
9.1 温度刺激	13
9.2 低氧刺激	14
附 录 A （资料性） 间接热量测定用燃烧参考值通	16
A.1 酒精完全燃烧	16
A.2 丙烷完全燃烧	16

附 录 B （资料性） 人体能量代谢舱核心评价指标	17
B.1 平台性能指标	17
B.2 代谢测量指标	17
B.3 生理测量指标	17
B.4 质量控制	18
B.5 刺激系统	18
参 考 文 献	19

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。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：上海交通大学医学院附属瑞金医院、上海市内分泌代谢病研究所、中国信息通信研究院、北京大学第三医院、北京协和医院、中国医学科学院阜外医院、阜外华中心血管病医院、首都医科大学宣武医院、懂医（上海）科技有限公司、工业互联网创新中心（上海）有限公司、中电信翼康科技有限公司、中国移动通信集团有限公司、北京金山云网络技术有限公司

本文件主要起草人：王卫庆、潘诗佳、宁光、包日强、朱雅姝、胡益祥、毕宇芳、张翼飞、王计秋、何倩、张卓然、相识、刘泊宁、任九选、贾斐、朱浩杰、吴亚新、王秀玲、代永超、方金武、王道洋、胡建颖、牛宝童、黄蹇、刘明慧、刘金鑫、陈卓霞、顾洪飞、彭德华、张胤俊、曲鹏

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——无

人体能量代谢监测平台测试方法

1 范围

本文件适用于为人体能量代谢监测平台的测试提供技术参考，旨在规范数字代谢舱功能、技术规格和性能指标、质量控制措施、刺激系统等方面的测试方法。

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。

GB 19489-2008 实验室 生物安全通用要求

GB/T 36344-2018 信息技术 数据质量评价指标

GB/T 37864-2019 生物样本库质量和能力通用要求

WS/T 313-2019 医务人员手卫生规范

ISO 8601: 2019 日期和时间. 信息交换用表示法 (Date and time — Representations for information interchange)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

受试者 subject

指符合标准化流程的，进行代谢监测的人员。

3.2

代谢数据 metabolic data

指由人体代谢舱检测所产生的一系列时序数据，包括但不限于能量代谢、呼吸商、糖氧化速率、脂氧化速率等。

3.3

代谢率 metabolic rate

指人体在一定时间内消耗的能量，通常以千卡每分钟 (kcal/min) 表示。在文档中，代谢率是关键测量指标之一，用于评估人体的能量消耗水平。

3.4

生理数据 physiological data

指由其他各设备所采集的动态生理数据，包括但不限于心率、血氧、呼吸率、血压、血糖、核心体温等。

3.5

体形态 body morphology

指受试者身体的外部形态特征，包括但不限于身高、颈围、腰围、臀围、小腿围等。

3.6

体成分 body composition

指受试者体内各类物质的组成，包括但不限于体重、水分、脂肪、肌肉、蛋白质、矿物质等。

3.7

基线数据 baseline data

指用来描述受试者的信息，包括但不限于年龄、性别、研究课题、饮水量、进食量等。

3.8

丙烷燃烧试验 propane combustion test

指通过燃烧丙烷气体来评估能量代谢舱的特性和性能的一种实验方法。

3.9

入舱 enter the chamber

指受试者按照标准流程进入能量代谢舱，意味着本次人体能量代谢测量开始。

3.10

出舱 exit the chamber

指受试者按照标准流程离开能量代谢舱，意味着本次人体能量代谢测量结束。

3.11

呼吸商 respiratory quotient

指人体在一定时间内呼出的二氧化碳量与吸入的氧气量的比值。呼吸商有助于了解人体能量代谢过程中底物的利用情况，不同底物（如碳水化合物、脂肪和蛋白质）的呼吸商不同，因此可以反映人体的代谢状态。

3.12

时间标识 time stamp

指代谢监测平台里的数据或事件上附加的一段能够唯一、准确表明其发生或生成时间的信息，采用北京时间 YYYY-MM-DD' T' HH:mm:ss+08:00 表示。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

Behavior:不同的活动场景

BehaviorNum:按照连续时间段划分的活动场景数量

COR_TIME:是否可通过算法校准时间延迟

CV_DUP:重复率的变异系数

CV_LOSS:丢失率的变异系数

CV_ERROR:错误率的变异系数

f:采集频率

h:采集时长

MEAN_DUP:重复率 P_DUP 的均值

MEAN_LOSS:丢失率 P_LOSS 的均值

MEAN_ERROR:错误率 P_ERROR 的均值

MEAN_CV:平均变异系数

mean:数据的均值

N:理论采集数据量

N_DUP:重复数据的数量

N_NA:丢失数据的数量

N_OUTLIER:异常值的数量

n:实际采集数据量

P_DUP:重复率

P_ERROR:错误率

P_LOSS:丢失率

SD_DUP:重复率 P_DUP 的标准差

SD_ERROR:错误率 P_ERROR 的标准差

SD_LOSS:丢失率 P_LOSS 的标准差

sd:数据的标准差

se:数据的标准误

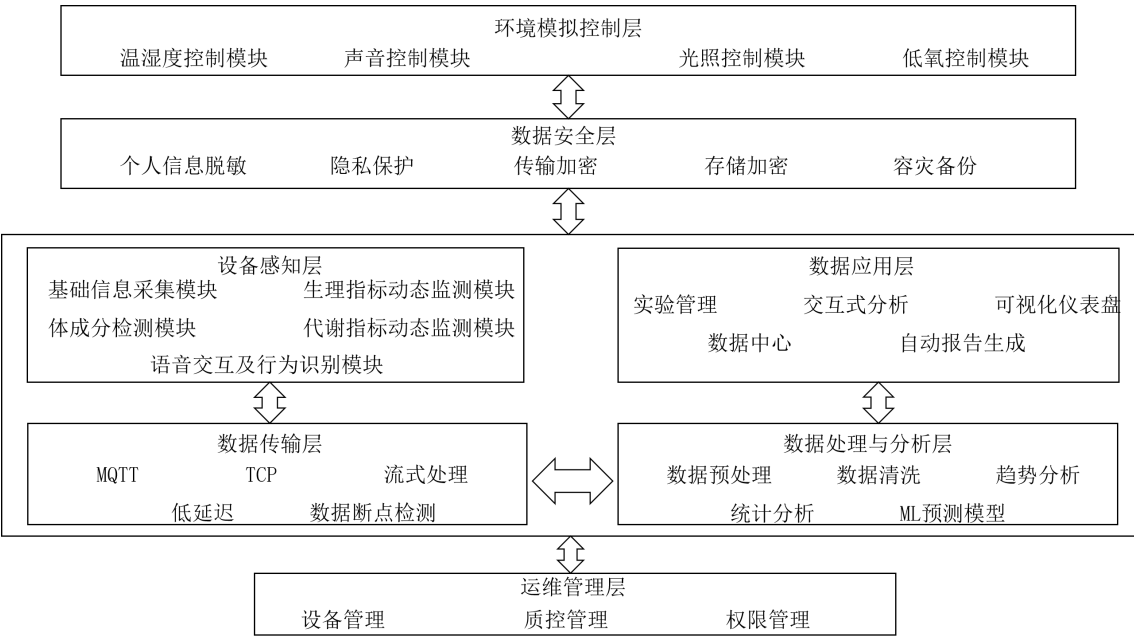
T_DELAY:数据发送的时间延迟

5 数字代谢舱总体测试方法

5.1 平台架构总体设计框架参考

人体能量代谢监测平台是旨在实现对受试者能量代谢及相关生理、体态等多模态数据的全天候、系统性、标准化采集、管理和分析的一种综合性解决方案。该平台主要设备感知层、环境模拟控制层、数据传输层、数据处理与分析层、数据应用层、运维管理层及数据安全层七层核心架构。

设备感知层主要集成了基础信息采集模块、生理指标动态监测模块、代谢指标动态监测模块、体成分检测模块、语音交互及行为识别模块，环境控制层主要集成温湿度控制模块、声音控制模块、光照控制模块、低氧控制模块，数据传输层主要采用MQTT及TCP协议将感知层的原始数据以高吞吐、低延迟方式可靠地输送到后端，数据处理与分析层包括预处理、数据清洗、趋势分析等功能，应用层包括实验管理、交互式分析、可视化分析等模块，运维管理层主要包括设备管理、质控管理、权限管理等功能，数据安全层主要包括个人信息脱敏、隐私保护、传输加密、存储加密、容灾备份等功能。



6 数字代谢舱总体要求

6.1 基础信息采集

平台应具备准确采集受试者基础信息的能力，包括姓名、性别、年龄、种族、检测时间、女性生理状态、身体形态参数（身高、胸围、腰围、臀围等）、体成分参数（体脂肪、肌肉、骨骼肌等）以及疾病诊断等信息，确保信息的完整性和准确性。

- a) 测试步骤：
 - 1) 随机选取一定数量（如20名）不同特征的受试者，涵盖不同性别、年龄、种族、身体形态和疾病状况等；
 - 2) 在平台上录入受试者基础信息，包括姓名、性别、年龄、种族、女性生理状态、身体形态参数（身高、胸围、腰围、臀围等）、体成分参数（体脂肪、肌肉、骨骼肌等）以及疾病诊断等；
 - 3) 检查录入信息是否完整显示在平台相应界面，与受试者实际信息进行比对，验证信息的准确性，准确率应达到100%。
- b) 预期结果：

验证信息的准确率 100%。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.2 生理指标动态监测

实现对心率、血氧饱和度、脉搏、呼吸率、收缩压/舒张压、心电、血糖、体温等生理指标的连续动态监测。明确规定血压采集频率为至少 30min/次，心率、血氧饱和度、呼吸率等采集频率为 1s/次，确保数据采集的及时性和准确性，为全面评估人体生理状态提供数据支持。

a) 测试步骤：

- 1) 让受试者佩戴好传感器设备，保持安静状态；
- 2) 启动平台监测功能，观察平台是否按血压采集频率30min/次，心率、血氧饱和度、呼吸率等采集频率1s/次实时采集数据，并在界面实时显示；
- 3) 在不同时间段，让受试者进行简单运动（如慢走、骑单车等），持续观察平台采集数据的变化情况及是否保持正常采集频率；
- 4) 使用传统方法人工测量上述生理指标，与平台测量指标对比。

b) 预期结果：

验证信息的准确率 100%。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.3 代谢指标动态监测

实时监测代谢率、呼吸商、营养物质氧化率等代谢指标。要求代谢率测量准确率达到 98% 以上，呼吸商测量准确率达98%以上，确保平台能够精准反映人体能量代谢状态，为临床诊断和研究提供可靠数据。

a) 测试步骤：

- 1) 受试者进入代谢舱，依试验前约定保持特定状态（如空腹进食、运动、静坐等）；
- 2) 启动平台代谢指标监测功能，持续监测 30 分钟以上，记录代谢率、呼吸商等数据；
- 3) 受试者佩戴K5呼吸面罩后进入代谢舱，监测并记录数据；
- 4) 对比数据。

b) 预期结果：

平台测量的代谢率、呼吸商准确率达 98% 以上；不同状态下数据变化符合生理规律，与标准设备测量数据差异在允许范围。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.4 数据安全与信息保护

a) 测试步骤：

- 1) 检查数据采集环节，验证平台对受试者原始数据（如姓名、身份证号等）是否进行实时加密处理，查看加密算法及密钥管理机制；
- 2) 监测数据传输过程，通过网络抓包工具检查数据在MQTT/TCP协议传输中的加密状态（如是否采用 TLS/SSL 加密）；
- 3) 检查数据存储环节，验证数据库存储的个人信息是否采用加密存储（如字段级加密或存储加密），查看存储加密算法合规性；
- 4) 测试访问控制机制，使用不同角色账号（如管理员、研究员、访客）登录平台，验证是否仅能访问授权范围内的数据与功能；
- 5) 检查数据脱敏处理，抽取进入分析环节的数据集，验证个人可识别信息（如姓名、手机号）是否已脱敏（如替换为匿名标识），并查看脱敏处理日志；

- 6) 测试备份与容灾机制，触发模拟故障（如服务器宕机），验证数据是否可通过备份恢复，记录恢复时间及数据完整性；
- 7) 检查数据使用审计日志，验证所有数据访问、修改、导出操作是否被完整记录，支持追溯。

b) 预期结果：

数据采集、传输、存储全流程加密机制有效，加密算法符合行业标准；访问控制严格，未授权账号无法访问敏感数据；数据脱敏彻底，分析环节无个人可识别信息；备份数据可完整恢复，恢复时间在可接受范围；审计日志完整，支持全流程追溯。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.5 平台兼容性

a) 测试步骤：

- 1) 在Chrome、Firefox、Edge浏览器最新两个稳定版本中，分别登录平台用户操作界面，检查页面布局（如按钮、表格、图表）是否显示正常，无错位或缺失；
- 2) 在各浏览器中测试核心功能（如数据录入、查询、分析、可视化），验证是否存在功能异常（如按钮无响应、数据加载失败）；
- 3) 参照 API 开发文档和接入指南，尝试将新型可穿戴设备（如脑电仪）接入平台，检查设备是否能正常上传数据；
- 4) 验证接入设备的数据格式是否与平台兼容，查看平台是否能正确解析并存储设备数据。

b) 预期结果

各浏览器页面布局显示正常，核心功能无异常；新型可穿戴设备成功接入平台，数据上传稳定，格式兼容，验证过程符合接入指南。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.6 性能指标

a) 测试步骤：

- 1) 测试网络性能：通过压力测试工具模拟200个代谢舱终端同时在线连接与数据传输，记录并发连接稳定性；验证大数据量级（如 10TB）数据复制同步的传输效率；
- 2) 测试软件服务性能：使用响应时间测试工具，记录各功能模块（如数据查询、分析报告生成）的响应时间；验证平台是否采用BS架构，检查云端部署可行性；
- 3) 测试存储服务性能：验证平台是否能存储模拟的10个代谢舱5年数据量；通过高并发读写工具测试数据读写I/O性能；模拟灾难场景，测试数据容灾检索的效率。

b) 预期结果：

网络性能：并发连接数 ≥ 200 ，大数据传输稳定；软件服务：各功能模块响应时间符合规定，支持BS架构云端部署；存储服务：满足10个代谢舱5年数据存储需求，读写I/O 及容灾检索效率达标。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.7 平台可靠性

a) 测试步骤：

- 1) 测试数据容灾备份：检查是否存在多副本存储及异地备份，触发备份恢复流程，验证数据是否完整恢复（如恢复后数据与原始数据一致性 $\geq 99.9\%$ ）；

- 2) 测试故障恢复机制：模拟服务器断网、数据库崩溃等故障，记录平台故障自动检测及恢复时间；
- 3) 验证服务连续性：持续监测平台72小时，模拟高负载场景（如200个终端同时上传数据），检查服务是否中断；
- 4) 测试功能完整性：随机调用平台核心功能（如数据采集、分析、报告生成），验证功能是否完整执行无异常。

b) 预期结果：

数据容灾备份有效，恢复后数据完整；故障自动恢复时间≤30分钟；高负载场景下服务无中断；核心功能完整执行，无异常。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.8 平台易用性

a) 测试步骤：

- 1) 检查平台是否提供当前版本发布时间、系统说明书、电子版快速帮助手册、操作演示文档及软件测试报告，验证文档的完整性及可读性；
- 2) 测试试用版软件及在线试用功能，验证试用版是否包含核心功能（如数据录入、基础分析），在线试用是否可正常操作无卡顿；
- 3) 随机选取3名不同操作熟练度的用户（新手、中级、专家），让其完成基础任务（如录入受试者信息、生成简单分析报告），记录完成时间及操作难度反馈。

b) 预期结果：

平台提供的各类文档完整、清晰；试用版及在线试用功能正常，包含核心功能；不同熟练度用户均能在合理时间（如新手≤10分钟）完成基础任务，操作难度低。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.9 平台稳定性

a) 测试步骤

- 1) 测试系统稳定性：持续运行平台72小时，监测是否出现系统崩溃、死机等异常，记录系统日志中的错误信息；
- 2) 测试数据稳定性：检查72小时内采集、存储、处理的数据是否存在泄露、丢失或损坏（如数据丢失率≤0.1%）；
- 3) 测试网络稳定性：监测数据传输过程中的网络连接状态，记录断连次数及恢复时间（如断连次数≤1次/24小时，恢复时间≤5分钟）；
- 4) 测试应用程序稳定性：连续调用应用程序核心功能（如数据可视化、报告生成）100次，检查是否出现崩溃或功能异常；
- 5) 验证实时监测与报警机制：模拟异常数据（如超出正常范围的代谢率），检查平台是否实时报警；模拟系统负载过高，验证自动容错功能是否触发。

b) 预期结果：

72小时内系统无崩溃，数据无泄露/丢失（丢失率≤0.1%）；网络断连少且恢复快；应用程序无崩溃；异常监测与报警及时，自动容错有效。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.10 平台可维护性

a) 测试步骤

- 1) 检查自动化运维功能：运行小时级自动化运维脚本（如每小时设备状态巡检），查看是否生成运维报告，记录设备异常（如传感器故障）的识别率；
- 2) 测试实时监测功能：持续监测平台设备状态（如代谢舱传感器、服务器负载）及数据质量（如数据丢失率），验证监测数据的准确性（与实际状态一致性 $\geq 99\%$ ）；
- 3) 测试异常报警机制：模拟设备故障（如传感器离线）、数据异常（如重复率 $> 5\%$ ），检查报警是否及时（延迟 ≤ 5 分钟），报警信息是否准确（含异常位置、类型）；
- 4) 验证自动容错功能：模拟单设备故障（如某代谢舱数据传输中断），检查平台是否自动切换至备用设备或启动数据补传机制。

b) 预期结果：

自动化运维脚本正常执行，设备异常识别率 $\geq 95\%$ ；实时监测数据准确；异常报警及时且信息准确；自动容错机制有效，故障影响范围最小化。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

6.11 平台可移植性

a) 测试步骤：

- 1) 验证操作系统兼容性：在披露的客户端及服务器端操作系统版本上部署平台，测试核心功能（如数据采集、传输）是否正常运行；
- 2) 验证数据库兼容性：在披露的数据库版本上部署平台数据存储模块，测试数据写入、查询、更新功能是否正常，记录数据一致性（与原始数据对比偏差 $\leq 0.1\%$ ）
- 3) 验证云平台兼容性：在披露的云平台版本上部署平台，测试云端访问响应时间、数据同步效率，检查是否支持弹性扩展（如增加节点后性能线性提升）；
- 4) 检查披露文档：验证平台是否完整披露支持的操作系统、数据库及云平台的类型与版本，文档描述与实际测试结果的一致性。

b) 预期结果：

平台在披露的操作系统、数据库及云平台上均能正常部署运行，核心功能无异常；数据一致性 $\geq 99.9\%$ ；云平台部署支持弹性扩展；披露文档与实际测试结果一致。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

7 技术规格和性能指标测试方法

7.1 代谢测量系统测试方法

精准测量代谢率、呼吸商等关键指标，随着技术发展逐步完善营养物质氧化率的测量。代谢率反映人体在不同状态下的能量消耗水平，呼吸商则有助于了解人体能量代谢过程中底物的利用情况，这些指标对于评估人体健康和代谢状态具有重要意义。

a) 测试步骤：

- 1) 实施丙烷测试/酒精测试，根据其燃烧情况得出该条件下氧气消耗和二氧化碳产生的理论值，计算依据见附录A；
- 2) 记录系统检测结果，比对步骤1中获得的理论值与实测数据，计算准确率、稳定性和重复测量准确性等。

b) 预期结果：

代谢率、呼吸商测量准确率和重复测量准确性均达 98% 以上；长时间运行数据稳定，波动在允许范围。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

7.2 配备规范测试方法

明确穿戴设备和硬件设备的配备规范，包括设备体积应符合人体工程学设计，便于受试者使用；规定采集标准、精确率和丢失率，确保数据采集的质量。随着技术的不断进步，持续优化设备性能，提升用户体验和数据采集的准确性。

a) 测试步骤：

- 1) 让不同体型受试者佩戴穿戴设备，体验一段时间（如 30 分钟），评价舒适度和对活动的影响；
- 2) 启动设备采集功能，持续 24 小时，检查数据采集的连续性；
- 3) 使用模拟人体信号发生器输入已知数据，监测设备采集数据的精确率和丢失率；
- 4) 观察硬件设备体积，评估安装操作便捷性；
- 5) 对硬件设备进行与穿戴设备相同的数据采集性能测试。

b) 预测结果：

穿戴设备佩戴舒适，不影响活动；设备连续 24 小时采集数据无中断；采集精确率和丢失率符合规定；硬件设备体积适宜，安装操作方便。

c) 结果判定符合预期结果或附录 B 对应项。

7.3 生理指标系统测试方法

参考《GB/T 36344-2018 信息技术 数据质量评价指标》，生理指标系统应支持时间标识、心率、血氧饱和度、脉搏、呼吸率、收缩压/舒张压、心电、脑电、血糖、体温等主要生理参数。

a) 测试步骤：

- 1) 通过模拟数据输入或实际采集，检查系统是否支持时间、心率、血氧饱和度等主要生理参数的采集和显示；
- 2) 按照规定采集频率连续采集 24 小时数据，记录采集过程中的异常情况；
- 3) 根据数据质量评价指标，从规范性、可访问性、安全性、时效性、唯一性、完整性、准确性、稳定性方面进行测试和评分。
- 4) 规范性：是否有标准的数据接口字段表（得分5/0）；发送接口是否采用主流技术（得分5/0）
- 5) 可访问性：是否可以通过数据接口直接获取数据（得分5/0）；是否可以通过设备端直接获取数据（得分5/0）
- 6) 安全性：发送数据是否有本地记录（得分5/0）；突发情况下是否有数据容灾设计（得分5/0）；数据接口是否加密处理（得分5/0）
- 7) 时效性：发送数据是否存在时间延迟，延迟时间记为数据发送的时间延迟（T_DELAY）。（得分5×level，0）；是否可通过算法校准，记为是否可通过算法校准时间延迟（COR_TIME）。（得分5/0）

Level:

- 1 T_DELAY=0 level=3
- 2 T_DELAY < 1min level=2
- 3 T_DELAY <= 5min level=1
- 4 T_DELAY > 5min level=0

式中：

T_DELAY ——数据发送的时间延迟

- 8) 唯一性：数据不可有重复数据，重复数据数量记为 N_DUP ，重复率为 $P_DUP=N_DUP/n$ 。（得分 $5 \times level$ ）

式中：

P_DUP —— 重复率
 N_DUP —— 重复数据的数量
 n —— 实际采集数据量

Level:

1 $P_DUP < 1\%$ level=3
 2 $P_DUP < 3\%$ level=2
 3 $P_DUP \leq 5\%$ level=1
 4 $P_DUP > 5\%$ level=0

式中：

P_DUP —— 重复率

- 9) 完整性（丢失率）：定义所有变量值都为0的数据为丢失，统计数目记为丢失数据的数量（ N_NA ）。丢失率定义： $P_LOSS = (N - n + N_DUP + N_NA) / N \times 100$ 。（得分 $5 \times level$ ）

式中：

P_LOSS —— 丢失率
 n —— 实际采集数据量
 N_DUP —— 重复数据的数量
 N_NA —— 丢失数据的数量
 N —— 理论采集数据量

Level:

1 $P_LOSS < 3\%$ level=3
 2 $P_LOSS < 5\%$ level=2
 3 $P_LOSS \leq 10\%$ level=1
 4 $P_LOSS > 10\%$ level=0

- 10) 准确性（异常值率）：异常值按照不同的活动场景（Behavior）监测，按照连续时间段划分记为按照连续时间段划分的活动场景数量（BehaviorNum），依次统计其数据的均值（mean），数据的标准差（sd），数据的标准误（se），其中数据在（ $mean \pm 3sd$ ）之外定义为异常值。

$$P_ERROR = N_OUTLIER / (n - N_DUP) \times 100. \quad (\text{得分 } 5 \times level)$$

式中：

P_ERROR —— 错误率
 $N_OUTLIER$ —— 异常值的数量
 n —— 实际采集数据量
 N_DUP —— 重复数据的数量

Level:

1 $P_ERROR < 1\%$ level=3
 2 $P_ERROR < 3\%$ level=2
 3 $P_ERROR \leq 5\%$ level=1
 4 $P_ERROR > 5\%$ level=0

式中：

P_ERROR ——错误率

- 11) 稳定性：三次数依次计算重复率 (P_DUP)，丢失率 (P_LOSS)，错误率 (P_ERROR)，计算重复率 P_DUP 的标准差 (SD_DUP)，丢失率 P_LOSS 的标准差 (SD_LOSS)，错误率 P_ERROR 的标准差 (SD_ERROR)，重复率 P_DUP 的均值 (MEAN_DUP)，丢失率 P_LOSS 的均值 (MEAN_LOSS)，错误率 P_ERROR 的均值 (MEAN_ERROR)。(得分 $5 \times \text{level}$)

其中：

$$CV_DUP = SD_DUP / MEAN_DUP \times 100,$$

式中：

CV_DUP ——重复率的变异系数
SD_DUP ——重复率 P_DUP 的标准差
MEAN_DUP ——重复率 P_DUP 的均值

$$CV_LOSS = SD_LOSS / MEAN_LOSS \times 100$$

式中：

CV_LOSS ——丢失率的变异系数
SD_LOSS ——丢失率 P_LOSS 的标准差
MEAN_LOSS ——丢失率 P_LOSS 的均值

$$CV_ERROR = SD_ERROR / MEAN_ERROR \times 100$$

式中：

CV_ERROR ——错误率的变异系数
SD_ERROR ——错误率 P_ERROR 的标准差
MEAN_ERROR ——错误率 P_ERROR 的均值

$$MEAN_CV = (CV_DUP + CV_LOSS + CV_ERROR) / 3$$

式中：

MEAN_CV ——平均变异系数
CV_DUP ——重复率的变异系数
CV_LOSS ——丢失率的变异系数
CV_ERROR ——错误率的变异系数

Level:

- 1 MEAN_CV < 1 level=3
- 2 MEAN_CV < 3 level=2
- 3 MEAN_CV <=5 level=1
- 4 MEAN_CV >5 level=0

式中：

MEAN_CV ——平均变异系数

b) 预期结果：

系统支持所有主要生理参数；数据采集完整准确，各评价指标得分符合要求（数据质量总得分 ≥ 90 ，单项得分不少于 10）。

- c) 结果判定符合预期结果或附录 B 对应项。

7.4 体形态及体成分系统测试方法

体形态参数对于评估人体体型和健康风险具有重要意义，应采用标准化测量方法，确保测量结果的准确性和可比性；体成分参数帮助了解人体身体组成，为个性化健康管理和疾病预防提供数据支持。

- a) 测试步骤：
 - 1) 使用标准测量工具以及标准测量方法和平台分别测量受试者的体形态参数（颈围、腰围、臀围、胸围、上臀围、小腿围等）和体成分参数（体脂肪、肌肉、骨骼肌、水分、去脂体重、内脏脂肪等）；
 - 2) 对比测量结果，分析平台测量数据的准确性和一致性。
- b) 预期结果：

平台测量的体形态和体成分参数与标准测量结果相符，测量方法符合标准化要求。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

7.5 语音交互及行为识别系统测试方法

舱内的语音交互与行为识别设备配置完善，旨在为研究人员提供全面的受试者行为和情绪数据，辅助能量代谢研究。

- a) 测试步骤：
 - 1) 受试者进入舱内，使用语音交互设备进行对话，测试语音清晰度和对讲功能；
 - 2) 受试者在舱内做出多种姿态（如站立、坐下、行走）、进餐、睡眠、运动等行为，观察行为识别系统的识别情况；
 - 3) 受试者展示多种微表情和情绪，检查表情摄像头的识别能力。
- b) 预期结果：

语音交互清晰流畅，对讲功能正常；行为识别系统准确识别各种姿态、行为、微表情和情绪。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

8 质量控制措施测试方法

8.1 月度质控检测

月度质控检测需进行丙烷/酒精燃烧/Gas Blender 实验和空舱检测，检测过程要求应符合《GB 19489-2008 实验室 生物安全通用要求》、《GB/T 37864-2019 生物样本库质量和能力通用要求》、《WS/T 313-2019 医务人员手卫生规范》等要求。在缺少月度质控检测的情况下，代谢数据读数有较大概率出现偏移，因此人体能量代谢监测平台需具备对月度质控检测的确认功能。

- a) 测试步骤：
 - 1) 查看平台是否具备定期校验质控文件，以及平台是否支持设置检查频次，如按月检查或按周检查；如不存在或缺少必要的质控文件，则无法使用平台业务功能；
 - 2) 查看平台质控检测应包括但不限于丙烷/酒精燃烧/Gas Blender实验质控文件；
 - 3) 查看标准舱体运行时间，标准舱体至少运行24小时，RMR舱体至少运行1小时；
 - 4) 查看丙烷检测是否已判断代谢舱相关设备是否进行校准和预热，处于稳定运行状态，并记录燃烧重量，设置火焰高度；

- 5) 查看酒精检测是否已确认设备的校准与预热，处于稳定运行状态，查看酒精纯度（应使用工业级或实验室级乙醇，纯度大于等于99.5%），记录酒精燃烧前后的重量，并确认酒精容器的密封性；
- 6) 查看平台支持检测燃烧实验气体回收率和气体浓度是否在合理范围内，并支持阈值设置；
- 7) 查看平台中质检丙烷和燃烧实验气体回收率是否在95% - 105%，若不在，则不通过质检；
- 8) 查看质检Gas Blender实验气体浓度偏差是否在 $\pm 2\%$ 之内，若不在，则不通过质检；
- 9) 查看平台舱体密闭性和传感器精度检录，确保支持检录阈值设置。

针对空舱检测能力开展测试：

- 10) 查看平台是否支持检测舱体是否存在漏气，并支持检测数值用于计算参数的修正，确保实验环境的稳定性；
 - 11) 查看平台是否确认空舱检测运行超过8小时；
 - 12) 查看平台是否具备查看质检结果功能；
 - 13) 查看平台具备分析质控数据是否符合标准范围：舱体漏气率 $<0.1\%$ ，环境参数偏差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ （温度）， $\pm 5\%$ （湿度）；
 - 14) 查看平台在任一质检数据不符合要求时是否主动对用户发出预警。
- b) 预期结果：
- 测试过程中设备运行正常，根据测试数据能发现潜在问题并可调整，确保舱体及空舱稳定运行。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

8.2 常规气体校准要求

常规气体校准是质量控制措施的重要组成部分，平台的常规气体校准提示应每周执行一次。

- a) 测试步骤：
- 1) 查看平台可校准气体浓度偏差 $<0.05\%$ 。确保气体分析系统的准确性以及可靠性；
 - 2) 查看平台可校准重复性误差 $<3\%$ ，确保气体校准操作的规范性以及气体分析系统的稳定性；
 - 3) 最近一次校准超过一周，平台是否对用户发出预警或提醒。
- b) 预期结果：
- 平台测试结果符合对校准气体浓度、重复性误差的要求，且平台的常规气体校准提示每周执行一次。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

8.3 其他质控要求

在检修/更换了气体分析部件之后，需要进行丙烷和空舱检测，平台测试方法如下。

- a) 测试步骤：
- 1) 在检修/更换了气体分析部件之后，查看平台的质控文件和结果是否存在，并分析质控数据是否符合标准范围。
- b) 预期结果：
- 在检修/更换了气体分析部件之后，平台的质控文件和结果存在，分析质控数据符合标准范围。
- c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

9 刺激系统测试方法

9.1 温度刺激

温度刺激系统要求包括温度控制范围、温度控制标准以及标准测量方法三个方面。

a) 测试步骤:

- 1) 设置温度控制范围和目标温度,进行 24 小时温度控制测试,测量温度准确率。系统设定值与腔室实际核心温度的偏差。计算温控系统在 24 小时内的平均温度,记为 T_{avg_center} ,设定温度记为 $Setpoint$ 设定 25°C ,绝对准确性偏差记为 $T_{Accuracy}$ 。

$$T_{Accuracy} = |T_{avg_center} - Setpoint|。$$

$T_{Accuracy} < 0.5$ 为合格,否则不合格。

- 2) 设置温度控制范围和目标温度,进行 24 小时温度控制测试,测量温度均匀性。同一时刻,舱内不同位置的温控探头之间的最大温度差异。计算每个探头 ($C1, T1, T2, T3, T4$) 各自的 24 小时平均温度。在这些平均值中,找到最高值 T_{avg_max} 和最低值 T_{avg_min} ,均匀性梯度记为 $T_{Uniformity}$ 。

$$T_{Uniformity} = T_{avg_max} - T_{avg_min}。$$

$T_{Uniformity} < 0.5$ 为合格,否则不合格。

- 3) 设置温度控制范围和目标温度,进行 24 小时温度控制测试,测量温度稳定性。随着时间的推移,舱内温度的波动范围。找出其 24 小时记录数据中的最高温 T_{max} 和最低温 T_{min} 。稳定性记为 $T_{Stability}$,波动范围设定 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)。

$$T_{Stability} = \text{Max}(T_{max} - T_{min})/2。$$

$T_{Stability} < 0.5$ 为合格,否则不合格。

在当下温度,丙烷/酒精燃烧/Gas Blender均可被使用来评估代谢测量精度。

b) 预期结果:

温度控制在规定范围,平均温度与目标温度偏差、舱内温度均匀性、全天温度波动范围符合标准,则温度测量准确率和均匀性达标。

c) 结果判定符合预期结果或附录B对应项。

9.2 低氧刺激

低氧刺激系统要求包括氧气浓度控制范围、低氧刺激控制标准以及标准测量方法三个方面。

a) 测试步骤:

- 1) 设置好舱体温度、海拔高度氧气浓度控制范围,进行低氧刺激测试,检测舱体密封性和氧气浓度稳定性;
- 2) 关闭舱体,打开低氧系统将正常空气处理为低氧气体,向舱外缓冲间输送低氧气体,将舱内氧浓度降低到一个测试点,如 $10.0\% \text{O}_2$;
- 3) 等待 Gas Analyzer 的氧气读数稳定在 10.0% 左右。
- 4) 计算稳定时舱内最高氧浓度 O_{2_max} 和最低氧浓度 O_{2_min} ,氧浓度波动记为 $\text{O}_{2_Stability}$;

$$\text{O}_{2_max} = \max(\text{O}_2)$$

$$\text{O}_{2_min} = \min(\text{O}_2)$$

$$\text{O}_{2_Stability} = (\text{O}_{2_max} - \text{O}_{2_min}) / 2$$

$\text{O}_{2_Stability} < 0.3\%$ 为合格,稳定性合格,否则不合格。

- 5) 然后,接入 Gas Blender,向舱内以固定速率通入浓度一定的二氧化碳和氮气,模拟气体交换。
- 6) 接着进行空舱测试,检测舱体密封性。
- 7) 在当下氧气浓度,只能使用 Gas Blender 进行舱体检测,其他方式则不可以。

b) 预期结果:

氧气浓度控制在规定范围,舱体密封性和氧气浓度稳定性符合标准,测量准确。

- c) 结果判定符合预期结果或附录 B 对应项。

附 录 A
(资料性)
间接热量测定用燃烧参考值通

A.1 酒精完全燃烧

化学式: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

在标准状况下, 1g的酒精完全燃烧会消耗: $3 \times 1/46 \text{ mol} \times 22.4\text{L/mol} \approx 1.461\text{L}$ 氧气
产生: $2 \times 1/46\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} \approx 0.974\text{L}$ 二氧化碳; $\text{RQ} \approx 0.667$ 。

A.2 丙烷完全燃烧

化学式: $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

在标准状况下, 1g的丙烷完全燃烧会消耗: $5 \times 1/44\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} \approx 2.545\text{L}$ 氧气
产生: $3 \times 1/44\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} \approx 1.527\text{L}$ 二氧化碳; $\text{RQ} = 0.6$ 。

附 录 B
(资料性)
人体能量代谢舱核心评价指标

B.1 平台性能指标

类别	评价项	指标要求
平台性能	并发连接数	≥ 200 个
平台性能	端到端数据延迟	< 1 秒
平台性能	核心页面查询时间	< 3 秒
平台性能	数据存储能力	支撑10个代谢舱连续运行5年以上
平台性能	时间同步误差	≤ 100 毫秒

B.2 代谢测量指标

类别	评价项	指标要求
代谢测量	代谢率/呼吸商测量准确率	$\geq 98\%$
代谢测量	代谢率/呼吸商重复测量准确性	$\geq 98\%$

B.3 生理测量指标

类别	评价项	指标要求
生理测量	时效性 (T_DELAY)	T_DELAY=0 (15分); $< 1\text{min}$ (10分); $\leq 5\text{min}$ (5分)
生理测量	唯一性 (P_DUP)	$< 1\%$ (15分); $< 3\%$ (10分); $\leq 5\%$ (5分)
生理测量	完整性 (P_LOSS)	$< 3\%$ (15分); $< 5\%$ (10分); $\leq 10\%$ (5分)
生理测量	准确性 (P_ERROR)	$< 1\%$ (15分); $< 3\%$ (10分); $\leq 5\%$ (5分)
生理测量	稳定性 (MEAN_CV)	< 1 (15分); < 3 (10分); ≤ 5 (5分)
生理测量	总体评价	总得分 ≥ 90 分; 单项 ≥ 10 分

B.4 质量控制

类别	评价项	指标要求
月度质控	气体回收率（丙烷/燃烧）	95% - 105%
月度质控	Gas Blender 浓度偏差	$\pm 2\%$
月度质控	舱体漏气率	$< 0.1\%$
月度质控	环境参数偏差	温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；湿度 $\pm 5\%$
每周气体校准	浓度偏差	$< 0.05\%$
每周气体校准	重复性误差	$< 3\%$

B.5 刺激系统

类别	评价项	指标要求
温度刺激	控制范围与精度	15-30 $^{\circ}\text{C}$ ，偏差 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
温度刺激	24h 波动幅度	$\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
低氧刺激	氧浓度范围（模拟海拔）	20.94% - 9.7% (0-6000m)
低氧刺激	舱体密封性	$< 0.1\%$ / 小时
低氧刺激	低氧稳定性	目标浓度 $\pm 0.3\%$ ，持续 > 10 小时

参 考 文 献

- [1] Bao, R., Guo, Y., Hu, Y., Ning, G., Pan, S., & Wang, W. (2025). Standardized assessment of energy excretion in healthy adults: a novel methodology. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 121(2), 470-477.
 - [2] Zhang, Y., Liu, R., Chen, Y., Cao, Z., Liu, C., Bao, R., ... & Wang, W. (2025). Akkermansia muciniphila supplementation in patients with overweight/obese type 2 diabetes: Efficacy depends on its baseline levels in the gut. *Cell Metabolism*.
 - [3] Chen, K. Y., Smith, S., Ravussin, E., Krakoff, J., Plasqui, G., Tanaka, S., ... & Melanson, E. L. (2020). Room Indirect Calorimetry Operating and Reporting Standards (RICORS 1.0): a guide to conducting and reporting human whole-room calorimeter studies. *Obesity*, 28(9), 1613-1625.
 - [4] Moon, J. K., Vohra, F. A., Jimenez, O. S. V., Puyau, M. R., & Butte, N. F. (1995). Closed-loop control of carbon dioxide concentration and pressure improves response of room respiration calorimeters. *The Journal of nutrition*, 125(2), 220-228.
 - [5] Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T. E., Christin, L., & Bogardus, C. (1986). Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *The Journal of clinical investigation*, 78(6), 1568-1578.
 - [6] Weir, J. B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism *Journal of Physiology*, 109.
 - [7] Brown, D., Cole, T. J., Dauncey, M. J., Marrs, R. W., & Murgatroyd, P. R. (1984). Analysis of gaseous exchange in open-circuit indirect calorimetry. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 22, 333-338.
-