

ICS 65.020.30

CCS B44



中国实验动物学会团体标准

T/CALAS xxx-202x

实验动物 数字化实验动物中心建设 规范

Laboratory animal - Construction specifications for digital

laboratory animal center

（征求意见稿）

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国实验动物学会 发布

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。

本文件由中国实验动物学会归口。

本文件由全国实验动物标准化技术委员会（SAC/TC281）技术审查。

本文件由中国实验动物学会实验动物标准化专业委员会提出并组织起草。

本文件起草单位：中国医学科学院医学实验动物研究所、中国建筑科学研究院有限公司、山东省第一医科大学、苏州猴皇动物实验设备科技有限公司。

本文件主要起草人：孔琪、王清勤、金东庆、王树新。

实验动物 数字化实验动物中心建设规范

1 范围

本文件规定了数字化实验动物中心建设的设施设计与建设、数字化系统配置、数据管理与伦理合规、人员培训与操作规范、验收与维护、性能评估等技术要求。

本文件适用于数字化实验动物中心的新建、改建或升级，尤其以啮齿类动物为主的实验动物设施，其他实验动物设施建设可参照执行。

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 14925 实验动物 环境及设施

GB 50346 生物安全实验室建筑技术规范

GB 50447 实验动物设施建筑技术规范

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

数字化 digital

将各类信息、业务流程和管理行为转换为可识别、可存储、可分析、可传输的数字形式，实现信息的标准化与资源化利用的过程。

3.2

数字化实验动物中心 digital laboratory animal center

集成现代信息技术、物联网技术、智能传感技术和精细化管理理念的实验动物科研支撑基础设施，通过统一的数字化管理平台，实现实验动物全生命周期、设施运营全环节的智能化管控、精细化操作和全流程透明化追溯的实验动物设施。

4 基本原则

4.1 合规性：严格遵守 GB 14925、GB 50447 等国家标准，确保设施设计、施工、运营各环节的安全性与合规性，满足实验动物设施生物安全等级及环境控制要求。

4.2 数据驱动：以数字化技术为核心支撑，构建全维度数据采集、传输、分析及应用体系，实现实验动物身份唯一追踪、饲养环境实时监控、实验流程自动化执行，保障数据的完整性、准确性、可追溯性和可复现性。

4.3 福利优先：遵循实验动物 3R 原则（替代、减少、优化），通过实时智能监控、自动化操作减少人为干预对实验动物的应激影响，优化饲养与实验条件，保障实验动物福利，提升实验结果的科学性。

4.4 系统协同：兼顾设施物理空间与数字化系统的融合适配，实现各智能设备、子系统间的数据互通与联动控制，避免信息孤岛，保障系统整体的稳定性、兼容性和扩展性。

4.5 安全可控：构建全层级数据安全防护体系和设施运营应急防控体系，实现数据存储、传输、访问的安全可控，以及设施环境、设备运行、生物安全的风险预警与快速处置。

5 设施设计与建设要求

5.1 选址与布局

5.1.1 选址：应符合 GB 14925 的相关要求，优先选择远离工业污染源、交通主干道、噪声源及其他公共污染源的区域，区域环境安静、空气质量良好。满足 GB 50346 对对应生物安全等级实验动物实验室的选址要求，兼顾交通便利性与物流运输合理性。

5.1.2 布局规划：按照 GB 14925 的功能分区要求，采用单向人流、物流、动物流的设计原则，明确划分洁净区、非洁净区、辅助区。设置独立的人员进出通道、动物转运通道和物料流转通道。各通道设置缓冲隔离设施，有效避免交叉污染。功能区域布局应满足饲养、实验、繁育、废弃物处理等业务流程的合理性，提升运营效率。

5.1.3 空间配置：依据实验动物品系、饲养规模、实验类型及数字化设备安装要求确定笼位数量与空间尺寸。满足实验动物的活动、栖息需求，兼顾空间利用率与饲养福利。实验操作区、设备运维区、数据中心区等辅助区配置应与主业务空间相匹配，符合相关操作规范与安全要求。

5.1.4 信号覆盖：设施选址与内部布局需考虑数字化设备的布线冗余与信号遮蔽问题，特别是在屏蔽环境、密闭空间等特殊区域，应采取信号增强、抗干扰等技术措施。确保无线信号对智能设备（如 PDA 终端、传感器等）的全域有效覆盖，信号强度满足设备正常运行要求。

5.2 环境控制系统

5.2.1 温湿度与通风：安装高精度智能温湿度传感器和自动化调节设备，构建闭环式环境控制系统，实现饲养环境温湿度的精准、稳定控制。系统应配备应急通风装置和备用调节

系统，在主设备故障、断电等突发情况下，保障通风量与温湿度基本要求。应急方案应经有效性验证并形成文件。

5.2.2 空气净化：根据设施生物安全等级及实验动物饲养要求，采用分级高效空气过滤系统，确保饲养区、实验区的空气洁净度符合屏障环境或隔离环境标准。过滤系统应设置压差监测、滤网堵塞报警等功能，定期更换滤材并记录，有效降低微生物污染风险。

5.2.3 安全设施：集成火灾报警、自动喷水灭火系统及疏散指示标志，符合消防规范。配备生物安全防护设施、有害气体检测与处理装置，保障人员、动物与设施的安全。

6. 数字化系统配置

6.1 核心数字化设备

6.1.1 动物识别与追踪：部署 RFID 或二维码标签，实现动物个体全程追踪，确保数据可追溯。标签信息应包含动物品系、出生日期、繁育代次、饲养笼位等基础信息。标识应具备防脱落、抗污染、易识别的特性，数据实时同步至中央管理平台。

6.1.2 环境监控平台：构建物联网传感器网络，在饲养笼位、实验区、缓冲区等关键区域布设温湿度、光照、空气质量、压差、换气次数等高精度传感器，传感器布点密度满足全域监测要求。数据实时采集并上传至中央数据库，实现环境参数的可视化展示、趋势分析和异常预警。

6.1.3 数字化饲养设备：配备具备数字通信、数据采集功能的独立通气笼具（IVC）、智能饲养笼架等核心设备，实现笼位微环境的实时在线监测与远程调控。设备数据应与环境监控平台互联互通，实现异常参数的自动联动调节。

6.1.4 自动化实验设备：引入智能精准喂食器、自动饮水监测设备、智能垫料更换系统、行为分析仪、活体成像仪等自动化设备，实现饲养操作的标准化、实验操作的自动化。减少人工操作误差，设备操作数据应自动记录至管理平台。

6.1.5 人员行为智能监测系统：建立人员行为智能监测体系，结合视频视觉识别、门禁刷卡记录、操作终端日志等技术手段，对实验人员的进入权限、操作流程、实验操作规范性进行实时监测。对违规操作行为进行即时预警，确保实验与饲养操作符合 SOP 要求。

6.1.6 虚拟仿真培训平台：集成 VR/3D 虚拟仿真实验平台，开发实验动物抓取、饲养、实验操作、设备使用等标准化培训模块，实现实验人员的沉浸式、规范化操作培训。通过培训考核后方可授予操作权限，减少对活体实验动物的不必要消耗，符合 3R 伦理要求。

6.1.7 废弃物流转追踪：将实验动物尸体、实验废弃物、医疗垃圾等处置纳入信息化监管系统，实现废弃物产生点申报、分类标识、运输过程 GPS 定位、生物安全风险预警、无

害化处置节点闭环确认的全流程追溯。系统应与生物安全管理体系联动，确保废弃物处置符合国家生物安全与环保要求。

6.1.7 高等级生物安全管控设备：针对涉及病原微生物的 ABSL-2/3 级动物实验室，实施更严格的数字化管控。配备智能电子门禁、负压参数实时监测与报警设备、人员进出洗消记录系统、实验操作全程录像设备。建立人员职业健康数字化档案，记录职业暴露、健康检查、疫苗接种等信息，实现健康风险的动态管控。

6.2 数据管理平台

6.2.1 数据采集与分析：构建统一的中央数据库，实现实验动物数据、环境监测数据、设备运行数据、实验操作数据、人员管理数据的全域整合与标准化存储。配备专业的数据挖掘与分析工具，支持多维度、多指标的数据分析，为科研决策提供数据支撑。

6.2.2 远程监控与预警：基于云平台技术构建远程监控系统，支持电脑、移动端等多终端的安全访问，实现设施运营状态的实时查看。针对环境参数、设备运行、操作行为等设置多级异常阈值，触发阈值后通过短信、平台消息、声光报警等方式实现多渠道即时预警，明确预警处置责任人与处置流程。

6.2.3 系统集成与联动：采用标准化的数据接口协议，实现各智能设备、子系统间的无缝对接与数据互通，消除信息孤岛。支持环境传感器与饲养设备、通风系统的联动控制，实现资源的智能调度与优化配置。

6.2.4 功能模块与核心数据项：平台应实现实验动物全生命周期管理与设施运营全流程管控，功能模块完整、逻辑清晰，核心模块包括人员管理、动物管理、环境监测、流程管理、费用管理等，各模块必录数据项应完整、规范，具体要求见表 1。

表 1 功能模块核心数据项

数据类别	必录字段示例	数据来源	数据更新要求
人员管理	人员基本信息、培训考核记录、操作资质、门禁权限分级、职业健康档案	人工录入+系统自动记录	资质变更即时更新，培训考核按周期更新
动物管理	动物 ID、品系名称、基因型、出生日期、繁育代次、饲养笼位、健康状况、检疫记录	系统自动录入+人工补充	信息变更即时更新，健康状况每日更新
环境监测	温度、湿度、换气次数、压差、NH ₃ /CO ₂ 浓度、光照时长、洁净度	物联网传感器实时采集	≥1 次/分钟
流程	实验方案审批记录、麻醉方式、采样部位、	人员扫码录	操作完成即时录入

数据类别	必录字段示例	数据来源	数据更新要求
管理	实验时间、安乐死时间、实验结果	入+设备自动记录	
费用管理	项目经费信息、笼位使用费用、设备使用费用、试剂耗材费用、收支情况	人工录入+系统自动核算	费用发生即时录入,按月结算

6.2.5 技术架构要求:

应符合以下要求:

a) **数据安全:** 采用区块链技术对实验方案、实验数据、动物福利记录等关键数据进行存证,通过哈希值校验确保数据不可篡改、可追溯;

b) **系统对接:** 支持与实验室信息管理系统(LIMS)、高校/科研机构财务系统、实验动物伦理审查系统等外部系统的标准化对接,实现数据共享;

c) **性能指标:** 系统响应速度满足并发 100 人操作要求,页面加载时间 ≤ 2 秒,笼位状态、环境参数等实时数据更新延迟 ≤ 10 秒;

d) **容灾备份:** 采用异地双活、定时备份的方式对数据库进行容灾保护,确保数据不丢失,备份数据可快速恢复。

7. 数据管理与伦理合规

7.1 数据安全和隐私保护

7.1.1 **存储与加密:** 采用加密算法对数据进行存储和传输,敏感数据应进行脱敏处理。建立定期数据备份制度,备份介质应安全存储,备份周期不超过 24 小时。备份数据保存期限应符合科研项目与档案管理要求。

7.1.2 **分级访问控制:** 实施多级权限分级管理体系,根据人员岗位、操作资质、科研项目需求设置不同的系统访问权限和数据操作权限,实现“最小权限原则”。建立权限申请、审批、变更、注销的标准化流程,权限操作全程记录。

7.1.3 **操作日志管理:** 系统自动记录所有用户的登录、操作、数据查询、修改、删除等行为日志。日志信息应包含操作人员、操作时间、操作内容、操作设备等,日志保存期限不少于 3 年,且不可篡改,为数据安全审计提供依据。

7.2 数据追溯

7.2.1 正向追溯：通过实验动物唯一 ID，可快速查询该动物的近 3 代繁育记录、饲养环境全程数据、健康检查记录、实验操作历史（≥5 次）、相关实验人员等全链条信息，追溯结果可可视化展示并导出。

7.2.2 反向追溯：当发生饲料污染、试剂失效、环境异常等突发情况时，系统应具备快速定位能力，10 分钟内精准定位到受影响的所有实验动物、笼位、实验项目及相关人员，为风险处置提供数据支撑。

7.3 动物福利与伦理审查

7.3.1 伦理合规机制：建立全流程数字化实验动物伦理审查体系，实现实验方案提交、初审、专家评审、审批结果下达、实验方案变更审批的线上化操作。系统自动记录审查全流程信息，审查通过后方可授予动物使用许可，确保所有实验操作符合 3R 原则及实验动物伦理审查相关要求。

7.3.2 动物福利监控：通过行为分析传感器、视频识别技术、生理指标监测设备等，实时评估实验动物的活动量、进食饮水情况、应激水平等。当检测到动物出现异常应激、健康问题，系统自动预警，饲养人员应及时介入并调整饲养条件，为实验动物提供适宜的环境丰富化产品。

7.3.3 实验动物使用管控：系统对实验动物的使用数量、实验周期、实验操作进行严格管控，确保实验动物使用符合批准的方案要求。对动物安乐死的方式、时间进行全程记录，确保安乐死操作符合人道主义要求。

8. 人员培训与操作规范

8.1 人员培训与考核

8.1.1 数字化系统技能培训：建立常态化数字化系统操作培训体系，培训内容涵盖智能设备操作、数据管理平台使用、数据分析工具应用、设备日常维护、应急故障处理等。培训采用“理论学习+虚拟仿真实操+现场考核”的方式，确保所有操作人员熟练掌握系统使用技能，考核合格后方可上岗。

8.1.2 专业知识与伦理教育：定期开展实验动物饲养管理、实验操作技术、生物安全防护、实验动物福利与伦理等专业知识培训。通过案例教学、警示教育等方式强化操作人员的动物福利意识和合规操作意识，减少人为操作失误，培训记录全程纳入人员管理档案。

8.1.3 持续培训机制：针对系统升级、设备更新、标准修订等情况，及时开展专项培训。建立年度复训与考核制度，确保操作人员的专业能力与设施运营要求相匹配。

8.2 标准操作流程（SOP）

8.2.1 日常操作 SOP：制定详细、可操作的标准化作业指导书，涵盖数字化设备校准、传感器维护、数据录入与审核、实验动物饲养、实验操作、笼位管理等所有日常运营环节。

SOP 应明确操作步骤、操作要求、责任人员、记录要求，确保操作流程标准化、规范化。

8.2.2 应急操作 SOP：制定火灾、断电、设备故障、数据丢失、生物安全泄露、环境参数异常等突发情况的应急处置 SOP，明确应急响应流程、处置措施、责任分工、上报机制。应急 SOP 应定期组织演练，确保操作人员能够快速、有效处置突发情况。

8.2.3 SOP 执行与监督：建立 SOP 执行情况的常态化监督机制，通过人员行为监测系统、操作日志、现场检查等方式，检查 SOP 执行情况。对违规操作行为及时纠正并进行培训，确保所有操作严格遵循 SOP 要求。

9 验收与维护

9.1 验收标准与流程

9.1.1 验收基本要求：数字化实验动物中心建设完成后，应组织专业验收团队开展竣工验收，验收团队由实验动物标准化、生物安全、智能化技术、建筑工程等领域的专家及建设单位、使用单位代表组成。验收前应完成系统调试、试运行（试运行周期不少于 30 天），并提供完整的试运行记录、设备检测报告、资料档案等。

9.1.2 功能测试：对数字化系统的各项功能进行全面测试，验证系统的稳定性、数据采集的准确性、数据传输的实时性、预警功能的有效性、设备联动的协调性等。测试结果应符合本文件及设计指标要求，功能测试不合格的应限期整改。

9.1.3 合规检查：由具备相应资质的专业机构对设施的生物安全、消防、环境控制、实验动物福利等方面进行合规性评估，核查设施是否符合 GB 14925、GB 50346、GB 50447 等国家标准要求。核查数字化系统是否满足数据安全、伦理审查、全流程追溯等要求，合规检查合格后出具验收报告。

9.1.4 验收结论与整改：验收团队根据功能测试和合规检查结果出具验收结论，验收结论分为合格、整改后合格、不合格。对整改后合格的，建设单位应在规定期限内完成整改并提交复检申请。验收不合格的，不得投入使用。

9.2 日常维护与升级

9.2.1 定期维护与巡检：建立标准化的设备与系统日常维护制度，制定设备巡检计划，明确巡检频次、巡检内容、责任人员。对传感器、智能饲养设备、监控设备等核心设备进行定期清洁、校准、维护，对数据管理平台进行定期漏洞扫描、性能优化，巡检与维护记录全程纳入系统档案。

9.2.2 故障处置：建立快速故障处置机制，接到设备故障、系统异常通知后，技术维护人员应在规定时间内响应。对重大故障应启动应急处置方案，确保设施运营不受重大影响，故障处置过程与结果应详细记录。

9.2.3 技术迭代与系统升级：数字化系统应预留标准化的升级接口和扩展空间，适配物联网、人工智能、5G 等新技术的应用。根据科研需求、标准更新、设备老化等情况，制定系统升级与设备更新计划，升级过程应确保数据安全，升级后应进行功能测试，确保系统稳定运行。

10 性能评估

10.1 评估基本原则

数字化实验动物中心的性能评估应遵循科学性、客观性、系统性、可操作性原则，采用系统自动监测+人工抽样检测、定量指标/定性评价相结合的方式，对设施的技术性能、管理效率、动物福利、科研支持、合规安全、绿色发展等方面进行全面评估。评估工作应定期开展，并形成评估报告，根据评估结果制定持续改进方案。

10.2 技术性能评估

10.2.1 环境控制精度

环境控制水平是数字化实验动物中心建设的主要性能指标，包括以下内容：

- a) **温湿度稳定性：**连续 72 小时不间断监测，饲养区温度波动范围 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度波动范围 $\leq \pm 3\% \text{ RH}$ ；
- b) **压差梯度：**洁净区、缓冲间、辅助区之间的压差梯度 $\geq 10 \text{ Pa}$ ，压差监测数据稳定，无频繁波动；
- c) **空气洁净度：**符合 GB 14925 相关要求，采用粒子计数器检测 $0.3 \mu\text{m}$ 颗粒物浓度，普通环境 $\leq 3.5 \times 10^6$ 个/ m^3 ，屏障环境 ≤ 350 个/ m^3 ；
- d) **气体浓度：**饲养区 NH_3 浓度 $\leq 20 \text{ ppm}$ ， CO_2 浓度 $\leq 0.5\%$ ，浓度数据稳定无异常峰值。

10.2.2 设备智能化水平

设备智能化水平是数字化实验动物中心建设的主要性能指标，包括以下内容：

- a) **自动化设备覆盖率：**自动饲喂、饮水监测、垫料更换、环境调节等自动化设备占比 $\geq 80\%$ ；
- b) **故障预测准确率：**通过设备振动、温度、运行参数等传感器数据，设备故障预警系统的预测准确率 $\geq 90\%$ ；

c) **系统联动响应**：环境参数超限报警后，HVAC 系统、通风系统等联动设备调整至目标参数的时间 ≤ 5 min；

d) **传感器精准度**：各类传感器的测量误差应符合设备出厂标准，校准后误差率 $\leq \pm 2\%$ 。

10.3 管理效率评估

10.3.1 管理流程数字化程度

管理流程数字化程度指标包括以下内容：

a) **无纸化操作率**：实验记录、设备维护、人员培训、伦理审查等环节的电子化、无纸化操作比例 $\geq 90\%$ ；

b) **任务完成时效**：动物接收、检疫、笼位分配、实验审批等流程的平均处理时间，较传统人工模式缩短比例 $\geq 30\%$ ；

c) **资源调度优化**：通过数字孪生技术模拟笼位、设备使用情况，设施核心资源（笼位、实验设备）的闲置率 $\leq 10\%$ ；

d) **流程合规率**：实验操作、饲养管理、废弃物处置等流程的 SOP 合规执行率 $\geq 95\%$ 。

10.3.2 数据利用效能

管理数据利用效能指标包括以下内容：

a) **数据完整率**：环境监测、动物健康、实验操作等全维度数据的采集完整率 $\geq 95\%$ ，无缺失、无效数据；

b) **数据分析应用**：年度内数据被用于科研决策、设备维护、环境优化、实验方案改进等场景的案例数量 ≥ 50 次；

c) **异常识别准确率**：AI 算法对动物健康异常、设备故障、环境参数异常等事件的识别准确率 $\geq 85\%$ ；

d) **数据共享效率**：科研项目间的合规数据共享响应时间 ≤ 1 小时，数据导出与对接效率满足科研需求。

10.4 动物福利评估

10.4.1 生理与行为指标

生理与行为指标包括以下内容：

a) **体重变化率**：数字化饲养模式下，同品系、同批次实验动物的体重标准差较传统模式降低 $\geq 20\%$ ；

b) **活动空间利用率**：通过可穿戴传感器或视频识别记录动物活动轨迹，实验动物活动空间利用率 $\geq 80\%$ ；

c) **应激反应指标**：通过监测皮质醇水平、心率变异性等指标，数字化饲养模式下实验动物的应激指标较传统模式降低 $\geq 15\%$ ；

d) **健康合格率**：实验动物的日常健康检查合格率 $\geq 98\%$ ，因饲养环境导致的疾病发生率 $\leq 2\%$ 。

10.4.2 环境丰富化与个性化饲养

环境丰富化与个性化饲养包括以下内容：

a) **个性化饲养方案**：可根据实验动物种类、品系、实验需求定制的饲养参数（温湿度、通气量、喂食量等）数量 ≥ 10 种/物种；

b) **环境模拟精度**：光照、温湿度的昼夜节律模拟与自然环境的匹配度相关系数 ≥ 0.9 ；

c) **丰富化措施**：根据实验动物习性配备的环境丰富化设施（栖架、玩具、垫料等）实施率 100%，并根据动物行为反馈及时优化。

10.5 科研支持评估

10.5.1 实验重复性与科学性

实验重复性与科学性指标包括以下内容：

a) **数据一致性**：同一实验方案在不同批次实验动物中开展的关键实验指标标准差降低 $\geq 30\%$ ；

b) **环境干扰排除率**：因环境参数波动、人工操作误差等导致的实验数据异常率 $\leq 5\%$ ；

c) **实验可复现性**：基于数字化平台的实验数据，实验结果的可复现率 $\geq 90\%$ 。

10.5.2 多中心协作能力

多中心协作能力指标包括以下内容：

a) **数据共享效率**：跨科研机构、跨实验动物中心的合规数据调取、分析与传输的响应时间 ≤ 10 秒；

b) **远程监控覆盖率**：可通过移动端、电脑端远程实时查看的设施核心区域（饲养区、实验区、设备间）比例 $\geq 90\%$ ；

c) **远程操作能力**：支持远程调控的数字化设备占比 $\geq 70\%$ ，远程操作指令执行无延迟、无错误。

10.6 合规与安全评估

10.6.1 标准符合性

标准符合性指标包括以下内容：

- a) **认证通过率**：通过国内/国际 GLP 认证、实验动物设施等级认证，认证符合率 100%；
- b) **生物安全等级**：屏障系统、废弃物处理、病原微生物操作等环节符合 ABSL-2/3 等相应生物安全等级标准要求；
- c) **档案合规性**：设施运营、设备维护、人员培训、实验操作等档案的建立与留存符合相关法规与标准要求。

10.6.2 应急响应能力

应急响应能力指标包括以下内容：

- a) **断电续航**：UPS 不间断电源对核心设备（传感器、监控系统、通风系统）的续航时间 ≥ 30 分钟；
- b) **泄漏处置**：模拟有害气体、病原微生物泄漏，通风系统应急启动、人员疏散的完成时间 ≤ 2 分钟；
- c) **数据恢复**：数据丢失或系统故障后，备份数据的恢复时间 ≤ 1 小时，数据恢复完整率 100%；
- d) **应急演练**：年度内组织生物安全、消防、设备故障等应急演练次数 ≥ 4 次，演练合格率 100%。

10.7 绿色发展评估

10.7.1 绿色运营

绿色运营指标包括以下内容：

- a) **能耗强度**：设施单位面积年能耗（ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）较行业基准值降低比例 $\geq 20\%$ ；
- b) **水资源循环率**：设施生产、生活污水的回用比例 $\geq 50\%$ ，饮用水浪费率 $\leq 5\%$ ；
- c) **废弃物减量**：实验动物废弃物、实验耗材废弃物的产生量较传统模式降低比例 $\geq 15\%$ ，无害化处理率 100%。

10.7.2 技术扩展性

技术扩展性指标包括以下内容：

- a) **模块化兼容性**：新增智能设备、子系统与现有数字化平台的对接调试周期 ≤ 1 周，对接后系统运行稳定；
- b) **5G 信号覆盖率**：设施内 5G 信号全域覆盖率 $\geq 95\%$ ，信号强度满足智能设备高速数据传输要求；

c) **空间扩展性**：设施物理空间与数字化系统预留的扩展能力，可满足未来 3-5 年实验规模增长的需求。

10.8 评估实施与持续改进

10.8.1 数据采集与分析

通过数字化管理平台、智能传感器自动采集评估所需的定量指标数据，结合人工抽样检测、现场检查获取补充数据；采用专业的统计分析方法对数据进行处理，确保评估结果的客观性。

10.8.2 用户满意度评价

收集科研人员、饲养管理人员、技术维护人员对数字化系统易用性、稳定性、功能性，以及设施运营服务的满意度评分，整体满意度评分 ≥ 90 分（百分制）。

10.8.3 持续改进

根据性能评估结果，梳理设施运营与数字化系统运行中的问题与不足，制定针对性的持续改进方案，明确改进目标、责任人员、完成时限。改进方案实施后进行效果验证，形成评估-分析-改进-验证的 PDCA 闭环管理体系，持续提升数字化实验动物中心的运营水平与科研支撑能力。