



陈琦，外科学博士，毕业于浙江大学；副主任医师，就职于浙江大学医学院附属第一医院，目前担任实验动物中心主任。同时是中国抗癌协会肿瘤精准治疗专业委员会委员，中国老年学和老年医学学会转化医学分会委员，中国医疗保健国际交流促进会微创诊疗学分会委员。主要从事肝胆胰肿瘤及器官移植临床和基础相关研究，包括肝胆胰肿瘤微环境、肿瘤免疫、肿瘤治疗等。主持国家自然科学基金“ARID1A 突变激活 H3K27ac/CCL19 诱导胰腺癌免疫细胞浸润的作用和机制研究”、浙江省自然科学基金、浙江省医药卫生科技计划项目等多项课题，在 *British Journal of Cancer*、*Cancer Letters* 等国际知名学术期刊发表 SCI 论文 10 余篇，作为主要参与者获得浙江省科技进步奖一等奖。

基于人工智能的实验动物中心信息化升级及应用实践

王庭君¹，罗浩²，陈琦¹

(1. 浙江大学医学院附属第一医院, 杭州 310006; 2. 浙江大学智能创新药物研究院, 杭州 310018)

[摘要] **目的** 针对传统实验动物中心管理中存在的笼位调度效率低、人员行为监管不到位、设备老化难升级等问题，通过应用多模态大模型技术升级现有实验动物中心的信息系统，实现实验动物笼位状态的实时感知、实验人员行为的智能监管以及业务流程的自动化处理，从而提升管理效率与精细化水平。**方法** 浙江大学医学院附属第一医院实验动物中心提出一个基于人工智能的实验动物中心信息化升级方式，能兼容不同饲养设备。该系统架构自下而上依次包括硬件设施层、核心算法层和应用功能层。硬件设施层配备摄像头和高速网络传输设备，用于笼位和人员信息采集；核心算法层通过多阶段图像预处理技术和多模态大模型识别技术，实现图片信息抽取和识别；应用功能层将识别结果和已有动物中心信息相整合，生成实时笼位占有热力图，直观、清晰地展示实验动物中心的笼位使用密度分布情况。**结果** 基于人工智能的管理系统笼位识别准确率达 98.5%，人员的实验服正确穿戴识别率为 98.8%。每张图片平均处理时间约为 3.7 s，笼位有效使用率提升 23%，周转效率提高 35%。此外，管理系统能够实时追踪并警告不规范行为，在通过智能化识别后，综合违规行为的发现次数暴露更多，违规行为发现率提升 90.6%，持续使用 3 个月后，周平均违规行为较基线期下降 54.0%。**结论** 将多模态大模型应用于实验动物管理领域，可实现笼位标识实时监控与自动化管理，提升管理效率和精确度。系统整合视觉识别和行为分析等多源数据，可构建对实验人员的全方位智能监管体系，为科研机构提供高效、精准、价廉的管理工具，推动实验动物管理的智能化发展。

[关键词] 实验动物设施管理；多模态大模型；智能识别；信息系统

[中图分类号] Q95-33；TP18 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2025)04-0473-10



Discussion on AI-Based Digital Upgrade and Application Practice of Laboratory Animal Centers

WANG Tingjun¹, LUO Hao², CHEN Qi¹

(1. The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310006, China; 2. Innovation Institute for Artificial Intelligence in Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310018, China)

Correspondence to: CHEN Qi (ORCID: 0000-0001-6729-7185), E-mail: chen_qi@zju.edu.cn

[ABSTRACT] **Objective** In traditional laboratory animal centers, there are issues such as low efficiency in cage scheduling, insufficient supervision of personnel behavior, and difficulty in upgrading aging equipment. This study aims to upgrade the information system of existing laboratory animal centers by applying multimodal large language model technology. This upgrade intends to achieve real-time

[第一作者] 王庭君(1996—)，女，硕士研究生，助理实验员，研究方向：实验动物管理。E-mail: 21817093@zju.edu.cn

[通信作者] 陈琦(1985—)，男，博士，副主任医师，研究方向：实验动物管理。E-mail: chen_qi@zju.edu.cn. ORCID: 0000-0001-6729-7185

perception of the status of animal cages, intelligent supervision of experimental personnel behavior, and automated processing of business workflows, thereby improving management efficiency and precision.

Methods An AI-based approach for upgrading laboratory animal center informatization was proposed by the First Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, compatible with different breeding equipments. The system architecture, from the bottom up, consisted of three layers: hardware layer, core algorithm layer, and application layer. The hardware layer was equipped with cameras and high-speed network transmission devices for collecting information on cages and personnel. The core algorithm layer utilized multi-stage image preprocessing technology and multimodal large language model recognition technology to extract and identify image information. The application layer integrated the recognition results with the existing information of the animal center to generate real-time cage occupancy heatmaps, which visually and clearly showed the density distribution of cage usage in the laboratory animal center. **Results** The AI-based management system achieved a cage recognition accuracy of 98.5% and a correct wearing identification rate of laboratory coats of 98.8%. The average image processing time was 3.7 seconds per image, the effective utilization rate of cages increased by 23%, and the turnover efficiency improved by 35%. In addition, the management system could track and warn against non-compliant behaviors in real time. After intelligent recognition, the system detected more violations, with the violation detection rate increasing by 90.6%. After continuous use for three months, the weekly average number of violations decreased by 54.0% compared to the baseline period. **Conclusion** This study applies multimodal large language model to the field of laboratory animal management, achieving real-time monitoring and automated management of cage identification, thereby improving management efficiency and precision. The system integrates multi-source data such as visual recognition and behavior analysis, establishing a comprehensive intelligent supervision system for experimental personnel. It provides research institutions with efficient, accurate, and cost-effective management tools, promoting the intelligent development of laboratory animal management.

[Key words] Laboratory animal facility management; Multimodal large language model; Intelligent recognition; Information system

实验动物在生命科学研究中至关重要，它们作为科研的重要研究对象之一，被广泛应用于高等院校和研究单位的教学实验与科学研究中^[1-2]。实验动物的质量直接影响实验结果的精准性与科学性^[3]，因此高效的管理对科研效率至关重要^[4]。在我国科技高速发展的背景下，医院和科研机构亟须结合互联网技术建立信息化管理模式，以适应不断变化的新形势。人工智能（artificial intelligence, AI），以其自动化、模式学习和实时处理的优势为实验动物管理提供了新的解决方案^[5]。大语言模型（large language model, LLM）作为AI在自然语言处理领域的里程碑，通过深度学习和大规模预训练，能实现文本理解与生成。多模态大模型（multimodal large language model）是在LLM基础上扩展而来的，它不仅能处理文本数据，还能整合图像、音频等多种模态数据，实现跨模态的综合处理与智能分析，进一步拓展了AI的应用边界，像GPT-4o、Qwen-VL和Doubao-vision等知名模型都属于多模态大

模型的范畴^[6]。多模态大模型在AI领域扮演着重要的角色。大模型是指参数量庞大的神经网络模型，可以同时处理自然语言和图像信息。本研究设计了一款基于多模态大模型的实验动物中心管理升级方案，通过整合多种数据模态，兼容老旧设备，从而实现高效且低成本信息化升级，以推动实验动物科学在管理方面的发展和进步。现将该智能管理系统的构建背景、设计思路及实践效果报告如下。

1 实验动物中心管理现状与挑战

实验动物中心是科研体系的重要组成部分。医院实验动物中心的管理复杂性显著高于大学实验室或制药公司，浙江大学医学院附属第一医院实验动物中心的管理难度主要体现在2个方面：一是人员构成的异质性，包括在职临床医生、医学生、专职科研人员及临床研究协调员（clinical research coordinator）等多元角色的流动操作，导致传统静态监管模式难以适配

动态实验需求；二是空间分布的碎片化，在公立医院“一院多区”战略下^[7]，实验动物设施跨区域分散布局，引发信息同步和笼位资源错配问题。

1.1 传统人工管理模式痛点分析

传统的笼位信息依赖人工登记，这种方式不仅记录繁琐、难以溯源，而且错误率高、信息更新效率低^[8]。此外，实验动物中心管理涉及多个环节，包括准入培训、伦理审批、经费报销、笼位及技术服务预约等^[9]。传统模式的流程以线下流程为主^[10]，流程层级多，需要科研人员耗费大量时间完成流程；尤其是新课题组入驻审批和参与准入培训的过程，耗时较长，从而影响了科研效率。

1.2 现有信息化系统及其局限性

随着科技的飞速发展和动物实验需求的持续增长，医院实验动物中心正面临着开放管理、安全防控等多方面的挑战^[11]。为应对这些挑战，部分实验动物中心已开始探索基于信息化管理的改革路径。例如，浙江大学实验动物中心结合自身运行特点，通过引入信息化管理体系，系统性优化了管理流程，实现了从项目审查、实施到终审的全流程信息化管理^[4]。江南大学实验动物中心信息化系统的应用，实现了人员管理、伦理审核、项目预约、笼位管理、仪器预约及动物尸体处置等环节的在线化管理，彻底改变了传统的管理模式，推动了职能的全面转型^[12-13]。

市场中的现有信息化系统在实验动物中心管理中实现了从人工记录向结构化数据管理的初步转型，其核心意义在于通过数字化手段提升基础管理效能。此类系统能自动记录和更新，主要侧重于数据收集和存储，对于深度挖掘、趋势分析、预测等功能支持不足，无法为资源优化、风险预警等提供有力数据支持。例如，在笼位管理方面，系统只能实现基本在线管理，无法根据实时信息动态优化笼位分配方案，导致笼位空间利用率和管理效率较低。这一局限性表明，现有信息化系统仍需进一步完善功能设计，以满足实验动物中心日益精细化的管理需求。

1.3 核心矛盾聚焦

当前实验动物中心在笼位资源管理与人员行为监管方面面临双重瓶颈。在笼位调度方面，传统信息化系统虽能实现空位分配，但缺乏动态优化能力。在人员管理层面，高流动性人员与复杂操作场景使得传统人工监管模式效能不足：一方面，难以及时发现与追

溯人员防护装备穿戴不规范、非授权区域闯入外来人员等生物安全违规行为；另一方面，现有门禁系统仅记录基础出入信息，无法精准关联操作人员与课题组权责归属，致使多数违规事件难以落实责任主体。上述问题凸显传统管理模式存在一定的缺陷，亟须通过AI技术构建数据驱动的闭环管理系统，为实验动物中心从被动响应到主动预测的智能化转型提供支撑。

2 智能管理系统构建的可能性

2.1 AI技术的演进

近年来，AI技术取得了飞速发展，在文本理解、图像识别等任务中展现出强大的能力。图形处理器（graphics processing unit, GPU）、张量处理器（tensor processing unit, TPU）等硬件设备的不断进步，显著加快了模型的训练和推理速度。同时，Transformer架构（一种基于注意力机制的深度学习模型架构，最初由Vaswani等人在2017年提出）的出现推动了语言模型的快速发展^[14]。以GPT系列模型为例，其迭代历程清晰地展现了AI技术的进步：从2018年的GPT-1（基于Transformer架构，参数量为1.17亿）到2019年的GPT-2（参数量增至15亿），再到2020年的GPT-3（参数量达到1750亿），这些模型在生成文本和理解语义方面的能力不断提升^[15]。2024年5月上线的GPT-4o突破了多模态处理的边界，能够将文本、图像、音频整合到单一神经网络架构中，这一架构使其处理多模态任务的速度提升200%，例如，分析实时视频并生成语音反馈仅需232 ms，接近人类对话的反应速度。

2.2 AI在医疗领域的应用

近年来，随着以ChatGPT为代表的大模型技术快速发展，医疗健康领域正迎来AI应用的革新浪潮。在辅助诊疗方面，多模态大模型技术已展现出显著的应用价值。由清华大学、上海交通大学和新加坡国立大学联合研发的DeepDR-LLM系统，作为全球首个面向糖尿病诊疗的视觉-语言多模态智能系统，不仅能实现糖尿病视网膜病变的智能诊断，还能提供个性化的糖尿病综合管理方案^[16]。在中医药领域，“岐黄问道”^[17]和“仲景”^[18]等专业大模型以专业度胜率78%和安全维度评分85%为中医诊疗提供了智能化支持。AI在医学影像诊断领域也取得了突破性进展。作为首个能解读胸部X线片的中文多模态医学大模型^[19]，XrayGPT与参考文本匹配度为82%，在生成放射学特

定总结方面优势明显,满足专业性要求。此外,北京大学团队开发的 Qilin-Med-VL^[20]——中国首个整合文本与视觉数据的多模态医学大模型,也展现了强大的临床应用潜力。这些模型具备医学图文分析、报告生成、复杂查询应答以及数据深度解读等多项功能,目前仍在持续优化升级中。

2.3 AI 应用于实验动物中心的构想

在实验动物中心管理系统中, AI 技术同样具有重要的适用性和潜在价值。信息化实验动物中心管理新模式实践,利用信息服务平台、设备监控系统、智能安全系统等手段可以实现便捷化服务、智能化控制与可视化监管^[21],从而显著提升实验动物综合管理水平^[22]。基于智能识别和预警系统, AI 技术能实时监控实验动物中心的人员、设备和环境,防止安全事故的发生,同时确保各项操作符合相关规范要求。AI 技术在实验动物中心管理系统的应用具有广阔前景,能够为实验动物中心的智能化发展提供有力支持。

3 AI 管理系统构架设计

3.1 系统设计原则

当前多数实验动物中心面临早期设备老化与智能化升级成本之间的矛盾。为实现大多数动物中心可行的智能化改造,系统设计必须充分考虑现有设施的兼容性^[23]。本研究开发的实验动物中心管理系统整合了摄像头、网络设备和多模态大模型^[24],让传统的动物实验中心与智能化设备实现现代化融合。

针对管理笼位资源的困境,系统通过视觉传感器捕捉笼位状态(如笼位位置和标签完整性),多模态大模型可自动识别错位笼位,结合课题组实验特点生成动态调度方案。在人员行为监管层面,系统突破传统门禁系统的功能局限:通过多模态大模型同步解析摄像图片,当检测到人员防护装备穿戴不规范时,违规画面与门禁刷卡记录时空对齐,实现违规行为与责任主体的双重锁定,确保每项违规的实验操作可精准追溯至具体责任人。系统采用远程大模型的应用程序接口(application program interface, API)架构,在不改变硬件配置的前提下,兼容老旧信息系统平台,既可利用既有摄像头等设备采集基础数据,又能通过命令输入的调整和大模型的升级持续提升监测的准确率和检测范围。当监测需求从基础行为识别扩展至生物特征分析时,仅需增加新的模型指令,即可实现能力拓

展,并持续提升异常检测准确率。确保在有限的改造成本下持续提升异常检测准确率,为实验动物中心智能化转型提供渐进式升级路径。

3.2 系统总体架构

在硬件设施层面,本系统部署了高清摄像头,用于捕获实验动物笼位和关键实验区域的实时图像。本系统通过调用 Azure OpenAI GPT-4o 的 API 进行模型推理,无须本地 GPU 设备。各系统间通过千兆以太网实现高速互联,确保数据传输的实时性和可靠性。核心算法层是系统的技术重点,主要包括 3 个关键模块:图像预处理模块、AI 识别模块和后处理模块。图像预处理模块采用 PIL 库对图像进行标准化处理,包括尺寸调整、灰度转换、对比度增强等; AI 识别模块基于 Azure OpenAI 服务的 GPT-4o 大模型进行图像理解和信息提取,通过精心设计的模型指令[提示词(prompt)]来提升识别准确率;后处理模块负责结果的结构化处理、质量控制和可视化展示,实现了自动化的准确率评估机制。

在应用功能层面,系统实现了全面的信息化管理功能。门户网站作为统一入口,整合了通知发布、规章制度查阅等功能。课题组及人员管理模块实现了细粒度的权限控制,与门禁管理系统联动。实验管理模块覆盖了从动物订购、笼位管理、仪器预约到电子实验记录全流程管理。监测管理模块则实现了设备巡检、环境参数实时监测。

3.3 核心算法技术实现

3.3.1 图像预处理技术

本系统采用多阶段图像预处理技术以提升识别效果。由于监控设备采购时间不同,本实验室分别拥有 300 万像素和 400 万像素的不同批次摄像头。对于笼位识别,图像采集后,首先采用霍夫变换的透视矫正算法:通过检测笼架边缘的横纵直线特征,动态计算透视变换矩阵,消除因摄像头仰拍或侧拍造成的梯形畸变,使笼位网格在二维平面内呈现标准正交投影形态。然后使用 Pillow 图像处理库(python imaging library, PIL)标准化原始图像,统一图像分辨率为 1 024 像素×1 024 像素(约为 100 万像素),以确保图像处理的一致性。随后转换图像模式为灰度模式,有效突出文字特征并降低颜色信息干扰。在此基础上,通过 ImageEnhance 模块增强图像对比度,优化设置增强系数为 1.2。引入了自适应阈值处理算法,将低于阈值的像素点转换为黑色,而高于阈值的像素点保持不变。

最后,应用 Image Filter.SHARPEN 算法来增强文字边缘特征,提高文字识别准确性。对于人员的实验服穿着识别,保留图像原有的RGB色彩空间,统一图像分辨率为512像素×512像素。通过适度调整图像亮度、饱和度和高斯模糊(半径为2)处理,突出图像中实验服特征且过滤细节噪声,确保实验服整体轮廓和颜色特征被准确识别。这种预处理方案确保了两类识别任务在设定的标准下达到最佳效果。

3.3.2 基于多模态大模型的智能识别

本系统的核心是基于多模态大模型的智能识别模块。该模块通过 Azure OpenAI 服务 GPT-4o 的 API 实现,在设置笼位识别相关的 prompt 信息中,本系统详细定义了笼架的5×5网格布局特征,并强调了空置笼位的标注规则。在设置实验智能监管的 prompt 中,本系统详细定义了实验服的穿着规范。这种精确的指令设计显著提升了模型的识别准确性。

系统支持批量处理功能,可同时处理多张摄像头采集的笼位图片,大幅提高工作效率。在实际应用中,平均每张图片的处理时间约为3.7 s,平均每张图片消耗1 262个词元(token),即每张图片的成本约为0.05元人民币。在使用GPT-4o的图片识别功能时,一张512像素×512像素的图片会被分割为16像素×16像素的图块,每个图块视为1个token,则总视觉token数为 $(512/16) \times (512/16) = 32 \times 32 = 1\,024$ 个,叠加文本指令的token后,总token数为1 024+文本token数。目前,本系统使用的GPT-4o费用是2.5美元/百万token;国产豆包 Doubao-vision-pro-32k 的使用费用为3元人民币/百万token。未来,为了经济效益最大化可尝试更低成本的新模型。

为评估系统性能,本研究进行了大规模测试。在笼位识别方面,工作人员拍摄了300张不同光照条件的笼架照片,并预先标注每个笼位的使用状态和编号信息,制作成标准答案(JSON文件)。系统对这些图片进行识别后,将输出结果与标准答案进行比对。准确率定义为正确识别的数量除以总数量。测试结果显示,本系统在笼位识别任务上达到了98.5%的准确率。在实验服穿着规范识别方面,工作人员收集了100张在不同场景下的实验人员照片,同样制作了包含正确穿着判定的标准答案(JSON文件)。本系统在这项测试中取得了98.8%的准确率。上述测试结果充分证明了该方法在实际应用中的可靠性。

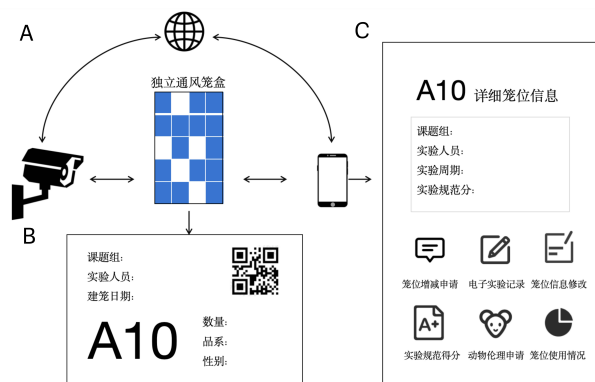
3.3.3 后处理与数据管理

识别结果的后处理采用多层次的数据处理方案。将包含笼位编号、使用状态等关键信息的图片通过模型解析为JSON格式的文件并输出。系统会自动检测异常值并生成警告,确保数据质量。处理后的数据以结构化形式存储在数据库中,便于查询和分析。为便于管理人员直观了解笼位使用情况,本系统开发了可视化模块,能够生成实时笼位占用热力图,直观展示使用密度分布。同时,系统自动生成统计报表,包含笼位使用率、周转率等关键指标,为管理人员的决策提供了数据支持。

4 核心功能实现与技术创新

4.1 笼位智能监管

为解决人工清点笼位效率低、实验人员无法实时获取笼位占用信息等问题,本系统采用高清监控摄像头实时拍摄独立通风笼盒(individually ventilated cage, IVC)的笼位图像,通过多模态大模型进行图像分析,准确识别笼位上卡牌的信息,并记录实时笼位占用情况(图1A)。



注:人工智能笼位系统模式图(A),二维码笼位卡牌(B),笼位管理系统页面(C)。

Note: Artificial intelligence cage positioning system diagram (A), QR code cage positioning card (B), cage management system interface (C).

图1 人工智能笼位模式实现组图

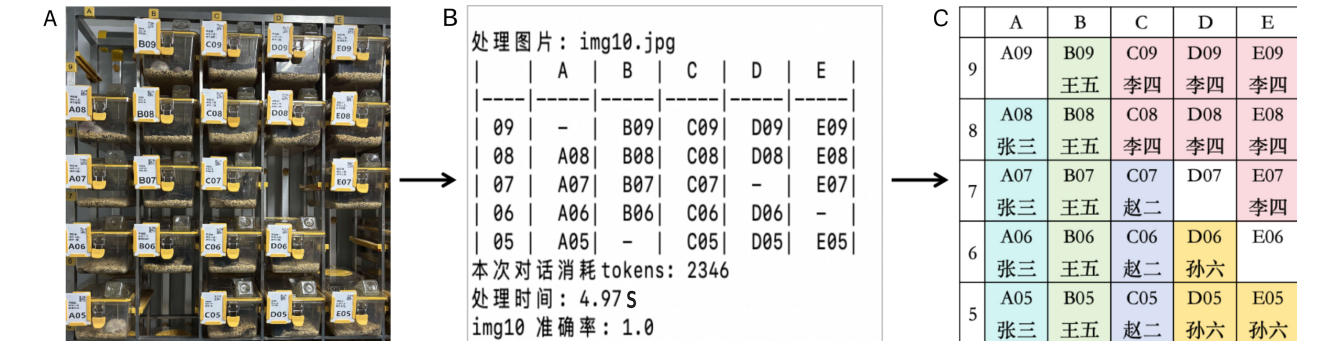
Figure 1 Composite diagram of artificial intelligence cage positioning mode

当科研人员在提交笼位申请后,管理员一旦审核通过,系统会自动生成带有二维码和大数字标识的电子标识卡牌(图1B),管理员将该卡牌悬挂于IVC的笼盒外部。科研人员可以通过扫描卡牌上的二维码快速获取笼位信息,包括使用期限、实验记录等。系统

还集成了电子记录功能，支持科研人员记录分组信息和原始数据，实现实验数据的全流程可追溯（图1C）。

AI算法会定期分析笼位使用情况，生成占用率统计和预测报告，帮助管理人员优化笼位分配（图2）。

同时，系统通过实时监控确保笼位信息准确无误，一旦发现笼位被错误放置则会反馈给管理人员。这种智能化的管理方式不仅提高了工作效率，也显著降低了人工操作的错误发生率，实现了从传统人工管理到智能化管理的跨越。



注：原始图片（A），局部识别结果（B），汇总导出图（C）。
Note: Original image (A), partial identification result (B), summarized export image (C).

图2 笼位识别操作与结果图
Figure 2 Cage identification operations and results

4.2 实验行为管理

在智能笼位管理系统的基础上，研究人员通过优化摄像头布局和调整prompt等方法，迅速实现了实验室内不规范行为的有效监管。本系统采用高清摄像头实时采集实验人员的行为图像，通过多模态大模型智能识别和分析实验人员的实验服穿戴、口罩佩戴和未随手关门情况。与传统模型相比，多模态大模型的优势在于其无须额外训练即可直接应用于多种场景，且无须再次采购专用设备，从而大大简化了部署流程并降低了成本。一旦系统检测到实验人员未正确穿戴实验服、未佩戴口罩、未随手关门等不当行为，将会自动触发警示和扣分机制。系统识别出的违规行为和扣分情况将生成详尽报告供管理人员审阅，一经核实，扣分信息将传送至违规人员的个人管理系统。若某人多次违规至扣完所有实验分，系统将自动暂停其门禁权限，需经重新培训并考核合格后才可解除限制。这种基于大模型的智能监管机制有效提高了发现违规行为的情况，从而提升实验室人员着装规范性。

5 实证研究与效果评估

5.1 实验动物笼位监管效果

为验证基于多模态大模型的智能笼位系统的实际效能，本系统在我院动物中心试运行6个月，取得了显著的管理效果。通过与人工监管及信息化系统+传统

AI笼位识别（you only look once, YOLO）方案的对比分析（表1），系统展现出多维度的技术优势。在核心性能方面——笼位识别，本系统的AI识别准确率达到98.5%，平均每个笼架的识别处理时间仅需3.7 s，大幅超过传统人工清点方式。参照YOLO系列算法在交通监控^[25]、医疗影像^[26]等领域的应用表现（准确率普遍达95%~99%），理论上YOLO方案在规范化场景中应具备98%以上的识别潜力。但实际应用中，由于目前市场中缺乏成熟的动物笼位YOLO解决方案，其准确率数据尚未得到实证。本方案虽处理速度（3.7 s/笼架）稍慢于YOLO的理论极速（<1 s），但较人工5~10 min/笼架的效率提升达80倍以上，且突破性地解决了YOLO方案对场景规范化的强依赖性，展现出更强的环境适应能力。在经济性方面，本方案的改造成本仅为10 000~20 000元人民币/千笼，较YOLO方案200 000~400 000元人民币/千笼的定制化开发成本降低90%以上。配置仅需普通摄像头，避免了YOLO方案对GPU和上千张训练数据的专用需求。在运维层面，通过软件订阅模式将维护成本控制在低位，与传统人工监管持续产生的人力成本形成鲜明对比。本系统的拓展性表现同样突出，例如，当动物房需要监管新的设备或者流程时，只需调整和优化prompt，系统便能接入新的功能，避免了大规模硬件改造和模型训练。这种低改造需求和高适配性的特点，使得本系统能够

融入现有的实验动物中心设施，显著降低了升级成本。

通过分析本系统记录的数据，结果显示，笼位使用率提升了23%，周转效率提高了35%，有效缓解了实验动物房笼位紧张的问题。电子标识卡片的使用，降低了信息录入错误率（从原来的5.2%下降至0.3%），大幅提升了管理效率和数据准确性。

本方案需满足实验动物房全覆盖摄像头（包含可转动摄像头），摄像头推荐300万像素以上。每2个笼架需配备一个摄像头，每千笼饲养笼需配置约12个笼架，摄像头安装成本为3 000~5 000元人民币。还需配备局域网和运行流畅的计算机，因此，每千笼饲养笼需配置设备的综合成本总价在10 000~20 000元人

民币。基于YOLO的智能化方案，在需配备全覆盖摄像头和网络系统的基础上，还需配备一台主流高性能显卡的计算机，成本约为20 000元人民币；且需拍摄上千张训练图片，图片采集、标注等成本约为5 000元人民币；还需专业的算法团队进行调试训练，总成本约为100 000元人民币。

在日常使用成本中，本系统使用的GPT-4o目前费用是2.5美元/百万token，每千笼的计算成本约为2元人民币/次，所需时长在5 s以内。而使用传统的人工监管的方法，每千笼人工清点时长为30 min以上。基于YOLO的智能化方案在日常使用中成本较低，只有系统维护费用。

表1 笼位监管方案对比分析表

Table 1 Comparative analysis of cage location monitoring plans

对比项目 Comparison items	本方案(多模态大模型) This solution (multimodal large language model)	人工监管方法 Manual supervision method	"信息化系统+传统人工智能笼位识别"方案 "Information system + You Only Look Once" solution
识别技术 Recognition technology	GPT-4o大模型	人工目视核查	YOLO目标检测
识别准确率 Recognition accuracy	98.5%(持续优化)	监管人员易疲劳	> 98%*(理论推测值)
改造要求 Upgrade requirements	摄像头,网络系统,普通计算机	无	摄像头,网络系统,配备主流高性能显卡的计算机
改造成本 Upgrade cost	低	无	高
使用成本 Usage cost	低	高	低
工作效率 Work efficiency	高(3.7 s/笼架)	低(5~10 min/笼架)	极快(1 s以内)
适应性 Adaptability	强(可适应多种场景)	强	弱(需要与训练数据类似)
拓展性 Scalability	完善	无	支持的,但是成本高昂,需要重新训练模型

注：*传统人工智能笼位识别（You Only Look Once, YOLO）准确率推测值，基于其在CVPR 2016—2022会议上报告的交通、医疗领域基准测试结果。

Note: * The You Only Look Once accuracy estimation is based on the benchmark test results in the traffic and medical fields reported at the CVPR conferences from 2016 to 2022.

5.2 实验行为管理效果

在实验行为监管方面，本系统的智能识别功能显著提升了实验室规范化水平。统计数据表明，人员的实验服正确穿戴识别率为98.8%、口罩佩戴正确识别率为95.2%、未随手关门识别率为98.4%。综合违规行为的发现次数在通过智能化识别后暴露更多，传统模式下周平均发现违规事件为8次；使用智能化实验行为管理系统第1个月，周平均违规行为15.25次，正确

率达97.7%，违规事件的发现率增加了90.6%。随着实验管理系统的使用，违规事件的数量呈现下行趋势，使用3个月后周平均违规行为发生次数为7次，较基线期下降54.0%。系统的实时监控和及时反馈，显著提升了研究人员的自律意识（图3）。

违规事件平均处理时长由人工模式的2.7 h缩短至8 min，其中75.4%的案例实现事中干预，实现从“事后追责”到“事中干预”的监管模式转型。智能系统

使管理人员的日均监管时长从4.5 h降至0.7 h。问卷调查显示 ($n=35$), 94.3%的管理人员认为系统“显著降低工作压力”, 88.6%的实验人员反馈“违规警示即时性增强”。

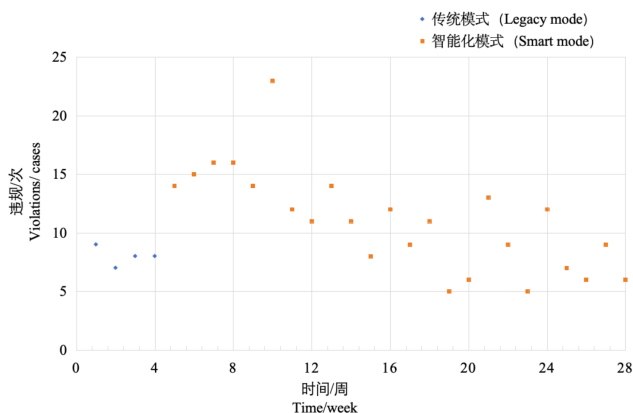


图3 实验动物中心违规行为周均发现次数变化图

Figure 3 Trend of weekly average number of detected non-compliance cases in laboratory animal center

6 讨论与展望

6.1 系统创新性分析

本研究开发的基于多模态大模型的实验动物中心信息管理系统创新性强。首次将多模态大模型应用于实验动物管理领域, 借助先进硬件和优化的 prompt 指令, 实现笼位标识实时监控与自动化管理, 提升管理效率和精确度。本系统整合视觉识别和行为分析等多源数据, 构建了对实验人员的全方位智能监管体系。其中, 多模态大模型赋予系统卓越的自然语言理解和生成能力, 使响应更快速准确。

通过智能监控和数据分析, 确保实验条件的精确控制和资源的合理分配, 满足了现代科研的要求, 助力实验动物中心实现智能化、高效化、可持续的运营, 满足科研伦理需求。系统采用低成本智能化改造方案, 通过软件升级和算法优化提升现有设施, 既经济又高效, 适合中小型实验动物中心, 应用前景广阔。

6.2 系统局限性分析

本研究在实践过程中也发现了一些需要改进的地方。在算法方面, 极端弱光线下的图像识别准确率下降, 笼位密集时标识重叠导致识别误差。新异常行为模式需修改周期。初期部署遇硬件兼容性、算法准确性挑战, 如旧摄像头质量差影响识别, 部分数据传输器有数据延迟现象; 网络带宽受限实时监控功能流畅度下降。系统集成和用户体验待提升。

6.3 未来改进方向

针对本系统运行过程中发现的问题, 未来的改进工作集中在3个方面。在技术层面, 优化图像预处理算法, 提升复杂光线条件下的识别性能; 引入自适应学习机制, 开发轻量级移动端应用, 强化数据备份和容灾机制。在管理层面, 完善用户培训体系, 细化评分标准, 增加个性化界面配置选项, 强化数据互通能力。在功能扩展方面, 计划整合射频识别技术, 对动物的活动进行追踪, 引入智能机器人辅助系统来协助实验室日常的消毒清洁, 开发实验数据智能分析模块为科研决策提供支持, 并建立跨机构数据共享平台来促进科研协作交流。

本研究成功开发基于GPT-4o大模型的实验动物中心信息管理系统, 实现笼位管理、行为监管和流程控制的全面智能化升级。实际应用中, 笼位识别准确率为98.5%, 违规行为发现率提升90.6%, 环境参数控制精度得到大幅提升。这些改进不仅显著提高了管理效率, 也为实验动物福利保障提供了可靠的技术支持。本系统证明大模型与传统管理结合可行高效, 有望推广成智能化建设范例。未来, 随着AI技术进步, 本系统将向更智能、更精准、更人性化的方向演进, 为相关科研机构提供可靠的管理保障。

[作者贡献 Author Contribution]

王庭君负责硬件设备布置与软件调试, 数据整理及论文初稿撰写;

罗浩负责建立人工智能相关模型和采集数据;

陈琦负责数据结果把关以及文章定稿。

[利益声明 Declaration of Interest]

所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献 References]

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 实验动物 环境及设施: GB 14925—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. Laboratory animal—Environment and housing facilities: GB 14925-2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [2] 刘莲莲, 张成梅, 张海艇, 等. 高校动物房屏障系统高效管理初探[J]. 医学动物防制, 2020, 36(7): 661-662, 667. DOI: 10.7629/yxdwzf202007015.
LIU L L, ZHANG C M, ZHANG H T, et al. Primary study on efficient management of animal house barrier system in colleges and universities[J]. J Med Pest Contr, 2020, 36(7): 661-662, 667. DOI: 10.7629/yxdwzf202007015.
- [3] 刘琪帅, 李朝, 任晓霞. “双一流”高校建设背景下新型实验动物中

- 心的建设与管理[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(9):266-268. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2022.09.045.
- LIU Q S, LI Z, REN X X. Construction and management of new laboratory animal center under background of "Double First-Class" university construction[J]. Exp Technol Manag, 2022, 39(9):266-268. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2022.09.045.
- [4] 陈晓娟, 李巍, 汪浏. 高校实验动物管理流程信息化探索: 以浙江大学为例[J]. 实验动物与比较医学, 2021, 41(6):554-558. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2021.045.
- CHEN X J, LI W, WANG L. Exploration on informatization of laboratory animal management process in colleges and universities: the case of Zhejiang University[J]. Lab Anim Comp Med, 2021, 41(6):554-558. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2021.045.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 实验动物福利伦理审查指南: GB/T 35892—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Laboratory animal—Guideline for ethical review of animal welfare: GB/T 35892-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [6] 陆伟, 刘家伟, 马永强, 等. ChatGPT为代表的大模型对信息资源管理的影响[J]. 图书情报知识, 2023, 40(2):6-9, 70. DOI: 10.13366/j.dik.2023.02.006.
- LU W, LIU J W, MA Y Q, et al. The influence of large language models represented by ChatGPT on information resources management[J]. Doc Inf Knowl, 2023, 40(2):6-9, 70. DOI: 10.13366/j.dik.2023.02.006.
- [7] 徐敏, 张振建, 许景东, 等. "一院多区"医院管理的探索与思考[J]. 中国卫生质量管理, 2017, 24(4):107-109. DOI: 10.13912/j.cnki.chqm.2017.24.4.35.
- XU M, ZHANG Z J, XU J D, et al. Exploration and thinking of hospital management in "one hospital with multi-district"[J]. Chin Health Qual Manag, 2017, 24(4):107-109. DOI: 10.13912/j.cnki.chqm.2017.24.4.35.
- [8] 陈玲. 高校实验室安全管理面临的问题与对策[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(1):283-286. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7167.2017.01.070.
- CHEN L. Problems and countermeasures of laboratory safety management in colleges and universities in the new era[J]. Res Explor Lab, 2017, 36(1):283-286. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7167.2017.01.070.
- [9] 胡永艳, 陶迎红, 孔申申. 一种基于互联网的实验动物管理系统介绍[J]. 实验动物与比较医学, 2020, 40(3):257-261. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2020.03.015.
- HU Y Y, TAO Y H, KONG S S. Introduction of a web-based novel laboratory animal management system[J]. Lab Anim Comp Med, 2020, 40(3):257-261. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2020.03.015.
- [10] 宋予震, 郭素琴, 史洪涛, 等. 动物医学虚拟仿真实验教学平台的建设与应用[J]. 高教学刊, 2020, 6(21):79-81. DOI: 10.19980/j.cn23-1593/g4.2020.21.023.
- SONG Y Z, GUO S Q, SHI H T, et al. Construction and application of virtual simulation experimental teaching platform for animal medicine[J]. J High Educ, 2020, 6(21):79-81. DOI: 10.19980/j.cn23-1593/g4.2020.21.023.
- [11] 黄术兵, 姚文茜, 侯豹, 等. 高校实验动物管理工作的现状和对策研究[J]. 实验室科学, 2023, 26(6):147-150. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4305.2023.06.035.
- HUANG S B, YAO W X, HOU B, et al. Current situation and countermeasures on the management of laboratory animals in universities[J]. Lab Sci, 2023, 26(6):147-150. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4305.2023.06.035.
- [12] 李秀, 陈晓梅, 商可心, 等. 使用型高校实验动物中心信息化管理模式开发应用[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2020(4):61-65, 68. DOI: 10.14170/j.cnki.cn31-1278/s.2020.04.025.
- LI X, CHEN X M, SHANG K X, et al. Development and application of information management mode of experimental animal center in using university[J]. Shanghai J Anim Husb Vet Med, 2020(4):61-65, 68. DOI: 10.14170/j.cnki.cn31-1278/s.2020.04.025.
- [13] 瑚. 基于MySQL的科研信息管理系统数据库设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2024, 36(4):169-171. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9767.2024.04.054.
- HU H. Database design of scientific research information management system based on MySQL[J]. Inf Comput, 2024, 36(4):169-171. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9767.2024.04.054.
- [14] 郭全中, 苏刘润薇. 作为新基础设施的AGI: 以GPT-4O等新一代生成式人工智能为例[J]. 新闻爱好者, 2024(7):16-21. DOI: 10.16017/j.cnki.xwzh.20240527.001.
- GUO Q Z, SU L R W. AGI as a new infrastructure: Taking GPT-4O and other new generation of generative artificial intelligence as an example[J]. Jour Lov, 2024(7):16-21. DOI: 10.16017/j.cnki.xwzh.20240527.001.
- [15] 郭全中, 张金熠. ChatGPT的技术特征与应用前景[J]. 中国传媒科技, 2023(1):159-160. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0134.2023.01.032.
- GUO Q Z, ZHANG J Y. Technical characteristics and application prospect of ChatGPT[J]. Media Sci Technol China, 2023(1):159-160. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0134.2023.01.032.
- [16] LI J J, GUAN Z Y, WANG J, et al. Integrated image-based deep learning and language models for primary diabetes care[J]. Nat Med, 2024, 30(10):2886-2896. DOI: 10.1038/s41591-024-03139-8.
- [17] 大经中医. 岐黄问道大模型[EB/OL]. (2023-08-01)[2024-12-10]. <https://www.dajingtcm.com/product/3>.
- Dajing Chinese Medicine. Qihuang wendao large model[EB/OL]. (2023-08-01) [2024-12-10]. <https://www.dajingtcm.com/product/3>.
- [18] YANG S H, ZHAO H J, ZHU S B, et al. Zhongjing: enhancing the Chinese medical capabilities of large language model through expert feedback and real-world multi-turn dialogue [C]//AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2025.
- [19] X-Ray Interpreter. Empower your medical choices with

- instant a X-ray insights[Z/OL]. [2025-08-01]. <https://xrayinterpreter.com/>.
- [20] LI C Y, WONG C, ZHANG S, et al. LLaVA-med: training a large language-and-vision assistant for biomedicine in one day[C]. Proceedings of the 37th International Conference on Neural Information Processing Systems Article, 2023.
- [21] 马驰, 袁粒星, 林玲, 等. 基于信息化的实验动物中心管理新模式实践[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(6):253-255, 277. MA C, YUAN L X, LIN L, et al. Practice of a new management model for laboratory animal centers based on information technology[J]. Res Explor Lab, 2020, 39(6): 253-255, 277.
- [22] 朱玉, 秦嫒, 辛丹, 等. 高等院校实验动物的信息化管理体系建设探讨[J]. 畜牧兽医科技信息, 2022(6):19-21. DOI: 10.3969/J.ISSN.1671-6027.2022.06.007. ZHU Y, QIN L, XIN D, et al. Discussion on the construction of information management system of experimental animals in colleges and universities[J]. Chin J Anim Husb Vet Med, 2022 (6):19-21. DOI: 10.3969/J.ISSN.1671-6027.2022.06.007.
- [23] 赵朝阳, 朱贵波, 王金桥. ChatGPT 给语言大模型带来的启示和多模态大模型新的发展思路[J]. 数据分析与知识发现, 2023, 7 (3):26-35. DOI: 10.11925/infotech.2096-3467.2023.0216. ZHAO C Y, ZHU G B, WANG J Q. The inspiration brought by ChatGPT to LLM and the new development ideas of multi-modal large model[J]. Data Anal Knowl Discov, 2023, 7(3):26-35. DOI: 10.11925/infotech.2096-3467.2023.0216.
- [24] 郭君斌, 于琳, 于传强. 改进YOLOv5s算法在交通标志检测识别中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2024, 46(6):123-130. DOI: 10.11887/j.cn.202406013. GUO J B, YU L, YU C Q. Application of improved YOLOv5s algorithm in traffic sign detection and recognition[J]. J Natl Univ Def Technol, 2024, 46(6): 123-130. DOI: 10.11887/j.cn.202406013.
- [25] 韩冬, 李其花, 蔡巍, 等. 人工智能在医学影像中的研究与应用[J]. 大数据, 2019, 5(1): 39-67. DOI: 10.11959/j. issn. 2096-0271. 2019004. HAN D, LI Q H, CAI W, et al. Research and application of artificial intelligence in medical imaging[J]. Big Data Res, 2019, 5(1):39-67. DOI: 10.11959/j.issn.2096-0271.2019004.
- [26] WANG C Y, BOCHKOVSKIY A, LIAO H M. YOLOv7: trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[C]//2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 17-24, 2023, Vancouver, BC, Canada. IEEE, 2023: 7464-7475. DOI: 10.1109/CVPR52729.2023.00721.

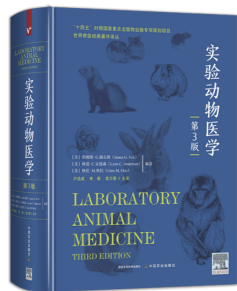
(收稿日期: 2024-12-03 修回日期: 2025-04-19)
(本文编辑: 丁宇菁)

[引用本文]

王庭君, 罗浩, 陈琦. 基于人工智能的实验动物中心信息化升级及应用实践[J]. 实验动物与比较医学, 2025, 45(4): 473-482. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.181.

WANG T J, LUO H, CHEN Q. Discussion on AI-based digital upgrade and application practice of laboratory animal centers [J]. Lab Anim Comp Med, 2025, 45(4): 473-482. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.181.

书讯:《实验动物医学》(第3版)正式出版发行



2025年8月,“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目“世界兽医经典著作译丛”之《实验动物医学》(第3版)(Laboratory Animal Medicine, Third Edition)由中国农业出版社重磅出版发行。该书由中国疾病预防控制中心(中国预防医学科学院)组织,中国实验动物学会实验动物医师工作委员会(CCLAM)的卢选成博士、李秦博士、庞万勇博士领衔主译,国内外实验动物医学领域专家学者共计74人共同翻译。原著由美国实验动物医学学会(ACLAM)组织编写,自1984年首版问世以来,历经2002年第2版与2015年第3版的系统修订,代表着实验动物医学领域的最高学术水平,是该领域全球范围内公认的权威工具书。

本书为精装大16开本,合计1900余页,内容结构严谨、覆盖面广,共39章,不仅系统阐述了40余种常用实验动物的生物学特征与疾病,更全面介绍了实验动物医学的历史、实验动物相关法律法规政策、麻醉镇痛安乐死、实验技术、无菌动物、生物安全、人兽共患病、异种移植的感染风险、职业健康、遗传监测、基因修饰动物、影响动物研究的因素、动物模型、实验动物与比较医学、设施设计与管理、项目管理、实验动物行为学、动物福利等多个方向的专业知识。本书将为国内实验动物医师、科研人员、管理人员以及相关专业的学生在实验动物疾病诊疗、实验动物福利伦理、动物模型构建等方面提供科学权威的指导,对于丰富我国实验动物专业教材体系、支撑实验动物医学人才培养、保障生物医学研究质量、推动相关制度建设和国际合作具有重要的实践意义和学术价值。



欢迎扫二维码获取更多信息,或直接至中国农业出版社的京东、天猫旗舰店购买。

(本刊编委庞万勇、卢选成、李垚供稿)