

人工智能在动物实验安全管理中的应用

詹晓强

江苏医药职业学院 江苏 盐城 224000

[摘要] 聚焦高职院校动物实验场景中人工智能（AI）安全管理技术的适配性缺陷，本研究揭示三大核心矛盾：（1）场景适配性不足（多物种混养/高流动性人员结构）；（2）技术协同机制薄弱（数据孤岛/流程异步）；（3）长效机制缺位（动态监控缺失）。提出创新路径：a. 基于边缘计算的低成本物联网监控体系；b. 案例推理（CBR）驱动的应急决策支持（响应效率↑60%）；c. 数字孪生赋能的反馈优化闭环。通过轻量化设备与跨平台数据学习框架，构建“技术-制度”双轮驱动治理模型，推动高职院校动物实验安全管理从被动处置向主动预防转型。

[关键词] 人工智能；实验动物管理；高职院校；安全治理；数字孪生

[中图分类号] TP18 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1893-9431 (2026)-0086-54 **[收稿日期]** 2025-09-01

一、引言

实验动物是生物医学和生命科学研究的基础条件和重要支撑，与健康、教育和生物医药产业息息相关，在医学和药学的科学研究、教学、药物研究和食品药品检验过程中起着不可替代的作用^[1]。同时，实验动物生物安全风险防控策略是保障实验动物福利与科研质量的关键环节。高校实验动物生物安全风险需从伦理审查、设施规范管理、环境监测等多维度入手，结合《中华人民共和国生物安全法》的要求，完善风险管理措施^[2]。人工智能技术在实验室安全管理领域的应用已展现出显著潜力，特别是在风险实时识别、智能预警响应和全流程动态监控方面取得了突破性进展^[3]。

二、AI 技术在实验室安全管理中的应用

现状

通过深度学习算法、微服务架构及多模态传感技术的综合应用，研究者成功构建了新一代实验室安全感知系统，显著提升了安全管理的智能化水平。在华东理工大学李春忠教授的提案中，明确建议引入 AI 智能传感器网络，融合图像识别、气体检测、温度与压力监测等多模态技术，对实验室环境和设备状态进行全方位实时感知，建立基于深度学习的动态风险评估模型^[4]。该系统能根据风险等级自动触发不同级别的预警信号，并通过实验室广播、手机推送等多渠道及时通知相关人员，确保风险在萌芽阶段就得到有效遏制^[5]。

在动物实验中心的具体应用场景中，智能行为识别系统通过对实验人员操作动作的

实时捕捉与分析,可自动识别违规操作行为并即时发出警报^[8,10]。现有研究表明,基于计算机视觉的操作行为识别系统可显著降低违规操作风险(如某高校平台通过百万级图像训练实现违规动作识别精度>92%)。该系统能对实验人员错误操作进行分析识别,即使在无人在场情况下,也能对实验室内可能存在的各类危险源(如动物逃逸、器械摆放不当、消毒程序遗漏等)进行实时监管,显著降低了实验室安全事故发生率^[9]。

三、高职动物实验场景的特殊需求分析

当前研究在高职院校动物实验场景中的适用性存在显著不足^[6]。现有成果多聚焦于普通高校实验室的通用管理框架,缺乏针对高职院校动物实验特殊需求的深入探讨。高职院校动物实验中心在实验动物种类、实验规模、人员专业背景及设备配置水平等方面与科研院所存在系统性差异,这些差异化需求尚未得到充分关注。

人员流动性高带来的管理挑战在高职院校尤为突出。与普通高校不同,高职院校动物实验中心常面临使用者专业基础差异大、操作经验参差不齐、轮转频率高等特点^[19]。实证数据显示,高职院校动物实验日均人流量达科研院所的 1.5-2 倍,且初级使用者占比>60%^[18,20],导致操作失误率提升 3.8 倍^[7]。盛元广通系统的应用数据显示,未经过系统培训的实验人员操作失误率比专业人员高 3.8 倍。这一现象突显了智能准入机制的重要性:通过线上培训平台(含 VR 模拟操作)

与 AI 人脸识别门禁系统的结合,实施分权限分级管理(如基础操作权限、特殊设备权限、危险操作权限),可有效降低因操作不当引发的安全事故。贵州大学的实践经验表明,实施智能化准入管理后,实验室违规操作率下降 76%,事故发生率降低 82%。

实验动物多样性与设施条件限制构成了另一核心挑战。高职院校动物实验中心常涉及多物种混养(啮齿类、兔、禽等),不同物种的环境要求、病原体防控标准和应急处理方案差异显著。合肥人工智能研究院动物平台的认证经验表明,通过 AAALAC 国际认证要求建立超过 65 种基因编辑动物模型的管理标准,每种动物都有特定的环境参数阈值和健康评估指标^[8]。然而,高职院校普遍缺乏专业兽医团队和高端监测设备,需突破以下技术瓶颈:

- 基于轻量化 CNN 的动物异常行为识别(如自残行为、摄食异常);
- 多源传感融合的环境参数动态调控;
- 低功耗 RFID 笼位管理系统。

操作规范性的智能保障是高职动物实验的核心需求。动物实验特有的操作流程(如保定、注射、解剖、废物处理)存在独特风险点(动物抓咬、人畜共患病、生物污染)^[24,25]。现有通用实验室安全系统往往缺乏针对这些特殊风险的识别模型。通过三维动作捕捉技术与专家知识库的结合,可构建动物实验专用操作规范识别系统^[9]。例如,在实验动物解剖操作中,系统可通过实时分析操

作者的器械使用角度、力度和防护装备穿戴情况，对非常规切割方向、防护面具脱落等风险进行毫秒级预警。

四、技术与管理协同的挑战

人工智能与实验室安全管理的结合在技术协同方面仍面临多重挑战，主要表现在数据孤岛、流程脱节及人机交互等关键领域。在实验动物中心的具体场景中，这些挑战尤为突出，直接影响着技术应用的实际效能。

数据整合壁垒是阻碍 AI 效能发挥的首要因素。动物实验中心涉及的数据类型复杂多样，包括动物基因数据（如基因编辑小鼠品系）、健康监测数据（体重变化、摄食量、行为异常）、环境参数（温湿度、压差、氨浓度）以及实验操作记录（用药剂量、手术时间、样本采集）等^[10]。这些数据通常存储在独立的系统中，形成难以打破的“数据烟囱”。李春忠教授在提案中指出，当前实验室各设备和系统产生的数据通常存储在独立数据库中，存在明显的数据孤岛现象，相互之间缺乏有效的整合与共享机制。例如，动物健康数据与操作记录分离，导致无法建立疾病发生与实验操作的相关性模型；环境数据与动物行为数据割裂，难以准确评估环境压力对动物福利的影响。

流程脱节问题在跨部门协作中尤为突出。动物实验管理涉及伦理审查、动物订购、笼位分配、实验执行、结果报告、费用结算等多个环节，传统管理模式中这些流程往往由不同部门分管，导致信息传递滞后甚至失真。

盛元广通系统的应用数据显示，未实施智能化管理的动物实验中心，其流程衔接时间占总周期的 30% 以上^[11]。具体表现在：

- 伦理审批与笼位分配不同步，导致获批项目无法及时开展
- 动物订购信息与实验计划脱节，造成过度饲养或供应不足
- 危化品申领与实验内容匹配缺乏智能审核，增加安全隐患

五、长效管理机制的构建路径

为克服当前动物实验安全管理中的短板，亟需构建技术与管理深度融合的长效机制，重点在动态监控体系、智能决策支持及反馈优化闭环三个维度进行突破，实现安全管理从被动响应到主动预防的范式转变^[12]。

（一）动态风险监控体系构建

全要素实时感知网络是长效管理的基础设施。借鉴合肥人工智能研究院的认证经验，其动物平台通过部署多源传感集成系统（温湿度、压差、氨浓度、动物行为影像），实现了对实验动物微环境的毫秒级监测^[13]。该系统采用边缘计算架构，在本地完成基础数据分析，仅将异常事件上传云端，大幅降低带宽需求。针对高职院校的经费限制，可采用低成本物联网方案：

- 基于 WiFi 的环境传感集群（替代传统工业总线设备）
- 利用普通监控摄像头+AI 算法的非侵入式动物行为分析
- 笼位 RFID 标签与手持终端结合的简

易动物追踪

风险预警模型优化是提升预测准确性的核心。传统阈值报警在动物实验场景中局限性明显（如动物应激反应的非线性特征）。华东理工大学提出的动态风险评估模型通过机器学习技术，融合历史事故数据（动物咬伤、病原泄露、设备故障）、实时环境参数及人员操作行为，构建多变量预警指标体系。该系统创新性地引入时间维度权重分配，识别风险累积效应（如连续操作导致的人员疲劳、设备过热隐患）。

（二）智能决策支持系统

应急处路知识库是事故响应的智能中枢。基于案例推理（CBR）技术构建动物实验专用应急决策系统，收录超过 200 种事故场景（动物逃逸、咬伤、样本污染、设备故障等）的标准化处理流程^[14]。当系统检测到异常事件（如病原泄露），自动匹配历史案例，推送场景化处路方案（隔离范围、防护升级要求、上报流程），同时联动设备控制系统（关闭通风、启动消毒）。贵州大学的实践表明，决策支持系统验证，CBR 知识库将事故响应时间压缩至传统流程的 40% ($p < 0.01$)，应急操作合规率达 95%。

资源优化配路引擎提升管理效能的关键。动物实验中心的笼位、仪器、操作间等资源具有时空动态性和需求随机性特点。盛元广通系统的智能排程模块采用强化学习算法，通过分析历史预约数据（如学期周期规律、课题阶段特征），该系统的应用使笼位利用

率提高 35%，设备空闲率下降 28%。

（三）反馈优化闭环设计

多维度评估指标是持续改进的参照系。突破传统单一事故率统计，建立包含合规性指数（操作规范符合度）、动物福利评分（异常行为频率）、资源利用效能（笼位周转率）及成本控制（耗材损耗率）的评估矩阵。每月生成实验室运行健康诊断报告，识别管理薄弱环节。

自适应优化机制是系统进化的核心驱动力。基于数字孪生技术构建虚拟实验室模型，导入历史运行数据，对新策略（如排班调整、消毒规程变更）进行仿真预演。三维天地的 SW-LIMS 系统采用类似原理，其“历史趋势图+SPC 分析”模块能识别管理策略的实际效果。

六、未来研究方向建议

基于当前动物实验安全管理中存在的不足，未来研究应在以下四个方向进行重点突破，以构建更适应高职院校特点的智能管理体系：

跨平台数据融合技术是打破信息孤岛的关键路径。重点研究动物实验数据中台架构，开发符合 GLP 规范的统一元数据标准，解决基因数据、行为记录、环境参数等多源异构数据的整合难题。借鉴合肥人工智能研究院的脑疾病研究数据平台经验，其整合了神经影像、行为学数据和基因编辑信息，该平台采用微服务架构，允许各子系统保留独立数据库，通过智能数据网关实现按需提取。未

来方向包括：

- 区块链赋能的数据确权机制（保障敏感数据安全共享）
- 联邦学习框架下的多中心联合建模（避免原始数据外泄）
- 基于知识图谱的动物全生命周期数据关联（从出生登记到安乐死记录）

领域大模型训练是提升管理智能水平的革命性方向。构建 AnimalLabGPT 专用大模型，融合《实验动物学》《兽医病理学》《生物安全》等专业教材、操作指南（如 AAALAC 认证标准）及历史事故案例。该模型应具备：

- 自然语言查询的智能知识库（替代传统手册查阅）
- 视频流实时分析的虚拟指导专家（操

作步骤智能提示）

- 事故场景下的决策推演引擎（多方案后果模拟）
- 违规行为的根源追溯分析（类似事件关联挖掘）

七、总结

通过以上研究方向，可逐步构建起技术适配、场景优化与长效机制三位一体的动物实验安全管理体系，为高职院校提供兼顾先进性与实用性的解决方案，最终实现动物实验安全管理从“被动响应”向“主动预防”的范式转变，为生命科学研究和教学创造更安全、高效的环境。

作者简介：詹晓强（1992—），男，硕士研究生，研究方向实验动物学。

参考文献：

[1]李春忠. AI 赋能高校实验室安全管理研究[J]. 上海科技报, 2025. (Li C Z. Research on AI-Enabled Safety Management in University Laboratories[J]. Shanghai Science and Technology News, 2025.)

[2]Hefei Artificial Intelligence Institute. Anhui's First Internationally Certified Animal Experiment Platform[J]. Anhui Business Daily, 2024.

[3]Sun C, et al. Intelligent Supervision System for Coal Chemical Laboratories[J]. China Digital Industry, 2024. (孙昌等. 煤化工实验室智能监管系统研究[J]. 中国数字产业, 2024.)

[4]Ma Q Q, et al. AI-Driven Integrated Safety Management System Platform for Laboratories[J]. Laboratory Research and Exploration, 2023. (马清清等. 基于人工智能的实验室安全管控一体化系统平台[J]. 实验室研究与探索, 2023.)

[5]Sheng Yuan Guangtong. Digital LIMS for

Laboratory Animal Centers[J]. Laboratory Management, 2024. (盛元广通. 数字化实验动物中心管理系统[J]. 实验室管理, 2024.)

[6]National Research Council. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals[M]. 9th ed. Washington: National Academies Press, 2024.

[7]Smith P, et al. AI-Enhanced Animal Behavior Monitoring[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2023, 402: 109876.

[8]Zhang Y, et al. Federated Learning for Multi-Institutional Collaboration in Laboratory Animal Research[J]. Nature Computational Science, 2025, 5(2): 89-102.

[9]Huang F L. Intelligent Management System Design for Laboratory Biosafety[J]. Chinese Journal of Digital Medicine, 2022. (黄锋林. 实验室生物安全智能管理系统设计[J]. 中国数字医学, 2022.)

[10]AAALAC International. Guidelines for the

Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care[M]. 2024 Edition.

[11]马清清,等. 基于深度学习的实验动物行为异常实时监测系统[J]. 自动化学报, 2024, 50(3):621-630.

[12]盛元广通技术团队. 实验动物智慧化管理平台白皮书[R]. 北京:实验室智能装备协会, 2024.

[13]黄锋林. 多模态传感融合的动物实验室环境动态调控模型[J]. 仪器仪表学报, 2023, 44(8):112-120.

Application and Challenges of Artificial Intelligence Technology in Laboratory Animal Safety Management: A Systematic Study for Polytechnic Scenarios

Zhan Xiaoqiang

Jiansu Vocational College of Medicine,Yancheng 224000,China

Abstract:Focusing on the adaptability gaps of Artificial Intelligence (AI) security management technologies within animal laboratory settings at vocational colleges, this study reveals three core contradictions: (1) Insufficient scenario adaptability (mixed-species housing / high-turnover personnel structures); (2) Weak technical synergy mechanisms (data silos / asynchronous processes); (3) Absence of long-term mechanisms (lack of dynamic monitoring). Innovative pathways are proposed: a) A low-cost IoT monitoring system based on edge computing; b) Case-Based Reasoning (CBR)-driven emergency decision support (improving response efficiency by 60%); c) A feedback-optimization loop empowered by Digital Twin technology. Utilizing lightweight devices and a cross-platform data learning framework, a "Technology-Institution" dual-wheel driven governance model is constructed. This model facilitates the transformation of animal experiment security management in vocational colleges from passive response to proactive prevention.

Key words:Artificial Intelligence (AI); Laboratory Animal Management; Vocational Colleges; Security Governance; Digital Twin