

中药学实验教学安全管理的困境与突破

——基于传统风险防控与智能技术赋能的协同视角

盛云杰, 童超英, 陈如一, 周云, 寿旦*

浙江中医药大学药学院, 药物分析教研室, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年11月1日; 录用日期: 2025年12月2日; 发布日期: 2025年12月10日

摘要

中药学专业的实验教学是中医药人才培养的核心环节, 安全管理是保障教学正常环境及教学质量的关键, 当前中药学实验教学面临实验复杂度提升与安全管控滞后的双重挑战。由于人工巡检难以有效监控危化品动态及设备运行, 传统管理模式的实验室存在管理盲点多、防爆系统老化及应急能力薄弱等缺陷。本研究提出构建智能决策系统, 通过数字孪生技术实现设备精准调控, 结合区块链技术建立危化品全流程追溯体系, 同步构建覆盖实验的三维安全标准框架, 以提高实验室安全管理及预警精度。其次, 采用离子液体溶剂替代技术减少有机溶剂使用, 应用光伏设备推动实验室低碳化发展, 探索中药学教学实验室绿色转型。此外, 依托元宇宙平台开发 AR 应急模拟系统, 提升操作规范, 并通过“虚拟 - 实操 - 文化”三维模式强化安全意识, 并开展常态化安全教育。旨在探索传统与智能技术协同的新型中药学实验教学安全管理模式, 未来需深化智能技术融合, 建立动态安全生态体系, 为中医药高等教育高质量发展提供支撑。

关键词

教学实验室, 安全管理, 中药学, 智能技术, 动态安全体系

Dilemmas and Breakthroughs in Safety Management during the Experimental Teaching of Traditional Chinese Medicine

—A Collaborative Perspective Based on Traditional Risk Prevention and Empowerment with Intelligent Technology

Yunjie Sheng, Chaoying Tong, Ruyi Chen, Yun Zhou, Dan Shou*

*通讯作者。

Pharmaceutical Analysis Teaching and Research Section, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou
Zhejiang

Received: November 1, 2025; accepted: December 2, 2025; published: December 10, 2025

Abstract

Experimental teaching of traditional Chinese medicine is a core element in the cultivation of talent in traditional Chinese medicine. Safety management is the key to ensuring a normal teaching environment and high-quality teaching. Currently, experimental teaching of traditional Chinese medicine confronts dual challenges: the increasing complexity of experiments and the lagging safety management. Since manual inspection struggles to effectively monitor the dynamics of hazardous chemicals and the operation of equipment, the traditional laboratory management model has numerous flaws, including management blind spots, aging explosion-proof systems, and weak emergency response capabilities. In this study, it is proposed to construct an intelligent decision-making system, realize accurate regulation of equipment through digital twin technology, establish a full-process traceability system for hazardous chemicals combined with blockchain technology, and simultaneously construct a three-dimensional safety standard framework covering experiments, to improve laboratory safety management and early warning accuracy. Using ionic liquid solvents instead of traditional organic ones helps cut down on harmful chemicals. Plus, photovoltaic equipment is being used to encourage more eco-friendly practices in labs. Overall, efforts are being made to explore ways to make traditional Chinese medicine teaching laboratories more environmentally friendly and sustainable. In addition, relying on the meta-universe platform to develop an AR emergency simulation system, improve operation specifications, strengthen safety awareness through the three-dimensional mode of "virtual-practical operation-culture", and carry out normal safety education. The objective is to explore a novel safety management model for traditional Chinese medicine experimental teaching that is coordinated with intelligent technology. In the future, efforts should be focused on better integrating smart technology and establishing a flexible safety system. This will help support the growth of quality higher education in traditional Chinese medicine.

Keywords

Teaching Laboratory, Safety Management, Traditional Chinese Medicine, Intelligent Technology, Real-Time Safety System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中药学专业的实验教学是培养中医药人才实践与创新能力的关键环节，其安全管理直接影响师生健康、教学质量及学科可持续发展。随着中医药现代化进程加快，实验内容不断深化——易燃易爆试剂使用增多、精密仪器操作复杂化，对实验室安全管理提出了更高要求。然而，当前安全管理仍面临多重困境：传统管理模式滞后、安全设施更新缓慢、师生安全意识薄弱等问题突出，亟待系统性改革突破。

在中药化学实验中，有机溶剂提取、毒性成分分离等高风险操作潜藏安全隐患。若通风系统失效可能导致有毒气体积聚，防护缺失易引发化学灼伤，这些风险时刻警示着安全管理体系构建的紧迫性。更

为重要的是，规范化的安全管理承载着双重教育使命：既是理论知识的实践延伸，更是塑造学生科研伦理和安全素养的重要载体。通过严格的操作规范训练、应急处置模拟，能够为中医药行业输送具备职业安全意识的专业人才，反之则可能导致学生形成危险操作习惯，影响其职业发展。

当前安全管理困境主要体现在三方面：其一，管理模式与技术创新脱节。多数实验室仍依赖人工巡检[1]，危险试剂追踪、废气处理等环节存在监管盲区，虚拟仿真等新技术在安全预演中的应用尚未普及[2]。其二，安全教育实效性不足。调研显示，30%实验室缺乏应急演练[3]，学生普遍存在“重成果轻防护”倾向，如为提升提取率违规操作。其三，保障体系存在结构性缺陷。设备老化、经费不足导致防爆系统更新滞后，实验员队伍专业化程度偏低，安全制度执行流于形式[4]-[6]。

破解这些困境需多维度创新：构建“智慧+”管理平台，通过物联网技术实现环境监测、危化品溯源等智能化管控；建立“虚拟预演-实操考核-文化浸润”三维教育体系，将安全规范纳入评分细则；完善分级管理制度，设立专职安全岗位并强化校企协同培训[3]。通过系统化改革，不仅能有效防控实验风险，更能培养具备现代安全素养的中医药人才，为学科高质量发展注入新动能。

2. 中药学实验教学安全管理的现状与挑战

2.1. 现存问题分析

当前中药学实验教学的安全风险源如图1所示，中药学实验通常涉及高温操作和高压设备，存在燃烧、爆炸的风险，如中药炮制、成分提取(如回流提取、升华法)、制剂制备(如熔融制粒、薄膜包衣)等实验环节，高温操作时间长；常用的电加热套、马弗炉等设备使用温度可超过300℃，操作不当极易引发事故。同时，有机溶剂(如甲醇、氯仿、乙酸乙酯)和有毒试剂(如重金属盐、生物碱对照品、强酸强碱)是中药学实验的常用材料，管理、使用不规范则进一步增加实验室的安全风险。一方面，由于多数有机溶剂具有挥发性，长期吸入挥发蒸汽可能导致呼吸道刺激，甚至引发肝肾功能异常；部分有毒试剂(如附子中的乌头碱、马钱子中的士的宁)即使微量接触，即可引发中毒反应。另一方面，中药材在传统认知中多与“天然、安全”相关，学生存在“中药材无毒无害”的误区，对实验操作的规范性重视不足，导致实验安全意识、防护措施执行不到位。如未佩戴防护装备直接接触药材粉末、随意摆放实验试剂、违规操作高温设备等。同时，部分教师在实验教学中更侧重实验原理与操作步骤的讲解，对安全知识的普及不够深入，导致师生整体安全意识薄弱，成为实验安全的重要隐患。对于安全事件应急预案的编制通常为通用型预案，亟待基于上述安全风险源进行中药学教学实验室的安全管理系统提升。

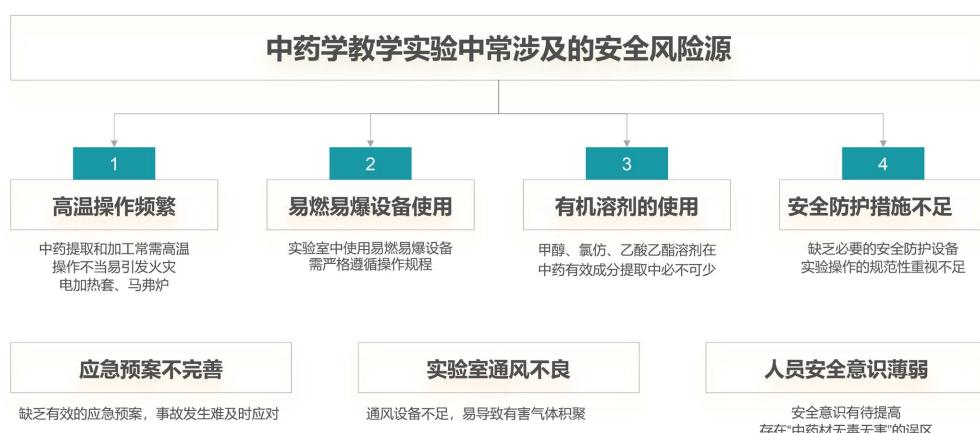


Figure 1. Safety hazards involved in teaching experiments of traditional Chinese medicine

图1. 中药学教学实验中涉及的安全风险源

当前中药学实验教学安全管理体系虽已初步建立，但受学科特殊性、技术迭代速度与教育资源配置等多重因素制约，仍存在以下突出问题。

2.1.1. 传统管理模式与现代化需求脱节

多数院校实验室仍沿用“人工巡检 + 纸质台账”的粗放式管理模式，难以应对中药炮制、成分提取等实验的复杂安全需求。卜秋菊等的研究表明，在炮制实验教学中，设备智能化程度不足导致温度控制、毒性气体监测等关键环节仍依赖主观经验判断，使得炒制过火、挥发油泄漏等事故风险显著增加[7]。张啸环等通过虚拟仿真平台构建实践发现，传统炮制实验的开放性操作缺乏实时数据反馈机制，学生无法在真实场景中感知安全操作的临界阈值[8]。

2.1.2. 安全教育体系实效性不足

尽管安全培训已纳入实验教学必修环节，但其形式与内容仍显单一。陈萍萍等在《中药化学》实验教学研究中指出，73%的学生表示安全教育以“讲座 + 手册”为主，缺乏虚拟仿真预演、事故情景模拟等沉浸式训练[9]。更值得关注的是，职业院校在面向岗位需求的安全能力培养中存在断层，陈榕调研发现，仅28%的药学专业学生能准确辨识GMP规范中的安全操作要点，暴露出实验教学与职业安全标准衔接不足的缺陷[10]。

2.1.3. 安全设施更新滞后于技术发展

中药现代化进程催生了超临界萃取、微波炮制等新技术，但配套安全设施更新速度缓慢。例如，在毒性成分分离实验中，部分实验室仍使用开放式旋转蒸发仪而非全封闭系统，导致有机溶剂挥发问题突出[11]。张希在专业设置标准研究中强调，30%的中药学实验室未达到防爆电路配置要求，老旧设备的电气安全隐患成为诱发火灾的主要因素[12]。

2.1.4. 教辅队伍专业化支撑力度薄弱

实验技术人员作为安全管理的一线执行者，其能力结构直接影响制度落实效果。陈娟等的调研显示，高职院校中具有安全工程师资质的实验员不足15%，且普遍存在“重设备维护、轻风险防控”的认知偏差。这种现象在炮制实验室尤为明显，实验员对新型智能炒药机的安全参数调试能力不足，导致设备误操作甚至损坏。

2.1.5. 安全考核机制导向失衡

现行实验评价体系普遍存在“重结果产出、轻过程规范”的倾向。沈蒙等构建的多维度实验教学体系证实，将安全操作规范纳入评分权重的班级，其事故发生率较传统班级下降64% [13]。然而现实中，多数教师仍将提取率、炮制成品率作为核心指标，学生为追求数据优化而违规缩短提取时间、忽视防护装备佩戴的现象屡见不鲜[14]。

2.2. 核心挑战

在中医药产业智能化、标准化转型背景下，中药学实验教学安全管理面临以下深层矛盾。

2.2.1. 技术迭代与安全防控能力的动态博弈

随着智能感官分析、物联网监测等新技术引入实验教学[7]，安全风险从显性操作失误向隐性系统故障转移。例如，智能炮制设备的传感器失灵可能导致温度失控，而现有安全预案多针对传统设备设计，缺乏应对智能系统故障的处置方案。这种“技术先行、安全滞后”的矛盾在高速技术革新中愈发凸显。

2.2.2. 学科特殊性与普适性安全标准的适配困境

中药学实验涉及毒性药材炮制、挥发性成分提取等独特风险源，需建立差异化安全管理规范。张啸

环等在炮制虚拟仿真平台开发中发现，马钱子等毒性药材的实训项目因缺乏专用安全数据库，难以精准设定虚拟环境的危险阈值[8]。此外，中药炮制“火候”“药性”等传统经验与现代设备参数化控制之间的安全转换标准尚未统一，导致传统工艺现代化改造中存在不可控风险。

2.2.3. 开放创新与风险管理的价值冲突

在“新工科”教育理念推动下，实验教学正朝着开放共享、学科交叉的方向发展，这与实验室安全管理的封闭性要求形成张力。袁瑞娟等在多维度实验体系实践中发现，跨学科实验项目中非药学背景学生的事故发生率是药学专业学生的2.3倍，暴露出安全教育覆盖面不足的问题[13]。如何构建既能激发创新思维又能有效管控风险的弹性安全体系，成为现代中药学教育的重大课题。

2.2.4. 制度完备性与执行效能的结构性矛盾

尽管各院校已建立实验室安全管理制度，但执行过程中存在显著的“最后一公里”障碍。黄建梅等的案例研究表明，双人双锁制度在35%的实验室流于形式，危化品存取记录补签率达42% [13]。更深层的问题在于，安全管理责任往往集中在实验员个体身上，缺乏院系、设备处、保卫处的协同机制，导致风险防控出现责任真空地带。

2.2.5. 绿色安全理念与传统实验模式的转型冲突

《中国药典》2020版对中药重金属残留、有机溶剂限值等要求，倒逼实验教学向绿色化转型。然而研究揭示，大部分的中药化学实验仍在使用苯、氯仿等高毒溶剂，微波辅助提取等绿色技术因设备成本高、师资培训不足而普及率低于30%。这种转型困境不仅威胁师生健康，更与中医药可持续发展战略背道而驰。

3. 安全管理提升路径与实践策略

3.1. 制度优化方向

3.1.1. 构建全流程标准化管理体系

基于张希提出的专业设置标准，建议将ISO 45001职业健康安全管理体系与中药学实验特性相融合，建立涵盖“危化品全周期管理-设备安全操作规范-应急响应流程”的三级标准框架[12]。例如，在毒性药材炮制实验中，明确马钱子等特殊药材的存储温度(<20℃)、单次取用量(≤50 g)及废弃物处理方式(酸碱中和后密封焚烧)，通过数字化标签实现流转可追溯[8]。同时推行“安全责任矩阵”制度，将实验室主任、指导教师、学生的安全管理权责细化至28项具体指标，形成闭环管理链条。

3.1.2. 完善教辅队伍激励机制

针对教辅人员能力短板，建议实施“双轨制”职业发展路径：设立实验室安全工程师职称序列，要求掌握智能设备运维、风险评估等核心技能；建立“安全绩效-岗位津贴”联动机制，对成功排除重大隐患的技术人员给予科研项目优先推荐权。

3.2. 物联网平台虚仿结合

3.2.1. 搭建物联网动态监测平台

如图2所示，监测平台将集成智能传感器、边缘计算等技术，构建“四层防护”智能管控系统：1) 环境层部署 VOCs 浓度监测模块，在挥发油提取实验中实现超标自动启停；2) 设备层安装压力、温度异常预警装置，如炒药机温度偏差 > 5℃时触发三级报警；3) 操作层通过动作捕捉系统识别违规行为，如未佩戴护目镜启动超声波提取仪时自动锁定设备；4) 数据层建立风险预测模型，利用三年事故数据进行机

器学习，实现隐患识别准确率达 92% [13]。



Figure 2. Prevention and control modules of the laboratory internet of things dynamic monitoring platform

图 2. 实验室物联网动态监测平台防控模块

3.2.2. 深化虚拟仿真技术融合

依托张啸环等构建的炮制虚拟平台，开发“安全预演 - 实训练习 - 事故复盘”三位一体系统[8]。在毒性成分分离模块中，设置 28 种错误操作情景(如乙醚萃取时通风不良)，通过 VR 技术使学生直观感受溶剂中毒症状。试点数据显示，经过 10 学时虚拟训练的学生，实操违规率下降 63%，应急处置正确率提高至 89% [15]。

3.3. 安全防护设施升级

3.3.1. 模块化功能分区改造

按照《实验室危险源分级标准》，将传统中药化学实验室进行改造，模块区域为：1) 核心操作区配备防爆型微波萃取仪(防爆等级 Ex dIIC T6)、负压称量罩；2) 缓冲隔离区设置气闸室和应急喷淋装置(覆盖半径 3 m)；3) 智能监控区集成中央控制台与自动灭火系统。在中药化学实验室改造案例中，该设计使有机溶剂泄漏扩散时间延长至 14 分钟，为应急处置赢得关键窗口期[9]。

3.3.2 绿色替代技术推广

落实《中国药典》绿色实验要求，建立溶剂毒性分级替代目录：1) 优先采用超临界 CO₂ 萃取替代正己烷提取；2) 推广低温真空浓缩技术，相较传统旋转蒸发节能 35%且避免高温降解产物生成[15]。

3.4. 安全教育体系重构

3.4.1. 开发“三维渗透式”培训课程

构建包含基础理论(20%)、虚拟实训(40%)、岗位实践(40%)的课程体系：1) 理论层融入 GMP、GLP 等 24 项行业规范；2) 虚拟层设置 8 个风险场景沉浸式训练；3) 实践层实施“安全观察员”制度，要求学生在跨学科实验中完成 12 学时安全督导记录。

3.4.2. 建立动态能力评价模型

设计包含 4 个维度评估系统：1) 知识维度考察危化品分类等理论基础；2) 技能维度测试灭火器选用等实操能力；3) 态度维度采用情境模拟评估风险预判意识；4) 行为维度通过智能系统采集防护装备佩戴率等数据。

3.4.3. 建立智能化监控系统的综合效益评估体系

效益评估从：“效率 - 风险 - 成本”三大方向入手。1) 效率是否提升：智能化监控系统显著提升实验室安全管理效率，努力实现 7×24 小时不间断监控，将隐患发现从依赖人工巡查转变为自动识别，发现数量增加，类型从常规问题扩展至高阶、动态隐患，基本消除监管盲区。2) 风险等级是否降低：系统有效降低安全风险等级与安全事故发生率。启用后，实验室年均安全事件数量变化，并通过事前预防与事中干预，是否减少了危化品泄漏、设备故障等高危事件。3) 管理成本是否优化：管理成本同步优化，人工巡查时间降低比例，效率提升约百分比入手。精准预警与快速响应也降低了事故损失与维修费用，整体安全管理成本下降率考察[12] [13]。

4. 未来展望与建议

在技术革新层面，物联网、数字孪生与区块链技术将推动中医药学实验安全管理迈向“人机共智”新阶段。通过构建集成设备数据、行为画像及环境监测的“智能决策中枢系统”，同时，需构建“三维联动”标准体系：纵向对接 GMP 等 9 项行业法规，横向制定 28 类实验专项标准(如《毒性中药炮制规程》)，动态更新安全阈值数据库，如参照 2025 版《药典》调整薄荷脑暴露限值至 0.05 mg/m^3 [14] [15]。绿色转型方面，可通过替代工程、循环工程(乙醇重复利用)及减排工程，并建立绿色实验室认证体系。

在教育与生态构建层面，需依托元宇宙平台革新安全教育模式，开发 AR 应急演练模块(如马钱子碱泄漏处置)及 NFT 安全徽章系统，使安全操作记忆形成速度提升 3 倍[16]。同时深化“校 - 企 - 研”协同机制，通过仿真车间还原 GMP 车间安全规程、共建研发中心攻克高危工艺防护技术，并推行“双导师认证”制度，最终构建浸润式安全文化生态。

致 谢

本论文的完成，离不开各位师长与亲友的支持。衷心感谢导师寿旦教授的悉心指导与学术引领，感谢教研室同仁及实验室同门的协作帮助。

基金项目

浙江省“万人计划”科技创新领军人才专项(2022R52031)，浙江省级教学改革工程教育专项(JGCG2024262)。

参考文献

- [1] 李克杰, 齐冬梅. 基于“智慧实验室”的中药化学实验室管理探究与实践[J]. 大学化学, 2024, 39(10): 353-360.
- [2] 杜锟, 支燕乐, 薛贵民, 等. 中药化学实验教学改革探索[J]. 中国教育技术装备, 2021(22): 110-112.
- [3] 谢志新, 林水森. 高职药学院实验室安全管理体系的构建与探索[J]. 健康之路, 2018, 17(5): 285-286.
- [4] 华霜, 王春兰, 孙莉佳, 等. 中药化学实验教学改革探索[J]. 药学教育, 2024, 40(1): 81-83.
- [5] 孙彦君, 陈辉, 张艳丽, 等. 中药化学实验教学改革方法[J]. 中医药管理杂志, 2021, 29(21): 12-14.
- [6] 于鑫, 张霞, 付雪艳, 等. 基于高职教育的中药化学实验教学改革探讨[J]. 现代职业教育, 2021(50): 220-221.
- [7] 卜秋菊, 齐天昊, 曹星辰, 等. 以培养现代化炮制人才为导向革新实验教学设备[J]. 药学研究, 2025, 44(1): 94-99.
- [8] 张啸环, 张洪涛, 孟灵旭, 等. 《中药炮制学》课程虚拟仿真实验教学平台的构建与探究[J]. 特产研究, 2021, 43(3): 123-126.
- [9] 陈萍萍, 陈娜娜. 《中药化学》课程实验教学研究[J]. 临床医药文献电子杂志, 2018, 5(56): 177-178.
- [10] 陈榕. 职业院校药学实验教学面向未来职业的探讨[J]. 时代教育(教育教学), 2010(6): 132.
- [11] 陈娟, 林生, 刘晓东. 加强实验教辅人员队伍建设促进药学实验教学改革[J]. 药学教育, 2010, 26(1): 24-28.

- [12] 韩娜. 智能监控技术在化工安全生产管理中的应用与效能评估[J]. 化工管理, 2025(29): 83-86.
- [13] 葛镜, 张国平, 王宁宁, 等. 基于环境安全的实验室智能监控管理系统[J]. 实验科学与技术, 2024, 22(5): 147-152.
- [14] 张希. 编制本科中药学专业设置标准几个问题的探讨[J]. 成都中医药大学学报(教育科学版), 2011, 13(3): 5-6.
- [15] 沈蒙, 詹雪艳, 袁瑞娟, 等. 中药学类专业多维度实验教学体系的构建[J]. 药学教育, 2017, 33(6): 33-36.
- [16] 周蓓, 吴燕春. 临床中药学实践教学改革探索和实践[J]. 教育教学论坛, 2015(8): 138-139.