

人工智能在智能气调储粮技术中的创新应用与展望

李宗权 陈伟 孔庆伟 郭桂新 孙振邦
广东省储备粮管理集团有限公司东莞直属库
DOI:10.12238/as.v8i11.3448

[摘要] 随着“人工智能+”行动的深入推进,将AI技术应用于粮食仓储领域,实现储粮模式的智能化升级,已成为保障国家粮食安全的必然趋势。本文通过探讨人工智能与智慧仓储技术的融合,构建一个集成化、自适应、协同联动的智能气调储粮系统。该系统能够实时监测、精准调控和优化气调过程,解决当前气调工艺中的智能化控制水平不足、气密性问题、害虫防治死角和数据互通性差等问题,最终实现气调作业的智能化、高效化和节能化。

[关键词] 人工智能; 氮气气调; 优化; 精准

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Innovative Application and Prospect of Artificial Intelligence in Intelligent Controlled Atmosphere Grain Storage Technology

Zongquan Li Wei Chen Qingwei Kong Guixin Guo Zhenbang Sun

Dongguan Branch of Guangdong Provincial Reserve Grain Management Group Co., LTD

[Abstract] With the in-depth advancement of the "Artificial Intelligence +" initiative, applying AI technology to the field of grain storage to achieve intelligent upgrades in grain storage models has become an inevitable trend for ensuring national food security. This article explores the integration of artificial intelligence and smart warehousing technology to construct an integrated, adaptive and collaborative intelligent controlled atmosphere grain storage system. This system is capable of real-time monitoring, precise regulation and optimization of the controlled atmosphere process, addressing issues such as insufficient intelligent control levels, airtightness problems, blind spots in pest control and poor data interoperability in current controlled atmosphere processes. Ultimately, it aims to achieve intelligent, efficient and energy-saving controlled atmosphere operations.

[Key words] Artificial Intelligence; Nitrogen gas regulation; Optimization; Precision

引言

粮食安全是治国安邦的头等大事,仓储环节作为粮食流通的“蓄水池”,其技术水平直接关系到粮食产后减损与品质保障。我国作为粮食生产与消费大国,每年因仓储环节的虫害侵蚀、温湿度失衡等问题造成的粮食损失高达数千万吨,传统储粮模式已难以满足现代化粮食安全保障的刚性需求。气调储粮技术作为一种绿色、环保的储粮方式,通过调控仓内气体成分(如氮气浓度)抑制害虫繁殖与粮食呼吸作用,已成为替代化学熏蒸的核心技术路径。

随着“人工智能+”行动向农业领域深度渗透,智能化升级成为破解传统气调储粮痛点的关键抓手。当前,我国智能气调储粮技术虽实现了基础自动化监测与远程控制,但在精准调控、设施密封、虫害防治、系统协同等方面仍存在明显短板,导致气调效果不稳定、能耗偏高、管理效率不足等问题突出。如何将人工智能技术与气调储粮工艺深度融合,构建集成化、自适应、协

同联动的智能系统,实现从“经验驱动”向“数据驱动”的转型,成为推动仓储行业高质量发展的重要课题。基于此,本文聚焦人工智能在智能气调储粮技术中的创新应用,系统分析当前技术现状与核心问题,提出针对性的实施策略与路径,为打造高效、节能、安全的现代化储粮体系提供技术参考,助力国家粮食安全战略落地。

1 现状与存在问题

当前智能气调技术已基本实现基础自动化监测与远程控制,正处于从单点自动化向数据驱动决策迈进阶段^[1-3]。中储粮莆田直属库郑秉照等人^[4]将充氮气调技术流程编成计算机程序,对充氮气调工作流程进行智能化控制,采用自动化控制监控技术,实现远程无人值守管理充氮过程。无锡中粮工程科技有限公司丰寿强等人^[5]通过将传感器、物联网以及控制算法融入气调控制系统,实现了仓内环境参数的实时监测和精准控制。尽管部分技术人员针对智能气调技术开始探索AI算法优化与多系统

联动,但整体仍面临着以下挑战,全面智能化尚处于示范攻坚阶段。

1.1 当前气调工艺调控精度不足

当前气调作业参数设定主要依赖人工经验,缺乏数据支撑与精准调控,未能掌握不同阶段的最佳流量、氮气浓度与仓压变化组合,基本采用单一作业模式,制约了制氮机组的高效稳定运行。

1.2 仓储设施存在隐性气密问题

管道阀门、法兰等连接处因长期使用或温差形变,可能产生难以直观发现的隐性裂缝或松动,导致气体缓慢泄漏,难以察觉,造成气调能耗增加,仓内有效气体浓度难以长时间维持,成为能耗管控的短板和虫害防治的薄弱环节。

1.3 粮堆内部存在虫害防治死角

仓门、墙角、减压管周边等区域容易形成氮气分布薄弱区域,导致局部氮气浓度偏低。这不仅为害虫的生存和繁衍提供了条件,也迫使补气次数增加,增加了额外的能耗与运营成本。

1.4 各子系统间缺乏智能协同联动

气调系统与粮情测控、温湿度管理、能耗监控等其他业务系统相对独立运行,未能实现数据的深度融合与业务的智能协同,形成“数据孤岛”,阻碍基于多参数综合分析的优化决策,限制整体仓储管理效能的提升。

1.5 气调效果评估结果相对滞后

当前气调杀虫效果评估主要依赖作业结束后的人工进仓检查,这种事中验证模式存在明显滞后性。由于无法在气调过程中实时掌握杀虫进展,一旦散气后发现效果不达标,重新充氮补气的时间与经济成本较高。

2 创新应用分析

2.1 构建“感-知-控”一体的智能控制中心,实现精准调控与协同治理

2.1.1 智能决策与精准执行控制

系统基于内嵌AI算法与气体流场仿真模型,构建自适应调控机制。通过分析气调数据与实时浓度变化,动态生成分阶段调控策略,精准调节制氮机流量、浓度输出与实时仓压,实现从单一模式到多阶段精准调控的转变,缩短达到目标浓度充氮时长,降低整体能耗。在仓内关键区域部署辅助导流装置,结合计算流体动力学仿真,对气体在粮堆内的流场分布与浓度变化进行数字化模拟,确保氮气均匀分布至各个角落。系统支持一键启动预设模式,在此基础上,建立气调效果实时评估与预测机制,通过分析气体浓度维持时间与杀虫效果的相关性,构建效果预测模型,使系统能够前瞻性判断气调进程,并在浓度即将偏离阈值时提前触发干预指令(如自动补气、调整环流),最终在确保浓度稳定与杀虫效果的同时,实现能效最优化。

2.1.2 多系统深度融合与智能联动

将气调系统与粮情测控、能耗监测、多参数粮情监测等子系统深度集成,构建统一的数据平台,实现温湿度、虫害、气体浓度、设备能耗等多源数据的共享与融合,平台可利用智能算法

建立诊断模型,根据系统发现的局部虫害活动,结合人工判断选择性触发气调系统调整该区域的气体成分以抑制害虫活动,实现协同治理,形成“监测-分析-决策-执行”的闭环智能联动机制。在关键阀门、法兰处安装无线压力传感器或区域声波检测装置实时监测,一旦发现异常微小泄漏即自动报警或通过能耗异常与持续高频补气关联诊断隐性气密问题。

2.2 打造自学习与自适应的气调优化模型,实现动态优化与能效提升

2.2.1 模型训练与迭代优化

利用机器学习模块,构建覆盖数据感知、算法训练、仿真验证与效果评估的闭环优化体系。首先,基于物联网传感器持续采集粮仓内多维实时数据(包括温度、湿度、气体浓度、害虫活动等)及设备能耗数据,结合历史气调记录,形成高质量训练数据集。随后,引入深度学习网络,对多源数据进行融合分析,识别气调过程中气体浓度衰减规律、虫害抑制效应与能耗之间的复杂非线性关系,动态优化气调关键参数(包括目标浓度、仓房压力、排气时长、环流频率等)。同时,嵌入强化学习算法,使系统能够根据气调作业的实际效果(如杀虫率、粮食品质变化、能耗指标)进行自我策略调整,实现参数配置的在线自校正。

2.2.2 知识沉淀与策略库构建

构建一个持续演进的气调知识库与策略库,实现专家经验的系统化沉淀与智能化复用。该体系首先对每次气调作业的全流程数据(初始参数、环境条件、设备运行状态、最终效果评估)进行自动化采集与标注,并借助自然语言处理技术,将优秀保管员的实操经验转化为结构化知识条目。随后,通过数据挖掘与模式识别算法,从海量历史作业数据中自动提炼出针对不同粮食品种、特定仓型、不同季节气候及特定虫害背景下的最优调控策略。将这些经过实践验证的有效策略固化为一系列标准化的“气调模式”(如“华南地区浅圆仓玉米气调模式”),并明确每种模式的适用前提、关键参数设置及预期效果。策略库具备版本管理功能,支持模式的比较与更新。当系统面对新的气调场景时,可基于实时数据在策略库中进行快速匹配与检索,推荐最相近的成熟模式作为基础方案,并可结合当前具体情况进行微调。同时,设计策略效果反馈机制,每次应用后的实际效果数据将反哺策略库,用于对现有策略进行有效性评估和持续优化修正。通过“实践-沉淀-复用-优化”的闭环过程,使得系统能够不断积累知识,降低对个别专家的依赖,提升应对复杂多变气调场景的适应性与整体性能。

3 预期效果分析

3.1 调控精度与稳定性得到提升

气调作业基本摆脱对传统人工经验的依赖,实现高度的自动化与标准化。

3.2 能耗与运营成本得到控制

通过精准控制、主动消除气调死角、实施预测性补气及早期泄漏预警,降低系统整体气调能耗,并带动运营成本同步下降。

3.3 虫害防治效果得到全面增强

粮堆内部氮气分布更加均匀,建立起全方位的气调防治体系,为储粮安全提供更为坚实的保障。

3.4 仓储管理效能迈上新台阶

成功打破“数据孤岛”,实现跨系统的智能协同与联动决策,推动仓储管理模式从被动响应向主动预警和智能化运营转变,提升整体管理效能。

4 结论与未来展望

本文围绕人工智能与智能气调储粮技术的融合应用展开深入探讨,针对当前气调工艺中存在的调控精度不足、气密隐患、虫害防治死角、系统协同缺失及效果评估滞后等核心问题,提出了“感-知-控”一体化智能控制中心构建、自学习自适应气调优化模型打造的实施路径,为智能气调储粮技术的升级提供了系统性解决方案。

通过内嵌AI算法与气体流场仿真模型的应用,气调系统实现了从单一模式到多阶段精准调控的转变,有效提升了氮气浓度分布的均匀性与稳定性;多系统深度融合打破了“数据孤岛”,构建了“监测-分析-决策-执行”的闭环联动机制,强化了对隐性气密问题与虫害风险的精准防控;自学习模型与策略库的构建则实现了专家经验的系统化沉淀与智能化复用,降低了对人工经验的依赖,推动气调作业向标准化、高效化转型。预期应用效果显示,该技术路径可显著提升调控精度、降低能耗与运营成本、增强虫害防治效果,推动仓储管理从被动响应向主动预警的

智能化转型。

未来智能气调技术将与数字孪生技术深度融合。通过在虚拟空间中构建一个与物理粮仓完全同步的“数字粮仓”,可以进行各种极端场景下的模拟推演和方案优化,实现真正意义上的预测性维护与全局最优决策。智能气调将不再是一个孤立的系统,而是成为智慧粮仓“云-边-端”协同体系中一个高度自主的智能节点,为构建安全、绿色、高效、智能的现代化粮食储备体系提供核心支撑。

[参考文献]

[1]苏亚洲,张凯锋.粮库智能化氮气气调系统开发与应用分析[J].现代食品,2024,30(06):4-6+210.

[2]徐笑.基于云边协同的智能化气调储粮系统设计与实现[D].安徽大学,2021.

[3]肖雄雄,谢昕凯.立筒仓智能充氮气调储粮控制系统应用[J].现代食品,2019,(10):1-5.

[4]郑秉照,林涛,林小龙.充氮气调智能控制管理系统在浅圆仓中的应用[J].粮食科技与经济,2023,48(06):99-103.

[5]丰寿强,杨自勤,钱思宇,等.储粮氮气气调智能化控制系统的设计和应用[J].现代食品,2024,30(18):10-14.

作者简介:

李宗权(1997--),男,汉族,湖南武冈人,硕士研究生,粮油保管员,研究方向为粮食储藏、绿色储粮技术应用等。