构建粮仓“1+1+N”AI智能体生态系统框架设计方案

前　言

立足国家粮食安全战略全局与数字中国建设纵深推进的时代坐标，大国粮仓的现代化治理已成为保障民生根本、稳定经济大盘、筑牢国家安全屏障的核心支撑。当前，储粮行业正处于从传统管理模式向智能治理体系跨越的关键拐点，亟需以战略思维破除路径依赖，以技术革新驱动产业升级。本方案锚定“智管赋能、安全增效”核心导向，立足储粮全生命周期管理需求，构建**“战略引领—技术驱动—生态支撑”**的智慧储粮发展新格局。

坚持以双重范式革命为战略目标，推动储粮行业从“经验驱动”向“数据智能驱动”、“被动寻解”向“主动预警”的根本性跃迁，通过技术赋能与机制创新，让一线保管员从繁重体力劳动与经验判断中解放，转型为专业化“粮食健康管理师”与高阶“粮仓安全管控师”，实现人机协同的现代化储粮治理升级；以“数据+AI”双轮驱动为核心引擎，构建全域感知网络与数据中台，打造“采集—分析—决策—反馈”全链路智能闭环，让数据要素转化为储粮安全的核心生产力；以前沿科技一体化集成为技术路径，依托数字孪生构筑核心基座，融合AIoT、区块链、太赫兹感知等关键技术，针对存量与新建仓房实施差异化升级，构建自感知、自适应、自决策、自进化的智慧技术体系；以“1+1+N”全域协同为架构支撑，通过“生态大脑”统筹调度、“生态心脏”算法赋能、“生态铠甲”场景落地，实现跨层级、跨区域、跨流程的全生命周期协同运转。

本方案既是响应国家粮食安全战略的必然选择，也是推动储粮产业

高质量发展的实践路径，旨在以数字化、智能化、绿色化转型破解行业发展痛点，全面提升储粮安全保障能力与治理效能，为筑牢大国粮仓、护航国家长治久安提供坚实支撑。

一　方案背景与行业痛点分析

储粮行业在粮食全链条中扮演关键角色，储备粮管理在实际操作中面临多重挑战，涉及交易平台规范性、仓储设施状况、人员配置与能力、资金保障及内部控制等多个环节，主要问题集中在粮库基础设施、技术应用、管理效率及市场衔接等方面。

（一）入库环节效率低且风险高：粮食收购高峰期，车辆排队拥堵、扦样化验流程繁琐，人工操作易出现误差，且缺乏对运输车辆合规性的前置核验，存在“带病”车辆入库的隐患。

（二）仓储管理粗放且依赖经验：传统粮情监测依赖人工巡检，存在“手摸鼻闻”的局限性，对虫霉、结露等风险预警滞后；通风、控温等作业凭经验开展，易造成能源浪费和储粮损耗。

（三）安全监管存在盲区：库区人员违规入仓、设备故障未及时发现、粮食数量异常变动等问题难以及时察觉，且多系统数据孤岛严重，无法实现联动预警。

（四）设施运维响应滞后：仓房设备、清洁系统的维护依赖定期人工排查，缺乏预测性维护能力，故障突发易影响储粮安全；高粉尘、密闭仓房的清洁作业还存在人员安全风险。

（五）跨层级监管协同不足：地方粮库以及租赁库点与直属库数据互通性差，难以实现“穿透式”监管，应急事件处置缺乏高效联动机制。

（六）首个储粮大模型“稷元”部署和应用存在难点：2025年中储粮

集团公司积极落实国务院国资委“人工智能+”战略安排，与中国移动联合研发了粮食行业首个储粮大模型“稷元”，汇聚超过20万条高质量储粮知识单元，系统融合各类标准、政策法规等权威知识体系，融合储粮工艺、仓储管理、虫霉防控等关键内容。但是该大模型还处于早期阶段，在实际粮仓部署和应用上还有许多待解决的难题，比如与智能传感器联动、与巡检和作业机器人协同等。

二　总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，完整准确全面贯彻新发展理念，积极响应国家“藏粮于技”和“人工智能+”行动的战略部署，加快培育发展新质生产力，认真贯彻国家发展改革委《政府粮食储备安全风险事项报告管理办法（试行）》精神，以粮仓智能化升级为核心，以绿色储粮为目标，通过部署多个高度协同的专用AI智能体，旨在构建一个以“数字+AI”双轮驱动、具备自主感知、决策与执行能力的“人工智能+”粮仓智能体生态系统，对粮食出入库、仓储保管、安全监管、设施运维等全链条进行闭环管理，覆盖粮食储备全生命周期，破解巡检效率与准确率低、监控与数据取证差、信息孤岛联动难、智能化管理不到位等痛点难点，达到“看得见、管得住、储得好”的智能化升级目标，完成从“人管粮”到“智护粮”的跨越式转变，实现仓内到云端、地方至中央的“穿透式”“监管“，最终达成储粮损耗率低于0.5%、粮情预警准确率超95%、综合运营效率提升40%以上的目标，为确保储粮安全、减损增效，提供坚实、长效的“人工智能+”支撑。

三　设计思路

系统建设的总体设计思路是，以物联网（IOT）和数字孪生技术为基础设施，以基于人工智能（AI）的大小模型为核心驱动，构建一个“云-边-端”协同、具备自主进化能力的储粮智能体生态系统。

（一）核心目标：实现储量管理双重范式跃迁。推动储粮行业从“经验驱动”向“数据智能驱动”、从“被动寻解”向“主动预警”的根本性范式跃迁，通过技术赋能为一线保管员减负增效，助力其从繁重体力劳动与经验判断模式中解放，转型为专业化“粮食健康管理师”与高阶“粮仓安全管控师”，构建人机协同的现代化储粮管理新格局。

（二）核心驱动：构建“数据+AI”全链路智能闭环。采用“数据底座+AI引擎”双轮驱动模式，依托全域感知网络（含多维度传感器矩阵与全景视频监控系统），全时全域采集粮堆“温、湿、虫、霉、气”等核心物理与生物指标，同步捕获作业现场全景数据，构建全域储粮数据中台。基于该数据底座，部署多场景适配型AI算法模型，形成“数据采集-智能分析-决策输出-执行反馈”的全链路智能闭环，实现从数据感知到精准决策的端到端赋能。

（三）技术路径：前沿科技一体化集成落地。以数字孪生技术构筑核心技术基座，一体化集成人工智能+物联网（AIOT）、区块链、太赫兹感知等前沿技术，聚焦精准靶向控温、全域智能物联、数字孪生映射、AI智能决策等核心技术突破。针对存量仓房，实施分阶段、分场景绿色智能化升级改造；针对新建仓房，实现技术体系原生集成部署。基于中储粮集团的“稷元”大模型为基础，探索模型轻量化技术并部署于边缘设备；研究基于多模态的粮情异常检测与预警小模型、多异构机器人协同巡检作业系统等，提高粮食存储的智能化、机器人化；依托“技防+技控”一体化管控平台，构建全辖区、全流程智能预警体系，最终形成

自感知、自适应、自决策、自进化的智慧储粮技术体系。

（四）系统架构：“1+1+N”全域协同生态架构。构建“1+1+N”一体化融合型AI智能体生态架构，实现各模块深度协同与高效运转：

1、“1”个“生态大脑”——全域协同数字孪生智能管控平台（强化跨层级、跨区域联动模块），承担全局调度与统筹决策功能；

2、“1”个“生态心脏”——AI能力中台（重点迭代绿色节能算法与轻量化部署模型），提供核心算法支撑与能力输出；

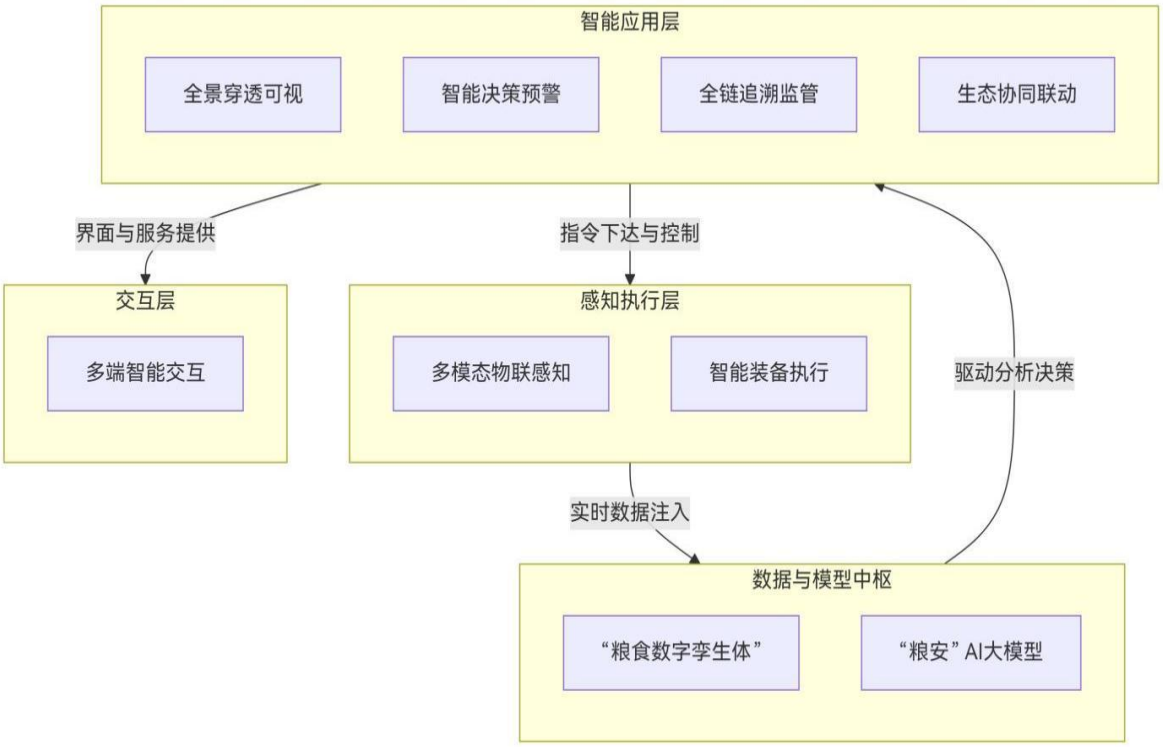
3、“N”个“生态铠甲”——场景化AI专业智能体（含车辆入仓智能引导、设备预测性维护、粮情异常溯源等新增模块），覆盖粮食储备“收-储-管-运-耗”全生命周期。

各专业智能体既具备场景化独立任务执行能力，又通过“大脑-心脏”双中枢实现跨场景分工协作、全域协同联动，确保体系高效运转。

四　框架设计方案

以“生态大脑”统筹全局、“生态心脏”赋能核心、“生态铠甲”场景落地，构建“决策-能力-执行”三级联动的一体化融合架构。通过“大脑-心脏-铠甲”的双向数据流转与指令协同，打破技术与业务壁垒，实现仓储管理从“分散操作”到“全域协同”、从“经验驱动”到“智能决策”的跨越式升级，筑牢粮食安全与绿色运营双重防线。

（一）“1”个“生态大脑”——全域协同数字孪生智能管控平台（跨层级/跨区域联动中枢）：该平台的核心，是构建一个能实现全域感知、智能决策和穿透式指挥的数字孪生中枢，其核心构成与数据流转逻辑见如下架构图：



1、全景穿透可视：数字孪生全域映射：建物理粮仓与虚拟场景的实时联动映射体系，实现“一张图统揽、全要素可视、全流程可溯”：

（1）全域三维可视化：融合GIS地理信息系统与BIM建筑信息模型技术，打造“区域粮库分布-库区全景-仓房结构-粮堆温度场”四级穿透式三维地图。管理者可通过指挥大屏、移动端等多终端，直观掌握粮情（温湿虫霉气）、仓情（设备状态、空间布局）、库情（物资储备、能耗数据）全域动态。

（2）数据穿透式查询：建立“一仓一码、一车一码”全生命周期溯源体系，点击虚拟地图任一节点，即可穿透调取粮食储备品种、数量、质量等级、入库时间等静态信息，以及实时温湿度曲线、虫害预警等级、设备运行参数等动态数据，实现“数据可查、轨迹可追、责任可溯”。

（3）智能视频巡检：集成AI视觉巡检智能体，支持固定点位自动巡航、重点区域远程操控、异常场景智能聚焦，实时识别粮面结露、设备异响、人员违规操作等细节问题，同步生成可视化巡检报告。

（4）绿色能源监测面板：整合库区光伏电站、储能设备、节能空调等绿色设施数据，实时展示清洁能源发电量、绿电消纳率、单位粮食储存能耗、碳减排量等核心指标，可视化呈现粮库“碳足迹”，为绿色运营决策提供数据支撑。

2、智能分析与预警：AI驱动风险预判：依托“数据+AI”双轮驱动，实现从“被动响应”到“主动预见”的转型，预警准确率稳定超95%并动态迭代：

（1）多模态粮情预警：融合传统传感器数据与高光谱成像、虫害图像识别、气体浓度监测、太赫兹穿透检测等多模态感知数据，通过利用和完善中储粮“稷元”大模型并进行交叉研判，准确率可超过95%，实现霉变、结露、虫害、气体超标等风险的早期预警与精准定位。

（2）智能调控决策支持：AI模型深度融合气象数据、光伏发电曲线、峰谷电价政策，自动生成“绿电优先、能耗最优”的仓储环境调控方案，优先在光伏供电高峰时段启动通风、控温作业，降低市电消耗；基于数字孪生模型模拟不同调控策略效果，自动输出最优保管方案。

（3）AI语音交互助手：支持多终端自然语音交互，管理者可通过语音查询特定仓房粮情、全域预警统计、出入仓作业进度等信息，系统自动汇总分析数据并语音播报核心状态、潜在风险及分级处置建议，提升决策效率。

（4）跨区域应急联动预警：建立重大险情（大范围虫害、火情、水患）智能识别与分级响应机制，平台自动联动上级监管平台，同步推送险情位置、实时数据及标准化处置建议，实现跨层级、跨区域协同处置。

3、全链追溯与监管：技术筑牢双重安全防线。以“合规可控、数据可信”为核心，构建全流程监管体系，筑牢“粮食安全”与“资金安全”双重防线：

（1）车辆入仓前置监管：建立“线上预约-前置核验-智能引导-无感入库”闭环流程。车辆抵达库区前，通过移动端APP完成行驶证、运输资质、人员身份等信息核验，违规车辆自动触发拦截预警；入库时，由智能引导机器人引导车辆精准停靠，通过扫码完成登记，全程减少人工干预，提升入库效率。

（2)全业务流程监管：对粮食收购、入库、储存、出库、销售全流程进行数字化管控，通过区块链技术对关键数据（车辆轨迹、称重数据、质检结果、购销合同）进行存证，确保数据不可篡改。系统自动比对多维度数据，智能预警“转圈粮”“超架空期”“质检异常”等违规行为，实现“业务合规、风险可控”。

（3）财粮数据联动分析：打通粮食实物库存、购销合同、资金流水、发票信息等数据链路，通过AI模型进行交叉核验，自动识别“账实不符、财粮脱节”等异常情况，生成监管预警报告，从技术上防范资金挪用、管理舞弊等风险。

（4）监管工单闭环管理：建立“预警触发-工单生成-指派流转-处理反馈-复核归档”全流程闭环管理机制，系统自动对预警信息或人工上报异常生成处置工单，跟踪记录流转、处理、反馈全过程，确保问题“有人管、有结果、可追溯”。

4、生态协同与联动：全域智能体协同作业。“大脑”为核心，指挥调度全生态智能体协同作业，实现仓储运营的自动化、无人化：

（1）智能出入库调度：联动智能扦检机器人、液压翻板卸粮系统、车辆引导机器人、自动进出粮机器人、智能计量设备，构建“预约-核验-扦样-卸粮-计量-入库”全流程无人化作业线，作业效率提升50%以上，降低人工成本。

（2）仓储作业自动化：基于粮情监测数据与AI决策建议，向智能通

风、空调控温、气调储粮、环流熏蒸等智能体发送精准调控指令，实现储藏环境的自动调节，控温精度误差≤±0.5℃，确保粮食储存品质。

（3）应急指挥联动：针对火情、水患、气体泄漏等紧急情况，平台可一键启动应急预案，自动联动安防监控、消防系统、门禁系统、应急广播，同步规划人员疏散路径与救援路线，实现“预警–响应–处置–恢复”全流程高效联动。

5.关键技术支撑与实施路径：

（1）“数据+AI”双轮驱动：构建以粮食数字孪生体为核心的数据中台，整合全域多模态数据，部署仓储专用垂域小模型（粮情预测、能耗优化、违规识别等），实现“感知–分析–决策–执行–反馈”的全链路智能闭环。

（2）自主可控感知硬件：采用国产化多模态智能探杆等设备，实现温、湿、水、气、虫“五合一”实时监测，降低硬件采购与维护成本，提升系统自主可控性（国产化率≥95%）。

（3）“云边端”协同架构：仓房边缘节点负责实时控制指令处理（响应延迟≤50ms），云端负责大数据分析、模型训练与全局调度，确保系统在复杂环境下的稳定性与响应速度。

（4）智能接待导览机器人：集成语音交互、路径规划、信息播报功能，可自动引导访客参观，全面讲解库区规划、智能系统功能、绿色储粮技术、粮食安全政策等内容，提升展示效果。



（5）粮仓智能实时播报系统：构建“粮情动态+能耗数据+作业进度+预警信息”四位一体播报体系，通过库区电子屏、移动端 APP、管理后台等多终端实时推送，支持自定义播报频率与内容，确保管理人员实时掌握全域状态。

案例技术及原理介绍见下图：



PRODUCT INTRODUCTION

产品简介

粮仓实时播报系统是一套基于物联网与智能语音技术的仓储信息交互平台，可自动采集粮温、湿度、气体浓度、虫害等关键数据，并通过语音终端在仓内或中控室实时播报异常预警、作业指令或环境状态。系统支持定时播报、事件触发播报和远程人工干预，提升粮情响应效率，降低人工巡检负担，助力粮库实现“听得见的安全、看得见的管理”。

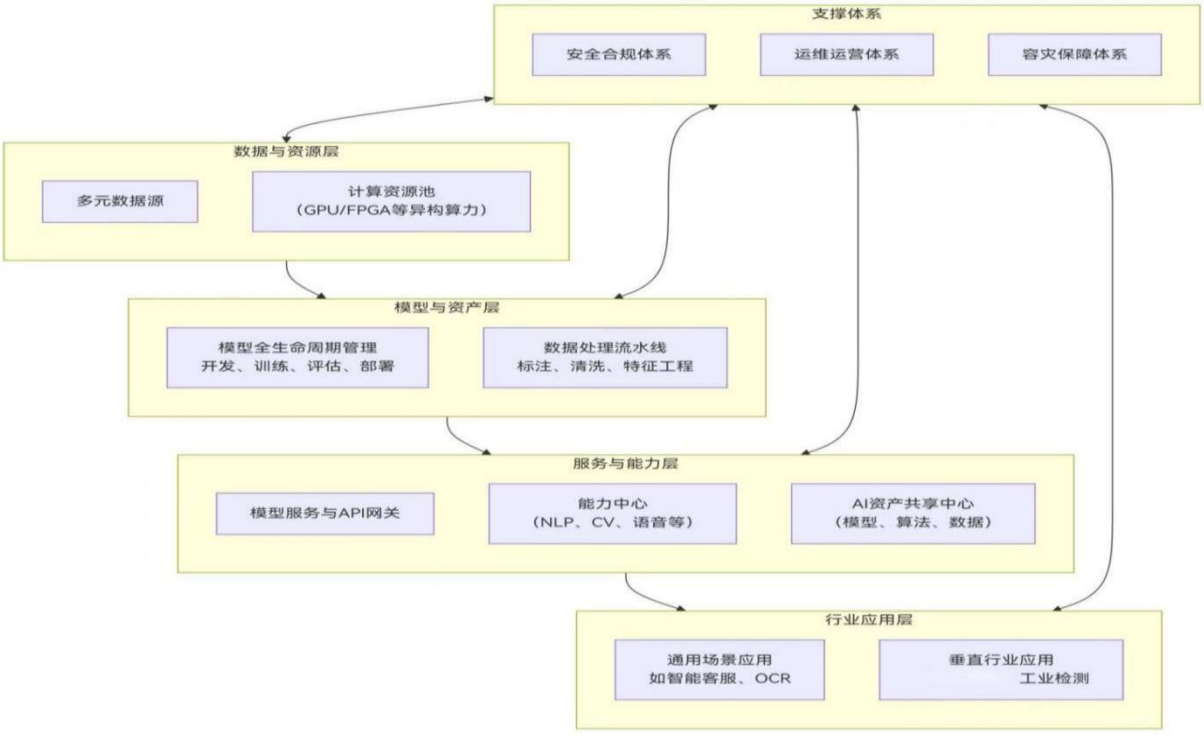
外部电源供电：DC 7-24V	ping网络：支持
平均工作电流：小于500mA	LED指示灯：2个LED指示灯
通信方式：全双工100M以太网RJ45	工作温度：-20至70℃
以太网通信距离：大于100米，与安装使用环境有关系	存储温度：-30至70℃
网络工作模式：HTTP	音频功率：3.3W

PRODUCT VALUE

产品价值

智能感知 自动播报	实时接入粮温、湿度、虫害、气体浓度等传感器数据，一旦发现异常，立即触发声光语音预警，无需人工干预。
全域覆盖 清晰传达	采用高保真防爆扬声器与定向扩音技术，确保在大型仓房、嘈杂环境中语音清晰可辨，实现“仓内听得清、指令传得准”。
无人值守 全天候运行	7×24小时自动值守，大幅减少人工巡检频次，降低管理成本，筑牢粮食储存安全防线。

（二）“1”个“生态心脏”AI中台：用分层解耦、“云边端”协同的架构，确保弹性、安全与可持续性。



1、算法训练平台：标准化、绿色化的AI研发引擎。

定位：构建粮仓领域AI研发全流程标准化管控体系，实现算法研发效率与绿色节能的双重优化。

（1）全流程标准化赋能：覆盖“数据标注-特征工程-模型训练-评估验证-资产归档”AI研发全生命周期，内置视觉识别（CV）、时序预测、多模态融合等粮仓专用算法资产库，支持“判决式”（分类、回归、异常检测）与“生成式”（粮情分析报告自动生成、调控方案智能推演）双类型模型开发，降低研发门槛。

（2）绿色化研发特性：集成自动机器学习（AutoML）与神经架构搜索（NAS）技术，在保障模型精度满足业务需求（核心场景准确率≥95%）的前提下，自动搜索轻量化、高能效的网络结构，减少模型训练阶段的算力消耗与碳排放量，实现“性能-能耗”最优平衡。

（3）场景化标注提效：针对车辆入仓引导、粮品质检、设备故障识别等新增业务场景，搭载自动化多模态数据标注工具（支持图像、视频、传感数据联动标注），标注效率提升50%以上，缩短算法迭代周期30%，加速场景化模型落地。

2、模型部署与服务平台：一键交付、闭环运营的AI能力输出枢纽，定位：打通AI模型从研发到应用的“最后一公里”，实现多环境适配、高实时响应与全生命周期运营。

（1）全场景灵活部署：提供模型一键式封装、跨环境（云、边、端）适配部署能力，构建标准化AI能力集市，将训练成熟的核心算法（如虫害智能识别、粮温趋势预测、环境调控优化模型）以API/SDK标准化形式发布，支持“生态大脑”与N个“生态铠甲”智能体灵活调用，实现AI能力复用。

（2）轻量化与闭环运营：针对粮仓边缘设备算力有限的场景，提供

模型量化压缩、算子优化等轻量化处理方案，确保边缘端部署适配率100%；搭建全维度监控看板，实时监测模型推理性能、数据漂移趋势、业务应用效果，形成“监控预警-模型迭代-重新部署”的闭环运营体系，保障AI能力持续适配业务变化。

（3）高实时响应保障：对虫害识别、粮温异常预警、设备故障瞬时诊断等核心业务模型进行深度轻量化优化，确保在仓房边缘设备上高效运行，端到端响应延迟严格控制在0.5秒以内，满足现场实时决策需求。

3、智能算力调度引擎：全域协同、绿色高效的算力中枢。

定位：构建“三无关、三感知”的全域算力调度体系，实现异构算力资源的最优配置与绿色化运营。

（1）功能设计：建设统一的算力调度中枢，对接底层异构算力资源引入“三无关”调度理念。

▪资源无关：对底层GPU、NPU、CPU及云端/边缘异构算力资源进行统一抽象封装，形成标准化算力池，支持按需动态分配，打破硬件资源壁垒。

▪框架无关：自动适配PyTorch、TensorFlow、PaddlePaddle等主流AI框架，避免技术生态绑定，提升研发灵活性。

▪工具无关：提供标准化工作流接口，兼容各类研发工具链与业务系统，实现AI任务快速交付与集成。

（2）生态调度策略：

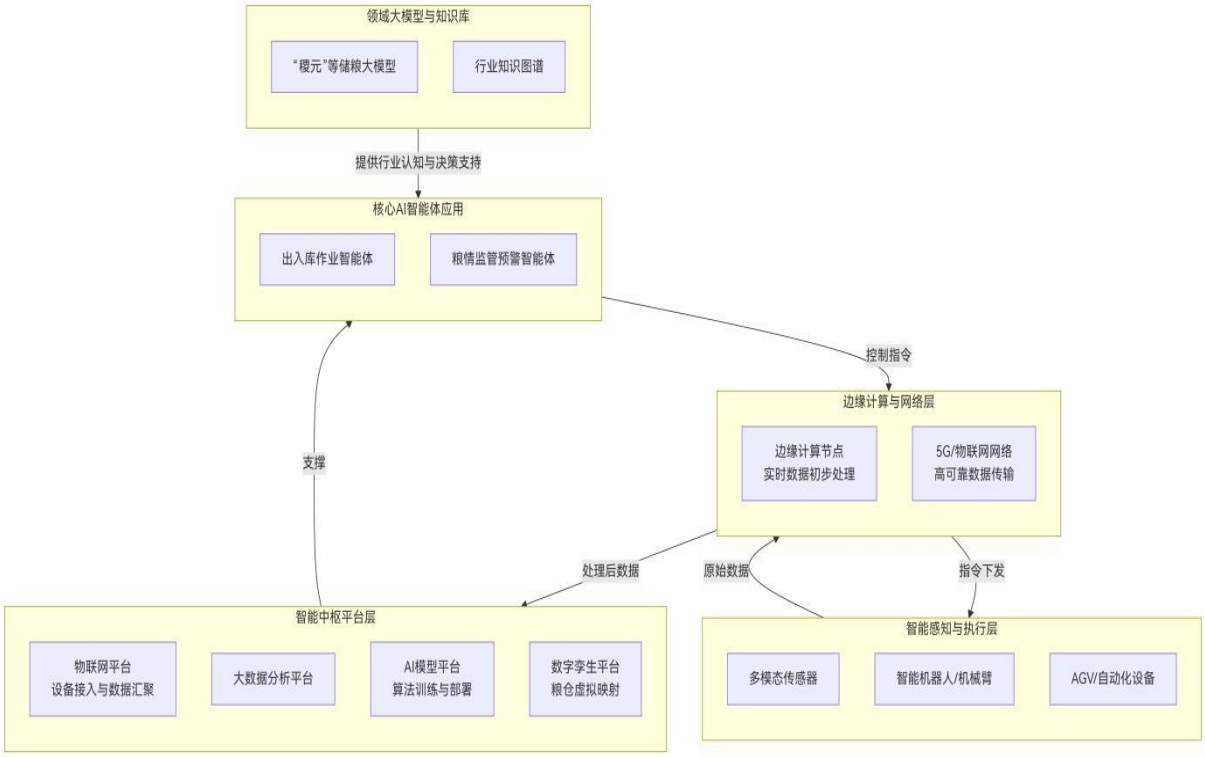
▪动态负载感知调度：基于任务优先级、紧急程度及算力池实时负载，智能分配算力资源，避免资源闲置或过载，算力利用率提升至85%以上。

▪绿色碳感知调度：打通与算力供应商的能源数据接口，在满足业务时延要求的前提下，优先将非实时训练任务调度至可再生能源（光伏、风电）供电的算力节点，降低算力运营碳足迹。

▪边云协同感知调度：构建“边缘实时推理+云端大规模训练”的协同模式，将粮情监测、异常识别等实时性需求高的推理任务下沉至仓房边缘节点，带宽消耗降低40%以上；将模型迭代、大数据分析等大规模算力需求任务汇总至云端集中处理，实现全局效率与成本最优。

（三）“N”个“生态铠甲”AI智能体：以“降本增效、提质保粮、安全可控”为导向，打造覆盖粮食进出库全流程的场景化AI专业智能体，通过融合数字孪生、多模态感知、智能调度等前沿技术，实现作业流程从“人工主导”到“AI自主运行”、监管模式从“事后追溯”到“事前预警”的跨越式升级，成为粮食储备全生命周期的“第一道智能防线”。

1、粮食进出库作业与粮情监管预警AI智能体：针对粮仓出入库作业与监管的AI智能体设计，其核心是构建一个覆盖“端－边－云”、融合感知、决策与执行的协同智能体系。该系统不仅能实现作业流程的自动化，更能通过AI实现监管的智能化预警与决策。



1.1 总体粮食出入库作业AI智能体：这个智能体负责接管从粮食进

库到出库的全流程，目标是实现“无人化”和“精准化”。

（1）智能调度与路径规划：作为指挥中心，它能根据车辆预约、仓容、设备状态自动生成最优的出入库计划。例如，自动调度AGV小车和输送线，将粮食精准分配至指定货位。

（2）入库环节：全流程自动化执行，车辆经系统引导至智能扦样机，自动取样并化验。质检合格后，启动自动化卸粮、清杂、计量和输送流程。在山东港口的案例中，系统还能在入仓环节对大豆进行智能筛查与风险预警，从源头防控板结等问题。

（3）仓内作业：通过堆垛机械臂自动码垛，或使用智能平仓机器人进行粮面平整作业；新增离子虫霉消杀模块联动功能，当AI检测到虫霉风险时，自动启动离子消杀设备，实现无药剂绿色除害；新增无人机与机器狗协同巡检模式，无人机负责高空仓顶巡检，机器狗深入仓房狭窄区域排查，形成“空-地-仓内”立体安防网络；升级人员行为识别算法，可精准识别未穿防护装备、违规操作设备等25种以上危险行为。（注意：无人机新增仓房屋顶防水破损识别功能，实现设施隐患的精准定位。）仓内通风优先使用绿电驱动智能空调、通风设备，兼顾保鲜与节能。

（4）出库环节：系统可一键启动出仓流程。升级3D粮堆形态扫描技术，精准识别粮食板结区域并自动调度平仓机器人作业，对于易板结的粮食（如大豆），山东港口应用的系统能基于3D感知技术，指挥清仓机进行无人化清理作业，大幅提升安全与效率。

（5）数字孪生与实时监控：整个物理流程在数字孪生平台中有同步映射，操作员可在中控室实时监控三维可视化画面，并对异常进行干预。

1.2 粮情监管预警AI智能体：这个智能体是粮仓的“AI健康医生”，负责7x24小时监测粮堆状态，并提前预警风险。

（1）多模态感知与融合：通过部署在粮堆中的智能探杆，同步采集

温度、湿度、气体（CO_2 、O_2 ）、水分及虫害图像等多维度数据。这改变了传统依靠人工“手摸鼻闻”的经验判断方式。

（2）AI智能诊断与预警：

▪虫霉识别：通过图像识别算法，自动识别虫种并计数，在害虫早期爆发时即发出预警。

▪热点预测：分析温度传感器网络数据，构建三维粮温场，预测可能出现的局部发热点。

▪质量研判：综合气体、湿度等多参数，评估粮食的生理活性与储藏品质变化趋势。

▪智能决策与处置建议：这是智能体的高级功能。它不仅能报警，还能给出处置方案，实现“AI助手陪伴式管理”。

1.3 关键技术支撑体系：上述智能应用的实现，依赖于一个坚实的技术底座。

（1）“通专融合”的AI大模型平台：采用“基础大模型+储粮领域知识+垂直工具链”的协同智能体架构。基础大模型采用中储粮集团的“稷元”大模型为基础，负责理解自然语言指令和通用推理；领域知识来自专家经验、国家标准等构建的知识图谱；垂直工具链则指上述具体的虫害识别、粮情预测等专业算法模型。

（2）多元感知与机器人技术：包括成本仅为进口设备约1/5的自研多模态智能探杆、用于盘库和巡检的AI摄像头，以及3D激光雷达（用于测量粮堆体积和形态）。执行终端包括智能平仓机器人、堆垛机械臂和AGV自动导引车。

（3）“端-边-云”协同计算：

▪端：设备端的轻量级算法，用于实时响应和控制。

▪边：在粮库本地部署边缘服务器，处理实时监控视频分析和传感器

数据汇聚，降低云端压力，保障关键业务低延迟。

▪云：云端大数据平台负责海量数据存储、复杂模型训练、全局分析和数字孪生建模。

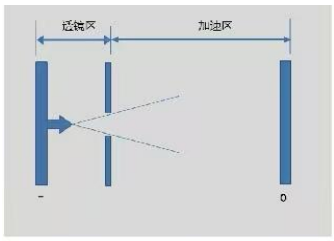
▪统一物联与数据平台：这是连接一切的“神经网络”。通过统一的物联网平台接入所有设备和传感器，打破数据孤岛。在此基础上构建数据中台，对多源异构数据进行治理、分析，为上层应用提供“数据燃料”。

1.4、具体支撑技术实施案例参考：

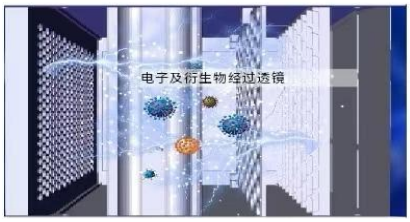
（1）全自动出入仓系统，技术原理及功能见下图：



（2）离子透镜粮食虫霉消杀技术：该技术针对仓内粮食储藏存在的微生物、真菌毒素超标和虫卵等问题，利用电晕法激发电子作用于谷物进行微生物灭活的新型消杀技术，对各种微生物和虫卵灭活率＞99.99%，对黄曲霉毒素B1、呕吐毒素、玉米赤霉烯酮等真菌毒素降解率＞50%。实际应用当中对真菌毒素污染的粮食处理效率逾75%。技术原理见下图：







离子透镜消毒技术原理：在高压静电场的激发下于电晕极逸出电子，同时出现雪崩效应，指数级放大自由电子数量(1012/cm3)，在电场的驱动加速下轰击微生物，破坏微生物的生物完整性，完成消毒过程，同时破坏毒素的分子结构起到解毒作用。

（3）粮仓专用外骨骼机器人，技术原理及功能见下图：



多场景精准助力	支持步行、竞走、上坡、上楼梯、下楼梯5种动作识别，6档助力模式可调节，适配城市通勤、户外运动、康复助老等多元场景。
强劲动力输出	搭载16Nm大扭矩电机，瞬时爆发力强劲，爬坡、负重行走时能提供稳定澎湃的助力，降低35%爬坡能耗。
长效续航与快充	配备3000mAh3C锂电池，单次续航可达2-4小时，支持10000-12000 步或 6 公里续航，充电≤120分钟即可满电。
便捷操作体验	支持自适应模式+APP 切换，配备单独软胶电源键、助力加减键，操作直观，学习成本低；支持 4G、蓝牙连接及语音功能，主机四灯显示电量，低电量时语音报警。
高性能配置 满足更多元需求	具备15kg有效负载、2.5小时有效负载续航和80cm越障能力，搭载360° ×90° 视野的96线激光雷达，支持自主导航与全向避障，并可选配自主充电，拥有强大的扩展能力。
轻量化与便携设计	整机净重 2.07kg（不含电池），采用3K碳纤维腿部力臂与铝合金材质，兼顾轻量与坚固；支持折叠收纳，最小收纳体积420230140mm，便于携带。
安全防护特性	IP54级防水防尘，适应多变环境；站座自动启停，姿态检测功能保障使用安全；双重腿部绑缚设计，穿戴稳固贴合。

（4）粮仓专用平仓机器人，技术原理及功能见下图：



功能	参数
外轮廓尺寸（长宽高）	580×1000×520mm
整备质量	30kg
最小离地间隙	35mm
履带贴地	0.26平方米
动力类型	纯电动
电池类型	磷酸铁锂
额定系统容量	2.2KWh
充电时间	2-3 小时
续航时间	4 小时
电池安装模式	快速替换模式
驱动电机额定功率	3.2kw
铲斗宽度	580mm
最大平仓效率	1400m2/h





产品价值

智能高效：7×24小时连续作业，单机日均可平仓数百吨，大幅提升入仓效率；
安全可靠：替代人员进入密闭粮仓，规避缺氧、粉尘、熏蒸气体等高危风险；
精准平整：粮面平整误差≤±3cm，有利于后续通风、测温、熏蒸等储粮工艺实施；
无缝协同：可与输送设备、粮情监测系统、智慧粮库平台联动，融入全流程自动化仓储体系。

2、安防监管AI智能体：遵循“感、传、知、用”的逻辑，自下而上分为四个层次，共同构成一个能够自主感知、分析、决策与联动的智能体。

2.1 智能感知层（“感官”层）：

（1）核心功能：负责多维数据采集，是系统的“眼睛”和“皮肤”。

（2）关键组件与技术：

▪视频监控：部署带23倍以上光学变焦的高清摄像头，可清晰捕捉粮面细节。利用AI视频分析技术，自动识别人员入侵、单人违规入仓、粮面异动、违规吸烟等行为。

▪关联多维传感器网络：关联仓房空间红外热成像、有害气体等传感器。

▪立体巡检装备：投入智能巡检机器人进行地面巡检，使用无人机进行空中巡航，构建“地空一体”的无死角监控网络。

2.2 网络与通信层（“神经”层）：

（1）核心功能：保障数据高速、稳定、安全传输。

（2）关键组件与技术：

▪融合通信网络:采用工业物联网关整合多协议传感器数据。通过POE交换机、Wi-Fi6无线AP、光纤网络等，搭建高速、低延迟的局域网络。

▪边缘计算节点：在仓库近端部署边缘计算设备，对视频流等大带宽数据进行初步分析，实现异常事件的秒级本地响应，减轻云端压力。

2.3 AI智能中枢（“大脑”层）：系统的决策核心，负责数据汇聚、智能分析、模型决策与指挥调度。

（1）多模态数据融合平台：整合来自视频、传感器、机器人等多源异构数据，进行时空关联分析，形成对粮仓状态的统一认知。

（2）AI算法仓库：内置多种专用算法模型，如粮情预测模型（预测发热、霉变趋势）、虫害识别模型（自动识别虫种并判断等级）、3D清仓分析模型（利用激光扫描识别板结与测算体积）等。

（3）智能预警与决策引擎：基于规则引擎和机器学习模型，对风险进行智能定级(高、中、低)，自动触发分级预警。结合大语言模型(LLM)

技术，生成通俗易懂的风险说明和处置建议，充当管理员的“AI助手”。

2.4 应用与交互层（“手脚”层）：提供人机交互界面，并执行智能中枢的决策指令。

（1）数字孪生管控平台：构建与物理粮仓1:1对应的三维可视化数字模型，实现粮库全景、仓内粮堆形态、设备状态的“一张图”沉浸式管理。

（2）多端智能应用：提供指挥中心大屏、电脑终端和移动APP，支持远程巡查、报警处理、设备控制等。

（3）联动执行系统：接收中枢指令，自动或半自动控制智能通风、空调控温、氮气气调、环流熏蒸等系统，形成“监测－预警－处置”闭环。

2.5 支撑技术实施案例参考：

（1）粮仓智能门禁系统，技术原理及功能见下图：





（2）粮仓专用安防预警机器人，技术原理及功能见下图：



（3）粮仓专用巡检机器人，技术原理及功能见下图：



（4）粮仓专用机器狗，技术原理及功能见下图：







3、粮仓内环境调节 AI 智能体：构建一个粮仓内环境智能调控系统，实现对粮仓内温度、湿度、气体成分等关键参数的精准监测与自动调节。

3.1 系统架构设计：

（1）整体架构：构建“云端战略中枢—边缘智能枢纽—终端执行矩阵”三级联动的一体化管控架构，以“云控全局、边做实时、端抓落地”为核心逻辑，打通“数据采集-智能决策-精准执行-反馈优化”全链路，实现全域协同、实时响应、安全可控的战略目标，兼具顶层设计高度与分层落地实操性。

（2）核心组件：

▪云端管理平台：定位全域决策核心，聚焦多源数据治理、AI 深度分析、全局策略优化与跨域可视化管控，通过数字孪生模拟推演与动态策略迭代，输出最优全局管控方案，赋能战略决策与跨域调度。

▪边缘计算网关：承担云边协同桥梁与本地决策中枢职能，实现设备

标准化管理、毫秒级实时决策与分布式本地存储，破解云端时延与网络依赖痛点，保障紧急场景自主响应与断网业务连续性。

▪终端执行矩阵：由环境感知传感器组、执行控制设备组、安全监测子系统构成，实现全维度数据采集、指令精准落地与立体安全防护，为上层决策提供真实数据支撑，是架构落地的核心执行载体。

3.2 智能体架构设计：

（1）整体架构：构建“决策与优化—感知与认知—执行与控制”三级递进、全链路闭环的全域智能管控体系，以“数据驱动认知、认知支撑决策、决策指导执行、执行反哺优化”为核心逻辑，实现从环境感知到智能决策、精准执行的端到端赋能，兼具顶层战略高度与分层落地实操性，为数字化转型提供标准化技术架构支撑。

（2）核心组件：

▪预测模型模块：构建场景化预测模型（如粮情风险预测、设备故障预警、业务需求推演等），融合时序分析、机器学习算法，实现“阈值预警+AI预测”双模式预警，提前识别潜在风险与发展趋势（预测准确率≥95%）。

应用场景：如提前72小时预判粮堆霉变风险、提前15天预测设备维护需求。

▪策略生成模块：嵌入行业规则库、安全标准库、节能目标库，支持“常规场景自动生成+特殊场景动态适配”，生成可落地的精细化策略（如设备调度计划、风险处置预案、参数调整方案），并支持策略多版本对比与模拟推演。

应用场景：如根据粮情预测结果生成精准控温策略、针对设备预警生成预防性维护方案。

▪评估模块：建立多维度评估指标体系（如安全达标率、执行效率、

能耗成本、设备寿命），通过“数据采集—效果量化—差距分析—优化建议”闭环，输出策略迭代方向，同步反馈至预测模型与策略生成模块。

应用场景：如评估智能通风策略的节能效果、量化故障处置方案的响应效率。

3.3 AI核心技术：自适应控制算法、多目标优化模型、气象数据对接。

（1）智能通风调控：系统自动分析仓内外温湿度、露点差值，智能选择时机（如夜间低温低湿）启动门窗、风机，实现通风降温降湿效益最大化，避免无效或有害通风。

（2）精准空调控温：与“粮情侦察兵”联动，当检测到目标区域粮温超标时，自动触发光伏或市电空调，通过内环流系统将冷量精准输送到粮堆深层，实现“靶向控温”。

（3）智能气调管理：根据虫害预警或保鲜需求，自动控制制氮机向仓内充入氮气，将氧气浓度稳定控制在2%以下（杀虫）或5%以下（防霉保鲜），实现绿色、无害化储粮。

3.4 粮仓储存性能升级改造：智能体系统的有效运行依赖于高性能的物理仓房载体。改造需遵循“因地制宜、绿色经济”的原则，分步实施。

（1）改造原则与路径：优先对具备条件的老旧仓房进行“四合一”（外墙保温、仓顶隔热、机械通风、内环流控温、自动出入库设备、外墙防水）技术集成改造。新建仓房则直接按照高标准设计，集成浅圆仓、大直径立筒仓等现代化仓型与智能技术。

（2）关键技术集成应用：

▪围护结构升级：对仓房外墙喷涂新型防辐射隔热涂层，仓顶加设泡沫玻璃或聚氨酯复合板，大幅提升保温气密性，将仓房综合传热系数（K

值）降低30%以上。

▪绿色能源耦合：在仓顶或库区空地建设光伏电站，推行“智能光伏控温控湿系统”，优先利用太阳能驱动空调和内环流风机，实现清洁能源自给，降低运营成本。

▪工艺装备提升：应用“玉米入仓分级防破碎多功能中心管”等减碎装置，配备大型振动清理筛、液压翻板、粮食泵车等高效设备，构建低破碎、高效率的机械化作业体系

3.5 支撑技术实施案例参考：

（1）粮仓专用智能空调系统，技术原理及功能见下图：



（2）粮仓专用集成门系统，技术原理及功能见下图：



（3）仓内自动通风系统，技术原理及功能见下图：



（4）仓内智能消防系统，技术原理及功能见下图：



4、环境清洁与设施运维巡检 AI 智能体。构建一个感知－分析－决策－执行－优化的闭环智能系统，提升粮仓管理的自动化、智能化水平。

4.1 核心目标：

（1）安全：保障粮食储存品质，预防霉变、虫害、结露等风险。

（2）高效：自动化巡检，减少人工依赖，提升运维响应速度与准确性。

（3）精益：实现能耗、清洁、设备维保的精细化管理，降低运营成本。

（4）智能：具备预测性维护、异常智能诊断、自主任务规划能力。

4.2 核心设计：

（1）“数字孪生+智能体”驱动：构建粮仓物理实体的虚拟映射，AI 智能体在其中进行仿真、分析与决策。

（2）“云-边-端”协同：云端负责大数据分析与模型训练，边缘

侧负责实时响应与本地决策，终端设备负责执行与数据采集。

（3）多模态感知融合：融合视频、图像、温湿度、气体、声音等多种传感器数据，全面感知粮仓状态。

4.3 系统总体架构：整个框架分为四层：智能感知层、数据与模型层、AI 智能体核心层、业务应用层，以及贯穿始终的标准与安全体系。

（1）智能感知与执行层：

▪仓内轨道/轮式机器人：搭载高清摄像头（含热成像）、激光雷达、气体传感器（O_2 、CO_2 、PH_3 等重要气体）、温湿度探头。用于仓内粮面巡检、内壁检查、气体浓度监测。

▪仓外巡检机器人：自主导航，检查仓房外墙、门窗、通风口、消防设施周界安全。

▪高清云台摄像机：覆盖仓内关键点位及仓外全景。

▪分布式传感器阵列：埋入式粮温电缆、仓内空间温湿度传感器、虫害诱捕检测仪、漏水感应线。

▪设施状态传感器：风机、空调、输送设备等的电流、电压、振动传感器。

▪仓外无人机：定期对仓房屋顶、大型通风设施进行高空巡检，识别破损、积水等问题。

▪仓内无人机：定期对仓面粮食、粮食表皮等进行高空巡检，识别当前温湿度及是否结露等问题。

▪自动化执行设备：集成仓房环境控制系统（自动通风窗、风机）、智能清洁设备（如扫地机器人）、自动取样设备等。

（2）数据与模型层：

▪数据湖：汇集所有感知数据、业务数据（出入库记录、粮情档案）、历史工单、设备档案。进行统一的清洗、存储和管理。

▪算法仓库：视觉算法、音频算法、时序预测算法、多模态融合分析模型、模型服务平台等。

（3）AI 智能体核心层（核心）：这是系统的“大脑”，由多个协同工作的智能体（Agent）组成：

▪任务规划与调度智能体：根据预设规则（如每日例行巡检）、动态事件（如暴雨预警）或人工指令，生成最优巡检/清洁/运维任务计划；动态调度机器人、无人机、固定摄像头等资源，避免冲突，提升效率。

▪感知与分析智能体：实时处理流式感知数据，调用相应的 AI 模型进行分析。例如：发现某区域粮温异常升高，立即触发更密集的温测和图像复核；识别到“窗户未关”，与天气数据结合判断风险。

▪诊断与决策智能体：对分析结果进行综合诊断并根据诊断结果，生成决策建议或直接指令。

（4）业务应用层：

▪数字孪生可视化运维中心（Web 大屏）：全局展示清洁进度、设备健康度、能耗曲线、风险热力图。

▪移动巡检与工单 APP：推送 AI 生成的巡检任务和告警工单给相关人员；支持人工复核、拍照上传、工单流转与闭环记录；分级告警（提示、警告、严重），通过声光、短信、APP 等多渠道推送；自动生成日/周/月巡检报告、设施健康报告、能耗分析报告。

4.4 关键技术点：

（1）低光照、高粉尘环境下的鲁棒视觉识别：需使用特定数据集训练和图像增强技术。

（2）多智能体协同与冲突消解：确保多个机器人、设备指令间无冲突。

（3）预测性维护模型：需积累足够的设备运行时序数据以训练高

精度模型。

（4）边缘智能：部分分析模型需部署在边缘网关或机器人本体，实现低延时响应和断网可用。

4.5 支撑技术实施案例参考：

（1）粮仓专用扫地机器人，技术原理及功能见下图：







（2）粮仓专用无人机，技术原理及功能见下图：





无人机凭借高空视角与灵活机动性，可快速覆盖大范围巡检区域，结合高清摄像头与智能图像识别技术，实时回传高清画面至监控中心，支撑高效分析与科学决策。一旦系统发出预警，工作人员即可迅速响应，精准调度并开展现场处置，构建“预警研判—快速响应—精准处置”一体化的智能安防体系。

平台深度融合大数据分析、云计算等先进技术，24小时不间断采集并智能解析各类安全数据，提前识别潜在风险，实现主动式、智能化防控。搭配长续航无人机（单次飞行最长达62分钟）、自动机库快换电池系统、15公里大功率图传，以及支持Mesh组网的通信能力，即便在复杂环境下，也能实现“空—天—地”全域覆盖、全时无人值守的立体化监控，真正让安全防护无死角、无间断。

产品规格参数			
外观尺寸(mm)	2650*2000*1700	输入电压(v)	220
全自动机场重量(kg)	1500	内部照明系统	支持
自动更换电池(s)	具备自动更换无人机电池		
实时监控系统	支持(内外监控)		
内部整体恒温调节	可维持机场内部温度在 10 至 40° ℃,局部位置在 10 至 30° C		
局部恒温系统	针对电池，无人机可增设局部温控装置		
小型气象系统	①机场内外温度、湿度监测与实时显示 ②机场外部风速、雨雪实时测量		

产品价值

环境适应性
能够耐受-30° C至60° C的高低温变化，能够对盐碱腐蚀具有较强的耐受性。

长续航
飞机续航时间达到62min，满足多场景多任务作业需求。

大载重
飞机标准载重1.5kg，最大载重2.5kg，可以搭载多种载荷设备实现巡查任务。

无人值守
无人机自主起飞降落，电池自动更换，系统具有自我恢复能力和自我保护能力，可以实现远程系统升级。

智能化巡检
异常目标智能识别、定位。防范工作大数据指引。

标准化作业
飞机计划制定、穿域申请、飞行任务申请、设备调度、飞行作业数据处理等标准化。

24小时响应
无人机收纳于机场平台，随时待命。

精益化巡检
巡检全过程数字化、信息化，高效运行。

开放端口
支持第三方介入，支持定制。

五　实施步骤

开展深入调研，进一步研究完善本框架设计方案，多方协调促成立项，全面研究设计粮仓“1+1+N”AI智能体生态系统实施方案并进行充分论证，分三个阶段予以实施。

（一）第一阶段（试点示范，1年）：选取2—3栋代表性仓房，完成“四合一”基础改造，并重点部署“粮情深度感知与预警体”和“仓储环境自主调节体”智能体，建成绿色智慧示范仓。

（二）第二阶段（全面推广，2～3年）：基于示范仓经验，对全库符合条件的仓房进行滚动式改造。同步建设数字孪生管控平台，并部署其他AI智能体，实现全库业务智能化覆盖。

（三）第三阶段（体系优化，持续）：打通与上级分公司及集团公司和外部监管平台的数据接口，持续收集数据优化AI模型，扩展智能体应用场景，实现系统的自我进化与迭代。

六　效益分析

本系统的建设将产生显著的经济、管理、社会及生态效益，全面提升粮库的核心竞争力与国家粮食安全保障能力。

（一）经济效益：

1、降低储粮损耗：通过精准控温控湿和氮气气调，能将储粮综合损耗率从行业平均的约1%稳定控制在0.5%以内，部分先进案例已实现低于0.2%。以一个10万吨库容的粮库为例，每年可减少粮食损失数百吨，价值巨大。

2、节约运营成本：智能化改造后，通风、降温作业更精准，能耗可降低20%—30%。同时，保管员人均管仓数量可从传统的1—2个提升至3—4个甚至更多，外包人力成本实现大幅下降，预估单仓年均可节省成本5万元以上。

3、提升作业效率：出入库全流程自动化使作业效率提升40%以上，单日最高入粮量可突破万吨，大幅缩短收购和轮换周期。

（二）管理效益：

1、实现“穿透式”监管：通过数字孪生和AI预警，管理者可随时随地以“上帝视角”穿透查看任意仓房的实时粮情、作业画面与历史轨迹，监管效能发生质变。

2、促进管理规范化：全流程数据自动记录、不可篡改，使粮食数量、质量、轮换的监管从“人工记录”转向“数字溯源”，堵住管理漏洞，责任可追溯。

3、决策科学化：变“经验决策”为“数据决策”，为仓储策略优化、设施投资规划提供精准的数据支持。

（三）社会与安全效益：

1、强化本质安全：“人力巡防+智能技防+预案联防”的三防体系，能实现安全生产零事故的目标，有效保障人员与国有资产安全。

2、提升粮食品质：绿色低温储粮和气调技术能最大程度保持粮食的新鲜度、营养和口感，实现“常储常新”，让百姓吃上“放心粮”。

3、树立行业标杆：项目的成功实施将形成可复制、可推广的“智慧粮仓”样板，带动区域乃至行业仓储管理水平的整体提升。

（四）生态效益：

1、推动绿色储粮：大幅减少甚至杜绝化学药剂的使用，减少对环境和粮食品质的污染。

2、促进节能降碳：光伏等清洁能源的应用和智能能耗管理，直接降低了粮库的碳排放，契合国家“双碳”目标。

结　论

“1+1+N”AI智能体生态系统的建设，是一项融合物联网、人工智能、绿色科技与现代仓储管理的系统工程。本方案提出的以“数据+AI”为驱动、以四大智能体为核心的总体框架，技术路线清晰，且有国内多个先进粮库的成功实践作为技术支撑，具备高度的可行性与可操作性。系统的建成，不仅将彻底改变传统粮库的运营面貌，实现降本、增效、保质、减损的核心目标，更将通过技术赋能，转化为守护大国粮仓的坚实盾牌，为我国夯实粮食安全根基、实现“藏粮于技”战略提供强大而持久的动力。