

临沂市农产品智慧冷库数字化管理平台设计与应用研究

孟宇 朱文婧 刘雨婷 张雯丽 程宇杰 李翠^(通讯作者) 宋凯^(通讯作者)

青岛理工大学, 山东省临沂市费县, 273400;

摘要: 临沂市作为“物流之都”, 其农产品冷库虽仓储能力突出, 但仍面临许多问题。本研究设计临沂市农产品智慧冷库数字化管理平台, 以“数据驱动、智能决策、全链路管控”为目标, 构建“感知层-网络层-数据层-应用层”四层架构, 融合物联网、5G/NB-IoT 等技术, 实现冷库全链路数据精准采集、分析与可视化管理。平台有效降低农产品损耗、也为中小型冷链企业数字化转型提供可推广方案。

关键词: 农产品智慧冷库; 数字化管理平台; 冷链物流; 四层架构

DOI: 10. 69979/3041-0673. 26. 02. 010

1 引言

1.1 研究背景

1.1.1 国家战略

农产品冷链物流是国家粮食安全与乡村振兴的战略重点。政策明确要求提升产地预冷率、构建县域冷链圈, 并推动冷链数字化, 实现温度、库存等数据的全程监控。在此背景下, 智慧数字化平台成为落实粮食安全、乡村振兴与“双碳”三大战略的关键抓手, 为行业实现降本增效与绿色发展提供可行路径。

1.1.2 行业痛点

我国农产品冷链物流存在“四低一高”的突出痛点: “四低”分别为冷链流通率低, 产地预冷率低, 信息化程度低, 自动化水平低。“一高”则指产后损耗高。这些问题导致农产品“卖难、存短、耗大”, 严重制约产业效益, 亟需通过智慧数字化平台实现全链条的精细化管理和效率提升。

1.1.3 技术发展状况

当前, 农产品冷库智慧数字化关键技术成熟且成本优化。国产化低温传感与物联网设备成本降低, 为大规模部署创造了条件; 云计算与边缘计算协同, 满足海量数据存储、计算及实时响应需求。区块链建农产品可信溯源体系, 大数据与 AI 实现设备预测维护、智能节能等功能。多技术深度融合, 为集实时监控、智能运维、供应链协同的智慧冷库平台规模化落地奠定基础。

1.2 研究意义

在理论层面, 本平台有助于推动农业产业链的智能化转型。改善传统冷库管理中依赖人工操作和粗放型管

理方式所导致的温控不精准、资源浪费严重、库存信息不透明等问题, 并且能够从系统层面实现全链条的监控与优化, 推动农业冷链技术的进一步升级。同时也为农业大数据、物联网应用、云计算等技术的融合提供了实践样本。

在实践层面, 通过本智慧数字化平台, 能够实现对冷库温湿度、能耗、库存等数据的精准监控与实时调整, 优化资源配置, 提高农产品的保存周期与质量, 同时降低能源消耗和运营成本, 提升冷链物流的经济效益和环境效益。

2 临沂市农产品冷库管理现状与平台建设需求

2.1 冷库管理现状

传统冷库依赖人工操作和经验管理, 存在能耗高、效率低、库存管理不准确、温湿度控制不精准等问题, 难以满足现代冷链物流需求^[1]。临沂市作为全国“物流之都”和重要农产品集散中心, 其冷链仓储能力位居全国前列。然而, 在其庞大的冷库容量背后, 也普遍存在以下突出问题:

2.1.1 管理模式陈旧, 运行效率低下

临沂市多数农产品冷库, 管理模式陈旧, 仍以人工与纸质化操作为核心。货物出入库、移库等操作依赖纸质单据流转, 数据更新存在滞后性, 这种操作方式还常因单据丢失、人工补录偏差引发库存混乱。且人员作业随意性强, 缺乏标准化流程。

2.1.2 信息孤岛林立, 难以协同工作

冷库内部系统割裂现象普遍存在, 各系统独立运行, 数据无法互通共享。货物库存状态、出入库进度等关键信息滞后, 既降低了作业协同效率, 也使得管理决策缺

乏精准数据支撑,数据孤岛现象使得冷链物流平台难以做到精准调度、效率提升和风险管控^[2],出现问题时难以快速厘清责任边界。

2.1.3 运维体系被动,设备风险突出

在设备维护方面,普遍采用“定期巡检”和“坏了再修”的被动式运维模式。对于关键设备缺乏实时的运行状态监测与预警机制。维护保养计划往往基于固定周期,而非设备的实际健康状态。而农产品对温湿度敏感,设备停运几小时就可能导致货物变质,给商户造成重大经济损失

2.1.4 品质管控薄弱,追溯链条缺失

农产品存储品质保障能力不足,全流程追溯体系尚未完善。大多数冷库仅能记录固定时间点的温湿度数据,无法对存储过程中的温度波动进行连续追踪,更不能对农产品品质变化进行动态预测,往往等到货物出现霉变、腐烂等明显变质迹象时才发现问题。

2.2 平台建设核心需求

2.2.1 全域物联与动态监控需求

为解决依赖人工记录导致的效率低下与数据失真问题,平台需部署高精度物联网传感器网络,实现对库内温度、湿度及气体浓度等关键物理环境的全时、全域、全要素自动采集。同步搭建实时报警机制,异常数据触发即时提醒,替代传统人工巡检,提升环境监控的精准度与时效性。

2.2.2 数据互通与智能决策需求

针对信息孤岛造成的协同效率低下与决策困难,平台的核心任务是构建一个统一的数据中台,以实现全场景设备互联互通与实时数据采集传输。同时开发可视化数据看板,整合环境、库存、出入库等多维度数据,将分散的数据资源整合成统一的运营视图,为库存优化、出入库调度等核心业务提供数据驱动的决策支持。

2.2.3 预测运维与健康管理需求

为彻底改变被动响应的运维模式,平台必须具备预测性维护能力。通过对关键资产进行在线监测,进行设备运行状态动态感知。结合算法模型分析设备运行规律、预测故障发生概率,变“定期检修”和“事后维修”为“主动运维”,从而精准制定维护计划,有效减少非计划停机,规避因设备突发故障导致的重大经济损失。

2.2.4 全程溯源与品质管控需求

为破解品质管控与责任界定难题,平台必须建立贯

穿全程的溯源体系。需采集冷库物理环境全维度数据,为每批农产品建立专属电子档案,记录货物在库全程环境数据;搭建冷链全链路数据追溯体系,实现数据动态版本管理,支持从入库到出库的正向追踪,以及从终端到源头的逆向溯源,确保溯源信息的完整性与不可篡改性保障农产品品质可查、责任可追。

3 临沂市农产品智慧冷库数字化管理平台设计

3.1 平台整体架构

临沂市农产品智慧冷库数字化管理平台以解决当地农产品冷链核心痛点为导向,围绕“数据驱动、智能决策、全链路管控”核心目标,构建“感知层-网络层-数据层-应用层”四层协同架构。为临沂市农产品冷库从“传统仓储”向“智慧化管理”转型提供技术支撑。平台各层整体关联图如下。



图1 平台各层整体关联图

平台架构的核心逻辑遵循“数据闭环”原则:感知层作为数据采集入口,实现对冷库环境、货物状态、设备运行的实时捕捉;网络层承担“数据传输中枢”职能,保障多场景下数据的实时性与安全性;数据层通过整合多源数据并构建数字孪生模型,为上层应用提供决策依据;应用层则聚焦业务落地,将技术能力转化为仓储管理、溯源追溯等具体服务,形成“采集-传输-分析-应用”的完整管理链条,最终实现降低农产品损耗、提升仓储效率、保障产品质量的核心目标,平台系统架构图如下。

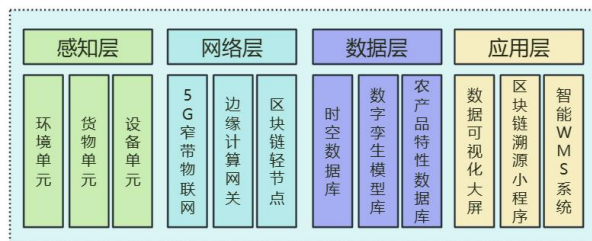


图2 平台系统架构图

3.2 各层级详细描述

3.2.1 感知层

感知层在冷链物流系统中扮演着至关重要的角色,它相当于整个系统的“感官神经”,通过在冷库周边设置传感器和监控器,对温度、空气湿度以及冷库外墙温度等冷库的外部环境参数进行监测,便于管理者更全面

调节冷库的运营^[3]。

感知层包括环境单元（多参数传感器集群、气体成分分析仪）、货物单元和设备单元。通过在冷链的各个环节中部署温湿度传感器、智能 RFID 标签、生物传感器以及视频监控设备等，感知层能够全面采集全链路中环境数据、货物状态及设备运行参数。

3.2.2 网络层

网络层作为数据流通的“智能脉络”，在物联网中扮演着至关重要的角色。它依托于 5G、NB-IoT 等技术，实现了全场景设备的互联互通。

5G 技术以其高带宽特性，能够支持实时数据传输确保了数据的实时性和准确性。窄带物联网（NB-IoT）技术以其低功耗特性，适用于连接大量的传感器，即使在地下冷库等信号覆盖不足的区域，也可以通过 LoRaWAN 等技术进行补充，构建一个多协议融合的通信网络。

在这个过程中，边缘计算网关能够对收集到的数据进行分级清洗和本地化分析，从而减少对云端的负载需求。区块链轻节点确保了设备身份的可信度，而量子加密技术则为数据安全提供了强有力的保障。

3.2.3 数据层

数据层作为平台的“决策中枢”，在物联网系统中扮演着至关重要的角色。它通过时空数据库整合了来自传感器的相关数据，这些数据涵盖了温度、湿度、位置等关键信息。此外，数据层还利用知识图谱技术，将农产品的特性、历史质量事件等多维度信息进行关联，构建了一个动态更新模型库。

3.2.4 应用层

应用层是系统中直接与业务场景交互的层面，它通过集成先进的技术模块，将底层的数据处理和网络通信能力转化为具体的业务应用。下图为临沂市冷库管理平台界面。



图 3 临沂市冷库管理平台界面

界面以数字孪生技术构建冷库三维可视化场景，精准还原冷库内部货物存储布局、设备分布与作业动线。左侧“当日实时数据”板块，清晰呈现当日出入库订单数、货物种类、在库货物总量及作业人员在岗率等核心运营数据。

右侧“本周异常记录”板块，汇总本周温湿度异常、气体成分异常、设备故障等各类异常事件数量，并通过“温湿度达标率”模块，以不同颜色环形图呈现各库区温湿度达标比例，直观反映各区域环境管控效果。

该界面整合多维度数据，实现对冷库从货物存储、环境监测到作业执行的全流程数字化、可视化管理，极大提升仓库运营效率与准确性，有效减少农产品因管理

不当产生的消耗与浪费。

4 结论与展望

4.1 结论

本文研究围绕临沂市农产品冷链物流体系存在的管理粗放、信息化水平低、断链风险高等现实问题，设计并构建了一套集智能感知、实时传输、数据融合与业务应用于一体的智慧冷库数字化管理平台，融合物联网、5G/NB-IoT、数字孪生、区块链、人工智能等关键技术，实现了对冷库环境、货物状态、设备运行等全链路数据的精准采集、智能分析与可视化管理。

平台在降低农产品损耗、优化能源使用、提升仓储

效率、增强产品溯源透明度等方面取得了显著成效。该平台不仅有效响应了临沂市农产品冷链管理的核心需求,也为我国中小型冷链企业的数字化转型提供了可复制、可推广的系统解决方案。

4.2 展望

未来,技术进步将优化农产品智慧冷库与数字化管理平台。物联网与大数据深化应用,将推动冷库环境监控向全维度、自适应发展,实现温湿度自动精准调节,满足农产品个性化存储需求,同时降能耗、提效率;人工智能赋能库存管理、需求预测等环节,提升平台决策能力,变革运营模式。

全球对粮食安全与可持续发展愈发关注,冷链物流作用关键。该平台降低农产品损腐率,助力保障粮食安全。未来平台将聚焦绿色可持续,以环保节能技术为核心驱动力,通过低碳技术升级应用,推动冷链物流向“近零能耗”与碳中和目标迈进。

参考文献

[1]刘瑞恒.大型冷库智能控制与监控系统的应用[D].兰州理工大学,2021. DOI:10.27206/d.cnki.ggsgu.2021.001162.

[2]李超等. (2020). 冷链物流数据孤岛问题及解决方案. 物流技术, 39(6), 67-72.

[3]闫锐,黄芳,韩海伦,等.冷库智能运维管控一体化平台构建的设计与研究[J].中国储运,2024,(08):137-138. DOI:10.16301/j.cnki.cn12-1204/f.2024.08.128.

作者简介:孟宇,女,21,物流管理,本科;

朱文婧,女,21,物流管理,本科;

刘雨婷,女,21,物流管理,本科;

张雯丽,女,21,物流管理,本科;

程宇杰,女,21,物流管理,本科;

通讯作者:李翠,女,41,物流与供应链管理,研究生;

宋凯,女,31,大数据挖掘、科技管理、智慧物流,博士。

基金项目:2025年国家级大学生创新创业训练计划项目“智储鲜行一基于临沂市农产品智慧仓储的创新研究”;山东省本科教学改革研究项目重点项目:基于产教融合共同体的商贸物流新形态实践教学体系研究(Z2023145)。