

奶制品冷链运输的智慧化温控解决方案

刘勤兴¹, 孙 超², 盛英霞³, 胡智胜^{3*}

(1. 德州市农业农村局, 山东德州 253011; 2. 济南市章丘区畜牧兽医事业发展中心, 山东济南 250200; 3. 山东省畜牧总站, 山东济南 250102)

摘 要: 本研究聚焦奶制品冷链运输的智慧化温控解决方案, 系统分析了奶制品易腐特性及传统温控方式的局限性, 阐述了物联网 (IoT)、大数据、智能算法等关键技术在温控中的应用, 介绍了系统架构与实际案例, 探讨其经济、社会及环境效益。同时, 讨论了中国与发达国家的差距及面临的挑战, 旨在为提升行业智慧化水平提供参考, 推动奶制品冷链运输高质量发展。

关键词: 奶制品冷链运输; 智慧化温控; 物联网; 大数据; 智能算法

文章编号: 1671-4393 (2026) 02-0081-06

DOI:10.12377/1671-4393.26.02.13

Intelligent Temperature Control Solutions for Cold Chain Transportation of Dairy Products

LIU Qinxing¹, SUN Chao², SHENG Yingxia³, HU Zhisheng^{3*}

(1. Dezhou Agriculture and Rural Bureau, Dezhou Shandong 253011; 2. Jinan Zhangqiu District Animal Husbandry and Veterinary Career Development Center, Jinan Shandong 250200; 3. Shandong Provincial Livestock Station, Jinan Shandong 250102)

Abstract: This research focused on the intelligent temperature control solutions for the cold chain transportation of dairy products. It systematically analyzed the perishable characteristics of dairy products and the limitations of traditional temperature control methods, expounded on the applications of key technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and intelligent algorithms in temperature control, introduced the system architecture and practical cases, and explored their economic, social, and environmental benefits. At the same time, the

基金项目: 2023年山东省重点研发计划 (农业良种工程品种培育) 项目-奶牛关键性状智能选育技术研究与应用 (2023LZGC004)

作者简介: 刘勤兴 (1982-), 男, 山东德州人, 硕士, 高级兽医师, 研究方向为中兽医在兽医临床中对家畜疾病的预防研究及生产性能的提高;

孙 超 (1987-), 男, 山东济南人, 本科, 兽医师, 研究方向为畜牧兽医;

盛英霞 (1977-), 女, 山东莱州人, 硕士, 高级兽医师, 研究方向为畜牧业生产统计与经济运行监测预警。

通信作者: 胡智胜 (1977-), 男, 山东莱州人, 硕士, 正高级畜牧师, 研究方向为畜牧业生产统计与经济运行监测预警。

gap between China and developed countries as well as the challenges they face were discussed, aiming to provide references for improving the intelligence level of the industry and promoting the high-quality development of cold chain transportation of dairy products.

Keywords: cold chain transportation of dairy product; intelligent temperature control; Internet of Things (IoT) ; big data; intelligent algorithm

奶制品富含营养成分，深受消费者喜爱，但同时具有易腐坏的特性。在奶制品从生产源头到消费者手中的整个供应链中，冷链运输环节至关重要。温度的精准控制直接关系到奶制品的品质、安全以及货架期^[1]。随着消费者对奶制品品质要求的不断提高，以及奶制品市场规模的持续扩大，传统的冷链运输温控方式已难以满足行业发展需求。智慧化温控解决方案借助物联网、大数据、人工智能等先进技术，能够实现对奶制品冷链运输全过程实时、精准监控与调控，有效保障奶制品质量，降低损耗，提升企业经济效益与市场竞争力，对推动奶制品行业可持续发展具有重要现实意义^[2]。国外在奶制品冷链运输智慧化温控领域起步较早，相关技术与应用相对成熟。美国、欧盟等发达国家和地区广泛应用先进的传感器技术、卫星定位系统以及智能温控设备，实现了冷链运输车辆和仓储设施的智能化管理^[3]。例如，美国的一些大型乳品企业通过建立完善的冷链物流信息平台，能够实时获取运输过程中的温度、湿度、车辆位置等数据，并利用大数据分析技术优化运输路线和温控策略，极大提高了冷链运输效率与质量。欧洲则在冷链设备的节能与环保技术方面取得显著进展，研发出一系列高效节能的制冷设备与保温材料^[4]。国内近年来对奶制品冷链运输智慧化温控的研究与应用逐渐增多。众多科研机构和企业加大投入，在物联网技术应用、智能温控算法研发等方面取得成果。部分大型乳品企业开始引入智能化温控系统，对冷链运输环节进行升级改造，但整体与发达国家相比，我国技术应用的广度和深度仍存在差距，尤其在中小乳品企业中，智慧

化温控水平较低，存在信息孤岛、设备老化等问题^[5]。本研究旨在全面梳理奶制品冷链运输智慧化温控解决方案的关键技术、应用现状以及挑战，提出针对性的优化策略，为乳品企业及相关从业者提供参考，助力提升我国奶制品冷链运输的智慧化水平。

1 奶制品冷链运输现状与问题

1.1 奶制品冷链运输特点

奶制品涵盖液态奶、奶粉、酸奶、奶酪等多种品类，不同品类对温度要求各异。液态奶中的巴氏杀菌奶需全程在2~6℃的低温环境下运输与储存，以抑制微生物生长，保持其新鲜口感与营养成分；酸奶的适宜储存温度一般在2~10℃，部分益生菌酸奶对温度更敏感；奶粉虽相对常温保存即可，但在高温高湿环境下易结块变质，运输环节需关注环境温湿度；冷冻奶制品如冰淇淋等，要求在-18℃以下的低温条件下运输，以维持其良好的口感与形态^[6~7]。此外，奶制品的冷链运输时效性强，从奶源采集到加工再到终端销售，每一环节都需要快速衔接，减少在途时间，确保产品在保质期内送达消费者手中^[8]。

1.2 奶制品冷链运输现有模式

目前，奶制品冷链运输主要存在两种模式：一是乳品企业自建冷链物流体系，大型乳品企业通常采用这种模式，如伊利、蒙牛等。企业拥有自己的冷藏运输车辆、仓储设施以及专业的物流管理团队，能够对冷链运输全过程进行有效把控，保证运输质量，但建设与运营成本高昂^[9]。二是第三方冷链

物流模式，众多中小乳品企业由于自身资源有限，选择将冷链运输业务外包给专业的第三方冷链物流公司。第三方冷链物流公司具备规模优势和专业的物流管理经验，能够整合资源，降低运输成本，但在运输过程中与乳品企业的信息沟通和协同管理方面可能存在一定障碍^[10]。

1.3 传统温控方式存在的问题

传统的奶制品冷链运输温控方式主要依靠人工巡检和简单的温度记录设备^[11]。人工巡检频率有限，难以实时发现温度异常情况，一旦运输途中制冷设备出现故障或车辆长时间停靠导致温度升高，无法及时采取措施，极易造成奶制品品质受损^[12]。同时，纸质或简单电子设备记录的温度数据不便于集中管理与分析，无法为企业优化温控策略提供有力支持。在运输过程中，不同环节之间缺乏有效的信息共享与协同，仓储到运输、运输到配送等环节的温度衔接容易出现问题的，导致冷链“断链”现象时有发生，严重影响奶制品质量与安全^[13]。

2 智慧化温控关键技术

2.1 物联网技术在温控中的应用

物联网技术是实现奶制品冷链运输智慧化温控的基础。在冷链运输车辆、仓储设施以及奶制品包装上安装各类传感器，如温度传感器、湿度传感器、位置传感器等，这些传感器能够实时采集温度、湿度、车辆位置等信息，并通过无线通信技术将数据传输至云端服务器^[14]。以运输车辆为例，在车厢内均匀分布温度传感器，可实时监测车厢不同位置的温度变化，一旦某个区域温度超出预设范围，系统立即向管理人员发送警报信息，以便及时调整制冷设备。通过物联网技术，实现了对冷链运输全过程的实时监控，打破了信息孤岛，使企业能够全面掌握运输状态，为精准温控提供数据支持^[15]。

2.2 大数据与云计算助力温控管理

大数据技术能够对物联网采集的海量冷链运输数据进行分析处理。通过对历史温度数据、运输路线、车辆运行状况等数据的挖掘分析，企业可以发

现温度变化规律，找出影响温度稳定性的因素，如运输路线中的高温路段、车辆制冷设备的最佳运行参数等^[16]。基于这些分析结果，企业能够优化运输路线，避开高温区域或拥堵路段，减少运输时间，降低温度波动风险；同时，根据不同季节、不同运输时段，合理调整制冷设备的运行策略，实现节能与精准温控的平衡^[17]。云计算技术则为大数据处理提供了强大的计算能力和存储能力，使企业能够快速、高效地处理和存储海量数据，并可根据业务需求灵活扩展计算资源，降低企业信息化建设成本。

2.3 智能温控算法与模型

智能温控算法与模型是智慧化温控系统的核心。通过建立数学模型，结合奶制品的特性、运输环境以及制冷设备的性能参数，对冷链运输过程中的温度变化进行预测与调控。例如，采用基于模型预测控制（MPC）的算法，根据当前的温度数据和预测的未来运输环境变化，提前调整制冷设备的功率，使温度始终保持在设定范围内。机器学习算法也可应用于温控管理，通过对大量历史数据的学习，模型能够自动识别温度异常模式，并及时发出预警^[18]。同时，智能温控算法能够根据不同奶制品品类、不同运输阶段的温度要求，自动切换温控策略，实现个性化、精准化的温控管理。

2.4 传感器技术的发展与应用

传感器技术的不断发展为奶制品冷链运输智慧化温控提供有力支撑。目前，高精度、高可靠性的温度传感器已广泛应用于冷链领域，测量精度可达 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 甚至更高，能够精准感知细微的温度变化，为温控系统提供准确的数据来源。除了传统的热电偶、热电阻温度传感器，新型的微机电系统（MEMS）温度传感器因体积小、功耗低、响应速度快等优点，在冷链运输中的应用越来越广泛。此外，集成多种功能的复合传感器逐渐兴起，如同时能够测量温度、湿度、压力等参数的传感器，可全面监测冷链运输环境，为企业提供更丰富的信息，有助于实现更全面、精准的温控管理^[19]。

3 智慧化温控解决方案架构

3.1 系统总体设计思路

奶制品冷链运输智慧化温控解决方案的总体设计思路是以保障奶制品质量安全为核心，以物联网、大数据、云计算等技术为支撑，构建一个涵盖运输车辆、仓储设施、配送终端以及企业管理平台的一体化智能温控系统。系统通过实时采集、传输、分析冷链运输全过程的温度、湿度、位置等数据，实现对运输状态的实时监控与预警，同时利用智能温控算法自动调整制冷设备，确保奶制品始终处于适宜的温度环境^[20]。在设计过程中，充分考虑系统的可扩展性、兼容性以及数据安全性，以便能够适应不同规模乳品企业的需求，并与企业现有的信息系统进行集成。

3.2 硬件设备组成

硬件设备是智慧化温控系统的基础支撑，主要包括温度传感器、湿度传感器、位置传感器、制冷设备、智能网关以及运输车辆和仓储设施中的各类自动化设备。温度传感器作为核心硬件，被安装在运输车辆的车厢、仓储货架以及奶制品包装内部，用于实时采集温度数据；湿度传感器用于监测运输环境的湿度变化，避免因湿度过高或过低影响奶制品质量；位置传感器借助GPS、北斗等定位技术，实时获取运输车辆的位置信息，为运输路线优化和货物追踪提供支持。制冷设备根据智能温控系统的指令，自动调节温度，维持冷链环境的低温状态。智能网关负责将各类传感器采集的数据进行汇总、处理，并通过无线通信网络传输至云端服务器，实现设备与平台之间的数据交互^[21]。

3.3 软件系统功能模块

软件系统由多个功能模块组成，实现对冷链运输全过程的智能化管理。数据采集与传输模块负责实时采集各类传感器的数据，并将其稳定、快速传输至云端服务器；数据存储与管理模块对采集数据进行分类存储，建立数据索引，方便企业查询与分析；温度监控与预警模块实时监测温度数据，一旦

温度超出预设阈值，立即通过短信、邮件等方式向管理人员发送预警信息；智能温控模块根据预设的温控策略和智能算法，自动控制制冷设备的运行；运输路线规划与优化模块结合实时路况、车辆位置以及温度数据，为运输车辆规划最优路线，减少运输时间和温度波动；报表生成与分析模块根据企业需求，生成各类统计报表，如温度变化趋势报表、运输成本报表等，并利用数据分析工具对数据进行深入挖掘，为企业决策提供依据^[22]。

3.4 数据传输与安全保障

在智慧化温控系统中，数据传输的稳定性和安全性至关重要。采用4G、5G等无线通信技术，确保传感器数据能够实时、快速传输至云端服务器。同时，为防止数据在传输过程中被窃取或篡改，应用加密技术对数据进行加密处理，如采用SSL/TLS加密协议，保障数据传输的安全性。在数据存储方面，云端服务器采用多重数据备份和容灾机制，防止数据丢失。此外，建立完善的用户权限管理体系，根据企业内部不同岗位人员的职责，分配相应的数据访问权限，确保数据的保密性和完整性，防止泄露风险。

4 智慧化温控在奶制品冷链运输中的应用案例

4.1 案例一：某大型乳企的智慧冷链实践

某大型乳品企业（内蒙古伊利实业集团股份有限公司）在全国范围内拥有多个生产基地和庞大的销售网络，为确保奶制品在运输过程中的质量，该企业构建一套先进的智慧化冷链运输系统。在运输车辆上，安装高精度温度传感器和GPS定位设备，温度传感器每隔15 min采集一次车厢内温度数据，并通过5G网络实时传输至企业的冷链管理平台。平台利用大数据分析技术，对采集的温度数据进行实时监测与分析，一旦发现温度异常，立即向司机和管理人员发送预警信息，同时自动调整制冷设备功率^[23]。通过对历史运输数据的分析，企业优化了运输路线，避开了高温时段和拥堵路段，将

运输过程中的温度波动控制在极小范围内。此外，企业在仓储环节引入智能化管理系统，实现仓储温度、湿度的自动调控以及货物的智能分拣与配送。通过实施智慧化冷链运输系统，该企业奶制品的损耗率显著降低，产品品质得到有效保障，市场竞争力进一步提升。

4.2 案例二：第三方冷链物流企业的温控创新

一家专业的第三方冷链物流企业（顺丰速运有限公司）为多家乳品企业提供冷链运输服务。为提高服务质量和运营效率，该企业自主研发一套智慧化温控解决方案。在硬件方面，采用了新型的节能制冷设备和智能传感器，智能传感器不仅能够监测温度、湿度，还能实时感知车厢内货物的堆放状态，避免因货物挤压影响制冷效果。在软件系统上，建立了一体化的冷链管理平台，该平台整合了订单管理、运输调度、温度监控、数据分析等功能模块。通过平台，乳品企业可以实时查询货物运输状态和温度数据，实现了信息的透明化。同时，第三方冷链物流企业利用大数据分析技术，对不同乳品企业的运输需求进行整合优化，合理安排车辆配送路线，提高了车辆装载率，降低了运输成本^[24]。在温度异常处理方面，建立了应急响应机制，一旦出现温度异常，附近的应急救援车辆能够迅速前往处理，确保奶制品质量不受影响。通过这些温控创新措施，该第三方冷链物流企业赢得了众多乳品企业的信赖，业务规模不断扩大。

4.3 案例分析与经验总结

从以上两个案例可以看出，成功实施智慧化温控解决方案需要具备以下几个关键因素：一是先进的技术支撑，包括物联网、大数据、云计算等技术的深度应用，能够实现对冷链运输全过程的实时监控与精准调控；二是企业内部各部门之间以及企业与合作伙伴之间的高效协同，在运输、仓储、配送等环节实现信息共享与无缝对接；三是建立完善的应急预案与应急响应机制，能够及时处理温度异常等突发情况，降低损失。此外，持续的技术创新和优化也是提升智慧化温控水平的重要动力，企业应

根据实际运营情况，不断改进温控策略和系统功能，以适应市场变化和客户需求^[25]。

5 智慧化温控解决方案的效益分析

5.1 经济效益

智慧化温控解决方案为乳品企业带来显著的经济效益。首先，通过精准的温度控制，有效降低了奶制品在运输过程中的损耗率。以巴氏杀菌奶为例，传统运输方式下损耗率可能达到5%~10%，而采用智慧化温控系统后，损耗率可降低至1%~3%，大大减少了企业的经济损失。其次，利用大数据分析优化运输路线和车辆调度，提高了运输效率，降低了燃油消耗和车辆磨损等运营成本。同时，智能化的仓储管理减少了库存积压和缺货现象，提高了资金周转率^[26]。此外，智慧化温控系统提升了产品品质，增强了消费者对产品的信任度，有助于企业扩大市场份额，增加销售收入。综合来看，实施智慧化温控解决方案后，企业在降低成本和增加收入方面均取得明显成效，投资回报率较高。

5.2 社会效益

从社会效益角度，智慧化温控解决方案保障了奶制品的质量与安全，为消费者提供了更优质、放心的产品，有助于提升公众的健康水平。通过减少奶制品损耗，降低了资源浪费，符合可持续发展理念。同时，智慧化温控技术的应用推动了冷链物流行业的技术升级与创新发展，促进了相关产业的协同进步，创造了更多就业机会。此外，智慧化温控系统实现了冷链运输全过程的信息透明化，有助于监管部门加强对奶制品行业的监管，维护市场秩序，保障消费者权益，对整个社会的稳定与发展具有积极意义。

5.3 环境效益

在环境效益方面，智慧化温控解决方案发挥了重要作用。通过优化运输路线和采用节能型制冷设备，降低了冷链运输过程中的能源消耗和温室气体排放。例如，智能温控系统根据实际温度需求自动调节制冷设备功率，避免制冷设备的过度运行，减

少了电能消耗。同时，减少奶制品损耗意味着减少了因产品变质而进行的处理和再加工过程中的能源消耗与废弃物排放。此外，智慧化温控系统的应用推动了冷链物流行业向绿色、低碳方向发展，对缓解全球气候变化压力具有一定贡献。

6 结语

奶制品冷链运输的智慧化温控是保障产品品质、推动行业升级的核心路径。从技术维度看，物联网、大数据、智能算法的深度融合，已突破传统温控的时空限制，实现了从单一环节监控到全链条动态调控的跨越，为不同品类奶制品的精准温控需求提供了技术支撑。从实践层面看，国内外案例验证了智慧化方案在降损增效、品质保障方面的显著价值，大型乳品企业与第三方物流企业的创新实践，为行业提供了可复制的经验范式。然而，我国奶制品冷链智慧化仍面临中小企业技术落地难、标准不统一、人才缺口等挑战。未来，需以技术创新为引擎，强化产学研协同，推动核心技术国产化与成本优化；以政策引导为抓手，构建适配国情的行业标准与激励机制；以生态共建为目标，促进全链条信息互通与资源整合。通过上述举措，可真正实现奶制品冷链从“被动温控”到“主动智控”的转型，在保障食品安全的同时，助力行业迈向高质量、可持续发展的新阶段，为消费者筑牢“舌尖上的冷链防线”。

参考文献

[1] 王友珍.我国冷链物流发展现状与趋势研究[J].物流科技, 2023, 46 (13): 125-126.

[2] 王群智, 伍丽芳, 勒格吉哈, 等.物联网技术在低温乳制品冷链末端运输中的应用[J].物流技术, 2022, 41 (1): 125-130.

[3] Riaz R, Ahmed I, Sizmaz O, et al.Use of Camelina sativa and by-products in diets for dairy cows: A review[J].Animals (Basel), 2022, 12 (9): 1082.

[4] Adesogan A T, Dahl G E.Milk Symposium introduction: Dairy production in developing countries[J].Journal of Dairy Science, 2020, 103 (11): 9677-9680.

[5] 代文静.伊利乳制品冷链运输存在问题及对策研究[J].农家参谋, 2019 (21): 140-141.

[6] 王姝姝.会展物流冷链运输优化对策研究——以佳选好食材大会乳制品运输为例[J].粮食科技与经济, 2020, 45 (1): 61-63.

[7] 张浩, 李意, 刘文怡, 等.奶制品电商渠道流通效率评估与优化[J].物流研究, 2020 (1): 82-90.

[8] 常乐.X乳业冷链物流配送路径优化研究[D].阜新: 辽宁工程技术大学, 2024.

[9] 魏兰.Z乳制品企业冷链物流配送中心选址问题研究[D].北京: 北京化工大学, 2024.

[10] 张新.H乳制品公司冷链物流风险管理研究[D].石家庄: 河北科技大学, 2023.

[11] 于学礼, 王群智, 伍丽芳, 等.乳制品冷链末端配送容器研究[J].综合运输, 2022, 44 (11): 144-150.

[12] 吴奎.MN乳业低温奶营销策略优化研究[D].桂林: 桂林理工大学, 2023.

[13] 王蕾, 王赛.基于模糊层次分析法的我国乳制品冷链物流发展影响因素分析[J].黑龙江畜牧兽医, 2022 (10): 1-8, 133.

[14] 王凤丽, 郭风军, 隋青, 等.生鲜农产品温控供应链发展策略研究[J].保鲜与加工, 2024, 24 (7): 97-101.

[15] 史新颖.食品冷链物流管理的优化与创新[J].现代食品, 2023, 29 (16): 45-47.

[16] 孙惠.基于大数据技术的智慧冷链物流发展与创新分析[J].中国航务周刊, 2024 (13): 63-65.

[17] 李思聪, 叶静.基于运行数据的冷链运输车辆运行监测指标体系研究[J].综合运输, 2024, 46 (2): 146-153.

[18] 董倩男, 杨明, 孙浩波.人工智能算法在智能制造质量控制中的创新应用与案例分析[J].上海轻工业, 2024 (6): 74-76.

[19] 唐露雨.物联网环境下乳制品冷链物流绩效评价研究[J].现代商贸工业, 2021, 42 (6): 17-18.

[20] 邹逸, 刘勤明, 叶春明, 等.乳制品冷链物流的库存-生产策略优化研究[J].保鲜与加工, 2020, 20 (2): 219-225.

[21] 王爱灵.杭州市乳制品冷链物流现状及对策研究[J].农家参谋, 2019 (21): 150-151.

[22] 刘晓鑫.乳制品冷链物流存在的问题及对策[J].中国经贸导刊, 2019 (8): 99, 141.

[23] 李肇芳, 甘柳文.伊利冷链物流发展状况分析[J].内蒙古科技与经济, 2021 (9): 61-62.

[24] 万君, 屈健.时变路网下带混合时间窗的乳制品冷链物流路径优化研究[J].中国物流与采购, 2025 (2): 38-40.

[25] 王婷.低碳约束下M公司乳制品冷链配送路径优化研究[D].阜新: 辽宁工程技术大学, 2024.

[26] 黄灿辉, 苏慧清, 张梦纳.河南省冷链食品产业发展现状、存在问题及对策建议[J].河南农业, 2024 (11): 44-45.