

冷藏展示柜产品研发中的技术创新与机械原理应用

潘颂山

广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ME.2025070007

摘 要： 介绍冷链展示设备行业，包括产品类型（商用冷藏柜、立式冷冻柜、智能售卖冷柜）及市场需求特征。分析国内外核心技术差距，阐述热传导方程等在研发中的应用，还涉及箱体结构设计、远程监控、智能防盗等方面，介绍研发成果及未来方向。

关 键 词： 冷链展示设备；技术创新；研发成果

Technological Innovation and Mechanical Principle Applications in Refrigerated Display Cabinet Product Development

Pan Songshan

Foshan, Guangdong 528300

Abstract： This paper introduces the cold chain display equipment industry, covering product types (commercial refrigerated cabinets, vertical freezers, smart vending refrigerators) and market demand characteristics. It analyzes core technology gaps between domestic and international standards, explains the application of principles like heat transfer equations in R&D, and also covers areas such as cabinet structural design, remote monitoring, and intelligent anti-theft features. The paper concludes by presenting R&D achievements and future directions.

Keywords： cold chain display equipment; technological innovation; R&D achievements

引言

随着冷链物流行业的快速发展，冷链展示设备的重要性日益凸显。2021年发布的《“十四五”冷链物流发展规划》强调了冷链物流基础设施建设的重要性，这也为冷链展示设备行业带来了新的机遇与挑战。冷链展示设备涵盖多种产品类型，不同产品在市场需求特征上存在差异，且国内外在核心技术方面存在差距。本文将围绕冷链展示设备的产品类型、市场需求、核心技术、研发应用等多个方面展开探讨，旨在为行业的发展提供理论依据和实践指导。

一、冷链展示设备行业发展现状

（一）产品类型与市场需求特征

冷链展示设备行业涵盖多种产品类型。其中，商用冷藏柜适用于各类商业场所，满足日常商品冷藏展示需求，其注重温度的精准控制和空间的合理利用 [1]。立式冷冻柜则主要针对需要冷冻保存的商品，具有较低的温度设定和良好的保温性能。智能售卖冷柜是随着无人零售兴起的新型产品，集成了自动售卖功能，为消费者提供便捷的购物体验。

在市场需求特征方面，连锁便利店场景下，多温区存储需求凸显，以满足不同商品的存储条件。同时，可视化商品展示至关重要，能够吸引消费者目光。在无人零售场景中，自动售卖集成功能成为关键需求，提高运营效率，减少人力成本。这些新型功

能需求推动着冷链展示设备行业不断创新和发展。

（二）核心技术现状与研发痛点

国内外在冷链展示设备核心技术方面存在一定差距。在压缩机效能上，国外先进厂商的产品往往能在保证制冷效果的同时，实现更高的能源利用效率，而国内部分产品仍有提升空间 [2]。箱体绝热技术方面，国外一些企业采用的新型绝热材料和结构设计，使得箱体的保温性能更优。智能化霜控制是研发的关键难点之一，需要精确感知结霜情况并合理控制化霜周期和方式。动态热负荷匹配技术要求设备能根据不同的使用环境和物品存储需求，实时调整制冷量，这对传感器和控制系统的精度要求很高。物联网接入技术的应用也面临挑战，如何确保设备稳定连接并实现远程监控和数据传输是亟待解决的问题 [3]。

二、机械原理在柜体结构设计中的应用

（一）热力学系统构建原理

热传导方程是分析热传递过程的重要工具。在冷藏展示柜中，通过运用热传导方程，可以深入了解柜体内部的温度分布情况，从而优化蒸发器的布置方案。蒸发器作为制冷系统的关键部件，其合理布置能够提高制冷效率，确保柜体内部温度均匀。同时，建立双循环制冷系统数学模型对于提高制冷性能至关重要。该模型可以准确描述制冷系统的工作过程，为系统的优化设计提供理论依据。在此基础上，推导多温区独立控制的机械实现方式，能够满足不同物品的冷藏需求，提高展示柜的适用性和功能性^[3]。

（二）结构强度与材料工程

在柜体结构设计中，机械原理的应用至关重要。对于结构强度方面，通过有限元分析确定柜体骨架承重结构是关键步骤^[4]。有限元分析能够模拟柜体在实际使用中的受力情况，帮助设计师精确计算各部位的应力和应变，从而优化骨架结构，确保其在承受冷藏展示柜内部物品重量以及外部可能的冲击力时，仍能保持足够的强度和稳定性。在材料工程方面，发泡聚氨酯和 VIP 真空绝热板是常用的材料。比较它们的热工性能，有助于选择更适合的材料来满足冷藏展示柜的保温需求。这不仅涉及到材料本身的导热系数等热物理性质，还与材料的厚度、密度以及安装方式等因素有关。合理选择材料能够提高柜体的保温效果，降低能耗。

三、智能技术融合创新体系

（一）物联网技术深度集成

1. 远程监控云平台架构

基于物联网技术深度集成的远程监控云平台架构在冷藏展示柜产品研发中具有重要意义。通过设计基于 MQTT 协议的设备通讯模块，实现设备间高效稳定的数据传输^[5]。该协议具有轻量级、可靠等优点，适用于资源受限的物联网设备。同时，构建温度异常预警与能耗分析算法模型。利用采集到的温度数据，通过算法实时监测温度是否异常，及时发出预警，确保冷藏展示柜内物品的质量安全。在能耗分析方面，算法模型能够根据设备运行数据，分析能耗情况，为节能优化提供依据，从而提升冷藏展示柜的整体性能和使用效率。

2. 智能防盗管理系统

在冷藏展示柜的智能防盗管理系统中，整合重力感应与 RFID 识别技术具有重要意义。重力感应技术可实时监测展示柜内商品的重量变化，当商品被取出或放入时，能准确感知并记录相关数据^[6]。RFID 识别技术则通过给商品贴上电子标签，实现对商品的精准识别和定位。二者结合，能够开发出高效的动态库存监控系统。该系统不仅可以实时掌握库存数量，还能在商品出现异常存取行为时及时发出警报。同时，基于这些数据，可以构建异常存取行为识别模型，通过分析历史数据和实时监测数据，对异常行为进行准确判断和预测，有效防止商品被盗，提高冷藏展示

柜的安全性和管理效率。

（二）人工智能算法开发

1. 动态负载预测模型

在冷藏展示柜产品研发中，智能技术融合创新体系的人工智能算法开发至关重要。其中动态负载预测模型可应用 LSTM 神经网络构建开门频次与温度波动的关联模型。LSTM 神经网络具有处理时间序列数据的优势，能够有效捕捉开门频次与温度波动之间的复杂关系。通过对大量历史数据的学习和分析，模型可以准确预测不同开门频次下的温度变化趋势，从而为压缩机启停策略的实时优化提供依据。这不仅有助于提高冷藏展示柜的温度控制精度，还能降低能耗，提升产品的性能和竞争力^[7]。

2. 自适应除霜控制算法

建立基于模糊控制的除霜决策系统，需要综合考虑多种因素。通过在冷藏展示柜内设置温度传感器矩阵，可获取不同位置的温度数据^[8]。利用这些数据，模糊控制系统能够对结霜情况进行动态评估。根据温度变化趋势以及不同区域的温差等信息，系统可以更准确地判断是否需要除霜以及确定合适的除霜周期。与传统的固定周期除霜方法相比，这种自适应的除霜控制算法能够有效避免过度除霜或除霜不及时的问题，有效提高冷藏展示柜的制冷效率，降低能耗，同时延长设备的使用寿命。

四、技术管理体系建设

（一）模块化研发流程设计

1. 功能模块解耦策略

在冷藏展示柜产品研发中，功能模块解耦策略至关重要。采用 QFD 方法分解市场需求后，需对制冷系统、控制系统等六大核心模块进行解耦。各模块可采用自顶向下参数化设计体系，有助于产品系列化设计，大大缩短产品设计周期，同时也提升产品设计一致性。通过建立各模块的接口标准，明确模块间的交互规范，降低模块间的耦合度。这有助于提高模块的独立性和可替换性，方便后续的研发、测试和维护工作。例如，当制冷系统需要升级时，清晰的接口标准可使研发人员专注于该模块的改进，而不会对其他模块造成过多干扰。同时，合理的解耦策略也有利于并行开发，不同团队可同时对各模块进行研发，提高研发效率，缩短产品上市周期，提升产品在市场中的竞争力^[9]。

2. 并行工程实施路径

在冷藏展示柜产品研发中，构建跨部门协同开发机制至关重要。各部门需明确职责，加强沟通与协作，共同推动研发进程。例如，研发部门与市场部门紧密合作，了解市场需求，为产品设计提供方向^[10]。同时，制定机械设计与软件开发的双轨迭代流程，借助云平台进行项目流程化管理，机械设计注重产品的物理结构和性能优化，软件开发展现了智能控制和用户体验提升。两条轨道并行且相互反馈，机械设计的改进可能影响软件功能的调整，软件的升级也可能对机械结构提出新要求，通过不断迭代，实现产品的持续创新和性能提升。同时，在迭代过程中总结出设计关键要素，将其列入前期设计要点，减少产品设计更改次数，

缩短产品设计周期，提升了产品质量。

（二）知识产权保护体系

1. 专利布局策略

在冷藏展示柜产品研发中，构建完善的专利布局策略至关重要。需深入分析行业技术演进路线，了解不同阶段的关键技术突破与发展趋势。基于此，制定复合型专利组合方案，涵盖结构创新与算法创新两个核心方面。在结构创新方面，注重对冷藏展示柜的柜体结构、制冷系统布局、保温材料应用等进行创新性设计，并及时申请专利保护，以提升产品的性能和竞争力。对于算法创新，着重于温度控制算法、节能算法以及智能调控算法等的研发，确保产品在运行过程中能够实现高效、精准的控制，同时通过专利布局形成技术壁垒，防止竞争对手的模仿和侵权，从而在市场竞争中占据优势地位。

2. 标准参与机制

在冷藏展示柜的研发过程中，积极参与制定智能冷柜通信协议标准至关重要。企业应整合自身技术优势与研发经验，投入资源进行标准制定的研究与实践。通过与行业内其他企业、科研机构合作，共同探讨智能冷柜通信协议的关键技术指标、数据传输规范等核心内容。在这个过程中，充分考虑不同品牌冷柜的兼容性以及未来技术发展的可扩展性。同时，积极推动企业内部成熟的技术规范上升为行业通用标准，这不仅有助于提升企业在行业内的影响力，还能促进整个冷藏展示柜行业的技术进步与规范化发展，为产品的互联互通以及智能化升级奠定坚实的基础。

（三）供应链协同管理

1. 核心部件供应商管理

建立压缩机、控制器等关键部件的双重供应商认证体系，可从多方面确保供应的稳定性与部件质量。一方面，对供应商的生产能力、技术水平、质量管理体系等进行全面评估，选择符合高标准的供应商。另一方面，设立备用供应商，以应对可能出现的供应中断等问题。同时，实施动态质量追踪机制，借助 MES 系

统，实时监测关键部件的质量状况。通过在生产环节设置检测点，收集质量数据，对数据进行分析，及时发现质量波动。若出现质量问题，可迅速追溯到供应商生产环节，要求其整改，从而保障核心部件的质量，为冷藏展示柜产品的稳定生产和性能提供有力支持。

2. 数字化生产管控

在冷藏展示柜产品研发中，技术管理体系建设至关重要。通过应用 MES 系统，实现从钣金加工到总装测试的全流程追溯。该系统详细记录每个生产环节的数据，包括原材料信息、加工参数、操作人员等。一旦出现质量问题，可迅速定位根源。同时，构建质量数据闭环管理系统，将生产过程中的质量数据进行收集、分析和反馈。分析结果用于优化生产工艺和质量控制措施，反馈则确保相关部门及时了解质量状况并采取改进行动。这不仅提高了产品质量，还增强了供应链协同能力。在数字化生产管控方面，实现了生产过程的透明化和可控性，为冷藏展示柜的高效生产和技术创新提供了有力保障。

五、总结

冷藏展示柜产品研发取得了多方面成果。在技术创新上，利用热力学仿真优化和智能除霜算法，显著提升了能效并降低能耗。同时，建立模块化研发体系，大幅缩短新品开发周期且提高了专利布局覆盖率。这些成果得益于对机械原理的合理应用以及创新的研发理念和方法。未来，应进一步探索数字孪生技术在冷柜研发中的应用，通过构建虚拟模型实现对产品性能的精准预测和优化。并且要深化 AI 算法与机械系统的融合创新，赋予产品更智能的特性，以适应市场对冷藏展示柜高效、节能、智能的需求，推动行业持续发展。

参考文献

- [1] 刘国祥. WJ 公司产品研发中的界面管理研究 [D]. 浙江工业大学, 2021.
- [2] 宋小美. 研发投入、技术创新能力与企业绩效 [D]. 兰州交通大学, 2021.
- [3] 夏青苗. 研发投入、技术创新与产业结构升级 [D]. 河南大学, 2023.
- [4] 张欣茹. 研发团队知识重组能力与互联网技术创新 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [5] 张悠阳. 医药制造企业合作研发网络特征与技术创新效率关系研究 [D]. 西南交通大学, 2022.
- [6] 王亚臣, 刘竹丽, 梁帅. 基于场协同理论的冷藏展示柜内流体对流换热分析 [J]. 包装工程, 2022, 43(1): 245-252
- [7] 刘国庆. 基于农业机械自动化的技术创新与应用现状 [J]. 河北农机, 2022(22): 15-17.
- [8] 徐天舒, 孙甜甜. 供应链金融, 研发投入与企业技术创新 [J]. 科技与经济, 2023, 36(3): 56-60.
- [9] 刘雅琦. 基于服务设计理念的智能调料盒设计研究 [D]. 湖北工业大学, 2019.
- [10] 邓静, 李兰静. 基于服务设计理念的智能冷藏展示柜设计研究 [J]. 工业设计, 2022(8): 104-106.