

机电一体化技术在高效节能冷库制冷系统中的优化设计与工程应用

邵高峰

浙江乾山制冷科技有限公司 310000

【摘要】冷库制冷系统运行周期长、工况复杂，节能优化贯穿全生命周期且各子系统耦合性显著，机电一体化集成应用不足易引发能耗偏高、控制精度不足、设备故障率上升等问题。本文立足冷库制冷系统全流程运行逻辑，解析机电一体化技术适配应用的现存瓶颈，结合冷链行业工程实践构建系统化优化方案，从系统方案设计、设备集成选型、智能控制组态、工程施工调试及运维管理阶段提出针对性实施路径，旨在提升制冷系统能效水平与运行稳定性，助力冷链企业实现低碳集约化运营，推动冷链物流行业绿色高质量发展。

【关键词】机电一体化；高效节能；冷库制冷系统；优化设计；工程应用

Optimization Design and Engineering Application of Mechatronics Technology in High-Efficiency Energy-Saving Cold Storage Refrigeration Systems

Shao Gaofeng

Zhejiang Qianshan Refrigeration Technology Co., Ltd. 310000

【Abstract】 Cold storage refrigeration systems operate with extended cycles and complex working conditions. Energy-saving optimization spans the entire lifecycle while maintaining significant subsystem coupling. Insufficient integration of mechatronics technologies often leads to issues such as excessive energy consumption, inadequate control precision, and increased equipment failure rates. This study analyzes existing bottlenecks in mechatronics technology application based on comprehensive operational logic of cold storage refrigeration systems. By combining engineering practices from the cold chain industry, we develop systematic optimization solutions covering system design, equipment integration selection, intelligent control configuration, construction commissioning, and operation maintenance management. The proposed implementation pathways aim to enhance refrigeration system efficiency and operational stability, support low-carbon intensive operations for cold chain enterprises, and promote green, high-quality development in the cold chain logistics sector.

【Key words】 Mechatronics; High-efficiency energy saving; Cold storage refrigeration system; Optimized design; Engineering application

当前冷链物流行业迈入低碳转型与效率升级并行的发展新阶段，双碳政策约束趋紧、市场竞争加剧，制冷系统能耗占比居高不下，节能优化成为行业核心竞争力的关键支撑。冷库制冷系统各环节运行并非独立存在，前期方案设计偏差、机电设备匹配失衡、控制与执行端协同不足等问题，均会导致节能优化效果大打折扣。基于此，开展机电一体化技术在高效节能冷库制冷系统中的优化设计与工程应用研究，破除系统集成壁垒、整合软硬件资源、完善协同运行机制，对降低冷库运行能耗、延长设备使用寿命、保障冷链产品储存品质具有重要的理论价值与实践意义，也是冷链企业实现可持续发展的必然选择。

1 高效节能冷库制冷系统机电一体化应用的核心特性

与现存瓶颈

1.1 核心特性

高效节能冷库制冷系统的机电一体化集成应用，以全生命周期能效最优为核心目标，呈现出跨模块协同、多设备联动、全流程自适应三大核心特性。跨模块协同体现在优化设计需覆盖制冷循环、电气控制、机械传动、热交换等全功能模块，各单元技术参数、运行指令需形成闭环传导，避免局部优化与整体节能目标背离；多设备联动要求压缩机、冷凝器、蒸发器、节流装置、风机泵类及传感检测设备协同适配，打破设备独立运行壁垒，形成一体化节能运行体系；全流程自适应强调兼顾制冷量、温湿度精度、能耗、设备寿命四大核心指标的动态平衡，而非单纯追求能耗最低，实现节能与

稳定运行双重效能最大化^[1]。

1.2 现存核心瓶颈

机电一体化集成应用意识不足是首要制约因素,多数冷库仍采用传统机电分离设计模式,各功能模块独立设计、独立调试,缺乏对节能优化的整体性规划,前期方案设计未充分衔接后期设备运行与运维管理,易导致后期系统调试频繁、节能效果难以达标。信息交互不畅加剧集成应用困境,制冷设备、控制单元、检测传感器之间通信协议不统一,运行数据传递存在延迟、失真现象,温湿度、压力、流量、能耗等参数无法实时共享,引发控制响应滞后、设备频繁启停、能耗异常上升等问题^[2]。

2 机电一体化技术在高效节能冷库制冷系统中的优化设计路径

2.1 方案设计阶段

方案设计阶段是制冷系统节能优化的源头,直接决定系统能效等级与后续运行成本,需强化多维度协同设计,提升方案科学性与前瞻性。一方面,搭建制冷工艺与机电一体化协同设计机制,联合机电设计团队、制冷工艺工程师、能效咨询机构开展现场勘测,精准研判冷库库容、温湿度设定范围、货物周转频率、环境温湿度波动规律及电网负荷要求,结合项目定位、储存品类编制精细化能效计算书,明确节能控制基准参数,避免盲目设计导致的能耗冗余。另一方面,推动方案设计与设备选型提前衔接,组织设备供应商、施工单位共同参与方案研讨,围绕制冷循环形式、库体保温结构、设备布局、管路走向等核心指标,开展机电适配性与节能可行性分析,平衡制冷精度、设备成本与能耗投入,从源头规避设计方案与节能目标脱节的问题。同时,建立设计阶段能效风险评估体系,识别环境变化、设备适配性、电网波动等潜在风险,制定针对性防控措施,保障方案设计的稳定性与节能性。

2.2 设备集成选型阶段

设备集成选型阶段对制冷系统节能效果的贡献率超过70%,是机电一体化优化的关键节点,需构建制冷主机、辅机、电控系统、传感设备四方协同选型机制,实现设备性能与节能需求同步匹配。推行能效限额选型模式,机电设计团队结合能效计算书,为各设备单元明确能效比、输入功率、运行效率等限额指标,设备供应商在满足制冷量与温湿度控制要求的前提下,严格按照能效限额提供适配设备,避免高能耗、低适配性设备选型。建立设备集成性能评审机制,由制冷专家、机电工程师、第三方检测机构联合对设备参数、接口标准、通信协议进行审核,重点排查设备匹配失衡、接口不兼容、控制逻辑冲突等问题,提出优化改进建议,在保障设备运行可靠性的同时降低综合能耗。此外,推广模块化

集成设备在选型中的应用,依托一体化压缩冷凝机组、集成式电控柜、智能传感模块实现设备硬件与控制软件的一体化衔接,实时监测设备运行参数,及时调整运行状态,提升设备集成与节能优化的精准度。

2.3 智能控制组态阶段

智能控制组态阶段的机电一体化优化核心是规范控制流程、统一通信协议,实现感知、分析、决策、执行与制冷系统运行的深度融合,避免后续控制失灵与能耗失控。建设单位需联合机电集成商、软件开发商编制标准化控制组态方案,明确制冷循环控制逻辑、温湿度调节策略、变频控制参数、故障预警阈值及能耗监测指标,细化控制程序模块,规避程序漏洞、控制逻辑模糊等问题,为节能控制奠定基础。强化控制程序与设备运行协同调试,组建由机电控制、制冷工艺、设备运维等多方人员构成的调试小组,对控制程序的响应速度、调节精度、节能效果进行全面验证,重点核查参数漂移、控制滞后、变频异常等问题,兼顾控制稳定性与节能效率,确定最优控制组态方案。同时,完善通信协议与数据接口协同适配机制,统一 Modbus、CAN、以太网等通信标准,明确各设备、各模块在数据交互中的权责,细化参数采集、数据传输、指令下发、反馈执行等核心流程,锁定节能控制边界,减少后续控制异常导致的能耗上升。

2.4 工程施工调试阶段

工程施工调试阶段是机电一体化优化方案落地的核心环节,受施工工艺、管路布局、接线规范、现场环境等多种因素影响,需建立全过程协同管控机制,实现施工质量、调试精度、节能效果同步管控。搭建施工、监理、机电集成、制冷技术四方现场协同管控体系,定期开展现场核查,实时跟踪施工进度与安装质量,对比实际安装参数与设计参数的偏差,分析偏差原因并及时调整管控措施。严格规范机电安装与管路敷设协同流程,明确设备安装、管路连接、线路敷设、传感器布设的标准与时序,任何施工变更需经建设、设计、施工、机电集成等多方联合审核,评估变更对制冷效果、能耗、设备寿命的影响,杜绝违规施工与无意义变更,对必要变更及时更新设计与控制参数。此外,强化现场调试协同管控,建立分阶段调试机制,依次完成单机调试、分系统调试、全系统联动调试,联合设备供应商、软件开发商优化运行参数,推行变频调节、热气旁通、智能除霜等节能技术,降低系统运行能耗,同时严控安装与调试质量,避免因故障停机、能效衰减引发的运行成本增加。

2.5 运维管理阶段

运维管理阶段是制冷系统节能效果持续发挥的收尾环节,需强化多方协同运维,确保系统稳定运行、能耗持续达标,实现机电一体化优化闭环。组建由建设、机电集成、设备供应商、第三方运维机构参与的协同运维小组,明确运维流程、巡检周期、保养标准与故障处置时限,分工负责设备

巡检、参数监测、保养维护、故障维修工作，确保运维资料完整、真实，涵盖设备运行日志、参数监测记录、故障维修报告、能耗统计数据等核心资料。推行全生命周期运维管理模式，对设备运行状态、能耗数据、控制参数进行逐项监测，重点核查能耗异常、参数漂移、设备磨损、传感器失灵等问题，依托智能运维平台、大数据分析技术提升运维效率与节能管控精准度。建立运维故障协同解决机制，针对运行过程中出现的故障与能耗超标问题，多方联合协商处置，结合设计方案、设备参数与行业规范，明确解决方案，避免故障拖延导致的节能效果失效。

3 机电一体化技术优化应用的保障措施

3.1 强化一体化集成理念，构建全流程协同氛围

企业需树立全生命周期机电一体化节能理念，打破设计、设备、施工、运维壁垒，将一体化优化融入制冷系统全流程、各岗位，强化全员节能与集成应用意识。通过专题培训、案例研讨、技术交流等方式，提升技术人员与运维人员对机电一体化节能优化的认知水平，重点培育制冷、机械、电气、控制等岗位人员的协同能力，推动从业人员树立“全流程优化、全系统协同”的理念。同时，将机电一体化节能优化成效与绩效考核挂钩，建立差异化考核指标，激励从业人员主动参与方案优化、设备调试与运维管理，提升节能管控积极性与主动性。

3.2 完善一体化标准体系，明确各方权责边界

建立健全冷库制冷系统机电一体化优化设计与工程应用标准体系，明确设计、施工、机电集成、运维、设备供应等多方主体的权责分工，避免权责交叉与衔接断层。制定统一的机电一体化设计规范、安装标准、调试流程与验收准则，规范各阶段方案设计、设备选型、安装施工、控制组态、运维管理等环节的操作标准，确保一体化优化有序推进。建立协同考核与奖惩机制，对一体化应用成效显著、节能达标率高的单位与个人给予奖励，对违规操作、管控不力导致能耗超标、系统故障的进行追责，倒逼各方主体履行优化职责。企业需牵头梳理全流程协同节点，细化权责清单，将一体化要求嵌入合作协议，定期开展履职核查，动态优化奖惩标准，

参考文献

[1]张学锋,刘森.大型冷库氨制冷系统不停产改造工程实践[J].冷藏技术,2026,49(01):48-51.

[2]谭永安,孙晓雪,王强,等.-55℃超低温冷库制冷系统选择与设计要点[J].冷藏技术,2026,49(01):62-65.

作者简介：邵高峰，出生年月：1986年11月，男，汉族，籍贯：浙江省杭州市临安区，学历：本科，研究方向：制冷系统研发设计。

推动一体化标准体系落地见效，筑牢节能优化的制度根基。

3.3 推进数字化转型，提升一体化优化效能

依托数字化技术搭建冷库制冷系统机电一体化智能管控平台，整合各阶段、各模块的运行数据，使设备参数、控制指令、能耗数据、故障信息实现实时共享和同步更新，消除信息交互壁垒。企业可推进物联网、大数据、人工智能、变频控制等技术在制冷系统中的深度应用，依靠智能传感终端完成多参数实时采集与精准监测，借助大数据分析能耗波动规律、设备故障趋势与环境影响因子，实现自适应节能调控。

3.4 培育复合型技术人才，强化优化专业支撑

加大冷库制冷系统机电一体化复合型人才的培育与引进力度，构建一支兼具制冷工艺、机械设计、电气控制、智能运维能力的专业技术队伍。优化人才培养体系，结合行业低碳发展趋势与项目管控需求，开展针对性培训，重点提升人才的一体化设计能力、设备集成能力、智能控制编程能力及全流程运维能力。完善人才引进机制，吸引具备跨专业背景、丰富工程经验的复合型人才加入，同时建立人才激励与晋升机制，保障人才队伍的稳定性与积极性，为机电一体化优化设计与工程应用提供坚实的专业支撑。企业可搭建校企合作平台，定向培育适配岗位需求的专业人才，同步优化人才考核体系，将一体化优化实绩与节能成效纳入考核，倒逼人才提升综合素养，筑牢节能优化的人才根基。

4 结论

机电一体化技术在高效节能冷库制冷系统中的优化设计与工程应用是一项系统性工程，需立足制冷系统全生命周期，破除各模块集成壁垒、理顺多方协同关系，针对方案设计、设备集成选型、智能控制组态、工程施工调试及运维管理各阶段的优化重点，制定差异化实施路径。通过强化一体化集成理念、完善标准体系、推进数字化转型、培育专业人才等保障措施，可有效提升冷库制冷系统能效水平与运行稳定性，降低运行能耗、延长设备寿命、保障储存品质，实现制冷量、控制精度、能耗、设备寿命四大指标的动态平衡。