

车载冰箱多模式切换的自适应控制策略研究

陈至乐

英得尔实业（广东）股份有限公司，广东 中山 528400

DOI:10.61369/ERA.2026090022

摘 要： 针对车载冰箱在复杂使用环境下对能效与稳定性的双重需求，开展其多模式切换的自适应控制策略研究。该策略基于 12V/24V 双电压平台，整合了 ECO 与 MAX 双运行模式、三档电池电压保护、温度分区补偿及故障诊断功能。通过实时监测系统电压与箱内温度，控制算法可自动切换运行模式并调整保护阈值，实现了车辆供电系统与制冷性能的智能匹配，提升了产品的环境适应性与供电安全。

关 键 词： 车载冰箱；多模式切换；自适应控制；电池保护；温度控制策略

Research on Adaptive Control Strategy for Multi Mode Switching of Car Refrigerator

Chen Zhile

Guangdong ICECO Enterprise Co.,Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract： In response to the dual requirements of energy efficiency and stability for car refrigerators in complex usage environments, research is conducted on adaptive control strategies for their multi-mode switching. This strategy is based on a 12V/24V dual voltage platform, integrating ECO and MAX dual operation modes, three-level battery voltage protection, temperature zone compensation, and fault diagnosis functions. By real-time monitoring of system voltage and temperature inside the box, the control algorithm can automatically switch operating modes and adjust protection thresholds, achieving intelligent matching between vehicle power supply system and cooling performance, and improving the environmental adaptability and power supply safety of the product.

Keywords： car refrigerator; multi mode switching; adaptive control; battery protection; temperature control strategy

引言

车载冰箱使用环境复杂，适用于汽车、户外及家庭。供电来自点烟器或便携电池，电压分 12V 与 24V。行驶中电压波动明显，发动机启动时存在瞬时高压。控制策略不当易致汽车电池过度放电，车辆无法启动。用户对制冷速度与能耗需求各异。因此，设计自适应控制策略，根据电压状态与用户设定自动切换模式及保护阈值，对提升供电安全与使用便利性具有重要意义。该研究基于 X35、X45、X55 系列车载冰箱电控系统开展。

一、项目概述

研究选取 X35、X45、X55 三款车载冰箱作为研究对象。该设备可在车内、户外、居家等场景使用，主要用于食材与物品的冷藏、冷冻。设备搭载直流控制模块，兼容 12V、24V 两种电压，可搭配车载点烟器、各类便携电源使用。产品运用压缩机制冷技术，温控区间为 -20℃至 20℃，容积规格在 32L 至 52L 之间。

这款车载冰箱在技术整合方面表现突出。设备电气系统电压适应能力较强，12V 工况下可承受 17.8V 瞬时电压，适配柴油卡车等车辆的用电环境。产品电控硬件高度集成，主控板搭载显示、单片机、电源管理三类核心芯片，分别实现人机交互、指令

识别与电压调控功能。

设备兼顾操作体验与使用安全，操作面板设有电源、设置、调温共四个按键，搭配三位白色数码管，可实时显示温度与故障信息。产品环境适应能力出色，正常工作温度为 -10℃至 60℃，且完成了 -20℃低温、50℃高温下的存放与启动测试。以上技术特性，为后续自适应控制策略研究提供了实际工程支撑。

二、系统功能与模式切换机制

（一）双运行模式的电气特征

该车载冰箱设置两种制冷转速模式，分别为 ECO 与 MAX。

根据技术规格书描述，ECO 模式对应压缩机转速为 2000 转每分钟，而 MAX 模式对应转速为 3000 转每分钟。这两种模式的切换通过短按设置键完成。在运行逻辑上，MAX 与 ECO 模式有对应的指示灯，MAX 档位亮红色，ECO 档位亮绿色，且出厂默认值为 MAX 模式。从控制策略角度看，两种模式的区分在于压缩机驱动电流的差异。检测标准中明确提出，在 MAX 或 HH 档位连续运行 10 分钟后记录的电流值 I1，与切换到 ECO 档位运行 1 分钟后的电流值 I2 应满足 I1 约等于 2 倍 I2 的关系。这表明 ECO 模式通过降低压缩机转速与输入功率，在牺牲部分制冷速度的条件下换取更低的能耗，适用于电池供电或对噪音敏感的场景。而 MAX 模式则以全功率运行，追求最快的降温速率，适用于车辆发动机工作、供电充足的条件^[1]。

（二）三档电池保护的自适应逻辑

电池保护是多模式切换的核心安全机制。系统设置高中低三档保护阈值，分别对应不同的切断与恢复电压。在 12V 供电系统中，高档位的切断电压为 11.1 伏，恢复电压为 12.4 伏。中档位切断电压为 10.1 伏，恢复电压为 11.4 伏。低档位切断电压为 8.5 伏，恢复电压为 10.9 伏。在 24V 供电系统中，高档位切断电压为 24.3 伏，恢复电压为 25.7 伏。中档位切断电压为 22.3 伏，恢复电压为 23.7 伏。低档位切断电压为 21.3 伏，恢复电压为 22.7 伏。用户可通过长按设置键 3 秒，在显示界面循环选择 L、M、H 三个档位。该保护机制的自适应性体现在，当系统检测到输入电压低于所选档位的切断值时，将立即停止压缩机工作，并显示故障代码 ER1。待电压回升至恢复值以上，且满足压缩机保护延时时间后，系统才会重新启动。这种滞回比较方式避免了电压在临界点附近频繁波动导致的继电器反复吸合，保护了压缩机与供电电池^[2]。

（三）人机交互与参数设定的层级管理

控制策略的执行离不开明确的操作逻辑。系统将按键操作分为短按、长按及组合键三类，赋予不同功能。开关机采用长按方式，避免误触。在开机状态下，短按设置键切换 ECO 与 MAX。长按设置键则进入电池保护档位设定。设备处于关机状态时，长按设置键 3 秒，即可调出系统参数设置界面，界面会依次循环展示 E1 至 F5 各项参数。其中 E1 为温控下限、E2 为温控上限，E3、E4 分别对应开机与停机温度回差，E5 为保护延时长。F 组参数包含三项温度补偿、温标切换以及电池保护关闭功能。这套多级菜单可供专业使用者、生产人员结合现场环境微调设备参数。调整启停温度回差，能够改变压缩机工作频次，以此在控温准确度与设备能耗之间找到合理平衡点。

三、自适应控制策略的实现

（一）基于电压与温度的工况识别

工况判定是自适应控制策略的首要环节。单片机持续采集两组数据，分别为输入电压与箱内温度。温度由 NTC 热敏电阻检测，该元件参数为 R25=10kΩ、B25/50=3950K。设备利用固定电阻完成测温校准，10kΩ 对应 25℃，30kΩ 对应 0℃，100kΩ 对应 -20℃。电压数据用于区分车辆供电工况。电压长期高于设

定阈值，代表发电机处于工作状态，设备可切换至 MAX 模式，并启用低等级保护。若电压降至断电临界值，系统会限制 MAX 模式启用，或自动切换为 ECO 模式，延缓蓄电池耗电。该方案仅依靠本地电压检测实现工况识别，无需外接通信线路，能够控制硬件成本^[3]。

（二）模式切换的平滑过渡与记忆功能

控制策略增设平滑过渡机制，缓解模式切换给压缩机带来的运行冲击。由 MAX 模式切换至 ECO 模式时，控制器不会直接将转速从 3000 转降至 2000 转，而是在短时间内逐步下调驱动信号占比。反向切换时同样采用缓启动设计，避免瞬时大电流损伤电源管理芯片与电容元件。设备还搭载断电记忆功能。按照检测要求，连续三次断电重启后，设备运行参数需与断电前保持一致。该功能依托片内非易失性存储器实现，温度、运行模式、电池保护档位等参数修改后，系统会在 3 秒内完成数据存储。设备重新上电后，单片机会优先读取存储数据并完成初始化，保障控制策略连续运行，省去重复设置的操作^[4]。

（三）故障诊断与应急运行策略

自适应控制体系配套有完善的故障诊断及应急处置机制。设备可识别各类故障代码：温度探头短路对应故障码 ER0，断路对应 ER9，电压异常触发 ER1，风扇电流过载显示 ER2，压缩机启动故障为 ER3，转速异常为 ER4，功率模块过热则显示 ER5。若出现 ER0、ER9 故障，代表温度传感器无法正常工作，设备会切换为定时运行状态。该模式不再依据实时温度调控，压缩机连续运转 30 分钟后停机 30 分钟，循环执行。此方式无法精准调控温度，但可维持基础制冷效果，延缓箱内食材变质。出现 ER1 电压保护故障时，系统会实时监测电压数值。待电压回归正常区间，且完成预设保护延时后，设备将自动重启压缩机。遇到 ER3、ER4、ER5 这类压缩机或模块类故障，设备会立即停机，每隔 5 分钟开展自检并尝试重启，累计尝试三次。整套运行方案有效提升了设备容错性，也保障了无人值守场景下的运行稳定性^[5]。

四、关键性能测试与验证

（一）电气保护与功耗验证

依据检测标准，对该控制策略进行多项关键性能测试。在电池保护电压测试中，采用直流电源与万用表模拟不同电压条件。对于 12V 系统，当输出电压低于 9.6 伏时，低档位应使压缩机停止工作。调节电压至中档位切断值 10.1 伏以下，以及高档位切断值 11.1 伏以下，压缩机同样应停止。验证恢复电压时，需将电压提升至对应档位的启动值以上，压缩机方能重新启动。待机电流测试要求控制板不接任何负载，输入 12.6 伏电压并关机，此时流过万用表的电流应小于等于 10 毫安。最大耐压测试则模拟柴油卡车点烟器启动时的瞬时高压，调节直流电源输出 32 伏，频繁通断电 100 次后，控制板仍能安全运行。这些测试验证了自适应保护策略的准确性与硬件电路的鲁棒性。

（二）温度控制与显示准确性

温度准确性验证采用定值电阻替代感温头。电控板通电后，

依次将10千欧、30千欧、100千欧的电阻插入NTC接口，屏幕显示的温度值应分别对应25摄氏度、0摄氏度与零下20摄氏度。这验证了温度采集与转换算法的正确性。控温准确性测试依托完整整机开展。先将温度补偿参数清零，设置目标温度为-20℃，设备连续运行4小时，借助记录仪监测箱内温度的波动情况。本次测试主要验证自适应控制效果。依靠E3开机回差、E4停机回差的参数配置，判断实际温度能否贴近设定值，同时保证压缩机启停频次处于合理区间。设备温度显示区间为-40℃至40℃。一旦数值超出该范围，界面将固定显示上下限值，避免用户误判设备运行状态。

（三）环境模拟与耐久性测试

环境适应性测试主要分为高温测试与低温测试两项内容。测试过程中，将冰箱控制板放置于50℃高温环境中静置2h以上，取出后立即通电运行，检测设备各项功能是否完好。同理，将控制板置于-20℃低温环境中静置2h以上，复电后设备需正常启动和运行。该组测试能够检验控制芯片、电容、液晶屏等核心元器件，在极限温度环境下的启动性能与工作稳定性。

风扇堵转测试用于模拟风机实际故障工况。设备正常开机运行后，通过人为方式卡住风扇、封闭出风口，观察系统运行状态。正常情况下，系统需及时识别负载异常，弹出对应故障代码，并触发蜂鸣报警提示。该项测试可有效验证控制策略对负载故障的实时监测与识别能力。

断电记忆功能测试用于校验设备参数保存能力。测试时预先设定一组固定的设备运行参数，随后模拟突发断电工况，重复断电、通电操作三次。设备重新开机后，保存的运行参数需与断电前完全一致。若断电记忆功能失效，设备自适应控制策略将无法持续生效，每次开机都需要重新调试参数，大幅降低设备使用体验。

（四）整机寿命与长期可靠性评估

完成各项专项测试后，还需通过多项长期试验，验证设备控制策略的实际可靠性。

按键寿命试验中，在标准工况下对设备各按键进行10000次重复按压操作。试验后按键可正常工作，证明设备轻触按键具备良好的机械耐用性，同时控制程序的信号识别功能运行稳定。门体耐久性试验模拟用户日常开合上盖的使用场景，以上盖开合90°为一个完整循环，累计完成10000次开合测试。试验结束后，上盖结构无破损、开合功能正常，满足长期使用要求。整机寿命试验条件更为严苛。设备接入额定电压，设置目标温度为-18℃，保持空载连续运行10000小时。分别在试验开始前和结束后开展安规检测与性能检测，结果显示设备各项运行性能无明显衰减，功能状态稳定。同时，针对运输场景开展包装可靠性测试。包装跌落试验要求包装箱从0.61m高度完成三次底部跌落，开箱检查后设备外壳无开裂，整机功能完好。包装振动试验则模拟运输过程的颠簸工况，检验设备的运输耐受能力。

上述长期及模拟极端工况的测试结果表明，该自适应控制策略可适配设备全使用周期的运行需求。控制板搭载的自恢复保险、电源管理芯片、大容量电容等核心元器件，在各类测试中电气性能稳定。这也证实该控制策略对硬件的调度方式合理，不会造成元器件提前老化或故障失效，保障了设备长期运行的可靠性。

五、结束语

这套方案采用双电压平台设计，搭配两种运行模式与三档电池防护机制。设备实时采集电压、温度数据，自主调整控制参数与故障处理逻辑，兼顾供电安全与制冷运行。实测结果显示，系统电气防护、温度控制精度以及环境适应能力，都符合预设指标。后续可加装环境温度传感器，优化温度补偿系数的动态调节效果，同时搭建适配使用场景的自学习模型，进一步强化能效管理的智能化程度。

参考文献

- [1] 汪伟. 双模糊算法下压缩机电机转速节能控制设计[J]. 防爆电机, 2023, 58(1): 35-38.
- [2] 潘正辉, 冯望发, 曾庆生, 等. AIoT驱动的车载冰箱标准化与新能源汽车适配性研究[J]. 黄河科技学院学报, 2024, 26(8): 35-43.
- [3] 徐振耀, 陈德智, 路达, 等. 基于MEA-BP的NTC热敏电阻温度传感器非线性补偿研究[J]. 计算机与数字工程, 2023, 51(11): 2752-2757.
- [4] 郑飞, 吴钦木, 曾波. 冰箱压缩机用永磁同步电机全速范围无传感器控制研究[J]. 微电机, 2021, 54(4): 72-79.
- [5] 刘涛, 何宝石, 高方正. 一种大容量风冷车载冰箱电气控制系统设计浅析[J]. 日用电器, 2021(5): 55-59.