



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

新能源汽车集成化热管理系统智能控制技术规范

Technical specification for intelligent control of integrated thermal

management system for new energy vehicles

(征求意见稿)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 系统结构 4

 4.1 系统结构组成 4

 4.2 系统功能要求 4

5 智能控制策略 5

 5.1 多智能体强化学习（MARL）控制 5

 5.2 模型预测控制（MPC） 5

 5.3 故障诊断与容错控制 5

6 技术要求 5

 6.1 性能要求 5

 6.2 系统能效比要求 6

 6.3 系统延迟要求 6

7 试验方法 6

 7.1 性能试验 6

 7.2 系统能效比试验 7

 7.3 系统延迟要求试验 7

8 数据传输与通信协议 7

 8.1 数据传输 7

 8.2 通信协议 7

9 验收 7

 9.1 验收条件 7

 9.2 验收内容 7

 9.3 验收结论 8

 9.4 验收后处理 8

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

新能源汽车集成化热管理系统智能控制技术规范

1 范围

本文件规定了新能源汽车集成化热管理系统智能控制技术的系统结构、性能要求、试验方法及验收等。

本文件适用于本文件适用于纯电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车用集成化热管理系统的智能控制单元（TMS-ECU）等的设计、开发、测试、生产及应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 12542 汽车热平衡能力道路试验方法
- GB 18384 电动汽车安全要求
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 19951 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的试验方法
- GB/T 21361 汽车用空调器
- GB/T 21437.2 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第2部分：沿电源线的电瞬态传导
- GB/T 25000.51 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）第51部分：就绪可用软件产品（RUSP）的质量要求和测试细则
- GB/T 28046.3 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷
- GB/T 28046.4 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分：气候负荷
- GB/T 32960.2 电动汽车远程服务与管理系统技术规范 第2部分：车载终端
- GB/T 33014.2 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分：电波暗室法
- GB/T 34590.1 道路车辆 功能安全 第1部分：术语
- GB/T 34590.3 道路车辆 功能安全 第3部分：概念阶段
- GB/T 34590.4 道路车辆 功能安全 第4部分：产品开发：系统层面
- GB/T 37092 信息安全技术 密码模块安全要求
- GB/T 38661 电动汽车用动力蓄电池热管理系统技术要求及试验方法

3 术语和定义

GB/T 19596、GB/T 34590.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

集成化热管理系统 integrated thermal management system

通过共享制冷剂回路、冷却液回路及控制单元，实现对动力电池、驱动电机、乘员舱及功率电子元件统一热管理的系统，能效比（COP） ≥ 2.5 。

3.2

热平衡时间 thermal equilibrium time

从系统启动到所有被控对象温度稳定在目标值±2℃范围内所需时间，要求≤10分钟。

4 系统结构

4.1 系统结构组成

集成化热管理系统智能控制应采用“三层四回路”架构，由感知层、决策层、执行层及热管理回路四部分构成。其中，TMS-ECU作为中央控制器，各执行器保留本地保护逻辑。新能源汽车集成化热管理系统智能控制架构见图1。

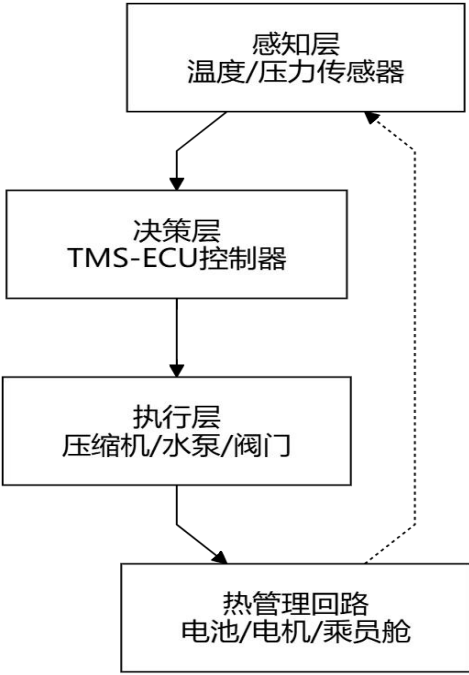


图1 新能源汽车集成化热管理系统智能控制架构示意图

4.2 系统功能要求

4.2.1 感知层

感知层是集成化热管理系统的信息采集前端，应满足要求如下：

- a) 感知层核心组件包括温度传感器阵列、压力传感器和流量传感器；
- b) 温度传感器应采用NTC或PT1000类型，采样频率不应低于10Hz，温度测量精度应达到±0.5℃；
- c) 压力传感器量程应覆盖0–3.5MPa，精度±1%FS；
- d) 流量传感器响应时间不应超过0.1秒。

4.2.2 决策层

决策层是系统智能控制核心，负责算法运算、策略生成与故障决策，应满足要求如下：

- a) 决策层核心组件包括TMS-ECU、AI推理芯片；
- b) TMS-ECU响应时间不应超过50ms，主控芯片算力应达到4TOPS以上；
- c) 系统应支持多传感器数据融合，融合算法应符合卡尔曼滤波或粒子滤波规范，融合后数据误差协方差应控制在0.25以内；
- d) TMS-ECU应部署深度学习模型，具备电池热失控预警、乘员舱温度预测、最优能耗路径规划等功能。

4.2.3 执行层

执行层负责将决策层指令转化为物理动作，应满足要求如下：

- a) 执行层核心组件包括电子膨胀阀、电子水泵、电磁阀和PTC加热器；
- b) 电子膨胀阀调节精度应达到 $\pm 3\%$ ，全开/全关循环寿命不应低于300万次；电子水泵流量调节范围0~20L/min，响应时间 $\leq 0.5s$ ，连续运行寿命 ≥ 15000 小时；
- c) 所有执行器应支持PWM控制，控制分辨率 ≥ 10 位。

4.2.4 热回路

热管理回路是能量传输载体，应满足要求如下：

- a) 热回路包括制冷剂回路、冷却液回路和冷媒直冷回路；
- b) 管路耐压强度不应低于3.5MPa；制冷剂应采用环保型R1234yf或R134a；冷却液应满足 -40°C 不冻结、 $+120^{\circ}\text{C}$ 不沸腾的特性；
- c) 所有执行器应支持PWM控制，控制分辨率 ≥ 10 位。

4.2.5 控制拓扑

新能源汽车集成化热管理系统应采用分布式总线拓扑，符合GB/T 32960.2的要求。

4.2.6 功能安全要求

新能源汽车集成化热管理系统功能安全等级应不低于GB/T 34590.3中ASIL-C要求，其中电池热失控预警功能应达到ASIL-D。单点故障诊断覆盖率 $\geq 97\%$ ，潜伏故障诊断覆盖率 $\geq 80\%$ 。

5 智能控制策略

5.1 多智能体强化学习（MARL）控制

5.1.1 压缩机智能体

压缩机智能体负责调节压缩机转速，在能耗与温控精度间取得最优平衡。

5.1.2 多通阀智能体

多通阀智能体负责优化回路切换策略，减少热损失和切换功耗。

5.1.3 水泵智能体

负责控制冷却液流量，实现快速响应和低噪声运行。

5.2 模型预测控制（MPC）

在瞬态工况下，MPC用于优化10秒预测时域内的能量分配，应基于热力学第一定律建立状态空间模型作为预测模型。

5.3 故障诊断与容错控制

5.3.1 故障诊断

故障诊断项目如下：

- a) 诊断范围：传感器故障、执行器卡滞、管路泄漏、制冷剂不足、通信中断等24种典型故障；
- b) 诊断时间： $\leq 100\text{ms}$ （从故障发生到故障码生成）；
- c) 故障码：支持256个历史故障存储；
- d) 诊断覆盖率：单点故障 $\geq 97\%$ ，潜伏故障 $\geq 80\%$ 。

5.3.2 容错控制

容错控制项目如下：

- a) 传感器失效：单个温度传感器失效时，切换至冗余传感器；无冗余时，采用模型估计值，误差 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 执行器失效：电子膨胀阀失效时，切换至备用阀门；水泵失效时，启动应急循环（自然对流）；
- c) 通信失效：CAN FD中断时，切换至LIN备用通信；双总线失效时，执行器进入预设安全状态。

6 技术要求

6.1 性能要求

6.1.1 热平衡时间要求

系统从启动到所有被控对象温度稳定在目标值 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内所需时间应 ≤ 10 分钟。

- 6.1.2 温度控制精度要求
电池温度 $25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，电机温度 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ，乘员舱温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，动态工况下波动幅度 $\leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.1.3 余热回收率要求
机电控系统废热回收利用率应 $\geq 40\%$ 。
- 6.1.4 湿热循环要求
湿热循环性能要求如下：
a) 高温阶段： $+85^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度95%，保持4小时；
b) 低温阶段： -40°C ，保持4小时；
c) 转换时间： ≤ 30 分钟。
- 6.1.5 环境适应性要求
环境适应性要求如下：
a) 工作温度要求：工作温度范围应为 $-30^{\circ}\text{C}\sim +50^{\circ}\text{C}$ ；
b) 耐振动性要求：扫频10Hz-1000Hz，加速度 30m/s^2 ，每轴向8h；
c) 电磁兼容性要求：需满足辐射抗扰100V/m，传导抗扰 $\pm 150\text{V}$ ，静电放电 $\pm 8\text{kV}/\pm 15\text{kV}$ 的要求。
- 6.2 系统能效比要求

新能源汽车集成化热管理系统智能控制能效比要求见表1。

表1 新能源汽车集成化热管理系统智能控制能效比要求

工况模式	环境温度($^{\circ}\text{C}$)	目标温度($^{\circ}\text{C}$)	能效比(COP)	系统功耗(kW)
乘员舱制热	-10	20	≥ 2.0	≤ 3.5
乘员舱制冷	35	20	≥ 2.8	≤ 2.8
电池加热	-20	5	≥ 1.8	≤ 4.0
电池冷却	40	35	≥ 2.5	≤ 2.2

- 6.3 系统延迟要求
- 6.3.1 信号采集与处理
从传感器输入到数字信号处理完成，延迟时间 $\leq 20\text{ms}$ 。
- 6.3.2 AI算法决策
从处理完成数据输入到控制指令输出，延迟时间 $\leq 50\text{ms}$ 。
- 6.3.3 执行器驱动
从控制指令输出到执行器动作响应，延迟时间 $\leq 30\text{ms}$ 。
- 6.3.4 系统总延迟时间
系统总延迟时间应 $\leq 100\text{ms}$ 。

7 试验方法

- 7.1 性能试验
- 7.1.1 热平衡时间试验
按GB/T 12542执行。
- 7.1.2 温度控制精度试验
按GB/T 38661执行。
- 7.1.3 系统延迟试验
使用双通道示波器进行试验。
- 7.1.4 余热回收率试验
引用工业余热利用的计算公式进行计算。
- 7.1.5 湿热循环试验
按GB/T 28046.4的规定执行。
- 7.1.6 环境适应性试验

环境适应性试验按以下步骤进行：

- a) 工作温度试验：高温工作试验按GB/T 2423.2执行；低温工作试验：按GB/T 2423.1执行；
- b) 耐振动性试验：按GB/T 28046.3执行；
- c) 电磁兼容性试验：辐射抗扰测试按GB/T 33014.2执行；脉冲抗扰测试按GB/T 21437.2执行；静电放电测试按GB/T 19951执行。

7.2 系统能效比试验

按GB/T 21361执行。

7.3 系统延迟要求试验

采用时间戳对比法或示波器触发法进行试验。

8 数据传输与通信协议

8.1 数据传输

数据传输应构建于TCP/IP协议栈；传输安全应符合GB/T 37092的要求。

8.2 通信协议

8.2.1 设备层

设备层应支持Modbus、MQTT、CoAP或HTTP/HTTPS。

8.2.2 电能表通信

与电能表通信应满足DL/T 645及DL/T 698.45的要求。

8.2.3 远程通信

远程通信宜采用MQTT或HTTPS。

8.2.4 应用交互层

应用交互层应提供RESTful API或WebSocket接口。

8.2.5 无线通信

无线通信应支持IEEE 802.11、蓝牙5.0、NB-IoT/4G/5G。

9 验收

9.1 验收条件

9.1.1 系统条件

系统已完成部署，所有功能模块可正常启动运行，软件版本已固化。

9.1.2 文档条件

制造商已提交完整的验收文档，包括《出厂检验报告》《部署记录》等。

9.1.3 运行条件

系统已连续试运行不少于30个工作日（或1000小时），关键业务运行无重大故障。

9.2 验收内容

9.2.1 功能验收

功能验收项目如下：

- a) 多模式切换功能：手动触发快充加热、行车冷却、驻车保温、废热回收、除霜除湿、应急冷却6种模式，系统应在500ms内完成切换，切换过程中温度波动 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ ，验证次数不少于10次，成功率100%；
- b) AI预警功能：使用10组电池热失控历史数据注入测试，系统应提前300s以上发出预警，预警准确率 $\geq 95\%$ ；误触发测试连续运行1000小时，误报率 $\leq 3\%$ ；
- c) 故障诊断功能：模拟24种典型故障（传感器断路、执行器卡滞、通信中断等），系统应在100ms内诊断并上报故障码，诊断覆盖率 $\geq 97\%$ ，漏报率为0；
- d) 信息安全功能：模拟5次身份认证失败，系统应锁定账户；抓取CAN报文验证SecOC签名。

9.2.2 性能验收

性能验收项目如下：

- a) 热平衡时间：在25℃环境舱内，将电池包从35℃冷却至25℃，使用温度记录仪每秒采样，达到目标温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 并持续3min的时间点与启动时间之差 $\leq 10\text{min}$ ，测试3次取平均值；
- b) 温度控制精度：系统在稳态工况下连续运行72小时，每5分钟记录一次电池（12个测点）、电机（3个测点）、乘员舱（4个测点）温度，电池与目标值偏差 $\leq \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，电机 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ，乘员舱 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，且95%分位值偏差不超过限值80%；
- c) 系统延迟：测量延迟 $\leq 100\text{ms}$ ；
- d) COP值：在标准环境舱（35℃）测量制冷量/功率比值 ≥ 3.0 ；在 -10°C 环境测量制热量/功率比值 ≥ 2.5 ，测试误差 $\leq \pm 5\%$ 。

9.2.3 安全与信息安全验收

安全与信息安全验收项目如下：

- a) 功能安全：审查FMEA分析报告，确认电池热失控预警功能达到ASIL-D，单点故障诊断覆盖率 $\geq 97\%$ ，潜伏故障覆盖率 $\geq 80\%$ ；
- b) 信息安全合规：委托CNAS认可实验室渗透测试，高危漏洞0个，中危漏洞 ≤ 3 个；
- c) 电气安全：按GB 18384测试绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，耐压1500V AC持续1min无击穿。

9.3 验收结论

9.3.1 验收问题分类

验收问题分类如下：

- a) A类问题：影响行车安全或核心功能的缺陷，包括热失控预警失效、COP值不达标、信息安全高危漏洞、热平衡时间超标 $\geq 20\%$ ；
- b) B类问题：影响用户体验或系统效率的缺陷，包括温度控制精度超标 $\leq 20\%$ 、文档缺失、培训覆盖率 $< 90\%$ 、非关键故障诊断漏报。

9.3.2 合格判定

同时满足以下条件判定为“验收合格”：

- a) 功能验收、性能验收、安全验收各项指标的符合率均 $\geq 95\%$ ；
- b) 无A类不合格项，B类不合格项 ≤ 3 项；

9.3.3 不合格判定

出现以下情况之一判定为“验收不合格”：

- a) 存在1项及以上A类不合格；
- b) 任一类验收（功能/性能/安全）整体符合率 $< 90\%$ ；
- c) B类不合格项累计超过5项。

9.4 验收后处理

9.4.1 合格处理

系统转入正式运行维护期，质保期自验收合格之日起计算，质保期不少于2年或5万公里。

9.4.2 不合格处理

不合格处理措施如下：

- a) 验收不合格时，制造商应在15个工作日内提交整改计划，明确整改措施、责任人、完成时间；
- b) A类问题必须整改后重新验收；B类问题可在整改后提交验证报告，必要时现场确认；
- c) 整改次数不超过2次，若第二次验收仍不合格，用户有权终止合同并要求赔偿；
- d) 整改期间发生的所有费用由制造商承担，整改后验收合格后质保期重新计算。