

ICS 43.040.40

CCS T 40



团体标准

T/CEATEC XXX—2026

插电式混合动力车辆电控系统能量 管理策略优化指南

Guidelines for optimization of energy management strategy in electric
control system of plug-in hybrid electric vehicles

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-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	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体原则	2
4.1 一致性原则	2
4.2 协调性原则	2
4.3 易用性原则	2
4.4 适应性原则	2
5 优化目标	2
5.1 燃油经济性优化	2
5.2 动力性能保障	2
5.3 动力电池寿命延长	2
5.4 排放控制	2
6 优化方法	2
6.1 工况识别与预测优化	3
6.2 参数匹配优化	3
6.3 控制算法选择与改进	3
6.4 多目标协同优化	4
7 验证与评价	4
7.1 验证方法	4
7.2 评价指标与判定准则	4
7.3 验证报告	4
8 实施建议	5
8.1 制造商实施建议	5
8.2 研发机构技术建议	5
8.3 检测机构实施建议	5
8.4 用户使用建议	5

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。

插电式混合动力车辆电控系统能量管理策略优化指南

1 范围

本文件规定了插电式混合动力车辆电控系统能量管理策略优化的总体原则、优化目标、优化方法、验证与评价、实施建议。

本文件适用于插电式混合动力车辆电控系统能量管理策略优化的设计、研发和验证。

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 18352.6 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB 18384 电动汽车安全要求

GB/T 18386.1 电动汽车能量消耗量和续驶里程试验方法 第1部分：轻型汽车

GB/T 18386.2 电动汽车能量消耗量和续驶里程试验方法 第2部分：重型商用车辆

GB/T 19596 电动汽车术语

GB/T 32694 插电式混合动力电动乘用车技术条件

GB/T 34598 插电式混合动力电动商用车 技术规范

3 术语和定义

GB/T 19596界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

插电式混合动力车辆 plug-in hybrid electric vehicle, PHEV

可以通过外接电源充电，具有纯电驱动模式、混合动力驱动模式等多种驱动模式，且满足相关纯电续驶里程要求的混合动力车辆。

3.2

电控系统 electric control system

由整车控制器、电机控制器、发动机控制器、电池管理系统等组成，用于协调控制车辆动力源输出、能量分配及模式切换的控制系统。

3.3

能量管理策略 energy management strategy

电控系统中用于优化分配发动机、电机、动力电池等动力源的能量流动，实现车辆多目标优化的控制逻辑和算法。

3.4

等效燃油消耗最小策略 equivalent consumption minimization strategy, ECMS

通过建立燃油消耗与电能消耗的等效关系，以整个行驶周期内等效燃油消耗最小为目标的能量管理策略。

3.5

模型预测控制 model predictive control, MPC

基于车辆动力学模型、动力源模型及工况预测信息，通过滚动优化和反馈校正实现实时能量优化分配的控制算法。

3.6

工况识别 driving condition recognition

通过分析车辆行驶过程中的速度、加速度、负载等特征参数，判断车辆当前所处行驶工况的方法。

3.7

动力电池SOC state of charge of power battery

动力电池的荷电状态，即当前剩余电量与额定容量的比值，用百分比表示。

4 总体原则

4.1 一致性原则

能量管理策略的控制逻辑、参数定义、接口协议应与车辆电控系统的整体设计保持一致，相同工况下的控制策略表述和参数设置应统一。

4.2 协调性原则

策略优化应与车辆动力系统（发动机、电机、动力电池等）的特性相协调，避免单一目标优化导致其他性能恶化，确保多目标优化的协同性。

4.3 易用性原则

优化后的能量管理策略应便于在电控系统中实现，控制算法的计算复杂度应与控制器硬件性能相匹配，确保实时性和可靠性。

4.4 适应性原则

策略应适应不同行驶工况（城市拥堵工况、高速公路工况、坡道工况等）、不同环境温度（ -30°C ~ 45°C ）及不同电池老化状态下的车辆运行需求。

5 优化目标

5.1 燃油经济性优化

在满足GB/T 18352.6规定的试验条件下，插电式混合动力乘用车的综合工况燃油消耗率应降低 $\geq 10\%$ ，商用车的综合工况燃油消耗率应降低 $\geq 8\%$ 。

5.2 动力性能保障

优化后车辆的最高车速、加速性能、爬坡性能应符合GB/T 32694、GB/T 34598及相关产品技术要求，其中 $0\sim 100\text{km/h}$ 加速时间变化量不应超过 $\pm 5\%$ 。

5.3 动力电池寿命延长

通过优化能量分配，减少动力电池的深度充放电循环，使动力电池循环寿命（容量衰减至80%额定容量）提升 $\geq 15\%$ ，SOC波动范围控制在 $\pm 5\%$ 以内。

5.4 排放控制

车辆排放应满足GB 18352.6规定的第六阶段排放限值，其中CO排放 $\leq 1.0\text{g/km}$ ，HC排放 $\leq 0.1\text{g/km}$ ，NO_x排放 $\leq 0.08\text{g/km}$ 。

6 优化方法

6.1 工况识别与预测优化

6.1.1 工况特征参数提取

应提取车辆行驶过程中的速度、加速度、制动强度、行驶时间、停车次数等特征参数，特征参数的采样频率应不低于10Hz。

6.1.2 工况分类与识别模型

采用K-means聚类算法将行驶工况分为城市拥堵工况、郊区工况、高速公路工况、坡道工况4类，各类工况的特征参数范围应符合表1的规定。通过支持向量机（SVM）建立工况识别模型，模型识别准确率应不低于92%。

表1 典型行驶工况特征参数范围

工况类型	平均车速 (km/h)	最大加速度 (m/s^2)	制动强度 (m/s^2)	停车次数 (次/10km)
城市拥堵工况	≤ 25	≤ 1.5	≤ 2.0	≥ 15
郊区工况	25~60	≤ 2.0	≤ 2.5	5~15
高速公路工况	≥ 60	≤ 2.5	≤ 3.0	≤ 5
坡道工况	-	≤ 3.0	≤ 3.5	-

6.1.3 工况预测方法

采用马尔可夫链预测模型实现短期工况预测，预测步长为5~10s，预测精度（车速预测值与实际值的相对误差）应不超过 $\pm 10\%$ 。

6.2 参数匹配优化

6.2.1 发动机启停阈值优化

发动机启动阈值应根据动力电池SOC、车辆负载及工况类型动态调整，具体阈值范围应符合表2的规定。发动机停机阈值应比启动阈值低5%~8%，避免频繁启停。

表2 发动机动态启停阈值（SOC范围）

工况类型	轻负载 ($\leq 30\%$ 额定负载)	中负载 (30%~60%额定负载)	重负载 ($\geq 60\%$ 额定负载)
城市拥堵工况	20%~70%	30%~70%	40%~70%
郊区工况	20%~65%	25%~65%	35%~65%
高速公路工况	20%~60%	25%~60%	30%~60%
坡道工况	25%~70%	35%~70%	45%~70%

6.2.2 动力源功率分配系数优化

基于车辆当前工况和动力需求，优化发动机与电机的功率分配系数：

a) 在城市拥堵工况下，电机功率分配系数应 $\geq 70\%$ （SOC $\geq 20\%$ ）；

b) 在高速公路匀速工况下，发动机功率分配系数应 $\geq 80\%$ ，确保发动机工作在高效区间（有效热效率 $\geq 38\%$ ）。

6.2.3 动力电池充放电策略参数优化

动力电池的充电电流应控制在0.3C~1C之间，放电电流应控制在0.5C~2C之间（C为动力电池额定容量），避免超过GB 18384规定的极限充放电电流。

6.3 控制算法选择与改进

6.3.1 等效燃油消耗最小策略（ECMS）改进

引入动态等效因子，根据动力电池SOC、行驶工况及电池老化状态实时调整等效因子取值（范围：1.2~3.5），避免传统固定等效因子导致的全局优化性能不足。

6.3.2 模型预测控制（MPC）应用

建立包含发动机、电机、动力电池及车辆动力学的多域模型，优化时域设置为5~8s，控制周期不超过10ms。目标函数应包含燃油消耗、电能消耗、动力电池损耗及排放指标，权重系数可根据优化目标动态调整。

6.3.3 算法融合优化

采用ECMS与MPC融合的控制算法，在已知工况信息时采用ECMS实现全局优化，在工况动态变化时采用MPC实现实时优化，融合切换条件应基于工况预测结果和优化目标误差确定。

6.4 多目标协同优化

建立燃油消耗、动力性能、电池寿命、排放的多目标优化函数，采用非支配排序遗传算法（NSGA-III）求解 Pareto 最优解，根据车辆使用场景和用户需求选择最优控制参数组合。

7 验证与评价

7.1 验证方法

7.1.1 台架试验验证

按照GB/T 18386.1和GB/T 18386.2的规定，在整车动力总成台架上进行NEDC、WLTC及典型工况的试验验证，台架试验的环境温度应控制在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.2 实车试验验证

选择城市道路、郊区道路、高速公路及坡道等典型路线进行实车试验，试验里程不低于1000km，记录车辆的燃油消耗、电能消耗、动力电池SOC变化、排放及动力性能参数。

7.1.3 仿真验证

采用MATLAB/Simulink或AVL Cruise等仿真工具建立仿真模型，模型精度应满足：燃油消耗预测误差 $\leq 8\%$ ，动力性能预测误差 $\leq 5\%$ 。仿真工况应包括标准工况和自定义典型工况。

7.2 评价指标与判定准则

7.2.1 燃油经济性评价

综合工况燃油消耗率应符合表3的规定，若优化后燃油消耗率降低值 \geq 目标值（乘用车 $\geq 10\%$ ，商用车 $\geq 8\%$ ），则判定为合格。

表3 综合工况燃油消耗率判定标准

车辆类型	优化前燃油消耗率 (L/100km)	优化后合格值 (L/100km)
乘用车 ($\leq 1.6\text{L}$)	≤ 6.5	≤ 5.85
乘用车 (1.6L~2.0L)	≤ 7.5	≤ 6.75
商用车 (轻型)	≤ 10.0	≤ 9.2
商用车 (重型)	≤ 25.0	≤ 23.0

7.2.2 动力性能评价

0~100km/h加速时间、最高车速、最大爬坡度应符合产品技术要求，加速时间变化量 $\leq \pm 5\%$ ，最高车速变化量 $\leq \pm 3\%$ ，最大爬坡度不低于产品规定值，判定为合格。

7.2.3 动力电池寿命评价

通过台架加速老化试验，动力电池循环寿命（容量衰减至80%）提升值 $\geq 15\%$ ，SOC波动范围 $\leq \pm 5\%$ ，判定为合格。

7.2.4 排放评价

CO、HC、NO_x排放值符合GB 18352.6规定的第六阶段限值，判定为合格。

7.3 验证报告

验证报告应包括试验条件、试验数据、仿真结果、评价结论等内容，试验数据应真实有效，评价结论应明确是否满足本文件规定的要求。

8 实施建议

8.1 制造商实施建议

- 8.1.1 车辆制造商应建立能量管理策略优化的研发流程，结合本文件要求制定企业内部技术规范。
- 8.1.2 在策略开发过程中，应充分考虑动力系统零部件的特性差异，进行个性化参数匹配。
- 8.1.3 优化后的策略应通过台架试验、实车试验及仿真验证的多重验证，确保可靠性和稳定性。

8.2 研发机构技术建议

- 8.2.1 研发机构应加强工况识别、预测算法及多目标优化算法的研究，结合人工智能、大数据等技术提升策略的智能化水平。
- 8.2.2 应建立插电式混合动力车辆动力源模型库和工况数据库，为策略优化提供数据支持。

8.3 检测机构实施建议

- 8.3.1 检测机构应按照本文件规定的验证方法和评价指标，开展能量管理策略优化效果的检测工作。
- 8.3.2 检测设备应符合相关国家标准的要求，定期进行校准和维护，确保检测结果的准确性和公正性。

8.4 用户使用建议

- 8.4.1 用户应按照车辆使用说明书的要求进行充电和维护，避免长期亏电或满电存放。
- 8.4.2 在不同行驶场景下，合理选择驱动模式，以充分发挥能量管理策略的优化效果。