

增程式电动汽车动力系统的智能控制研究

冯国胜

含山电子工程学校, 安徽 马鞍山 238100

DOI: 10.61369/ETR.2026230033

摘 要 : 在能源结构调整与汽车产业电动化转型的大背景下, 增程式电动汽车凭借结构简单、运行可靠、续航能力强等优势, 成为新能源汽车领域的重要车型。动力系统控制策略直接影响整车动力性、燃油经济性与动力电池使用寿命。传统基于固定阈值的能量管理策略适应性较差, 在复杂道路工况下易出现增程器工作点不合理、能量分配不均、电池频繁波动充放电等问题。为进一步提升增程式整车综合控制性能, 本文系统分析增程式电动汽车动力系统结构组成与工作机理, 总结传统控制策略存在的缺陷, 构建基于工况识别与多目标优化的分层智能控制体系。通过 MATLAB/Simulink 搭建整车仿真模型, 在 CLTC 工况下完成对比试验。结果表明, 相较于传统恒温器控制与功率跟随控制, 本文所设计智能控制策略能够有效优化增程器工作区间, 降低整车燃油消耗, 提高动力输出平稳性, 改善动力电池工作状态, 具有良好的工程应用价值。

关 键 词 : 增程式电动汽车; 动力系统; 智能控制; 能量管理; 工况识别

Intelligent Control Research of Range-Extended Electric Vehicle Power Systems

Feng Guosheng

Hanshan Electronic Engineering School, Ma'anshan, Anhui 238100

Abstract : Against the backdrop of energy structure adjustment and the electrification transformation of the automotive industry, range-extended electric vehicles have emerged as a vital type of new energy vehicles thanks to their simple structure, reliable operation and superior cruising range. The control strategy of the power system directly affects vehicle dynamic performance, fuel economy and service life of power batteries. Traditional energy management strategies based on fixed thresholds present poor adaptability, and tend to cause unreasonable operating points of range extenders, uneven energy distribution and frequent charge-discharge fluctuations of batteries under complex road conditions. To further improve the overall control performance of range-extended vehicles, this paper systematically analyzes the structural composition and operating mechanism of the power system, summarizes the deficiencies of conventional control strategies, and establishes a hierarchical intelligent control system based on driving condition identification and multi-objective optimization. A vehicle simulation model is built on MATLAB/Simulink, and comparative tests are conducted under the CLTC driving cycle. The results show that compared with traditional thermostat control and power following control, the proposed intelligent control strategy can effectively optimize the operating range of range extenders, cut vehicle fuel consumption, stabilize power output and improve the working state of power batteries, possessing favorable engineering application value.

Keywords : range-extended electric vehicle; power system; intelligent control; energy management; driving condition identification

引言

随着国家“双碳”战略持续推进, 汽车行业节能减排标准不断升级, 新能源汽车已成为产业发展的主流方向。纯电动汽车虽然具备零排放、低噪声、结构简单等优势, 但受电池容量、低温性能、充电设施限制, 在长途出行、高速行驶、偏远地区使用场景中存在明显短板。传统混合动力汽车机械结构复杂、传动系统故障率高、维修成本较高, 综合使用经济性有限。

增程式电动汽车属于串联式混合动力结构, 发动机不直接参与驱动, 仅带动发电机发电, 整车行驶完全由电机驱动, 实现了动力发电系统与行驶系统的机械解耦。该结构兼具纯电驱动的节能性与燃油发电的续航优势, 能够有效解决里程焦虑问题, 适配城市通勤、高速长途、山区道路等多种复杂场景, 近年来市场占有率持续提升。

动力系统控制技术是增程式电动汽车的核心关键技术，合理的能量管理策略能够协调发动机、发电机、动力电池与驱动电机之间的能量流动，最大限度提升整车经济性与稳定性。目前国内多数量产增程车型仍采用传统规则式控制策略，依靠人工设定固定阈值实现能量切换，无法根据实时路况、车速变化、负载波动自适应调整，存在工况适配性差、能耗偏高、电池损耗严重等问题。

为解决传统控制策略的局限性，国内外研究逐步将智能算法、机器学习、模型预测控制引入汽车能量管理领域。通过智能感知行车状态、动态优化能量分配、精准调控部件工作状态，能够显著提升整车控制精度与综合性能。基于此，本文开展增程式电动汽车动力系统智能控制研究，构建分层智能控制架构，通过仿真验证策略有效性，可为增程式电动汽车控制系统优化设计提供理论支撑。

一、增程式电动汽车动力系统结构与工作模式

（一）动力系统总体结构

增程式电动汽车动力系统主要由增程发电系统、动力电池系统、电机驱动系统与整车控制系统四大部分组成。其中增程器由发动机与发电机集成，作为车载辅助发电装置；动力电池承担储能与功率缓冲功能；驱动电机为整车唯一动力输出单元；整车控制器、电池管理系统、电机控制器构成整车控制核心。

相较于混动汽车，增程式结构无复杂行星排、离合器、变速机构，机械结构简单、故障率低、控制自由度高。发动机可以脱离行驶工况约束，长期工作在高效发电区间，为整车节能优化提供了良好结构基础。

（二）动力系统工作模式

根据车辆行驶状态与电池荷电状态的动态变化，增程式电动汽车系统主要可划分为三种典型的工作运行模式，每种模式对应不同的能量流分配与控制策略，以实现整车高效、经济的能量管理与驱动。

第一，纯电驱动模式。当车辆电池电量处于充足状态，例如在城市低速拥堵路段、短途日常通勤等特定工况下，增程器（通常指内燃机-发电机组）将保持完全停机状态。此时，整车驱动所需的能量完全由动力电池组提供，电能通过电力电子装置供给驱动电机，从而推动车辆行驶。这一模式能实现零燃油消耗、极低的运行噪声与尾气零排放，充分发挥了纯电动行驶在环保、静谧性与使用成本方面的显著优势。

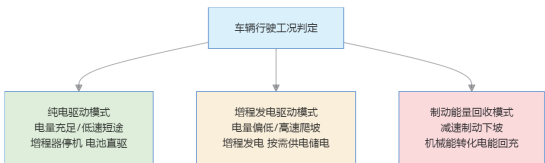
第二，增程发电驱动模式。当监测到动力电池的荷电状态下降至预设的阈值以下，或车辆处于高速巡航、急加速、大负荷爬坡等高功率需求工况时，控制系统将自动启动增程器。增程器中的内燃机开始工作，带动发电机运转产生电能。所产生的电能将优先直接供给驱动电机，以满足车辆即时的行驶功率需求；若发电功率大于当前驱动需求，富余的电能则会被输送至动力电池进行储存，从而在补充电量的同时维持车辆续航能力，确保动力输出的持续性与稳定性。

第三，制动能量回收模式。在车辆减速、制动或下坡行驶过程中，控制系统会使驱动电机从电动状态切换至发电状态。此时，车轮的惯性动能或势能通过传动系统带动电机旋转发电，将原本可能以摩擦热能形式耗散掉的机械能高效地转化为电能，并经电路回充至动力电池中。这一过程有效回收了部分车辆动能，降低了整车能量损耗，对提升能源利用效率和延长综合续航里程

具有积极作用。

（三）动力系统控制目标

增程式动力系统智能控制需要同时满足动力性、经济性与耐久性三大目标。动力性方面，保证加速、超车、爬坡工况动力响应迅速、输出平稳无顿挫；经济性方面，尽量减少增程器低效工况运行，降低整车燃油消耗；耐久性方面，优化电池充放电逻辑，抑制大电流冲击，避免深度充放电，延长电池循环寿命。



二、传统动力控制策略及存在问题

（一）传统主流控制策略

1. 恒温器控制策略

恒温器控制也称开关式控制，核心逻辑为设定电池 SOC 上下限。当 SOC 降低至下限值，启动增程器满负荷发电；当 SOC 回升至上限值，关闭增程器。该策略能够保证发动机工作在固定高效区间，控制逻辑简单、工程易实现。但发电功率固定，无法跟随实时行驶功率变化，高速大功率工况下电池持续深度放电，电池损耗较大。

2. 功率跟随控制策略

功率跟随控制以整车实时驱动功率为依据，增程器输出功率动态跟随负荷变化，动力电池仅补偿瞬时功率差值。该策略动力输出平稳、适配性较强，但发动机工作点频繁变化，极易偏离高效经济区间，造成整车油耗升高、燃烧稳定性变差。

（二）传统控制策略主要缺陷

首先，工况自适应能力弱。传统控制依赖固定参数阈值，无法识别城市拥堵、高速巡航、坡道行驶等差异化工况，控制逻辑单一，复杂路况下节能效果大幅下降。

其次，能量分配精度低。规则化控制难以兼顾动力、油耗、电池保护多目标需求，容易出现增程器空载、低效运行、电池频繁波动充放电等问题，整车综合经济性无法达到最优。

最后，动态响应滞后。传统控制属于被动响应式控制，缺少工况预判能力，面对车速突变、油门急变、负载波动时调控滞

后，容易出现动力波动、行驶平顺性下降等问题。

三、增程式动力系统智能控制策略设计

针对传统控制策略不足，本文构建工况感知层—能量决策层—部件执行层三级智能控制架构，实现全工况自适应优化控制。

（一）工况感知与状态识别

通过整车传感器实时采集车速、车速变化率、油门开度、制动信号、电池 SOC、电池温度、驱动功率等参数，构建行车状态数据集。利用机器学习算法对典型行驶工况进行样本训练，实现城市、高速、拥堵、坡道等工况的精准识别。同时基于短时车速趋势完成工况预判，提前切换控制逻辑，解决传统策略响应滞后问题。

（二）多目标智能能量管理策略

以油耗最低、动力最稳、电池损耗最小为优化目标，建立多目标加权优化函数，采用智能优化算法动态求解最优能量分配方案。

拥堵低速工况下，优先纯电行驶，限制增程器启停，降低能耗与噪声；高速匀速工况下，提前启动增程器，稳定在高效发电区间，维持电池电量平衡；加速、爬坡大功率工况下，采用增程器与电池联合供电模式，在保证动力充足的同时避免电池大电流持续放电。通过动态匹配发电功率、电池充放电功率、电机驱动功率，实现能量利用最大化。

（三）核心部件协同控制

在能量决策基础上完成精细化部件控制。增程器动态调节转速与输出功率，锁定高效工作区间，减少启停损耗；动力电池根据 SOC 与温度自适应限制充放电倍率，规避异常工况损伤电池；驱动电机采用扭矩平滑控制，弱化工况切换带来的动力震荡，提升行驶平顺性。

（四）仿真模型搭建

基于 MATLAB/Simulink 搭建增程式电动汽车整车模型，包含发动机、发电机、动力电池、驱动电机及控制模块。选用 CLTC

中国轻型汽车循环工况作为测试工况，统一初始参数，分别嵌入传统策略与智能策略进行对比仿真。

四、仿真结果与分析

（一）燃油经济性分析

仿真结果表明，恒温器策略百公里油耗 5.82L，功率跟随策略百公里油耗 5.46L，本文智能控制策略百公里油耗仅 4.93L，相比传统策略节油效果显著。智能算法可实时匹配最优发电工作点，大幅减少低效运行时间，提升能量转化效率。

（二）动力稳定性分析

传统控制策略在工况切换时扭矩波动明显，导致车速稳定性较差。而智能控制策略通过预判调控与扭矩输出的平滑处理，不仅动力响应更为迅速，扭矩曲线也更加平稳，有效改善了车辆的顿挫问题，显著提升了驾乘舒适性。

（三）电池工作状态分析

在传统的控制策略下，电池系统常常面临充放电操作频繁、电流波动幅度较大的问题，同时深度放电现象也较为普遍。相比之下，智能化的控制策略能够有效地平抑功率输出的波动性，使得电池的充电与放电过程变得更加平稳、均衡，从而显著降低了电池的老化速度，并有助于延长整车的整体使用寿命。

五、结论与展望

本文通过分析增程式电动汽车动力系统结构及工作特性，针对传统固定规则控制策略工况适应性差、能耗高、电池损耗大等问题，设计了一套基于工况识别与多目标优化的智能能量管理控制策略。仿真结果证明，该策略能够有效优化增程器工作区间、降低整车油耗、提升动力稳定性、改善电池工作状态，综合性能优于传统控制方法。

未来可结合车联网预测路况、强化学习算法与车载大数据技术，进一步提升极端工况与复杂路况下的自适应控制精度，构建更加智能、高效、可靠的动力系统管控体系，为增程式电动汽车技术升级与产业化发展提供支撑。

参考文献

- [1] 王浩, 李刚. 基于强化学习的增程式电动汽车能量管理策略研究 [J]. 机械设计与制造, 2024(03): 289–292.
- [2] 张伟, 刘建军. 增程式电动汽车动力系统参数匹配与优化 [J]. 汽车工程, 2023, 45(08): 132–138.
- [3] 陈明, 赵阳. 基于模型预测控制的增程式汽车能量管理策略 [J]. 汽车技术, 2023(11): 45–51.
- [4] 李天宇, 王博文. 增程器高效工作区间的智能控制优化研究 [J]. 内燃机工程, 2024, 45(02): 78–84.
- [5] 杨峰, 徐凯. 复杂工况下增程式电动汽车多目标能量管理策略 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2023, 42(05): 112–118.
- [6] 刘泽宇. 增程式电动汽车动力系统建模与能量控制策略 [J]. 汽车零部件, 2024(02): 66–71.
- [7] 黄俊辉. 智能算法在混动汽车能量管理中的应用综述 [J]. 汽车工程学报, 2023, 13(04): 52–59.
- [8] 陈勇, 刘畅. 基于工况识别与模型预测的增程式电动汽车能量管理策略 [J]. 汽车工程, 2023, 45 (10): 1865–1874.
- [9] 刘梦琪, 刘军. 考虑电池寿命的增程式电动汽车多目标优化能量管理 [J]. 机械设计与制造, 2024 (02): 156–160.
- [10] 刘宗阳, 刘刚. 基于驾驶意图与路况预判的增程器智能启停控制策略 [J]. 汽车技术, 2023 (12): 56–63.