

# 融合交通信息的汽车智能节能 关键技术分析

张先锋，杨建军，白巴特尔，王宝森，刘双喜

中汽研（天津）汽车工程研究院有限公司 天津 300300

**摘要：**分析车辆融合交通信息关键技术的节能原理、系统技术特性、节能策略及应用节能效果。研究表明，智能节能系统能够优化提升车辆动力系统效率和降低整车需求功率，实现汽车的智能能量管理和节能驾驶，降低汽车实际使用能耗，节能效果显著。

**关键词：**交通信息；汽车；智能节能；关键技术

汽车能耗标准日益提高和“双碳”目标要求对节能技术提出了更高的要求，利用交通信息技术和智能技术提高汽车实际行驶能耗水平具备较大潜力，也是国内外研究热点，智能节能驾驶策略开发也是推动汽车低碳技术应用的重要内容。

2020年我国首次提出，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，CO<sub>2</sub>排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”业界对汽车产业提前实现“双碳”目标都给予了厚望，努力成为“脱碳之星”已在汽车行业内外达成共识，实现这个过程是非常复杂的，难度和压力非常大，需要包括汽车、交通、能源等多行业的跨界联动与协同。

中国汽车工程学会在2020年发布了《节能与新能源汽车技术路线图》2.0版，提出在2025年、2030年和2035年，乘用车（含新能源汽车）的新车平均油耗要

分别达到每100km，燃油消耗4.6L、3.2L和2.0L。同年，国务院办公厅发布了《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》明确提出，提高技术创新能力需要攻关多能源动力系统集成技术，突破整车智能能量管理控制。

当前，通信、传感、计算、控制及智能等信息技术迅速发展，智能网联汽车引起了世界广泛关注，并且在改变着汽车的现有生态系统。国际能源署《2019年能源效率报告》（Energy efficiency 2019）表明，数字化和信息化技术在汽车能效提高中起到了重要作用，预计贡献率将达到20%~25%，美国NEXTCAR项目在智能动力系统节能减排中给出的目标是20%。

车辆智慧节能技术是指车辆能量管理系统及与GPS（全球定位系统）、GIS（地理信息系统）和ITS（智能交通系统）协同控制，利用交通大数据信息是提高智能汽车能效水平的系统性节能新方案，是满足未来

油耗法规与提升市场竞争力的关键技术。

整车节能目标达成不能单纯依靠某个系统或者零部件，需要挖掘整车及动力总成各个子系统的节能潜力，核心是整车能量的有效管理及最大程度适应用户全工况，使车辆全程运行具有最佳的能量使用效率。从用户对车辆差异化使用需求角度，全面考虑全场景用车工况，融合全球定位系统、地理信息系统和智能交通系统，提升驾驶品质，同时实现节能收益最大化。

车辆节能原理

当前，从能源的采集、运输到被车辆利用最终完成交通运输任务，至少需要三个能量转换步骤（见图1），而针对不同的能源转换环节，汽车节能减排技术的着眼点也有所不同<sup>[1]</sup>。

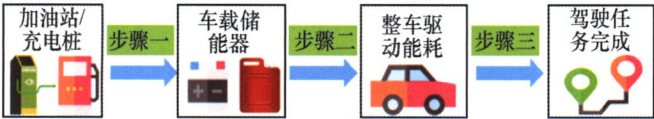


图1 能量转换主要步骤

首先，是能源源头到车辆储能设备的过程。主要考虑是通过合理规划加油站、充电站等分布，减少不必要的成本，如等待时间过长及资源闲置浪费等。

其次，是消耗能量驱动车辆行驶的过程。为实现汽车节能控制，提升发动机的热效率，提升传动系统效率，提升电动机及控制器效率、提升电池充放电效率、整车阻力优化及轻量化技术等均为整车在该环节的主要节能途径。

最后，是消耗能量驱动车辆行驶的过程，即车辆

在道路上行驶完成交通运输任务的过程。该环节针对不同驾驶工况，通过考虑道路坡度、曲率等信息，优化车辆自身运动状态，达到节能减排目的。

驾驶任务环节中，车辆节能减排控制一般是针对某一段给定起点到终点的路段为优化范围，进行最优控制问题的构建。为了方便问题分析，将车辆看成一个质点，根据牛顿第二定律，可以得到车辆纵向行驶动力学公式：

$$M \frac{dv}{dt} = F_w - Mg(\sin \theta + c_r \cos \theta) + \frac{1}{2} \rho_a A C_D v^2 \quad (1)$$

式中  $M$ ——车辆质量；  
 $V$ ——车辆行驶速度；  
 $F_w$ ——车轮的驱动力或制动力；  
 $C_r$ ——滚动阻力系数；  
 $\theta$ ——道路坡度；  
 $\rho_a$ ——空气密度；  
 $A$ ——车辆有效迎风面积；  
 $C_d$ ——空气阻力系数。

考虑到整车能效提高的核心问题之一，是在给定驾驶任务下，合理规划车辆从起点到终点的行驶速度以达到节能的目的。通过定义车轮处的瞬时功率 $F_w V$ 为性能指标，那么汽车在固定时间 $[0, t_f]$ 内从起点行驶到终点完成驾驶任务所消耗的能量 $E$ 可以表示为式（2）

$$E = \int_0^{t_f} F_w(t) v(t) dt \quad (2)$$

通过结合式（1），式（2）经转换可得式（3）

$$\int_0^{t_f} F_w(t) v(t) dt = \int_0^{s_f} F_w(s) ds = \int_0^{s_f} \left[ M \frac{dv}{dt} + Mg(\sin \theta + c_r \cos \theta) + \frac{1}{2} \rho_a A C_D v^2 \right] ds \quad (3)$$

为了方便分析，不失一般性下假设 $M$ 、 $g$ 、 $C_r$ 和 $\rho_a$ 为常数，则上式最终可转化为式（4）

$$E = \frac{1}{2} M (V_f^2 - V_0^2) + Mg \Delta h + Mgc_r \Delta x + \frac{1}{2} \int_0^{s_f} C_D(s) v^2(t) ds \quad (4)$$

式中  $V_f, V_0$ ——起点和终点位置的速度；  
 $\Delta h$ ——该段路垂直方向距离；  
 $\Delta x$ ——所经路段水平方向距离。

式（4）中的前2项分别指车辆的动能和势能变化量，由于驾驶任务固定且无法改变，因此前两项无法

对节能做出贡献；第3项为滚动摩擦损失，该部分与 $C_r$ 和 $\Delta x$ 有关，为了使该项尽可能小，需要选择距离较短且滚动阻力较小的路线，这也是融合道路信息节能基本理论出发点。

节能系统关键要素

1.ADAS高精地图技术

随着高精地图的快速发展，ADAS地图广泛应用于车辆安全和节能领域。ADAS地图的几何精度大约在50cm，它是在普通的导航电子地图的基础上进行了扩充，包括动态信息在内丰富的地图要素和道路拓扑信息（见图2），比如道路等级、车道信息及车道线、交通标志、交通设施、交叉口、道路形状点、坡度、曲率及连接关系等静态道路数据，同时还包括比如天气、拥堵或畅通等交通信息、事故或封路等动态事件信息。

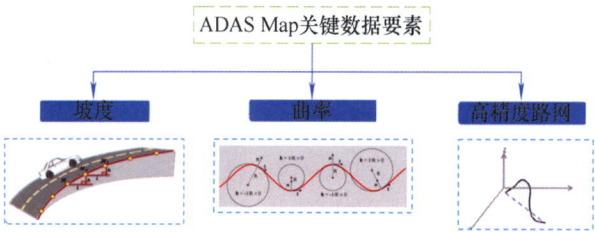


图2 ADAS地图与节能相关的关键要素

与整车节能相关主要功能包括如下：

(1) 高精度定位 借助于高精度带有地理位置的道路车道线形状点、交通标志、交通设施等静态数

据，结合GNSS、车身传感器甚至视觉信号等其他辅助定位手段，能够达到厘米级别的定位精度。

(2) 局部路线引导 通过地图数据拓扑结构，能够描述车辆最有可能行走的路径（Most Probable Path, MPP）。该MPP带有道路级甚至车道级行驶引导信息，可以提供给车辆决策控制系统，用于引导驾驶者操控车辆，或者决策系统接管车辆动力、转向、制动控制进行半自动或全自动的引导、变道等操作。

(3) 全局路线规划 同样借助于全局MPP，车辆可以时刻了解全局道路的静态和动态属性信息。一方面可以根据这些信息合理地调整车辆动力系统或电源管理模块，减少燃油消耗或节省电量，达到最佳的经济性；另一方面，可以提前识别车辆行驶路径上的事故或拥堵等实时动态信息，适时变更行驶路线或者提前预警，提高驾驶的安全性和舒适性。

2.车辆状态感知技术

车辆状态感知是对车辆进行实时有效控制的基础，车辆在行驶过程中，需要准确感知周边的信息，针对整车节能主要是获得前车的动态信息。当前主流的传感器，包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达和超声波雷达等，各自有其优缺点和适用范围，详见表1。

表1 车辆状态感知传感器特点

| 项目 | 摄像头                                 | 毫米波雷达                          | 激光雷达                                       | 超声波雷达                   |
|----|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| 距离 | 短（50m）                              | 短/中/长（250m）                    | 长（> 100m）                                  | 很短（5m）                  |
| 精度 | 一般                                  | 较高                             | 极高                                         | 高                       |
| 成本 | 中                                   | 高                              | 极高                                         | 低                       |
| 功能 | 利用计算机视觉判别周边环境与物体、判断前车距离             | 感知大范围内车辆的运行情况，多用于自适应巡航系统       | 动静态障碍检测识别与跟踪、路面检测、定位和导航、环境建模               | 探测低速环境，如自动泊车系统          |
| 优势 | 成本低，硬件技术成熟，可识别物体属性                  | 全天候全天时工作，探测距离远，性能稳定，分辨率较高，测速精确 | 测量精度极高，分辨率高，抗干扰能力强，测距范围大，响应速度快             | 成本低，近距离探测精度高，且不受光线条件的影响 |
| 劣势 | 依赖光线，易受恶劣天气影响，难以精确测距                | 部分场景下易受信号干扰，无法识别物体属性，探测角度小     | 易受恶劣天气影响，成本高昂，制造工艺复杂                       | 只适用于近距离，低速场景，易受信号干扰     |
| 类别 | 包括单目、双目摄像头，按照芯片类型又可分为CCD摄像头、CMOS摄像头 | 依据测距原理不同可分为脉冲测距雷达和连续波测距雷达      | 可分为机械激光雷达和固态激光雷达，根据探测原理也能够区分为单线激光雷达和多线激光雷达 |                         |

经过对比分析，毫米波雷达传输距离远，在传输窗口内大气衰减和损耗低，穿透性强，可以满足车辆对全天候适应性的要求。并且毫米波本身的特性，决定了毫米波雷达传感器器件尺寸小、质量轻等特性，很好地弥补了摄像头、激光、超声波及红外等其他传感器在车载应用中所不具备的使用场景。利用毫米波雷达可以支持整车节能，77GHz汽车雷达相比24GHz分配的频段更宽，距离分辨率更高，体积相比更小，目标探测能力强，适合用于节能车辆周边精度问题。

节能策略开发方案

1.基于导航信息全局优化节能技术

当前能量管理策略主要分为基于规则的能量管理和基于优化的能量管理，利用ADAS高精地图和用户导航信息，具备基于全局优化策略来实现车辆节能。该方法使用规划算法在行驶循环全局上进行优化，可以获得全局最优解。其核心思想是：将一系列事件或者连续事件按照不同的阶段或时间间隔进行划分，并选择合适的状态变量、控制变量，定义状态转移方程和性能指标函数，对各阶段的性能指标函数进行求解后，即可获得全局最优控制序列。

对动态规划算法进行求解时，首先将状态变量和控制变量进行离散化处理，对每个阶段的各个状态值施加各个控制变量后可以获得相应的状态转移代价和

下一个时刻的状态值，然后进行逆向递推，获得当前时刻的各个状态到末端状态的最小代价值，及其对应的最优控制序列；最后从前往后推，由初始状态量可获得整个阶段的最优控制序列，且根据最优控制序列可求得各阶段的状态量及总的代价值。

2.基于跟车工况预测模型节能技术

自由流与受限流用于描述车辆当前所处的交通状况。在自由流交通状况下，车辆的节能驾驶策略不受外界交通状况的影响，而在受限流交通状态下，车辆的节能驾驶策略需要考虑前方车辆的车速及与前方车辆的距离进行修正，以确保节能策略的合理性，同时满足车辆驾驶安全性的需要。

为适应不同行驶工况下提高能耗经济性，需要开发根据前车行驶工况选择控制目标的节能型自适应巡航控制，主要方案如下。

设计了识别前车行驶工况的BP神经网络结构，网络的输入为平均车速、最大车速、平均加速度及最大加速度等若干个行驶特征参数。隐含层一般为2层，神经元为8个和10个，输出为市区、市郊和公路行驶工况类型。

建立了自适应巡航跟驰预测模型，针对不同行驶工况，设计了模型预测巡航控制的目标函数和约束条件，主要采用加速约束，加速度实现方式如图3所示。

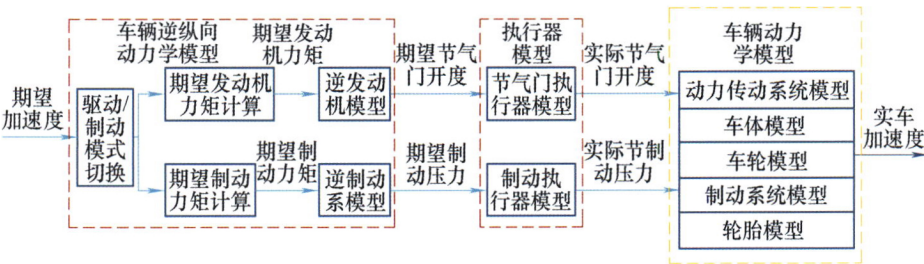


图3 基于节能策略的加速度的控制方案

应用案例分析

1.乘用车典型应用

(1) 奔驰ECO辅助 (Eco-assist) 系统 梅赛德斯-奔驰A级插电式混合动力传动系统设计为P2并行架构，混合动力系统在智能动力系统管理中使用系统路线优化策略，在混合动力驱动模式下，电力驱动运行、电池充电、换挡和动力总成的热管理都根据速度分布和

路线拓扑进行优化。

该方案在车辆上采用ECO辅助 (Eco-assist) 功能来实现，它基于即将到来的路线、下坡坡度、十字路口及路段间限速来建议松开油门，从而帮助用户培养经济性驾驶风格，也增加了能量回收的效率。例如，使用导航数据可以让ECO辅助系统在驾驶员意识到即将发生的制动事件之前，建议驾驶员减速进入ECO工况。如果采用 ECO-Assist系统，与普通驾驶模式相比，

其消耗量可以减少5%。

(2) 上汽荣威智能能量管理系统 (IEM)  
上汽荣威开发的智能能量管理系统IEM (Intelligent Energy Management) 可根据导航等提供路况和环境信息, 智能选择最适合动力系统运行模式和能量回收强度, 最大限度优化整个行程系统效率, 提升驾驶体验 (见图4)。

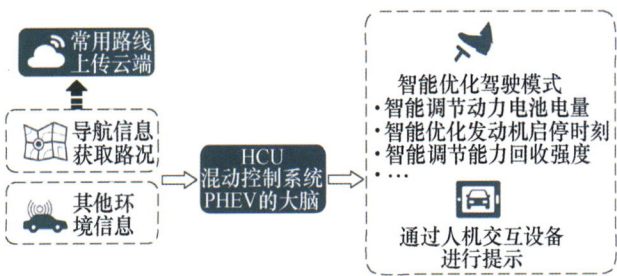


图4 上汽荣威智能能量管理 (IEM) 系统

IEM功能开启后, 动力系统会自动根据整个行程长度、预计车速、坡度值及拥堵等信息提前规划, 调整发动机和电动机使用范围, 纵览整个行程进行用油、用电分配, 实时控制电池电量。行驶过程中收到来自导航前方拥堵信息后, 系统会在畅通路段利用发动机高效区进行充电; 在拥堵路段, 车辆能以效率更高的EV模式行驶, 最终整个行程能耗更低。

通过预估车速曲线, 智能优化发动机启停时刻, 精准控制发动机运行状态, 使发动机始终工作在高效区。IEM根据地图导航信息和来自雷达前后车距离信息预估车速变化, 更智能合理地控制车辆在纯电、行车充电和并联模式中切换, 可避免车辆自身因素或驾驶员操作造成发动机频繁启停或时间怠速。

为确保更精确控制, IEM还将引入驾驶激烈指数进行修正, 可实现千人千面驾驶风格。识别减速场景, 主动加强能量回收力矩。能量回收将摆脱强、中、弱各挡束缚, 进入Auto状态。如地图提示前方有红绿灯时, 车辆会根据有较强减速需求, 增加能量回收强度。此时, 驾驶员只需要在红绿灯前松开油门, 车辆就会在强能量回收作用下较快减速, 完成预期操作, 并将能量存储到电池包中。

除来源于地图路口、限速等静态减速场景, IEM还将引入雷达信号, 可以根据与前车相对位置和速度来识别动态减速场景, 让能量回收强度不再是定值, 而是根据需求变化, 代替部分刹车功能, 降低能耗。IEM还

会计算出最经济导航路线供用户选择, 在适合时机提示客户进行操作, 如导航末端提示客户切换EV; 在前方电子眼测速且用户超速时提示减速, 并伴随松节气门后强回收。

典型场景实测数据显示, IEM智能能量管理能节省能耗15%以上, 实际用车情况影响因素较, 效果可能会上下浮动。

(3) 吉利几何SEM智能能量管理系统 吉利几何C的SEM智能能量管理技术, 基于全场景、全工况、全温度系统级动态能效控制算法, 做到精准用电能耗控制。SEM系统基于整车控制系统 (VCU) 与电池控制系统 (BMS) 联合对驾驶员习惯、充电模式、空调负载等多种参数进行动态标定的控制策略, 不仅仅提升续航里程算法的精度, 还具备通过长期检测整车状态后通过优化控制提升续驶里程的能力。

SEM智能能量管理系统从蓄能、节能、回能、控能及升能五维度, 通过以算法为核心的能效控制, 实现超低能耗、高精度能量控制及高效能量回收。在能量控能方面, 采用行业独创SOC续驶里程算法, 融合VCU整车控制器与BMS电池管理系统, 通过套SOC计算逻辑加权, 实现表显剩余续驶里程与实际续驶里程精准度接近100%。同级独有智能预约充电桩加热技术, 提前将电池包调整到最优状态, 最高可提升续驶里程50km。搭载ITCS3.0电池智能温控管理系统, 在-30~55℃环境温度均可保持电池恒温工作, 还有ECO+超级节能模式, 智能调整电量分配, 一键提升8%续驶里程。

2.商用车典型应用

(1) 奔驰PPC动力系统预见性巡航系统 奔驰货车PPC动力系统预见性巡航内置的三维地图可提前预知高速公路前方2km地形, 自动优化换挡时机、挡位选择和定速巡航的设定车速, 进而节省燃油。无论行驶在陡峭的山坡上或行驶在平地上, 动力系统预见性巡航能提前识别前方道路状况, 并给出预测性的应对方案。为此, 动力系统预见性巡航需要持续测定车辆的动能, 根据道路前方的地形变化, 例如爬至峰顶前或驶向平地时, 通过经济滑行功能充分利用车辆动能, 减少发动机牵引力损耗并节约燃油。与未配备PPC的车

辆相比，智能巡航控制和变速器控制系统平均可节省多达5%的燃油。

(2) 四维图新节能辅助驾驶（PCC）系统 四维图新及其中寰卫星推出了节能辅助驾驶系统“PCC-预见性巡航”（见图5）。PCC预见性巡航是一款具有节油特性的量产级商用车智能驾驶控制系统。该系统在不改变司机驾驶行为及车辆动力总成匹配的情况下，通过对车辆的最优控制实现节油，并有效缓解司机的驾驶疲劳。PCC从ADAS地图数据中，提取出坡度、曲率、航向等数据，结合持续优化的节油算法，进行车辆的驾驶决策，PCC预见性巡航可实现平均节油6%~

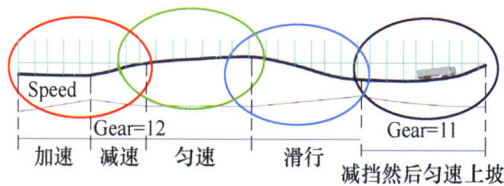


图5 中寰PCC-预见性巡航系统

10%。

(3) 清华大学云控节能巡航控制系统 清华大学研究团队认为现有单车智能驾驶系统的感知范围有限，对道路交通信息的获取能力不足，造成车辆动力系统最佳工作状态和道路交通条件难以匹配，无法构建全局范围的节能驾驶策略，导致车辆行驶过程的节能效果欠佳，因此提出了基于云控平台的节能巡航控制系统（见图6）。

该系统在不改变司机驾驶行为及车辆动力总成的情况下，根据车辆行驶数据，从地图数据中提取出前方道路的路况、坡度等信息，通过云端节能巡航规划算法，形成滚动优化、迭代更新的节能巡航最优车速策略，并下发给车端。车端解析最优车速指令，并闭环控制跟随。通过超过2000km的精确数据采集对比显示，相对于定速巡航，节能巡航模式下平均节油率稳定在2.2%，70%工况下节油率可以保持在4.6%。

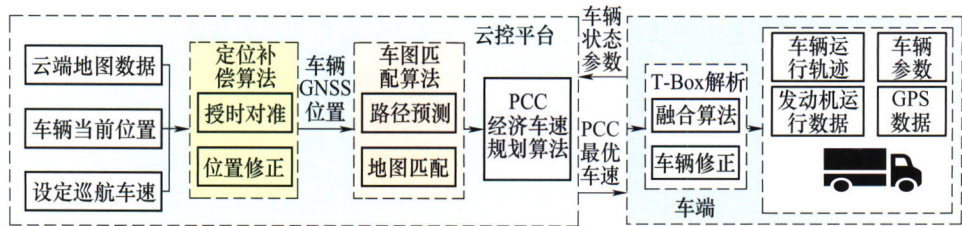


图6 清华大学基于云控平台的节能巡航控制系统

结语

本文针对融合交通信息的车辆智能节能策略关键技术进行系统分析，主要结论如下：

利用交通大数据信息提高汽车能效水平的系统性节能新方案，是满足未来油耗法规与提升市场竞争力的关键技术。

根据车辆驾驶任务需求和车辆的节能原理，整车节能需要选择距离较短且滚动阻力较小的路线。

整车融合交通信息节能系统，主要包括ADAS地图和毫米波雷达，其作用分别为地图信息提供、用户导航路径获取和前车运动状态感知。

基于ADAS地图和导航信息采用全局优化算法（DP）实现最优节能控制效果，基于前车车距和车速采用MCP算法实现动态跟车模型开发。

融合交通信息的智能节能策略在乘用车和商用车

上均有搭载应用，综合节油率在3%~5%，特定路线可达6%~10%。

未来随着智能网联的技术和5G技术进一步发展，智能动力系统节能减排中预计的潜力达到20%以上。

参考文献：

[1] 洪金龙，高炳钊，董世营，等.智能网联汽车节能优化关键问题与研究进展[J/OL].中国公路学报：2021 [2021-09-10].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1313.U.20210602.1437.002.html>.  
[2] 姜顺明，吴陶然，解建，等.适应行驶工况的节能自适应巡航模型预测控制[J].中国科技论文，2020，15（8）：900-905.  
[3] 王玉海，李兴坤，张鹏雷，等.基于ADAS地图的载货车预见巡航实时优化算法[J].汽车工程，2020，42（10）：1335-1339，1411. **AUTO1950**