

并联式混合动力汽车控制策略研究与仿真

陆 渊 许思传 陆玉佩 (同济大学)

【摘要】 根据并联式混合动力汽车的系统布置,确定了该车发动机的经济油耗区和使用纯电电机驱动的最低车速,然后编写控制策略,最后使用 Cruise 进行仿真。结果表明,所设计的混合动力车比原车油耗有较大降低,所述方法为混合动力车控制策略的研究提供了理论依据。

【关键词】 混合动力汽车 控制策略 仿真

传统内燃机仅能在很狭窄的工况区域内达到较好的经济性和排放性,离这一区域越远,其经济性和排放性就越差。与前者相比,混合动力技术能使内燃机运行区域显著改善,大幅降低了油耗和排放。混合动力系统根据布置的不同可分为串联、并联和混联式。其中并联式结构在实现低油耗和排放的前提下,具有结构简单、成本较低的优点。

1 并联式混合动力车系统布置

并联式混合动力车结构如图 1。

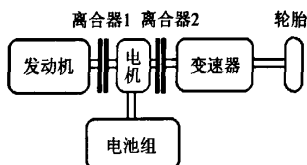


图1 并联式混合动力车布置

发动机排量为 1.6 L。集成启动电机(ISC)额定功率为 12 kW,峰值功率为 24 kW。电池采用高功率锂离子电池,额定电压 310 V,电池容量为 7.5 Ah,峰值功率为 30 kW。

2 并联式混合动力汽车的控制策略

混合动力汽车(HEV)的控制策略思想主要是

使发动机始终运行在省油区域,如果发动机运行点超出或不到这个区域,则使用电机发电或做功加以弥补。所以,要制定控制策略,首先要标定出 HEV 发动机的省油区域,其次再根据车辆行驶的不同工况,制定相应的控制策略。

2.1 重要区域和参数的确定

2.1.1 经济油耗区的确定

无论哪种发动机,在每个转速下,都有一点为发动机在该转速下的最省油工作点。连接这些点,可得到一条最低油耗线(见图 2)。发动机运行在这条线附近最省油。在这个区域内,HEV 仅使用发动机来驱动;而在区域之外,则视情况来确定混合策略。该区域越小,则发动机在以上两种情况之间的切换就越频繁;若增大该区域,则会使油耗上升。所以,该区域的标定,要兼顾 HEV 的

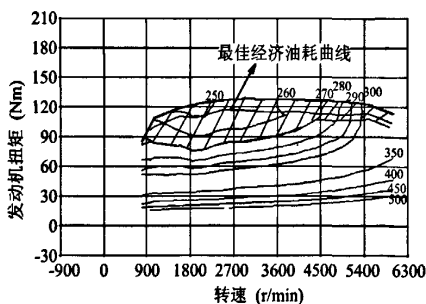


图2 发动机省油区域

收稿日期: 2006-12-01

油耗和各零部件的使用寿命。

本文中,在中等转速(1000 ~ 4000 r/min)范围内,以 270 g/kW h 为界限;在低速和高速范围内,适当增加。在图 2 中省油区域显示为阴影部分。

2.1.2 最低车速的确定

可以看出,在一般发动机中,这个区域在低转速和高转速情况下比较狭窄。当转速较高时,若要使用电机进行扭矩补偿,由于电机本身的效率和输出扭矩在高转速情况下也不高,就显得得不偿失。而在低转速情况下,恰好可以发挥电机低转速、高扭矩的特点。所以,可以标定一个最低车速,当车辆速度低于这个最低车速时,仅使用电机驱动。这个速度的标定应该考虑两点:电机效率和满足车辆的扭矩需求及加速要求。

图 3 为 ISG 运行工况图,考察的转速范围为 1000 ~ 4000 r/min 之间。在这一范围内输出的峰值扭矩大致为 36 ~ 48 Nm。这时车辆处于 1 档(传动比 $i = 3.182$),差速器的传动比为 4.333,车轮半径为 0.305 m,则车速在该转速范围之内为 8.35 ~ 33.4 km/h。

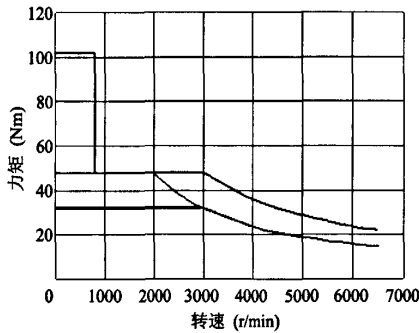


图 3 ISG 运行工况图

车辆在一定车速下匀速行驶所需力矩 T_e ,可由行驶方程计算得出:

$$\frac{T_e \cdot n}{9550} = \left[\frac{m \cdot g \cdot f \cdot u_{\max}}{3600} + \frac{C_D \cdot A \cdot u_{\max}^3}{76140} \right] / \eta_T$$

式中, m 为整车质量, 1260 kg; f 为滚阻系数, 0.014; C_D 为风阻系数, 3.1; A 为迎风面积, 1.8 m²; u_{\max} 为车速; η_T 为机械效率。

经过计算,在 1000 ~ 4000 r/min 转速范围,行

驶所需力矩和储备力矩见表 1。

表 1 行驶所需力矩和储备力矩

转速 (r/min)	1000	2000	3000	4000
车速 (km/h)	8.35	16.70	25.05	33.40
ISG 峰值力矩 (Nm)	48	48	48	36
ISG 持续力矩 (Nm)	32	32	32	24
T_e (Nm)	4.7	6.1	8.3	11.5
储备力矩 (Nm)	43.3	41.9	39.7	24.5

本文中,混合动力车必须满足在使用纯电动驱动时可获得的最大加速度不低于 1.5 m/s²,则所需的储备力矩必须不低于 41 Nm。

可见,ISG 在 2000 r/min 时,满足储备力矩要求已经比较勉强。所以最低车速设为 15 km/h 较为适宜。

2.2 控制策略

2.2.1 仿真软件

本文使用 Cruise 这一软件对整车进行仿真。Cruise 软件的前身是 Advisor,用于整车仿真。与 Advisor 相比,功能更加强大,由于使用了图形化界面,使用更加直观、方便。Cruise 还具有与 Matlab、Boost 等其他仿真软件的接口,通过这些接口可以使仿真更加细致真实。

如本文中使用 Matlab/Simulink 中的 Stateflow 这一工具编写控制策略,再将编好的策略与 Cruise 的 Matlab 接口相连接,最后在 Cruise 里进行仿真。

2.2.2 仿真总体思路

完成以上省油区域和参数确定后,就可以根据混合动力汽车的行驶情况来划分各种行驶模式,然后根据驾驶员的行驶需求和车辆的行驶状态来确定究竟应该使用哪种模式(见图 4)。

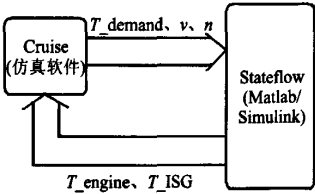


图 4 仿真总体思路

图中输入信号 T_{demand} 表示驾驶员的力矩需求。在实际情况下,该信号是由电子油门(EGAS)

通过加速踏板位置,加以计算得出。在传统汽车中,该信号将被送往发动机控制单元(ECU),以完成对发动机控制。

而在混合动力仿真环境中, T_{demand} 直接来自仿真软件,然后和一些车辆行驶状态信号如车速(v)、发动机转速(n)等一起被送往控制模块,以决定该采用何种模式进行力矩分配。接着把发动机应发出的扭矩信号 T_{engine} 送往 ECU;把 ISG 发出的扭矩信号 T_{ISG} 送往混合动力控制单元(HCU),完成整个控制过程。

2.2.3 模式划分和力矩分配

汽车行驶中的力矩分配必须始终遵循以下公式:

$$T_{demand} = T_{engine} + T_{ISG}$$

式中: T_{demand} 是驾驶员所需力矩,当车辆行驶时,值为正;刹车时,值为负; T_{engine} 是发动机发出的扭矩; T_{ISG} 是 ISG 发出的扭矩,做功助力,值为正;对电池充电时,值为负。

在本文中,将使用 Matlab/Simulink 中的 Stateflow 工具编写控制策略。该工具的使用,大大降低了编程难度。将汽车行驶模式分成以下几种。

(1) 停车: T_{demand} 为 0。车辆处于停止状态。

(2) 启动:当驾驶员踩下油门踏板, T_{demand} 从 0 变为正值。这时使用 ISG 驱动汽车,直到汽车速度高于最低车速,才启动发动机。

(3) 纯电驱动:当档位处于 1 档,且车辆车速低于最低速度时,车辆进入纯电驱动。

(4) 正常行驶:当发动机工作点位于经济油耗区,则仅使用发动机驱动汽车。

(5) 电机充电:当发动机工作点低于经济油耗区,则提高发动机的工作点,剩余力矩用来给电池充电。

(6) 电机助力:当发动机工作点高于经济油耗区,则降低发动机的工作点,不足的力矩用 ISG 来满足。

(7) 制动力反馈:当驾驶员踏下制动踏板,若电池 SOC 不高,则先用电机吸收车辆动能,对电池充电;若无法满足制动要求,再用传统的摩擦制动。若电池 SOC 高,则使用摩擦制动。

3 仿真结果

首先在 Cruise 中分别建立传统汽车和混合动力汽车的模型。

使用综合行驶工况 ECE + EUDC (见图 5) 对两种车进行仿真。

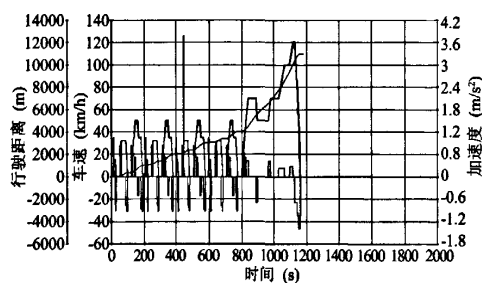


图 5 ECE + EUDC 行驶工况

图 6 和 7 是两种汽车的发动机在整个行驶工况中的转速。

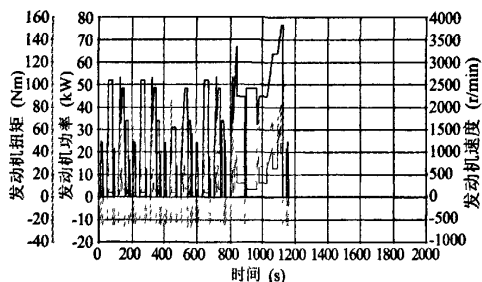


图 6 混合动力发动机转速

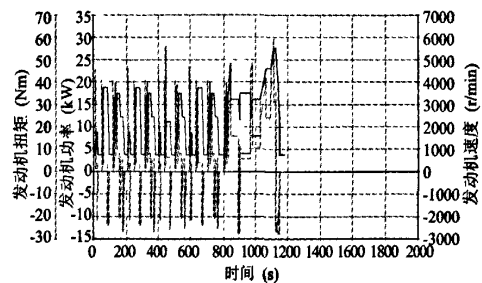


图 7 传统车发动机转速

由图 6 和 7 可见传统汽车在每个工况循环之间,发动机处于怠速状态;而混合动力汽车在每个工况循环之间,发动机处于停机状态。这样大大减少了燃油消耗。

图 8 和 9 是两种车辆发动机工作点的时间消耗图。由深到浅表示发动机在该工作点的时间由短到长。

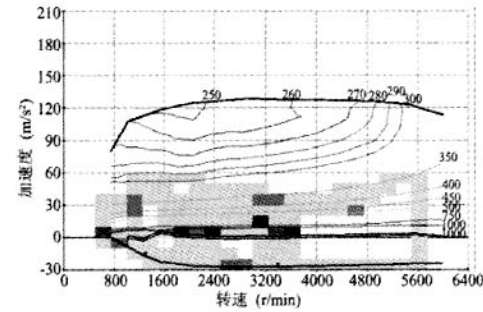


图 8 传统车发动机工作点时间消耗

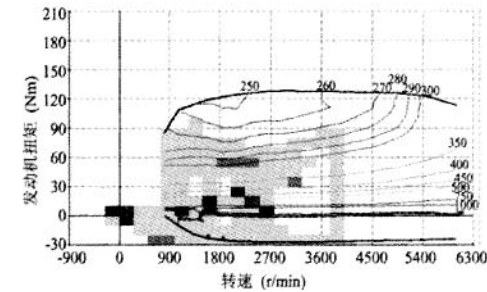


图 9 混合动力车发动机工作点时间消耗

由图 8 和 9 可见,传统汽车在 ECE + EUDC 行驶工况下,工作点始终在低扭矩、高油耗区域;而混合动力车通过控制 SSG 和发动机的扭矩,使发动机的工作点能有更多的机会工作在高扭矩、低油耗区域,从而节省了燃油。

图 10 表示混合动力车电池的功率;图 11 中深色曲线表示 ISG 的转速。

由图 10 可见,每当车辆制动时,ISG 的输出扭矩为负。此时,ISG 处于制动力反馈状态。在图 11 中,电池的功率为负,此时由 ISG 回收车辆动能,向电池输入能量。

通过仿真得出,在该行驶工况下,传统汽车的

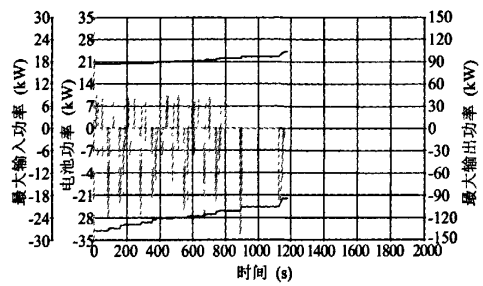


图 10 电池功率

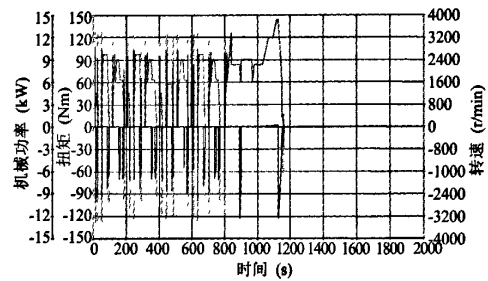


图 11 ISG 转速

油耗为 8.75 L/100 km,而混合动力汽车的油耗为 5.78 L/100 km,下降了 34%。

综上所述,通过取消怠速、制动力反馈以及调节发动机工作点手段,能大大降低车辆在城市工况下的油耗。

参考文献

- 1 田光宇,彭 涛,林成涛等.混合动力电动汽车关键技术.汽车技术,2002.1
- 2 M. Montazeri - Gh, A. Poursamad. Application of genetic algorithm for optimal design of hybrid electricvehicles. Proceedings of the 13th International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers, 2005
- 3 Szumanowski A 著.陈清泉,孙逢春译.混合电动车辆基础.北京:北京理工大学出版社, 2001
- 4 Schouten N J, Salman M A, Kheir N A. Energy management strategies for parallel hybrid vehicles using fuzzy logic. Control Engineering Practice, 2003. 11
- 5 Schouten N J, Salman M A, Kheir N A. Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles. Transactions on Control Systems Technology, 2002. 10

(下转第 24 页)

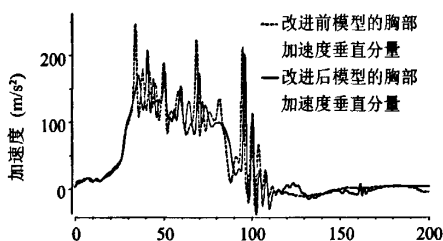


图 11 改进前后胸部合成加速度在脊柱方向的分量的比较曲线

5 结语

(1) 使用 MADYMO 软件可以有效地模拟 CRS 保护作用下儿童在碰撞过程中的响应,而且可以全面、详细地获知儿童的各项伤害指标,便于评价 CRS 的安全性能。

(2) 为了得到正确、有效的模拟结果,应该保证建模过程中所需参数的准确性。

(3) 建模过程要合理选择接触类型和接触方法,并测定材料的接触特性。

(4) 本文所建仿模型的模拟结果与台车试验结果大致吻合,误差小于 15%,因此认为该模型有效。引起结果误差的主要原因有几何模型的简化、泡沫材料刚度特性的测定误差和接触定义的简化等。

(5) 使用灵敏度分析方法可以确定 CRS 设计参数中的敏感参数,分别是 CRS 内衬泡沫的刚度特性和成人安全带腰带在 CRS 上的穿绕位置,在

材料特性和结构尺寸允许范围内进行改进,改进后模型的安全性能较改进前有了一定提高。

参考文献

- 1 Final Economic Assessment NHTSA FMVSS 213, FMVSS 225 Child Restraint Systems. Office of Regulatory Analysis, Plans and Policy, 1999. 2
- 2 葛如海,刘志强等. 汽车安全工程. 北京:化学工业出版社, 2005
- 3 李云峰. 数字仿真模型的校核验证和确认. 中南大学学报, 2004. 12

Abstract

Traffic accident is one of the major causes of death among children under 14; proper use of children restraint system (CRS) can effectively reduce the children traffic casualties. The article uses multi-rigid-body system dynamics software named MADYMO to do simulation analysis to a certain CRS, and testifies its accuracy through trolley experiment. The sensitivity of CRS design parameters are analyzed in the model and two sensitive parameters effecting CRS security are figured out and improved within the tolerance limit of materials performance and structure size. The safety property of the optimized model is enhanced to a certain degree. It provides reference for this kind of CRS improvement and also provide theoretical basis for the new type CRSs development.

(上接第 11 页)

Abstract

According to the systematic layout of paralleled hybrid vehicle, the article calculates the scope of engine's fuel consumption and the minimum speed in

purely electrical motor driven mode, then compiles the control strategy and use Cruise to do simulation. The results indicate that the designed hybrid vehicle can significantly reduce fuel consumption than before, and the methods provide theoretical guidance for the study of hybrid vehicle control strategy.