

文章编号: 1002-0268 (2004) 06-0135-03

一种混联式混合动力轿车 动力源功率的优化计算

张京明, 崔智全, 崔胜民

(哈尔滨工业大学汽车工程学院, 山东 威海 264209)

摘要: 混合动力电动汽车是当今解决汽车节能与排污问题的有效途径。本文提出一种新的混联式驱动系统, 并对其动力源的功率进行优化计算分析。结果表明, 在保证汽车原有动力性的前提下, 采用此结构提高了汽车的燃油经济性。

关键词: 混联系统; 优化; 整体式发电机/电动机

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

A Kind of Optimized Calculation of Energy Power in Hybrid Structure System

ZHANG Jing-ming, CUI Zhi-quan, CUI Sheng-min

(Automobile Engineering College, Harbin Institute of Technology, Shandong Weihai 264209, China)

Abstract: The hybrid electric vehicle (HEV) is an effective way nowadays to save energy and reduce emission pollutants. This paper presents a new sort of hybrid structure because it has some advantages. The authors give a kind of optimized calculation of its energy source power. The calculation results show that the hybrid structure can improve fuel economy when the automobile remains its original dynamics.

Key words: Hybrid structure; Optimization; Integrated motor-generator

0 绪论

随着世界汽车工业的发展, 传统内燃机汽车的燃油消耗和尾气排放污染成了人们最关注的问题。使用电动汽车 (Electric Vehicle, 简称 EV) 可实现无污染。但是, 由于电动汽车的关键部件之一的电池其能量密度、寿命、价格等方面的问题, 使得电动汽车的性价比无法与传统的内燃机汽车相抗衡, 并且过高的成本也使电动车难以商品化。在这种环境下, 融合内燃机汽车和电动汽车优点的混合动力电动汽车 (Hybrid Electric Vehicle, 简称 HEV) 异军突起, 在世界范围内成为新型汽车开发的热点。

根据其驱动系统的配置和组合方式不同, 混合动力电动汽车分为串联式、并联式和混联式三种。

串联式结构可使发动机不受汽车行驶工况的影响,

始终在其最佳的工作区稳定行驶, 并可选用功率较小的发动机, 但是串联式结构的不足是: 需要功率足够大的发电机和电动机; 发动机的输出需全部转化为电能再变为驱动汽车的机械能, 由于机电能量转换和电池充放电的效率较低, 使得燃油能量的利用率比较低。因此这种系统主要用于城市大客车, 在轿车中很少见。

与串联结构相比并联式驱动系统的发动机通过机械传动机构直接驱动汽车, 其能量的利用率相对较高, 这使得并联式的燃油经济性比串联式的高。但由于并联式驱动系统的发动机工况要受汽车行驶工况的影响, 因此不适于变化频繁的行驶工况; 相比于串联式结构, 需要较为复杂的变速装置和动力复合装置以及传动机构。因此, 综合串联式、并联式二者优点的混联式驱动系统成为人们研究的重点。

收稿日期: 2003-06-09

基金项目: 哈尔滨工业大学 (威海) 基金资助项目 (HIT (WH) . 2002 3)

作者简介: 张京明 (1964-), 男, 山东莱西人, 哈尔滨工业大学汽车工程学院硕士生导师, 副教授, 研究方向为汽车系统动力学与计算机仿真。

1 混联式驱动系统与传动方案提出

1.1 混联式驱动系统

混联式驱动系统的一般结构如图 1 所示。发动机发出的功率一部分通过机械传动输送给驱动桥，另一部分则驱动发电机发电。发电机发出的电能输送给电动机或电池，电动机产生的驱动力矩通过动力复合装置传送给驱动桥。混联式驱动系统的控制策略是：在汽车低速行驶时，驱动系统主要以串联方式工作；当汽车高速稳定行驶时，则以并联工作方式为主。

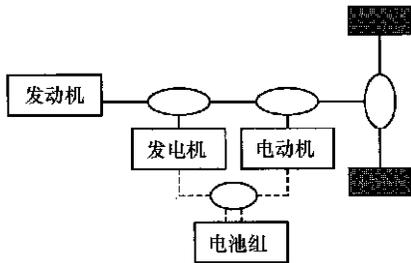


图 1 混联驱动方式

混联式驱动系统充分发挥了串联式和并联式的优点，能够使发动机、发电机、电动机等部件进行更多的优化匹配，从而在结构上保证了在更复杂的工况下使系统在最优状态工作，更容易实现排放和油耗的控制目标，因此是最具影响力的 HEV。

1.2 结构方案提出

基于混联式驱动系统的诸多优点，作者给出一种混联式的动力驱动系统结构方案（如图 2）。该方案把行星齿轮作为动力复合装置的基本构架，是一种扭矩叠加式的传动方案。发动机可以直接将动力传给变速箱，同时电动机的扭矩也直接加到变速器的输入轴上，以减轻发动机的负担。尤其当汽车上坡或加速时，发动机和电动机同时对其后面的传动系输出动力，可使汽车达到单独发动机驱动时所不能达到的动力性。这样就可以降低发动机的最高功率，达到节省燃油的目的。

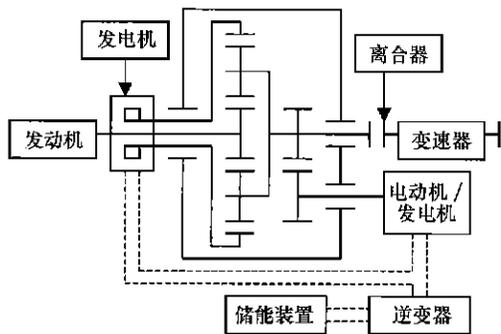


图 2 一种混联式驱动系统

另外，由于发动机发出的功率一部分直接传给输

出轴，当汽车减速行驶或制动时，可以关闭发动机，回收其动能，给储能装置充电。

1.3 与国外其他结构方案比较

当前，国外最有代表性的混联式混合动力结构是丰田 Prius 车上所采用的行星齿轮结构和华沙工业大学的混合动力系统。

丰田 Prius 中所采用的行星机构可以实现多个部件转速的复合，且各个部件间的转矩保持一定的比例关系，这种功率复合形式被称为速度复合。由于其混合动力系统结构较为复杂，在制造和控制上都带来了一定的困难。但正是这种复杂结构带来了控制上的灵活性，可以获得较佳的性能。因此它的驱动系统仍被公认为目前最成功的混合动力结构之一。

华沙工业大学的混合动力驱动系统结构也可以实现无级调速，却无法实现发动机转矩与电机转矩的直接叠加。但是输出转矩却大于发动机或电机的单独输出转矩。这种结构需要电机有较大转矩。该结构比丰田 Prius 的结构简单一些，在制造工艺和控制上都容易一些，但性能较差一些。

由图 2 可以看出，本文提出的驱动系统中，行星齿轮结构能够实现发动机与电动机转矩直接叠加，并且发动机的转矩和电动机的转矩都是直接加在传动轴上，这样避免了行星齿轮机构在传动过程中所产生的大量损失，从而提高了工作效率。另外，由于电动机的转矩直接加在传动轴上会减轻发动机的负担，因而可以采用小排量紧凑型发动机，在正常行驶模式下发动机工作在高负荷省油区。同时结构上要比丰田 Prius 的结构简单，在制造上比较方便。

1.4 动力源功率的优化计算

(1) 设计变量

由《汽车理论》可以得知，在满足一定的动力性的前提下，发动机功率越小，其负荷率越高，燃油经济性越好。因此合理的选择发电机和电动机的功率，可使发动机的功率降低。

因此，设计变量选择为

$$x = \begin{vmatrix} P_m \\ P_g \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x(1) \\ x(2) \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中， P_m 为电动机功率； P_g 为发电机功率。

(2) 目标函数

汽车在城市间的高速公路上常以高速行驶，此时汽车工作在混联模式下。这种情况下发动机与电动机两者配合工作，可以体现出混联式混合动力系统的优点。而其它情况发动机或电动机可以单独驱动。因此，考虑混合模式下匀速正常行驶的工况，由功率平

衡方程式

$$\eta_1 \circ (P_e - P_g) + \eta_2 \circ K \circ P_m = \frac{1}{\eta_r} \circ \left(\frac{G \circ f \circ u_a}{3\ 600} + \frac{G \circ i \circ u_a}{3\ 600} + \frac{C_D \circ A \circ u_a^3}{76\ 140} \right) \quad (2)$$

整理目标函数为

$$P_e = \frac{1}{\eta_r \circ \eta_1} \circ \left(\frac{G \circ f \circ u_a}{3\ 600} + \frac{G \circ i \circ u_a}{3\ 600} + \frac{C_D \circ A \circ u_a^3}{76\ 140} \right) - \frac{\eta_2}{\eta_1} \circ K \circ P_m + P_g \quad (3)$$

式中, P_e 为发动机功率; P_m 为电动机功率; P_g 为发电机功率; G 为车的总重; f 为滚动阻力系数; C_D 为空气阻力系数; A 为迎风面积; u_a 为混联模式下(即在高速路上全速行驶时)的最高车速; η_1 为行星齿轮间的传动效率; η_2 为电动机与输出轴间齿轮的传动效率; η_r 为行星齿轮结构之后传动系之间的传动效率; K 为电动机最优工作状态系数; i 为高速行驶时的爬坡度。

由电子技术可知, 当电动机工作在额定功率的 75% 左右时, 电动机的效率最高, 为使电动机达到最优工作状态, 取 $K=0.75$ 。

(3) 约束条件

首先考虑汽车在行驶过程中的极限状态, 汽车正常行驶时出现燃油不足时, 这就要求汽车在纯电动模式驱动下能达到一定动力性并可维持一段里程。以便能够到达加油站去补充燃油。

由功率平衡方程式

$$K \circ P_m = \frac{1}{\eta_r \circ \eta_2} \circ \left(\frac{G \circ f \circ u_{a1}}{3\ 600} + \frac{G \circ i \circ u_{a1}}{3\ 600} + \frac{C_D \circ A \circ u_{a1}^3}{76\ 140} \right) \quad (4)$$

其中, u_{a1} 为纯电动驱动形式下达到的最高时速, 应不小于 65km/h, 而 u_{a1} 过大会引起 P_m 过大, 势必会引起电池组容量增大和车辆成本增加, 且布置困难, 车重增加, 限制了车辆的续行里程。因此 u_{a1} 不必太大, 此处取 $u_{a1} \leq 80\text{km/h}$ 。

考虑混合模式下使电动机工作在最优状态, 为了避免电动机功率不足, 发电机功率不应小于电动机功率的 75%, 考虑到损失, 有

$$\eta_3 \circ P_g \geq K \circ P_m \quad (5)$$

式中, η_3 为发电机与电动机之间的传动效率。

发电机功率过大又会降低发动机直接传给驱动轴的功率, 这就势必引起电动机和电池组容量取值的增大和车辆成本的增加。因此发电机功率不能无限制的大, 所以有

$$\eta_3 \circ P_g \leq K \circ K_m \circ P_m \quad (6)$$

式中, K_m 为功率过量系数, 考虑电动机在峰值功率工作的情形, 并且发电机要同时给电池组充电这种极限状态, 可取 $K_m=1.5$ 。

整理约束条件为

$$K \circ P_m - \frac{1}{\eta_r \circ \eta_2} \circ \left(\frac{G \circ f \circ u_{a1}}{3\ 600} + \frac{G \circ i \circ u_{a1}}{3\ 600} + \frac{C_D \circ A \circ u_{a1}^3}{76\ 140} \right) = 0$$

$$u_{a1} - 80 \leq 0$$

$$65 - u_{a1} \leq 0$$

$$K \circ P_m - \eta_3 \circ P_g \leq 0$$

$$\eta_3 \circ P_g - K \circ K_m \circ P_m \leq 0 \quad (7)$$

设计图形用户界面, 用 MATLAB 语言中的优化工具箱对其进行优化计算, 根据不同的车型输入不同的参数值可得到相对应的优化结果。

2 计算实例

在某轿车上使用上述的混联式驱动系统, 在保证原车动力性能的基础上, 使用上述模型进行优化计算, 结果与原车进行比较如表 1。

表 1 计算结果

| | m_g/kg | $v_{\text{max}}/\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ | 发动机最大功率/kW | 排量/mL |
|---------|-----------------|--|------------|-------|
| 传统内燃机汽车 | 1230 | ≥ 165 | 63 | 1342 |
| 混合动力汽车 | 1230 | ≥ 165 | 45 | 993 |

从上面的结果可以看出, 传统的内燃机汽车要达到上述的动力性能, 发动机的最大功率为 63kW, 并且在正常的运行过程中负荷率不会很高, 燃油经济性较差。在满足同样的动力性能的条件下, 使用上述混联式混合动力结构可使发动机的最大功率降低到 45kW。这样, 汽车在高速路上高速行驶时, 发动机负荷率较高, 燃油经济性提高。另外, 当汽车行驶在市区时, 可以关闭发动机而单独用电驱动, 不但省油, 而且降低了排放污染。

3 结论

由上可知, 使用该混联式驱动系统, 降低了发动机的功率, 因此可以采用小功率紧凑型发动机, 这样就可以使发动机在正常行驶模式下后备功率降低, 提高了发动机的负荷率, 使汽车在正常行驶模式下工作在低油耗区。由于混联结构的存在, 当汽车在城市内行驶时, 可以采用串联式驱动或单独由电动机驱动, 这样就进一步降低了汽车的油耗和尾气排放。通过对汽车动力性的验算发现, 改进后的汽车仍保持着汽车原有的动力性。因此, 此结构可以成功地用于实际车辆中来改善汽车的燃油经济性。(下转第 141 页)

衡网络流量和负荷,同时便于移植和扩展新功能。界面美观,操作灵活方便。符合 JT/T478 标准的要求,主要内容如下:

5.1 存储检测车辆信息

存储的信息全面、完整。采用部分信息合并和模糊概念,使存储结构合理,既能节省存储空间,又能提高数据库的运行性能。比采用正常储存方法的速度和存储量要提高 8% 左右。

设计数据库时把基本信息同主要信息区分开来,单独存储。其优点一是有利于今后功能扩展,软件的升级;二是检测站可以自己更改和维护,有利于管理工作;三是数据库预留了与辽宁省运政管理信息平台数据接口,为今后检测站与省、市管理部门联网、网上稽查奠定了基础。

数据库设计是根据数据库理论及业务需求进行严格的设计规划。在符合 5 个范式的基础上,通过对操作语言进行优化,对表、索引、视图、触发器、存储过程的合理安排,避免了数据量较大时,数据库性能和运行速度明显下降。读写数据采用事务处理功能,保证数据完整性。

5.2 检测车辆查询和数量统计

统一车辆技术管理统计查询系统包括:车辆管理统计查询、检测站检测车辆信息统计查询;车辆电子档案管理、查询;按照车辆电子档案的车辆特征信息、技术参数信息、车属单位信息进行统计查询;按检测日期查询检测车辆、按车辆查询检测日期;漏检车辆信息查询;二维抽检车辆信息查询。

检测站检测车辆统计查询及管理系统包括:车辆

管理统计查询、检测站检测车辆信息统计查询;车辆分类检测数量统计查询;检测车辆合格数量和合格率统计查询;引车员引车数量统计查询;检测项目合格数量和合格率统计查询;二维抽检车辆信息查询;维修单位和车主单位检测车辆数量统计查询;维修单位和车主单位检测车辆合格数量和合格率统计;检测站人员、设备信息查询;检测站固定资产查询。

以上信息统计查询都具有报表打印功能,并为车辆管理、技术使用及网上稽查提供可靠的事实依据。

5.3 车辆检测项目结果数据统计分析

通过各种查询条件,统计某项检测结果数据在一定范围内的特定条件的检测数据样本进行统计分析,可获得在用车辆技术使用的各项参数,为制定或修订车辆技术标准 and 检测标准提供真实准确的基础数据。

5.4 系统安全性

系统安全性包括数据库安全和查询统计系统安全。数据库采用 SQL SERVER 数据库,它本身就具有 C2 级别安全性。查询统计系统使用用户名和密码对用户进行认证,只有符合条件的用户才能使用该系统,并且系统能够对每个用户的权限进行管理。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. 汽车检测站计算机控制系统技术规范 (JT/T478-2002) [S]. 2002.
- [2] 中华人民共和国交通部. 运营车辆综合性能要求和检验方法 (GB18565-2001) [S]. 2001.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 道路运政管理信息系统 信息体系结构 (JT/T414-2000) [S]. 2000.

(上接第 137 页)

参考文献:

- [1] Niels J Schouten, Mutasim, Naim A Kheir. Energy Management Strategies for Parallel Hybrid Vehicles Using Fuzzy Logic [J]. Control Engineering Practice 11, 2003, 171-177.
- [2] Sun Longlin, He Ren. Modeling and Simulation of the Minimal Hybrid Powertrain [J]. Jiangsu University of Science and Technology, IPC2001F109
- [3] 舒红, 秦大同, 杨为. 混合动力汽车动力传动系参数设计 [J].

农业机械学报, 2002, 33 (1): 19-22.

- [4] 王庆年, 何洪文, 李幼德, 初亮. 并联混合动力汽车传动系参数匹配 [J]. 吉林工业大学自然科学学报, 2000, 30 (1): 72-75.
- [5] 杨宏亮, 陈全世. 混联式混合动力汽车控制策略研究综述 [J]. 公路交通科技, 2002 (1): 103-107.
- [6] 张俊智, 王丽云. 不同混合动力电动轿车方案的比较与分析 [J]. 汽车工程, 2002, 24 (4): 290-293.
- [7] 麻友良, 陈全世. 混合动力电动汽车的发展 [J]. 公路交通科技, 2001 (1): 77-80.