

新型混联式混合动力轿车驱动系统设计

徐 寅, 陈 东

(华南理工大学机械与汽车工程学院, 广州 510640)

[摘要] 针对目前混联式驱动系统中机-电耦合动力传动装置结构复杂的问题, 提出了一种两轴实时混联驱动系统, 通过控制前机械桥离合器和后电动轮离合器, 快速实现串、并联的不同组合, 并可随时根据整车工作状态的需要, 在串、并联模式间任意切换。文中详细阐述了该驱动系统的结构和控制策略, 并分析了其优缺点。

关键词: 混合动力轿车; 混联式驱动; 电子差速器; 集成式起动机/发电机

A New Parallel-Series Hybrid Electric Car's Driving System

Xu Yin & Chen Dong

School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640

[Abstract] In view of the complicated structure of electromechanical coupling power transmission device in existing parallel-series hybrid driving systems, a two-axle real-time parallel-series hybrid driving system is proposed. By controlling the engine clutch in front axle and the clutches for wheel hub motors in rear axle, the different combination of series and parallel drive can be quickly realized, and the switching between parallel and series modes can be achieved whenever vehicle working conditions require. An elaboration is made upon the structure and control strategy of the new driving system with its advantage and deficiencies also analyzed in the paper.

Keywords: hybrid electric car; parallel-series drive; electronic differential; ISG

前言

随着能源的短缺, 新能源汽车受到人们越来越多的关注。纯电动汽车、燃料电池汽车等因各种各样的技术原因而进展缓慢, 唯有通过改造传统发动机汽车而成的混合动力汽车得到快速的发展。研究人员对混合动力汽车做了大量的研究, 设计了多种轻、中、重混合驱动系统, 尤其以混联式驱动系统为主。然而, 混联式驱动系统中的机-电耦合动力传动装置结构复杂, 对底盘的改动较大, 且开发成本较高; 2 自由度行星齿轮机构(如丰田 Prius THS 系统)变速不变矩, 动力性有待改进^[1-2]。

因此, 本研究避开常规混联式驱动系统设计思路, 设计了一种新型混联式驱动系统——两轴实时混联驱动系统。

1 两轴实时混联驱动系统结构

1.1 整体结构

两轴实时混联驱动系统是一种前机械桥驱动、后电动桥驱动的混合动力化方案。其驱动系统结构如图 1 所示。

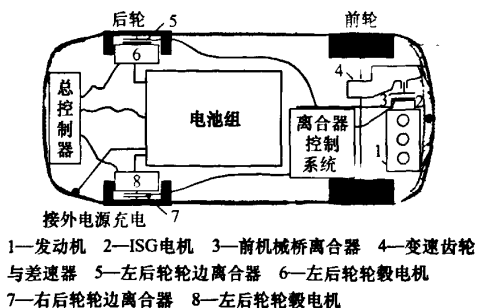


图 1 两轴实时混联驱动系统的结构

原稿收到日期为 2009 年 7 月 14 日, 修改稿收到日期为 2009 年 10 月 9 日。

前机械桥仍保持原前端动力总成的形式。发动机为一台 1.0L 涡轮增压稀薄燃烧汽油机, ISG 电机直接安装在发动机曲轴输出轴的一端, 发动机的飞轮接离合器, 离合器再接一个变速齿轮与差速器总成机构, 由变速齿轮与差速器总成机构输出轴驱动汽车前轮。

后电动桥驱动总成包括两个轮毂电机、两个轮毂电机控制器和两个轮边离合器。两个轮毂电机分别连接两个轮边离合器直接装在电动轮内。离合器的接合将轮毂电机产生的动力输送至电动后轮驱动汽车。ISG 电机所产生的电流对电池组进行充电, 电池组连接汽车电动后轮的轮毂电机。电池组也可以在停车时由外接电源进行充电。

驱动系统还包括总控制器、电池组及/或超级电容等储能元件及其管理模块。总控制器是一个装有控制策略和算法的微型计算机; 其作用是根据其检测到的各种参数(如车速、加速踏板角度、电池的剩余电量等), 来决定整车的具体工作模式并合理控制整个驱动系统在不同的状态下运行。储能元件的功能主要是向 ISG 电机和两个轮毂电机提供电能及接受电机产生的电能, 并向其它电器供电。

1.2 变速齿轮与差速器总成结构

图 2 为变速齿轮与差速器总成结构简图。与传统的发动机前置前驱两轴式变速器一样^[3], 动力传递主要由两根相互平行的轴(输入轴和输出轴)来完成。动力从输入轴 1 输入, 经变速齿轮传动后, 直接由输出轴 4 输出。输入轴 1 接离合器, 齿轮 2 和齿轮 3 是一对分别固定连接在输入轴和输出轴上的变速齿轮, 它们构成超速挡, 其传动比为

$$i = \frac{z_3}{z_2} = \frac{34}{40} = 0.85$$

齿轮 2 和齿轮 3 构成的超速挡用于发动机驱动汽车高速行驶。齿轮 5 和齿轮 6 分别为主减速器的主、从动齿轮。齿轮 5、齿轮 6 和差速器 7 的构造同传统汽车主减速器和差速器一样。该变速齿轮与差速器总成机构与传统 5 挡变速器相比, 去掉了传统的 1~4 挡、倒挡、同步器以及换挡机构, 因此结构更

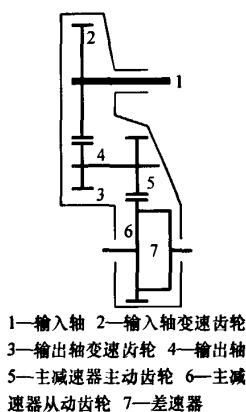


图2 变速齿轮与差速器总成结构简图

加简单, 制造更加方便, 成本更低。

1.3 电动后轮驱动结构

图 3 为电动轮结构简图。该电动轮没有采用现今流行的和轮辋构成整体的外转子轮毂电机设计, 主要考虑到汽车在行驶过程中, 有时需要更换轮胎, 普通汽车通常只有一个备用轮胎, 为了使备用轮胎既能更换前轮, 又能更换后轮, 因此该电动轮采用了同轮辋分离的电动机加离合器组成驱动装置的设计。

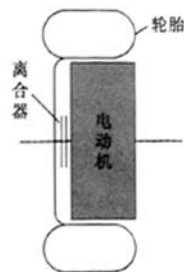


图3 电动轮结构简图

轮毂电机为大功率永磁同步电动机, 离合器为了保证后轮与轮毂电机完全分开采用了干式离合器, 未采用控制更简单的电磁离合器主要是考虑到电磁离合器在动作时需耗电。该离合器在汽车以纯电动模式运行时接合; 在汽车以发动机驱动时分离, 以期减小电动机内磁体所产生的阻力; 并且当汽车高负荷运行需要电动机作为辅助动力时, 离合器接合对汽车提供辅助动力。同时离合器也可以对电动机起到保护作用。

两个电动后轮由两个轮毂电机直接驱动。同传统驱动系统相比, 两电动后轮之间没有差速器, 两者之间的差速通过电子差速控制系统调节两个轮毂电机来实现。

1.4 离合器控制系统结构

图 4 为离合器控制系统结构简图。离合器的分离与接合通过对电机-液压执行机构的控制来实现。离合器执行机构由直流电机驱动, 通过齿轮副和螺旋机构将电机的旋转运动转变成主缸活塞的直线运

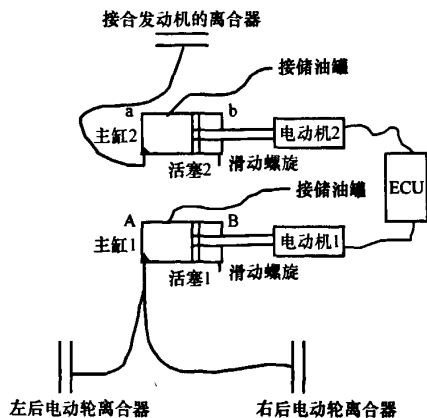


图4 离合器控制系统结构简图

动,压缩液压油,推动离合器液压工作缸活塞,通过分离叉杠杆作用于分离轴承,使离合器完成分离动作。为了降低电机的负荷,该机构使用了弹簧助力,弹簧在整个行程中始终受压缩。设计时采用能让螺旋机构自锁的参数,保证主缸活塞可以停止在任一位置,而不用电机输出转矩。并且该机构安装位移传感器,为总控制器提供活塞位移反馈^[4]。

当汽车以纯电动汽车模式运行时,ECU 控制电动机 1 反转、电动机 2 正转。活塞 1 移动至液压主缸 1 的 B 端;活塞 2 移动至液压主缸 2 的 a 端。此时,两个电动轮离合器处于接合状态,前机械桥离合器处于分离状态。

当汽车以发动机单独驱动模式运行时,ECU 控制电动机 1 正转、电动机 2 反转。活塞 1 移动至主缸 1 的 A 端;活塞 2 移动至主缸 2 的 b 端。此时,两个电动轮离合器处于分离状态,前机械桥离合器处于接合状态。

当汽车以高负荷状态运行或者制动时,ECU 控制电动机 1 和 2 使滑动螺旋带动活塞 1 和 2 分别处于主缸 1 的 B 端和主缸 2 的 b 端。此时,电动轮离合器以及前机械桥离合器均处于接合状态。

2 两轴实时混联驱动系统控制策略

2.1 起步和倒车状态

当汽车起步时,由电动轮驱动汽车,所需能量由蓄电池供给,以纯电动汽车的模式起步。这样既可以提高系统的效率,又可以降低汽车的排放。倒车则利用轮毂电机的反转来实现^[5-7]。

在起步和倒车状态下,接合发动机的离合器始终处于分离状态,前机械桥驱动总成不工作,前轮为从动轮。电动轮离合器处于接合状态,后电动桥驱动总成工作,电动后轮为驱动轮。

2.2 低速行驶状态

当汽车在城市中行驶时,速度较低且在经过红绿灯时需要不停地减速、停车和加速。此时,汽车以纯电动汽车的模式运行,后电动桥驱动,发动机处于关闭状态。离合器的状态同起步时一样,接合发动机的离合器处于分离状态,电动轮离合器处于接合状态。

若此时电池组中的电能不足以供给电动轮驱动汽车,则 ISG 作为起动机起动发动机;在发动机起动之后,由总控制器控制发动机稳定工作于省油的高效率工况,此时 ISG 作为发电机发电,所产生的电能

直接供给电动轮驱动汽车,若有剩余电能则可给电池组充电。

当汽车转弯时,以 Ackermann&Jeantand 转向模型为分析基础,考虑车辆转弯时轴荷转移、向心力以及轮胎侧偏角的影响,并综合考虑转矩分配和车轮滑移率,计算每个车轮需要的驱动力矩。以车轮滑移率为控制目标,基于滑模控制的电子差速控制策略调节左右两个轮毂电机的输出转矩,实现差速进而完成转弯,考虑到滑模控制在切换面附近易产生颤振问题,在切换面附近设置边界层 $\phi^{[8-10]}$ 。

2.3 高速行驶状态

当汽车行驶在城市郊外的高速公路上时,速度较快,行驶里程通常较远,若以纯电动汽车模式运行,则难以保证行驶里程达到要求,极大地限制了汽车的活动范围。考虑到汽车高速行驶时发动机运行于高效率工况,因此文中设计的混合动力汽车在高速行驶时同传统汽车一样直接用前机械桥驱动,额外功率可带动 ISG 发电并将电能存储于电池组中。

在汽车的加速阶段,以纯电动汽车的模式运行,电动轮离合器接合,驾驶员踩踏加速踏板向总控制器发出加速指令,总控制器控制轮毂电机转速升高。当汽车加速至接近发动机高效率工况的时速 v_c 时,ISG 起动发动机并开始运行,ISG 则作为发电机发电。当发动机运行于高效率工况且汽车速度达到 v_c ,ECU 则同时控制电动轮离合器分离,前机械桥离合器接合,并保证两者的分离与接合过程的同时性与平顺性,从而保证汽车能平顺地由电动轮驱动过渡到前机械桥驱动。此后,汽车由前机械桥单独驱动,前轮作为驱动轮,电动后轮作为从动轮。

2.4 全负荷运行状态

当汽车高速行驶、发动机处于全负荷工况时(如急加速、爬坡状态),总控制器控制的前机械桥离合器和电动轮离合器均处于接合状态,发动机和电动机均以满负荷状态运行,前机械桥和后电动桥共同驱动汽车。

2.5 减速或制动状态

当汽车低速行驶减速或制动时,电池组停止对轮毂电机供电。此时,轮毂电机作为制动再生能量的发电机工作,将一部分能量转换为电能储存于电池组中。

当汽车在高速行驶减速或制动时,前机械桥离合器分离,电动轮离合器接合。轮毂电机作为发电机工作将部分能量转换为电能存储在电池组中。若汽车减速完成后的速度未低于 v_c 又重新开始加速

过程,则电动轮离合器分离,前机械桥离合器重新接合,由发动机驱动汽车。若汽车一直减速至 v_c 以下,前机械桥离合器保持分离状态以保证发动机始终工作于高效率工况,带动 ISG 发电;当汽车减速至 v_c 以下又重新加速时,电池组给轮毂电机供电驱动汽车加速至速度 v_c ,电动轮离合器分离,前机械桥离合器重新接合,再次由前机械桥单独驱动。若是减速停车则可由驾驶员关闭发动机。

综上所述,在整个驱动控制策略中前机械桥离合器和电动轮离合器的控制起到了关键作用。其控制策略如表 1 所示。

表 1 离合器控制策略

	前机械桥离合器	电动轮离合器
起步和倒车状态	分离	接合
低速行驶状态	分离	接合
高速行驶状态	接合/分离	分离/接合
全负荷运行状态	接合	接合
减速或制动状态	分离/接合	接合/分离

3 驱动系统分析

文中所设计的两轴实时混联驱动系统是将串并联混合动力技术应用于轿车前后两轴驱动上,通过控制前机械桥离合器和后桥轮毂电机离合器,快速实现串、并联驱动系统的不同组合,并可随时根据整车工作状态的需要在串、并联模式间任意切换,达到实时混联的目的。该驱动系统串并联布置方式不仅基本保持了传统汽车前机械桥动力总成的形式,而且充分利用了后端布置空间。这种可实现全混的布置还有一个优点,就是使整车前后轴荷趋于均衡,增强了操纵稳定性。同时,取消了机-电耦合动力传动装置,因而系统结构更加简单,对传统发动机汽车底盘的改动更小。当汽车由后电动桥驱动时,采用以电子差速器代替传统机械式差速器,轮毂电机直接驱动后轮的方式,降低了传动中的能量损失,提高了传动效率。

虽然所设计的驱动系统具有诸多优点,但仍存在需要改进的地方。汽车在由后电动桥驱动时,电子差速控制策略的选择就显得尤为重要,它直接影响了整个驱动桥是否能够正常运行。本文中采用了

电子差速控制研究领域应用广泛的基于滑模控制,以驱动轮的滑移率相等为控制目标,调节轮毂电机输出转矩的控制策略。但有学者认为以各驱动轮滑移率相等为控制目标,可以克服以车轮转速为控制变量的不足,但不能实现对小滑移率的实时检测和控制^[11]。同时,轮毂电机的应用增加了非簧载质量,使轮胎的动载荷和车身的振动加速度均方值都明显增大,从而影响到轮胎的接地性能和整车的平顺性^[12]。

4 结论

本研究中避开机-电耦合传动装置开发的昂贵成本,采用新的思路所设计的两轴实时混联驱动系统可在汽车不同的行驶状态下灵活地实现串并联的不同组合,以达到降低排放和提高效率的目的。而设计性能更好的电子差速控制系统以及减小非簧载质量的影响是需要继续研究的地方。

参考文献

- [1] 吴光强. 汽车理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [2] 周斯加, 罗玉涛, 黄向东. 双转子电机混合动力汽车驱动特性研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(16): 2011-2015.
- [3] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] 刘秋铮. AMT 离合器自适应控制策略及执行器系统开发[D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2005.
- [5] 俞明, 罗玉涛, 黄榕清. 一种混联式电动汽车驱动系统[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2000, 29(8): 90-92.
- [6] 熊伟威, 舒杰, 张勇, 等. 一种混联式混合动力客车动力系统参数匹配[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(8): 1324-1328.
- [7] 王家明, 郭晋晨, 冒晓建, 等. 新型混联式混合动力客车动力系统分析[J]. 汽车技术, 2008(9): 1-4.
- [8] 赵艳娥, 张建武. 轮毂电机驱动电动汽车电子差速系统研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(18): 4767-4775.
- [9] 葛英辉, 倪光正. 新的轮式驱动电动车电子差速控制算法的研究[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 340-343.
- [10] Tao Guilin, Ma Zhiyun, Zhou Libing, et al. A Novel Driving and Control System for Direct-Wheel-Driven Electric Vehicle[J]. IEEE Transactions on Magnetics (S0018-9464), 2005, 41(1): 497-500.
- [11] 靳立强, 王庆年, 张缓缓, 等. 电动轮驱动电动汽车差速技术研究[J]. 汽车工程, 2007, 29(8): 700-704.
- [12] 宁国宝, 万钢. 轮边驱动系统对车辆垂向性能影响的研究现状[J]. 汽车技术, 2007(3): 21-24.