

文章编号: 1002-0268 (2001) -01-0077-04

混合动力电动汽车的发展

麻友良¹, 陈全世²

(1. 武汉科技大学, 湖北 武汉 430070; 2. 清华大学, 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

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, 本文阐述混合动力电动汽车的不同型式和特点以及目前混合动力电动汽车的发展现状, 指出发展混合动力电动汽车必须解决的关键技术问题。

关键词: 混合动力; 电动汽车; 驱动系统

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

The Development of Hybrid Electric Vehicle (HEV)

MA You-liang¹, CHEN Quan-shi²

(1. Wuhan University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430070, China)

(2. Tsinghua University, State Key Lab of Automobile Safety and Energy, Beijing 100084, China)

Abstract: HEV is an effective way to solve the problems of energy consuming and air pollution concerned with automobiles. Different types of HEV and their characteristics are analyzed in this article, as well as the current situation of HEV development. The key technologies of implementing HEVs are also pointed out.

Key words: Hybrid Electric vehicle; Power system

0 概述

汽车发展的100年,是人类文明和经济发展迅猛的100年。如今,全世界汽车的保有量达到了6.7亿多辆,汽车已与人们的日常生活和生产密不可分。然而,众多燃油汽车排放所造成空气质量的日益恶化和石油资源的渐趋匮乏,使开发低排放、低油耗的新型汽车成为当今汽车工业界的紧迫任务。人们越来越关注其它燃料的汽车和电动汽车的开发。使用电动汽车(Electric Vehicle 简称EV)可实现无污染,并可利用煤碳、水力等其它非石油资源,因此,无疑是解决问题的最有效途径。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。尽管目前具有世界先进水平的电动汽车的性能与内燃机汽车可不相上下,但过高的成本使其难以商品

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。可以相信,在电动汽车的储能部件——电池没有根本性突破以前,使用混合动力电动汽车是解决排污和能源问题最具现实意义的途径之一。

1 混合动力汽车种类与特点

混合动力电动汽车(HEV)是在一辆汽车上同时配备电力驱动系统和辅助动力单元(Auxiliary Power Unit,简称APU),其中APU是燃烧某种燃料的原动机或由原动机驱动的发电机组,目前HEV所采用的原动机一般为柴油机、汽油机或燃气轮机。混合动力电动汽车将原动机、电动机、能量储存装置(蓄电池)组合在一起,它们之间良好匹配和优化控制,可充分发挥内燃机汽车和电动汽车的优点,避免各自

收稿日期: 2000-03-10

基金项目: 汽车安全与节能国家重点实验室开放基金(39915009)

作者简介: 麻友良(1956-),男,浙江德清人,副教授,主要从事汽车运用的教学与研究,现为国内访问学者,在汽车安全与节能国家重点实验室电动汽车研究室工作。

的不足，是当今最具实际开发意义的低排放和低油耗汽车。较之纯电动汽车，HEV 具有如下的优点：

(1) 由于有原动机作为辅助动力，电池的数量和质量可减少，因此汽车自身重量可以减小。

(2) 汽车的续驶里程和动力性可达到内燃机的水平。

(3) 借助原动机的动力，可带动空调、真空助力、转向助力及其它辅助电器，无需消耗电池组有限的电能，从而保证了驾车和乘坐的舒适性。

较之内燃机汽车，HEV 则具有如下的优点：

(1) 可使原动机在最佳的工况区域稳定运行，避免或减少了发动机变工况下的不良运行，使得发动机的排污和油耗大为降低。

(2) 在人口密集的商业区、居民区等地可用纯电动方式驱动车辆，实现零排放。

(3) 可通过电动机提供动力，因此可配备功率较小的发动机，并可通过电动机回收汽车减速和制动时的能量，进一步降低了汽车的能量消耗和排污。

目前世界各国研究开发的混合动力电动汽车有不同的结构形式，根据其驱动系统的配置和组合方式不同，分为串联式、并联式和混联式 3 种组合方式，各自的结构形式和特点如下。

1.1 串联式驱动 (SHEV) 系统

串联式驱动系统的示意图如图 1 所示。APU 由原动机和发电机组成，通常将这两个部件集成为一体。原动机带动发电机发电，其电能通过控制器直接输送到电动机，由电动机产生驱动力矩驱动汽车。电池实际上起平衡原动机输出功率和电动机输入功率的作用：当发电机的发电功率大于电动机所需的功率时（如汽车减速滑行、低速行驶或短时停车等工况），控制器控制发电机向电池充电；当发电机发出的功率低于电动机所需的功率时（如汽车起步、加速、高速行驶、爬坡等工况），电池则向电动机提供额外的电能。

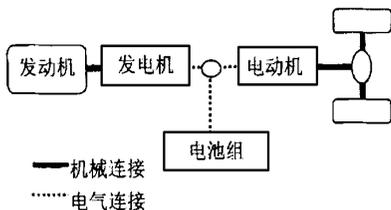


图 1 串联驱动方式

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运行，并可选用功率较小的发动机，因此，可使汽车的油耗和排污降低。串联式混合动力电动汽车特别适用于在市内低速运行

的工况。在繁华的市区，汽车在起步和低速时还可以关闭原动机，只利用电池进行功率输出，使汽车达到零排放的要求。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。

1.2 并联式驱动系统

并联式驱动系统结构示意图如图 2 所示，汽车可由发动机和电动机共同驱动或各自单独驱动。当电动机只是作为辅助驱动系统时，功率可以比较小。与串联式结构相比，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，这使得并联式燃油经济性比串联式的高。并联式驱动系统最适合于汽车在城市间公路和高速公路上稳定行驶的工况。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，因此不适于汽车行驶工况变化较多、较大；相比于串联结构式，需要变速装置和动力复合装置，传动机构较为复杂。

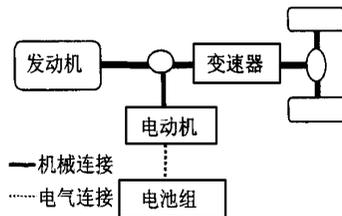


图 2 并联驱动方式

1.3 混联式驱动系统

混联式驱动系统是串联式与并联式的综合，其结构示意图如图 3 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输送给驱动桥。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。

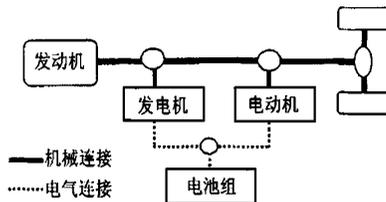


图 3 混联驱动方式

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,所以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。

与并联式相比,混联式的动力复合形式更复杂,因此对动力复合装置的要求更高。目前的混联式结构一般以行星齿轮作为动力复合装置的基本构架。图 4 为丰田公司 Prius 车的驱动系统结构示意图,它的驱动系统被公认为目前最成功的结构。

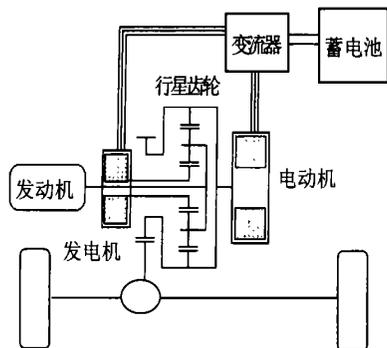


图 4 混联式驱动系统结构示意图

2 混合动力汽车的发展现状

目前世界各国都致力于开发先进的混合动力电动汽车,在 1999 年北京举行的第 16 届国际电动车会议暨展览会(EVS-16)上,混合动力电动汽车成为热点,展出的部分展品代表了世界混合动力汽车发展的现状。

通用汽车公司的串联式混合动力电动汽车的 APU 是 40kW、单轴燃气涡轮发动机和高速永磁交流发电机组,它的总重约 100kg,是至今生产的同类产品中最小、最轻、最省油的,发电机在 100 000 ~ 140 000r/min 范围内运转时平稳、低噪声,在 130km/h 的行驶状态下可以输送 40kW 的电能。该车在关闭 APU 的情况下,可以电动方式行驶 65km。而在混合模式中,当电池的 SOC(荷电状态)下降到 40% 以下时,APU 自动开启,产生的电能一般恰好够用于驱动电机并使电池的 SOC 恢复到 50%。车上携带一个 24L 的油箱,供给 APU 燃料,在高速路上可以使汽车拥有 560km 的续驶里程。

通用公司展出的并联式混合动力电动汽车,在标准的混合模式下,汽车主要由高效的柴油机驱动。由发动机驱动的电动/发电机发电,可以使电池组的 SOC 维持在 80% 左右;在零排放模式下,只使用电动机驱动可以行驶约 65km;当汽车需要加速或爬坡时,安装在前部的电动机驱动前轴,柴油机和电动/发电机通过自动变速器驱动后轴,从而实现四轮驱

动。该并联式混合动力电动汽车其燃油经济性和动力性均超过了传统汽车。

丰田公司展出的 Prius 汽车为混联式混合动力电动汽车,使用密封的镍氢电池。在日本 10 ~ 15 工况下燃油经济性达到了 3.57L/100km,CO、NO_x 和 HC 的排放水平仅相当于日本现行法规的 1/10;CO₂ 的排量相当于普通汽车的 1/2。这种 5 座轿车最高车速为 140km/h。续驶里程与普通汽车一样,视加入的汽油多少而定。在日本国内已售出 30 000 多辆。

清华大学与厦门金龙联合汽车公司合作研制的串联式混合动力客车,也参加了展览,这标志着我国混合动力电动汽车研究进入了实质性阶段。

3 混合动力电动汽车发展所需解决的问题

3.1 电池

混合动力汽车上的电池其使用状况不同于电动汽车,在工作中电池处于非周期性的充放电循环中,要求电池的充放电速率和效率高,因此,混合动力电动汽车用电池不仅需要高能量密度($W \cdot h/kg$)而且还需要高功率密度(W/kg)。研究与开发高性能、低成本、寿命长的电池,仍然是发展混合动力电动汽车的关键问题之一。目前已研究开发的电池有铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池、钠-硫电池、锂离子电池等十几种。

铅酸电池是较为成熟的电池,它具有可靠性高、价格低的特点,新研究开发的胶体电池、阀控电池等,在比能量、比功率、快速充电性能等方面均比普通铅酸电池有较大的提高,因此,在各国都有较多的应用,也是我国目前开发混合动力电动汽车的首选电池。铅酸电池目前需要解决的问题是进一步提高其比能量和比功率、电池的均匀性等。但铅酸电池性能提高的潜力有限,因此,最终将被其它电池取代。

镍氢电池相比铅酸电池有比能量和比功率高(是普通铅酸电池的 2 倍)、循环寿命长(在 80% 的放电深度下,具有 1 000 次的循环寿命)、无污染等优点,因此倍受各国关注。在欧美各国新研制的混合动力电动车中,多以镍氢电池为动力源。镍氢电池目前需解决的问题是进一步降低价格,在国内则需研制开发能适用于混合动力车用的大型镍氢电池。

目前,锂离子电池能达到的指标为:比能量超过 $100 W \cdot h/kg$ 。比功率大于 $200 W/kg$,循环寿命为 1 200 次(100% 的放电深度)。作为动力电池由于充放电过程的控制问题还有待解决,其价格又高,因此,目前尚不能在混合动力电动汽车上推广使用,但

锂离子电池是未来最有希望的动力电池。因此,我们应予以足够的重视。

3.2 电池管理系统

混合动力电动汽车用电池的寿命、充放电效率、内阻等都要受电池放电深度、充放电电流的大小及具体的汽车行驶工况等诸多因素的影响,而目前国内还局限于电池恒流放电特性或仅考虑了放电过程的变流放电特性研究,这些对建立一个符合混合动力电动汽车电池实际使用状况的能量管理模型是远远不够的。研究考虑诸多影响因素的电池充放电动态特性,以便建立一个符合电池实际使用环境的电池能量管理系统,并为载荷均衡控制装置提供可靠的控制参数,是目前混合动力电动汽车研究开发中必须解决的问题。

3.3 电机及控制系统

混合动力电动汽车上使用的电动机有直流电机、永磁无刷电机、感应电机、开关磁阻电机等。研究开发体积小、重量轻、工作可靠、动态响应好的电机,对混合动力电动汽车进一步提高动力性和经济性极为重要。目前国内外比较重视永磁无刷电机和开关磁阻电机及其控制系统的研究与开发工作,相信不久会出现能满足混合动力电动汽车最佳匹配要求的电动机系统。

3.4 辅助动力单元 (APU)

根据混合动力电动汽车发动机的实际工作状况对APU进行优化设计。比如,串联混合方式的发动机,其冷却系统、润滑系统等的优化设计就必须考虑其长期稳定在满负荷工况下工作的特点;可以采用柴油机、汽油机以外的性能优良的动力装置,比如,串联式的动力传递因无直接机械传动,可选用燃油经济性好、体积小、重量轻、排气噪声小的高速燃气轮机。

3.5 载荷均衡装置

当确定了混合动力电动汽车的动力性指标后,电

动机、APU及电池参数的最佳匹配就是要达到这样的目标:原动机始终在最佳的工作范围内(排污和油耗最低),并尽可能充分利用APU的能量(最大限度地发挥电动机的做功,电池保持在最高充放电效率状态),最大限度地吸收制动能量,尽量减少电池的能量消耗。工作中,实现电动机、APU和电池之间状态的协调控制就是载荷均衡控制装置的任务。一个智能化的,能根据汽车的行驶状况,原动机的运行情况,电池的充放电状态等进行实时分析和控制的载荷均衡控制系统,对混合动力电动汽车的成功起到了关键的作用。因此,研究电动机、APU和电池的动态特性,建立符合混合动力电动汽车的实际使用状况的动态模型,是混合动力电动汽车研究与开发中必须做好的一项重要工作。

4 结束语

混合动力电动汽车虽然没有实现零排放,但它所能达到的动力性、经济性和排放指标是缓解汽车需求与环境污染及石油短缺矛盾日益尖锐的理想途径。因此,我们必须重视混合动力电动汽车在汽车发展过程中的作用,牢牢把握当前的发展契机,投入必要的人力物力,解决混合动力电动汽车目前所需解决的关键问题,使混合动力电动汽车在我国迅速发展起来,为我国道路交通运输事业的进一步腾飞发挥巨大的作用。

参考文献:

- [1] 李宾, 陈全世. 开展混合动力电动汽车的研究刻不容缓. 汽车技术, 1997 (5).
- [2] 杨钦慧. 不远将来远程公路汽车的首选车——混合电动车. 电机技术, 1999 (1).
- [3] 徐清富. 丰田汽车公司的混合动力系统. 世界汽车, 1998 (4).
- [4] Buschhaus Wolfram, Brandenburg Larry. Hybrid Electric Vehicle Development at Ford. EVS-15, Symposium Proceedings Brussels, Belgium.