

文章编号:1000-582X(2004)06-0025-05

一种新型双能源电动汽车的动力传动系统*

冉振亚¹,曹文明¹,杨超¹,赵树恩^{1,2},庞迪¹

(1.重庆大学机械工程学院,重庆 400030;2.陕西理工学院,陕西 汉中 723001)

摘要:对一种新型零排放电动汽车动力传动系统进行了研究,这种电动汽车以直接氢质子交换膜燃料电池为主要动力,以铅酸蓄电池为辅助动力。该电动汽车以巡航速度行驶时,由燃料电池供电,多余电量给蓄电池充电。在汽车加速、爬坡或高速运行等高功率需求工况时,由燃料电池和蓄电池同时提供动力。同时对该双能源电动汽车动力传动系统的参数进行了最佳匹配。最后对该电动汽车进行了仿真,结果表明动力传动系统的参数匹配是合理的,该电动汽车的动力性完全能满足设计指标要求。

关键词:燃料电池;混合动力;传动系统;参数匹配

中图分类号:U469.72

文献标识码:A

当前阶段,由于蓄电池电动汽车的续驶里程短、动力性较差,从而制约了电动汽车的进一步推广与发展。虽然近年来快速发展的质子交换膜燃料电池由于其能量转化效率高、能量密度大、无须充电、零排放等优点已被广泛采用在电动汽车上^[1],但是燃料电池价格昂贵、不能回收汽车制动的能源,因此国外一些电动汽车已经开始采用燃料电池/蓄电池双能源为动力,采用燃料电池和蓄电池组成的双能源混合动力代替单能源的电动汽车可以解决续驶里程短、动力性差的问题。

为了更好地发挥出燃料电池/蓄电池双能源电动汽车的综合性能,必须对燃料电池/蓄电池双能源电动汽车动力传动系统进行优化设计。针对国内的电动汽车中大多是以蓄电池或燃料电池单能源为动力这一研究现状,提出了一种区别于单能源电动汽车动力传动系统的设计方案并进行了最佳参数匹配。

1 新型双能源电动汽车动力传动系统设计

1.1 动力总成的设计方案

由于蓄电池体积大、能量密度低、充电时间长等缺点制约了电动汽车的发展。近年来快速发展的质子交换膜燃料电池由于其能量转化效率高、能量密度大、无

须充电、零排放等优点广泛被采用在电动汽车上。然而燃料电池价格昂贵、冷启动性能差、后备功率不足等缺点限制了燃料电池汽车的广泛推广,现通过采用“质子交换膜燃料电池(PEMFC)+铅酸蓄电池+永磁无刷直流电机”的电动混合动力总成及其综合控制系统可以解决这些问题,其工作逻辑见图1。

工作过程可简述为:1)汽车起步时,主控制单元控制蓄电池大电流放电,电流经双向DC/DC变换器将可控(限)电流经静态开关供给PWM控制系统,起动汽车。2)汽车以巡航速度行驶时,主控制单元根据具体工况确定电源系统的工作状况,在保证汽车正常行驶的条件下优先让燃料电池单独工作,能量富余时可向电池组充电;当燃料电池的电能不能以维持给定车速时,主控制单元控制电池组放电予以补充。3)汽车加速行驶或上坡时,燃料电池和蓄电池同时工作,输出大电流满足电动机的功率需要;同时主控制单元准确地调节燃料电池和蓄电池输出电流的比例,限制燃料电池、蓄电池电流的输出,以维持它们的寿命。4)汽车制动减速或下长坡时,主控制单元控制燃料电池停止供电,电动机再生电流经PWM、双向DC/DC高频升(降)压变换器降压之后,向蓄电池充电。

* 收稿日期:2004-02-17

作者简介:冉振亚(1949-),男,重庆万州人,重庆大学副教授,从事汽车绿色技术及天然气汽车技术的开发研究工作。

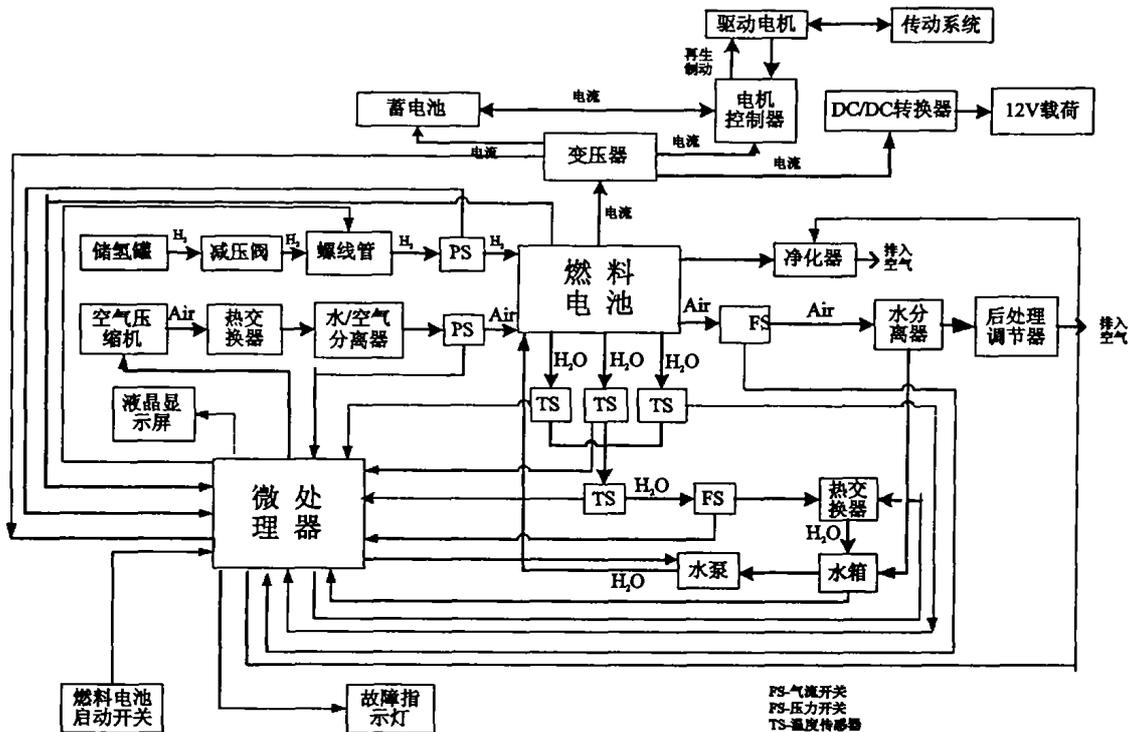


图1 新型双能源动力总成示意图

这种方案的优点表现在:1) 由于采用了 PEMFC 加上铅酸电池作为辅助动力单元 (APU), 解决了目前燃料电池比功率和比能量不足的问题, 可以提高汽车的功率和续航里程。2) 可靠性较高, 由于采用了两路并联的供电电路, 在燃料电池或蓄电池储能器中的任何一个发生故障时, 仍可利用其中未发生故障的能源维持一段行程, 返回修理站, 避免就地抛锚。3) 从总体上看, 上述方案结构简单, 涉及的技术基本成熟, 再加上我国目前在电动汽车电池、电机、电控三大关键技术相继取得突破, 可见此方案具有很强的可行性。

1.2 传动系统设计方案

该电动汽车传动系统的设计方案采用了如图 2 所示的机电集成式传动方案。

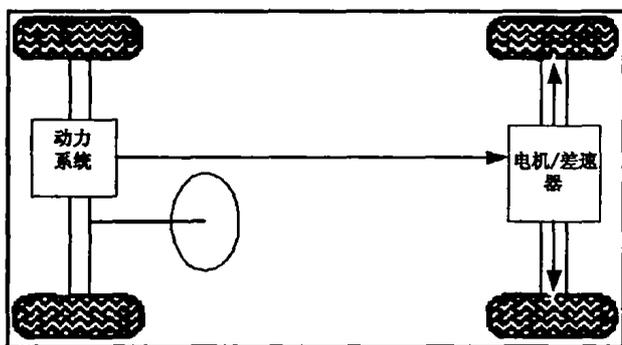


图2 传动系统示意图

该传动方案由电机与传动系统直接组合集成在一起, 由单级减速器、差速器、半轴等组成。单级减速器

可选用 2K - H 型双排式的行星齿轮组, 其传动比为 $8 \sim 16^{[2-3]}$ 。在确定传动比时, 要根据驱动电机调速变矩的范围与电动汽车的最大驱动力、最大转矩的设计要求在 $8 \sim 16$ 之间进行选择。行星齿轮组的减速器与定轴式的相比, 具有尺寸小、质量轻、转动平稳、结构紧凑、抗冲击和振动能力强、寿命长的优点。为取得显著的润滑效果, 对减速器、差速器的集成件不宜采用飞溅润滑, 而应选择在集成件的壳体内安装机油泵和设置油道来润滑各零部件的设计方案。由于没有传动轴, 这种传动机构紧凑, 便于布置其它系统的部件。缺点是机电集成在一起给维修带来不便, 另外还使汽车通过性能变差。

按集成型式的不同, 该传动系统有两种结构: 一种是驱动电机输出轴直接与传动系统连接, 驱动电机输出轴轴线与驱动桥轴线垂直, 旋转方向需要通过圆锥齿轮改变 90° ; 另一种是驱动电机输出轴是空心的, 有一根半轴安装在空心轴内, 其一端与半轴齿轮内花键连接, 另一端通过螺栓与驱动轮轮毂连接或通过等速万向节与转向轮连接, 由于驱动电机是横置的, 所以无需改变动力传递方向。后者比前者更紧凑, 但要求零件强度、刚度大, 加工与装配精度高。

1.3 驱动电机的设计方案

该电动汽车传动系统中的驱动电机采用了技术成

熟、成本较低的永磁无刷直流电动机。

电动汽车采用的驱动电机主要有直流电机和交流电机,直流电机又分为串励直流电机和他励直流电机两种类型^[4-5]。他们各有优缺点,串励直流电机的优点是只用一个斩波器,缺点是线路要增加接触器切换励磁绕组才能实现牵引与制动的转换。他励直流电机的优点是线路无需切换即可实现牵引与制动的转换,带载能力强,防空转性能好,缺点是多采用一个磁场斩波器。根据德国电动大客车的试验,采用串励直流电机比采用他励直流电机的再生制动作用低5%,能量消耗高19%。虽然直流电机易于控制,制造技术成熟,但其缺点突出,需要采用机械换向结构,维护困难,体积大,速度范围有限,重量重,能量密度较低。

在电动汽车驱动中常用的交流电机可分感应电动机、永磁同步电动机和开关磁阻电动机三大类。目前大多数电动汽车都采用感应电动机进行驱动,在最新研制出的电动汽车中,美国通用公司的 Impact 电动汽车每个前轮上装有一台 42.5 kW、转速为 6 600 r/min 的感应电动机。日产公司的 FEV 电动汽车也采用了两台感应电动机,每台功率 20 kW,最大转速 15 000 r/min,最大扭矩 47.5 N·m。永磁同步电动机由于其具有很高的能量密度,体积小、重量轻、效率高,在电动汽车中也有很好的应用前景。而开关磁阻电动机结构非常简单、坚固、起动性能好,没有大的电流冲击,效率高,它兼有异步电动机变频调速和直流电动机调速的优点,是未来电动汽车最为看好的一种电动机。

2 动力传动系统参数选择

新型双能源电动汽车动力传动系统包括双能源动力总成、驱动电机及其控制系统、单级减速器、差速器、半轴等。

2.1 电动机功率的选择

电动机的主要参数包括电动机类型、电动机额定功率和额定转速等。现以永磁无刷直流电机为研究对象,其功率由电动汽车的最高车速确定,以保证电动机的效率。当给定最高车速,选择的电动机功率应不小于以最高车速行驶时的行驶阻力功率之和。即^[6]:

$$P_e \geq \frac{1}{3\ 600 \eta_r} (M \cdot g \cdot f + \frac{C_d \cdot A}{21.15} V_{\max}^2) \cdot V_{\max}$$

式中: p_e 为电动机额定功率; M 为整车质量; g 为

重力加速度;为滚动阻力系数; V_{\max} 为最高车速; C_d 为空气阻力系数; A 为迎风面积; η_r 为动力传动系统效率。

2.2 传动比的选择

车辆传动比包括变速器传动比和主减速器传动比。电动汽车以最高车速行驶时,用最小传动比的档位工作,在最大爬坡度时用最大传动比的档位工作。由于直流电动机的起动转矩很大,并且可以实现无级调速,传动比只需满足最高车速和最大爬坡度的要求即可,故可选择两档变速器。最小传动比档位为直接档,因此,主减速器的传动比可以由最高车速求得,即^[7]:

$$i_0 = 0.337 \frac{n_{\max} \cdot r}{V_{\max}}$$

式中: i_0 为主减速器的传动比; n_{\max} 为电动机的最高转速; r 为轮胎滚动半径; V_{\max} 为最高车速。

变速器的最大传动比由电动汽车的最大爬坡度确定,即^[7]:

$$i_{g\max} \geq \frac{G(f \cdot \cos(a_{\max}) + \sin(a_{\max})) \cdot r}{T_{i_{g\max}} \cdot i_0 \cdot \eta_r}$$

式中: $i_{g\max}$ 为变速器的最大传动比; a_{\max} 为最大爬坡度。

2.3 燃料电池组的选择

燃料电池按电解质的不同可分为碱性燃料电池、磷酸燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池、固体氧化物燃料电池和质子交换膜燃料电池,在这些燃料电池中只有磷酸燃料电池和质子交换膜燃料电池可以冷启动和快速启动,可作为电动汽车用移动电源。近年来,快速发展的质子交换膜燃料电池由于其具有比功率大、启动快、寿命长、体积小、工作温度低、能耗小、能量转换效率高等优点被广泛应用于电动汽车上。质子交换膜燃料电池组包括燃料电池堆及其辅助系统,燃料电池堆由若干块单电池组成,单电池又由氧化极、燃料电极和质子交换膜组成。辅助系统由燃料循环系统、氧化剂循环系统、热交换器和系统温度、湿度、压力自动控制系统等组成,燃料电池系统性能参数见表1。

表1 燃料电池性能参数表

功率/kW	电压/V	电流/A	燃料	氧化剂
30	100	300	纯氢	空气
工作压力 /MP	工作温度 /°C	效率 /%	功率密度 /w · kg ⁻¹	体积比 功率/w · L ⁻¹
0.1 ~ 0.5	70 ~ 80	57	> 230	> 230

在燃料电池中,燃料消耗是电流的函数,可根据以下 Faraday's 方程得到^[8]:

$$FC = k(I + I_d)N$$

在此 I 为电流, I_d 为由于氢氧扩散通过交换膜时电流的损耗,取 6.5 A。 N 为电池的数目。 k 为常数,取 0.04 g/Ah。在这种双能源电动汽车中,燃料消耗和续航里程可以通过此式计算出来。

2.4 蓄电池组的选择

蓄电池是这种双能源电动汽车的辅助动力源,蓄电池的主要性能指标是比能量、比功率和使用寿命等。这种双能源电动汽车上的蓄电池使用状况不同于纯蓄电池电动汽车,在工作中电池处于非周期性的充放电循环中,因此,这种双能源电动汽车不仅要求电池的充放电速度和效率高,而且还需要高能量密度和高功率密度。

蓄电池种类繁多,有铅酸蓄电池、镍镉蓄电池、镍氢蓄电池、钠硫蓄电池和锂离子电池等^[9],而铅酸蓄电池由于其技术成熟、性能可靠,作为内燃机汽车的启动电源已有 100 多年的历史了,它可靠性好、原材料易得、价格便宜。比能量约为 30~40 W·h/kg,比功率约为 100~150 W/kg,基本上能满足驱动车辆的动力性要求。

蓄电池数量应与燃料电池功率合理匹配,汽车在加速、爬坡、高速等大负荷工况下,如果燃料电池所能供给的最大功率仍满足不了行驶要求时,由蓄电池辅助驱动。蓄电池需要提供的最大功率可由下式计算:

$$P_b = \frac{P_{max}}{\eta_m \eta_c} - P_g$$

式中 P_{max} 为最大需求功率, P_g 为燃料电池功率, η_m 为传动系数, η_c 为电机效率。再根据所选蓄电池的比功率就可确定所需蓄电池的数目。

2.5 计算实例

动力性能指标确定为:最高车速 140 km/h, 0~100 km/h 加速时间为 15 s, 爬坡能力为以坡度 15%、88.5 km/h 的速度爬坡持续时间为 20 s, 续航里程 560 km, 在确定整车参数后,如表 2,再根据以上原则,可以得到动力传动系统的参数如表 3 所示。

表 2 整车参数

整车质量 /kg	迎风面积 /m ²	轮胎规格	滚阻系数	空阻系数	轴距 /m
1349	2.06	215/45 ZR17	0.012 63	0.312	2.62

表 3 动力传动系统主要参数

项目	设计参数	设计值
电动机	额定功率/kw	75
	最大功率/kw	112
	额定转速/r·min ⁻¹	6 500
	最高转速/r·min ⁻¹	10 000
燃料电池	输出功率/kw	30
	额定输出电压/V	180
蓄电池组	额定放电容量/Ah	390
	总量/kg	165
传动系	主减速比	3.50
	I 档传动比	1.55
	II 档传动比	1.00

基于以上参数的确定,用 Advisor2002 对该电动汽车进行仿真,在 NEDC 路况下的仿真结果如图 4 所示。图 3(a) 为该车车速随时间的变化曲线,按实验要求,该循环路程总共 10.94 km,需在 1 184 s 内完成,由仿真结果可以看出,该电动汽车完全可以达到实验要求,该样车在 0~96.6 km/h 的加速时间为 13 s,以 88.5 km/h 的车速爬坡,持续 20 s 的爬坡坡度为 16.4%,说明该电动汽车的动力性满足设计要求,动力传动系统的参数确定是合理的。

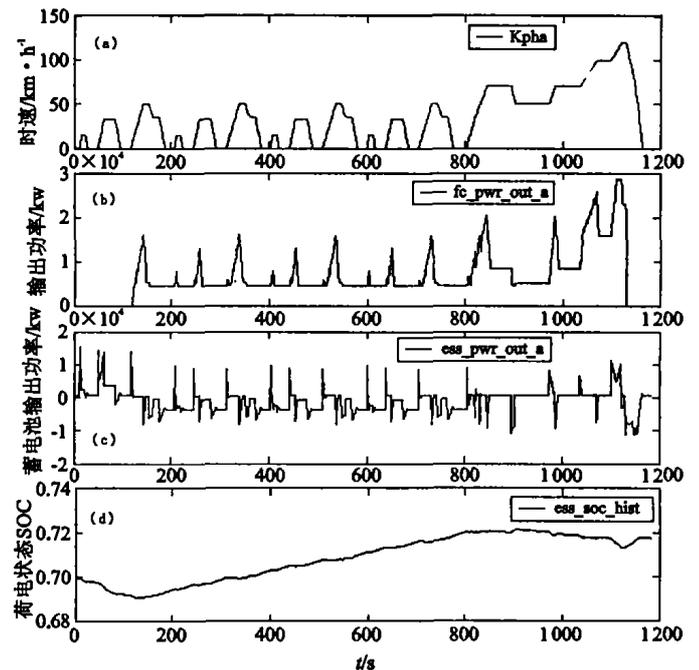


图 3 新型电动汽车在 NEDC 工况下的仿真曲线

3 结 论

通过对燃料电池和蓄电池各自特点的分析,提出

了用质子交换膜燃料电池综合蓄电池的动力总成代替纯电动汽车蓄电池的动力总成。蓄电池可以回收再生制动的能量和吸收燃料电池过剩的能量,这样可以增加电动汽车的续驶里程。通过对燃料电池电动汽车动力传动系统的分析,提出了系统参数合理设计与匹配的原则和方法,以提高电动汽车的动力性和增加续驶里程,并且实现了该电动汽车在 Advisor2002 环境下的仿真,结果表明动力传动系统的参数匹配是合理的,该电动汽车的动力性完全能满足设计指标要求。

参考文献:

- [1] 衣宝廉. 燃料电池——高效、环境友好的发电方式[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [2] 王建锋. 汽车动力传动系统优化匹配的研究[D]. 江苏:江苏理工大学硕士论文,1998.
- [3] 谭建成. 电动汽车及其电驱动技术(一)[J]. 电机电器技

术,1998,(1):19-24.

- [4] BERNDT D. Maintenance - Free Batteries: Lead - Acid, Nickel/ Cadmium, Nickel/Hydride; A Handbook of Battery Technology[M]. Somerset, England: Research Studies Press and New York: John Wiley&Sons, 1997.
- [5] 李海发,王炎. 电机与拖动技术[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [6] 陈清泉,孙蓬春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002.
- [7] 余志生. 汽车理论[M]. (第2版)北京:机械工业出版社,1996.
- [8] NADAL M, BARBIR F. Development of a hybrid fuel cell/ battery powered electric vehicle[J]. Int J Hydrogen Energy, 1996,21(6):497-505.
- [9] 朱松然. 铅酸蓄电池技术[M]. 北京:机械工业出版社,1988.

Power Train of a New Type of Hybrid Electric Vehicle

RAN Zhen-ya¹, CAO Wen-ming¹, YANG Chao¹, ZHAO Shu-en^{1,2}, PANG Di¹

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Shanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

Abstract: The powertrain of a new type of zero emission electric vehicle is researched, which powered primarily by air-breathing proton exchange membrane (PEM) fuel cells with gaseous hydrogen as fuel, and with Lead-acid battery as assistant power. The fuel cell system provides power for the vehicle while the vehicle travel at a cruising speed, and the exceed power will charge for battery. The fuel cell and the battery system will together provide power to the vehicle during periods of peak power demand such as vehicle acceleration or traveling at a high constant speed. At the same time, the powertrain parameter of this fuel cell vehicle are matched reasonably. At last, the dynamic of an electric vehicle is simulated, and the result shows that the dynamic performance perfectly meets the need of the design target.

Key words: the fuel cell; hybrid power; powertrain; parameters match

(编辑 张小强)