

Plug-in 串联式混合动力电动汽车控制策略研究

毛文刚 吴 森

MAO Wen-gang ,Wu Sen

(武汉理工大学汽车工程学院,湖北武汉 430070)

摘 要:控制策略直接影响了串联混合动力汽车的燃油经济性、排放性以及车辆的续驶里程。文中基于 WG6120HD 混合动力城市客车动力系统,综述了蓄电池组 SOC 的估算方法以及对蓄电池容量的评价,并结合蓄电池组 SOC 的变化情况,对 Plug-in 串联式混合动力汽车控制策略进行了分析和研究。

关键词:PHEV ;SOC ;控制策略

中图分类号 :U469.79

文献标识码 :A

1 Plug-in 串联式混合动力系统

1.1 Plug-in 串联式混合动力电动汽车的优势

可外接充电式混合动力电动汽车的英文全称为 :Plug-in Hybrid Electric Vehicle, 缩写为 :PHEV。与 EV 相比 ,PHEV 增加了内燃机 ;与 HEV 相比 ,PHEV 可以外接电网充电 ;在相同车型条件下 ,PHEV 的电池比 HEV 的电池功率大 ,内燃机功率比 HEV 的小。总之 ,PHEV 在设计目标上是要综合 EV 与 HEV 的优点。这种混合动力汽车单独依靠电池能行驶较长的距离,但仍然可以像普通的混合动力汽车一样工作。PHEV 的主要优点如下 :

(1)具有 EV 的全部优点,减少温室气体和各种有害排放物,降低对石化燃料的依赖,减少石油进口,增加国家能源安全。

(2)由于国家已经存在公用电网等基础设施,可利用晚间低谷电对电池充电,改善电厂发电机组效率,节省能源。

(3)具有接受外部公用电网对车载电池组充电的能力,可以在家里就对电池组充电,减少去加油站加油次数。用 PHEV 的全电动模式上下班,可大大降低车辆使用成本。

1.2 系统结构和技术参数

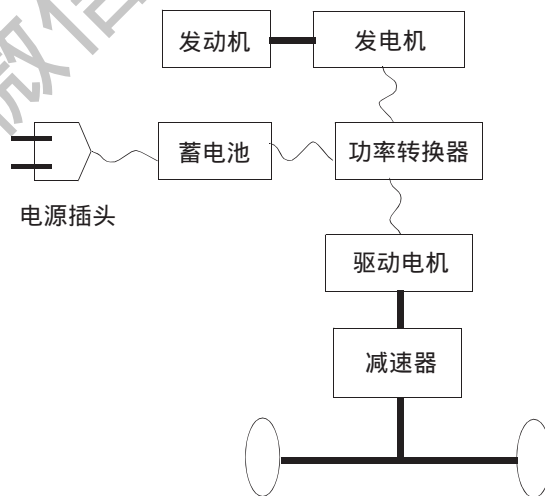


图1 串联式混合动力系统

车辆技术参数如表 1 所示,图 1 所示的 Plug-in 串联式混合动力系统是基于 WG6120HD 城市混合动力客车的研发。

2 SOC 的估算与控制

根据车上电池荷电状态 SOC 的变化特点,可以将 PHEV 的工作模式分为电量消耗、电量保持和常规充电模式,其中电量消耗又分为纯电动

表1 WG6120HD 技术参数

车辆参数	
满载质量(kg)	15000
外形(mm)	11643×2536×3022
最大乘员数	60
柴油发动机参数—YC4F115-30	
排量(ml)	2660
有效功率(kW/rpm)	85/3200
最大转矩(Nm/rpm)	285/2200
异步交流发电机 / 电动机参数—AC90	
额定功率(kW)	45
额定转矩(Nm)	215
峰值功率(kW)	125
峰值转矩(Nm)	630
铅酸蓄电池	
标称电压(V)	12
数量	26
容量(Ah)	150
质量(kg)	35

车载充电机 5kW 220V,最大充电电流为 10A,可以直接利用电网进行充电。

和混合动力两种子模式。“电量消耗 - 纯电动”、“电量消耗 - 混合动力”和“电量保持”模式之间能够根据整车管理策略进行无缝切换,切换的主要判据是整车功率需求和电池的荷电状态 SOC。因此对电池荷电状态 SOC 的估算和电池容量进行评价。

2.1 SOC 的估计

电池荷电状态 SOC(State of Charge)描述电池剩余电量占额定容量的百分比,是电池使用过程中重要参数。工作过程中电池的荷电状态可由下式计算:

$$SOC = SOC_0 + \frac{\int_0^t i(t) dt}{C} \times 100\%$$

式中, SOC_0 为电池的初始 SOC, $i(t)$ 为 t 时刻电池的工作电流,充电时为正,放电时为负, A ; t 为充放电时间, h ; C 为电池的额定容量, $A \cdot h$ 。

在车用电池荷电状态估计中,目前广泛使用的方法是开路电压法与 Ah 计量法结合使用。下面分别介绍这两种方法:

(1) Ah 计量法

Ah 计量法是最常用的 SOC 估计方法。如果充放电起始状态为 SOC_0 , 那么当前状态的 SOC 为:

$$SOC(t) = SOC_0 + \frac{\int_0^t \eta i(t) dt}{C} \times 100\%$$

式中, SOC_0 为电池的初始 SOC, η 为充放电效率, $i(t)$ 为 t 时刻电池的工作电流,充电时为正,放电时为负, A ; t 为充放电时间, h ; C 为电池的额定容量, $A \cdot h$ 。

Ah 计量法应用中的问题有:电流测量不准,将造成 SOC 计算误差,长期积累,误差越来越大,要考虑电池充放电效率;在高温状态和电流波动剧烈的情况下,误差较大。电流测量可通过使用高性能电流传感器解决,但成本增加;解决电池充放电效率要通过事前大量实验,建立电池充放电效率经验公式。Ah 计量法可用于所有电动汽车电池,若电流测量准确,有足够的估计起始状态的数据,它是一种简单、可靠的 SOC 估计方法。

(2) 开路电压法

电池的开路电压在数值上接近电池电动势。铅酸电池电动势是电解液浓度的函数,电解液密度随电池放电成比例降低,用开路电压法可估计 SOC。

$$SOC(t) = \frac{U(t) - U_0}{U_{100} - U_0} \times 100\%$$

式中, $U(t)$ 为 t 时刻电池的开路电压(V); U_{100} 为荷电状态 100% 时的电池开路电压(V); U_0 为荷电状态 0% 时的电池开路电压(V)。

开路电压法的显著缺点是需要电池长时静置,以达到电压稳定,电池状态从工作恢复到稳定,需要几个小时甚至十几个小时,这给测量造成困难,静置时间如何确定也是一个问题,所以该方法单独使用只适于电动汽车驻车状态。

具体方法:先通过检测电池组在无负荷开路条件下的端电压,根据开路电压与荷电状态的对应关系确定电池初始容量;在汽车运行中,将通过电池的电流对时间进行积分累加计量已用容量,剩余容量是初始容量与已用容量之差。由于电池的放电电流、电解液温度和电池的循环寿命

对电池容量有较大影响,已用容量的计算要考虑上述因素的影响,一般要通过大量的稳态实验,包括从经验公式中获得各种影响因素与电池容量间的近似数量关系。这种方法在混合动力电动汽车使用过程中,由于长时间无法使算法重置,会造成较大的积累误差。

2.2 电池容量的评价

由于 Plug-in 串联式混合动力电动汽车使用的是铅酸电池,电池的实际容量是个未知参数,它随电池温度、循环次数、使用的时间等因素发生变化,呈现出衰减的现象,因此会影响 SOC 的估算准确性。因此应该对电池的实际容量做出评价。

假设铅酸电池的额定容量为 $C_0(\text{Ah})$,由控制器计算得出的 SOC 值为 $x\%$,现在对电池进行恒压充电,电压值为 $U(\text{V})$,总共用去的充电电能为 $W(\text{kWh})$ (由电表读出),则可以计算出剩余电量为 $x\%C_0$,用去电量为 $(1-x\%)C_0$,又可以算出充入电池的电量为 $1000W/U$,比较 $(1-x\%)C_0$ 和 $1000W/U$ 的值,则可以大概估算出电池容量的衰减量 $\Delta C = (1-x\%)C_0 - 1000W/U$,此时电池的实际容量为 $C_0 - \Delta C = C_0 - [(1-x\%)C_0 - 1000W/U]$ 。

3 基于公交线路的串联式 PHEV 的控制策略

3.1 PHEV 工作模式及控制策略

由于 PHEV 可通过外部电网充电,比普通 HEV 有较长的纯电动行驶里程,但需要时仍然可以像普通 HEV 一样工作。例如有一辆可以单独靠电池行驶 50km 的 PHEV,如果旅程不超过 50km(例如 40km),则可以只利用电池以纯电动行驶 40km,到旅程终点后,插入电源对电池充电;如果旅程超过 50km,则开始的 50km 可以用电池以纯电动来行驶,超过 50km 后则可以混合动力方式行驶,到了旅程终点再插入电源对电池充电。其电池组工作模式主要包括电量消耗模式 (Charge-Depleting, CD) 和电量保持模式 (Charge-Sustaining, CS),控制策略主要分为纯电动策略和混合策略,如图 2 和图 3 所示。

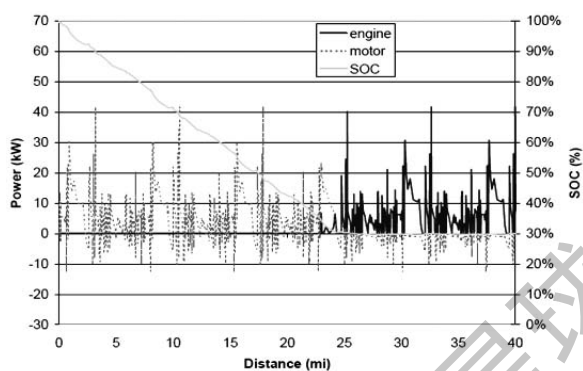


图2 “电量消耗 - 纯电动模式”和“电量保持”模式

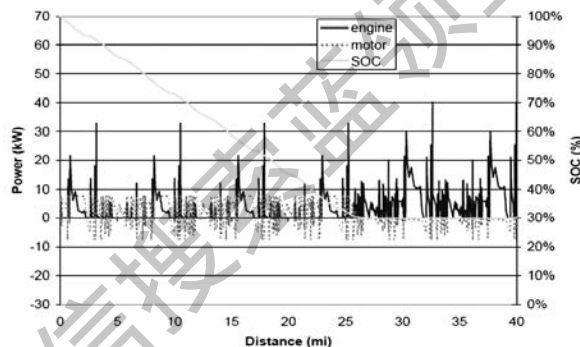


图3 “电量消耗 - 混合动力”模式和“电量保持”模式

3.2 电池组工作模式

(1) 电量消耗模式

在电池组充满电(SOC=100%)后,车辆可以以纯电动或从电池组消耗能量的模式行驶,此时电池组的 SOC 可能有些波动,但其平均水平不断减少,即电量在不断消耗,直至达到某一规定的值为止。称此过程为电量消耗模式,如图 2 和图 3 的左部分所示。根据发动机是否参与工作,电量消耗模式又可分为纯电动(all-electric)模式和混合(blended)模式。

在“电量消耗 - 纯电动”子模式中,发动机关闭,电池是唯一的能量源,电池的 SOC 降低,实现零排放,车辆一般只能达到部分动力性指标,适合起动、低速和低负荷使用。当车辆启动或者只要求部分动力性指标时,采用此种模式的控制策略。

在“电量消耗 - 混合动力”子模式中,发动机和电机同时工作,电池提供整车功率需求的主要部分,电池的 SOC 也在降低,发动机只是用来补充电池输出功率不足的部分,直至电池的 SOC 达到最小允许值。适合高速时使用,尤其是要求

全面达到动力性指标时采用。

(2) 电量保持模式

在电池组的能量消耗到一定程度(例如 $SOC=30\%$)时,为了保证车辆性能和电池组的安全性,车辆进入电量保持模式,如图 2 和图 3 的右部分所示。在电量保持模式中,车辆工作方式与传统的混合动力模式类似,控制策略也与传统混合动力类似,发动机和电机同时工作,电池组 SOC 可以有波动,但其平均值保持在某一水平上。

“电量消耗 - 纯电动”、“电量消耗 - 混合动力”和“电量保持”模式之间能够根据整车管理策略进行无缝切换,切换的主要判据是整车功率需求和电池的 SOC 值。

在电量保持模式下,PHEV 的工作方式与传统 HEV 工作模式类似,电池的荷电状态 SOC 基本维持不变。对于传统的 HEV 工作模式,目前较常见的两种控制策略是“恒温器”控制模式和“功率跟随”控制模式。然而这两种控制模式各有利弊,于是采用“功率跟随”+“恒温器”的综合控制方式。发动机在 SOC 较低或负载功率较大时均会启动;当负载功率较小且 SOC 高于预设的上限值 SOC_{max} 时,发动机被关闭,在发动机关和开之间设定了一定范围的状态保持区域,这样可以避免发动机的频繁起停。发动机一旦启动便在相对经济的区域内对电动机的负载功率进行跟踪,当负载功率大于或小于发动机经济区域所能输

出的功率时,电池组可以通过充放电对该功率差进行缓冲和补偿,如图 4 所示,采用该控制策略可以减少电能的循环损耗,避免电池大电流放电和发动机的频繁启动,降低了油耗,提高了排放性能。

4 结论与展望

(1)PHEV 是指可以使用电力网对动力电池进行充电的混合动力电动汽车,具有纯电动和传统混合动力电动汽车的优点,是向最终清洁能源汽车(BEV 和 FCEV)过渡的最优解决方案之一。

(2)电池组的工作模式主要包括电量消耗模式和电量保持模式,控制策略主要分为纯电动策略和混合策略。

(3)动力电池和充电基础设施是实现 PHEV 的最关键技术。

参考文献

- [1]林成涛,陈全世,田光宇,仇斌.PHEV 对电池性能的要求——第 22 届国际电动车年会概述[J]. 电池,2007,37(5): 354-356.
- [2]陈全世.先进电动汽车技术[M].化学工业出版社,2007.
- [3]林成涛,王军平,陈全世.电动汽车 SOC 估计方法原理与应用[J].电池,2004,34(5): 376-378.
- [4]Jeffrey Gonder, Tony Markel. Energy Management Strategies for Plug-In Hybrid Electric Vehicles. National Renewable Energy Laboratory, April 2007.
- [5]Tony Markel, Andrew Simpson. Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design [A]. National Renewable Energy Laboratory, November 2006.

收稿日期 2008-11-24

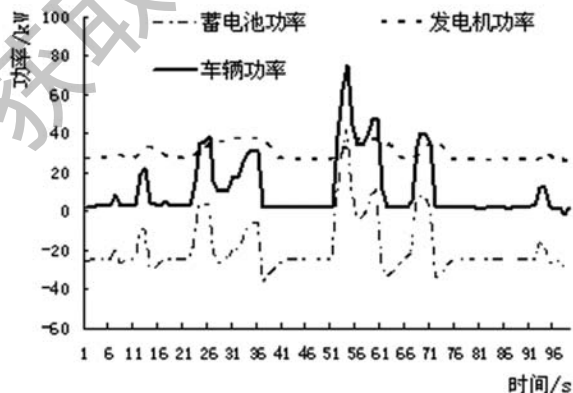


图 4 发动机功率跟随曲线