

混合动力摩托车动力性能匹配与控制策略

么居标^{1,2}, 贾 桢¹, 周大森¹, 冯能莲¹

(1.北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100124; 2.北京电子科技职业学院, 北京 100029)

摘 要: 混合动力摩托车的研究是以嘉陵 JL50QZC 摩托车为平台, 在其发动机主体结构不变的基础上, 开发一套基于车速的直流无刷电机驱动和 LPG 发动机混合动力控制系统. 本实验研究借助台架实验, 优化出用于匹配混合动力的发动机控制参数, 并由电机驱动力-阻力平衡图优化出用于匹配混合动力的电机控制参数, 比较发动机与电机控制参数, 得到混合动力摩托车控制策略和驱动切换速度点. 通过道路实验, 验证了控制策略的正确性和驱动切换的平稳性.

关键词: 混合动力; 摩托车; 动力匹配; 控制策略

中图分类号: U 483; U 469.72

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2009)11-1543-05

摩托车行业的发展和技术的创新工作面临着石油能源危机和环境污染控制的挑战. 发展电动摩托车和混合动力摩托车已经成为摩托车产业的一个热点. 目前国内的摩托车在应用混合动力技术(尤其是混合动力电机控制和动力匹配控制技术)方面尚有很大的发展空间^[1]. 本文在嘉陵牌残疾人摩托车基础上构建了混合动力实验平台, 提出了基于车速的混合动力摩托车控制策略, 并进行了实验研究.

1 混合动力摩托车实验装置

实验装置如图 1 所示. 其中发动机部分是一套在嘉陵 JL50-ZC 残疾人摩托车发动机上开发的以 LPG 为燃料的电子控制喷射系统^[2]. 电机部分采用 48V 600W 永磁无刷直流电机, 它具有永磁直流电机的良好调速性能及交流电机的高可靠性、长寿命、免维护的特点, 适用于宽范围调速的电力驱动系统. 由于其磁场波形接近梯形且不存在“无火花换向区”的限制, 其功率密度和效率高于有刷电机.

混合动力残疾人摩托车装车实验结构如图 2 所示. 实验方法: 将在台架上通过电机单独驱动得出的速度曲线与发动机单独驱动得出的速度曲线进行比较, 找出适合电机与发动机动力切换的区域. 再通过道路实验, 验证所选出的切换点可以平稳进行 2 种动力方式之间的切换.

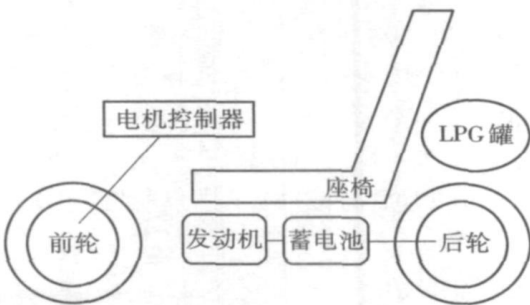


图 1 混合动力残疾人摩托车动力系统结构
Fig. 1 Hybrid disabled motorcycle system construction

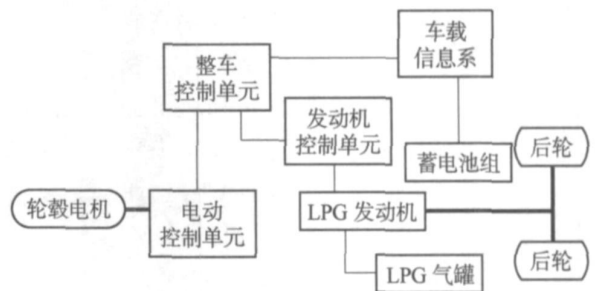


图 2 混合动力残疾人摩托车实验结构
Fig. 2 Hybrid disabled motorcycle structure of experiment

收稿日期: 2008-05-20.

基金项目: 北京市自然科学基金、市教委科技计划重点资助项目(KZ200910005007); 北京市人才强教计划创新团队资助项目(05005015200701).

作者简介: 么居标(1960—), 男, 北京人, 副教授.

2 混合动力摩托车动力性能分配

车辆行驶过程中,原动力输出功率和外部阻力功率平衡关系,即驱动功率 P_e 要满足

$$P_e \cdot \eta_p = P_r + P_w + P_s + P_a \quad (1)$$

式中, η_p 为车辆的动力输出功率的总效率; P_r 、 P_w 、 P_s 、 P_a 分别为各阻力的功率,即

$$\begin{cases} P_r = F_r V = R_c M g V \\ P_w = F_w V = \frac{C_d A V^3}{21.15} \\ P_s = F_s V = M g V \sin \theta \\ P_a = F_a V = M V \frac{dV}{dt} \\ M = M_V + M_P \end{cases} \quad (2)$$

式中, F_r 为滚动阻力; R_c 为滚动阻力系数,假设摩托车主要在良好沥青公路上以低于 50 km/h 的速度行驶,所以取 $R_c=0.01$; M 为车辆、驾驶员、储气罐和蓄电池的总质量(kg); g 为重力常数(N/kg); F_w 为空气阻力; C_d 为空气阻力系数,一般摩托车取 0.50~0.78; A 为迎风面积(m^2); V 为摩托车行驶速度; F_s 为坡度阻力; θ 为道路坡度角; F_a 为加速阻力; dV/dt 为摩托车的平移加速度(m/s^2).

在以上各式中,取 $C_d=0.5$, $A=0.7 m^2$, $M=200 kg$, $g=9.8 N/kg$, $\eta_p=0.85$,从而可得

$$F_d = F_r + F_w + F_s + F_a = 19.6 + 0.016 V^2 + 1960 \sin \theta + 200 \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

$$P_e = \frac{1}{\eta_p} F_d \cdot V = 1.1 \times \left[19.6 + 0.016 V^2 + 1960 \sin \theta + 200 \frac{dV}{dt} \right] \cdot V \quad (4)$$

电机的基本工作参数及特性方程如下:

输出功率 P 为

$$P = F_d \cdot V \quad (5)$$

转速 n 为

$$n = \frac{30 V}{\pi \cdot r} \quad (6)$$

输出转矩 T_e 为

$$T_e = 9550 \frac{P}{n} \quad (7)$$

根据混合动力摩托车运行模式,车辆行驶中驱动电机输出动力的工况主要有以下 3 种^[3-4].

1) 启动加速工况 本实验设计在 15 s 内完成启动过程,并加速到 15 km/h. 经计算可得其加速度为 $0.28 m/s^2$, $V=4.2 m/s$, $dV/dt=0.28$, $\theta=0^\circ$,因此可得 $P_e=350.6 W$. 将 $r=0.16 m$, $V=4.2 m/s$ 代入式(6)、(7),得到电机转速 $n=250.7 r/min$,电动机转矩输出需求为 $T = F_d \cdot r = 12.14 N \cdot m$.

2) 定速巡航工况 车辆在水平路面以 20 km/h(即 5.67 m/s)的速度行驶时,车辆只受空气阻力和滚动阻力,即此时 $F_a, F_s=0$. 由此可得驱动力为

$$F_d = F_r + F_w = 20.4 N \quad (8)$$

电机需输出的转矩为

$$T = F_d \cdot r = 3.26 N \cdot m \quad (9)$$

功率输出为

$$P_e = \frac{1}{\eta_p} F_d \cdot V = 127.2 W \quad (10)$$

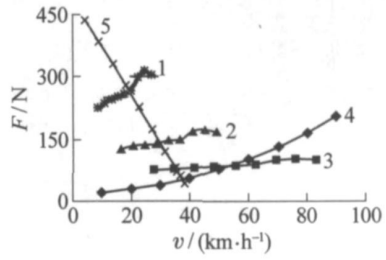
3) 混合驱动工况 由于发动机在大负荷状态下的运行处在高效率区域,所以加速超车和爬坡时选择发动机为主要动力输出源,其不足的功率和转矩输出由电动机完成. 这里只讨论车辆加速超车的情况,取

$V=16.7\text{ m/s}, dV/dt=0.8$, 此时车辆功率需求为 $P_e=3.38\text{ kW}$, 转矩输出需求为 $T=F_d \cdot r=29.2\text{ N}\cdot\text{m}$.

由上述分析可知, 大多数情况下残疾人摩托车的车速在 30 km/h 以内, 而且通常是在城市道路状况良好的路面行驶, 所以本文主要研究电机驱动起步和发动机驱动的控制方法.

图 3 是将理论计算得到的电机驱动力-阻力平衡图与台架实验数据得到的 LPG 发动机驱动力图相结合. 从图 3 可以验证出, 电动机的高工作效率在低速, 发动机的高工作效率在高速, 所以可以用电动机来取代发动机的一档和二档, 并在速度到 $20\sim 30\text{ km/h}$ 时再切换成发动机的三档, 既利用了电动机的高功率, 又利用的发动机的高功率, 从而降低发动机的排放并提高燃油经济性.

由图 3 还可以看出, 发动机三档的驱动力与行驶阻力的交点在 55 km/h 处. 故在动力分配上怠速启动并在低速时使用电机, 在高速高负荷时使用发动机, 充分利用电机和发动机的高驱动力(大扭矩)区间, 解决了发动机在低转速时排放污染及噪声污染的问题.



1—发动机一档驱动力; 2—发动机二档驱动力; 3—发动机三档驱动力; 4—电机驱动力; 5—行驶阻力

图 3 电机的驱动力-阻力平衡图与 LPG 发动机驱动力图

Fig. 3 Balance chart on propel-resistance with drive of LPG engine

3 基于车速的混合动力摩托车控制策略实验研究

本文采用以车速为主要控制参数的控制策略. 这种策略利用了电动机低速大转矩的特性, 避免了发动机的怠速及低负荷工况. 当车速较高有助于发动机有效工作时, 发动机的起动可避免纯电动高速行驶时电池的快速放电损失^[5-8].

根据图 3 动力匹配实验数据分析可知, 在 $19\sim 22\text{ km/h}$ 时可进行不同动力之间的切换. 再根据道路实验以及实际的切换验证可以得出, 在摩托车加速至 20 km/h 的时刻由电机驱动转换为发动机驱动, 在摩托车减速至 20 km/h 的时刻由发动机驱动转换为电机驱动, 此时切换过程最为平稳. 根据 20 km/h 切换点的电机转速以及发动机转速, 可以得到对应的占空比值, 通过标定可以实现混合动力切换控制的优化.

混合动力摩托车由发动机和电动机 2 个部分组成, 控制系统如图 4 所示. 混合动力摩托车的控制策略为:

1) 前轮电机驱动 平坦路况低速(车速一般 $< 20\text{ km/h}$)时车载电源(蓄电池等)供电, 由电机单独驱动前轮, 发动机暂停工作.

2) 后轮发动机驱动 快速(车速 $> 20\text{ km/h}$)时内燃机驱动后轮, 此时前轮电机可切换为发电机状态给车载电源(蓄电池等)充电, 下坡和制动减速时可用于车辆制动能量回收.

3) 前后轮同时驱动 加速或爬坡时, 前轮充电暂停, 车载电源(蓄电池等)给电机供电提供辅助动力, 与发动机共同驱动.

动力匹配切换控制的信号主要有前轮电机转速信号、发动机的转速信号以及节气门信号. 测量电机的转速信号实际上就是测量永磁无刷直流电机中主转子的转速, 通过电机中的位置传感器检测主转子运动 1 周所需要的时间, 得出前轮电机的转速. 发动机转速信号如图 5 所示, 发动机的磁缸与曲轴同轴安装, 其转速即为曲轴转速, 利用磁缸上的凸台通过感应线圈时产生磁通变化, 反映出发动机的转速. 选择可将节气门开度位移量转化为电压信号的霍尔传感器测量节气门开度信号, 它的线性度和防电磁干扰能力较好, 输出电压能比较准确地反映节气门开度的相应位置.

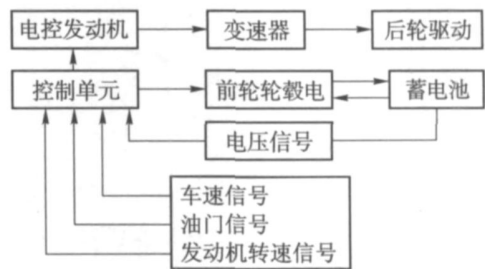


图 4 驱动流程

Fig. 4 The structure of control system

另外,为获得节气门开度与电机转速的关系,利用数据采集系统测量出前轮电机转速与转把信号(节气门开度)的对应关系,由此可以得出不同节气门开度下的电机转速.通过将电机单独驱动得出的速度曲线与发动机单独驱动得出的速度曲线进行比较,找出适合切换的区域.再通过道路实验,验证所选出的切换点可以平稳进行2种动力方式之间的切换.

图6为电机/发动机单独驱动摩托车车速曲线;图7为摩托车加速至20 km/h时电机切换为发动机驱动的车速曲线;图8为摩托车减速至20 km/h时发动机切换为电机驱动的车速曲线,由数据可以验证所选择的切换点可以较平稳地实现不同动力间的切换.

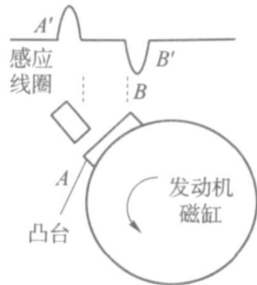


图5 转速信号的产生

Fig.5 The produce of rev signal

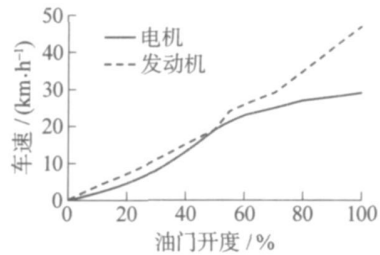


图6 电机/发动机单独驱动摩托车车速曲线

Fig.6 Motorcycle speed curve driven by motor/engine

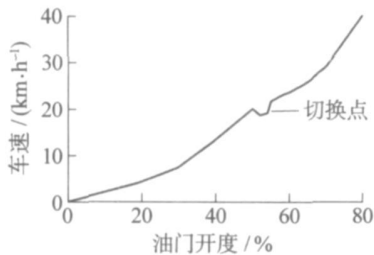


图7 电机切换为发动机驱动摩托车车速曲线

Fig.7 Motorcycle speed curve driven by motor change to engine

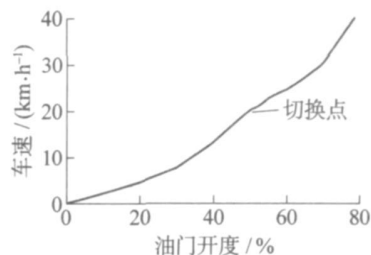


图8 发动机切换为电机驱动摩托车车速曲线

Fig.8 Motorcycle speed curve driven by engine change to motor

4 结束语

通过实验研究在残疾人摩托车上实现了混合动力的配置和控制,建立了基于车速混合动力摩托车控制的实验方法,开发了一套基于车速的直流无刷电机驱动和LPG发动机混合动力控制系统.在此基础上经过继续研究和完善,清洁能源混合动力技术有望应用于残疾人摩托车上,不仅具有一定的经济价值,同时具有一定的社会价值.

参考文献:

- [1] 王冬, 田光宇, 陈全世. 混合动力电动汽车动力系统选型策略分析[J]. 汽车工业研究, 2001(2): 17-20.
WANG Dong, TIAN Guang-yu, CHEN Quan-shi. Tactics study on selecting power train type of hybrid electric vehicle[J]. Auto Industry Research, 2001(2): 17-20. (in Chinese)
- [2] 朱义伦, 何方正, 周校平. 低排放LPG发动机控制系统开发研究[J]. 内燃机工程, 2000, 21(4): 48-52.
ZHU Yi-lun, HE Fang-zheng, ZHOU Xiao-ping. Investigation on the development of control system for low emission LPG engines[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2000, 21(4): 48-52. (in Chinese)
- [3] 陈辉, 闫建勇, 臧少武, 等. 混合动力摩托车技术问题探讨[J]. 小型内燃机与摩托车, 2004, 33(2): 26-27.
CHEN Hui, YAN Jian-yong, ZANG Shao-wu, et al. Research on technology of hybrid power motorcycle[J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2004, 33(2): 26-27. (in Chinese)

- [4] HUI T S, BASU K P, SUBBIAH V. Permanent magnet brushless motor control techniques [C] // National Power and Energy Conference 2003 Proceedings. Bangi, Malaysia: IEEE, 2003: 133-138.
- [5] SENESKY M, EIREA G, KOO T J. Hybrid modeling and control of power electronics [M]. Berlin: Springer Berlin, 2003: 100-102.
- [6] 张欣, 郝小健, 李从心, 等. 并联式混合动力电动汽车动力总成控制策略的仿真研究 [J]. 汽车工程, 2005, 27(2): 141-145.
ZHANG Xin, HAO Xiao-jian, LI Cong-xin, et al. A simulation study on the powertrain control strategy for a parallel hybrid electric vehicle [J]. Automotive Engineering, 2005, 27(2): 141-145. (in Chinese)
- [7] 赵勇峰, 李波军, 沈瑜铭, 等. 混合动力摩托车及其控制电路 [J]. 小型内燃机与摩托车, 2004, 33(1): 27-29.
ZHAO Yong-feng, LI Bo-jun, SHEN Yu-ming, et al. An investigation in the structure and control of hybrid electric motorcycle [J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2004, 33(1): 27-29. (in Chinese)
- [8] LEE F S, WANG J C, TSENG S C, et al. Fuel injection motorcycle engine model development [C] // Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control. Taipei, Taiwan: IEEE, 2004: 1259-1263.

Driving Matching and Control Policy of Hybrid Motorcycle

YAO Ju-biao^{1,2}, JIA Zhen¹, ZHOU Da-sen¹, FENG Neng-lian¹

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Vocational College of Electronic Science, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the Jialing Motorcycle JL50QZC, a series of hybrid control systems including the DC brushless motor and LPG engine relied on speed are developed without changing the major structure of the engine. Through the engine performance test, the control parameters of matching the hybrid engine have been optimized. The motor Driving Force-Resistance stable diagram is obtained by calculating, and thus the control parameters which match the hybrid motor is optimized. The control policy of hybrid motorcycle and the velocity point for driving switch by comparison of control parameters with electric engines are acquired. The validity of control policy and the stationarity of driving switch is verified via tests on roads.

Key words: hybrid; motorcycle; driving matching; control policy

(责任编辑 刘 潇)