

# 串联式混合动力汽车加速性能计算

彭登志, 静大勇, 周振华, 吴卫星

(东风汽车公司技术中心, 武汉 430025)

**摘要:** 在传统汽车加速时间计算的基础上, 充分考虑串联式混合动力汽车的特性, 提出一种新的计算方法, 计算加速到一定速度所需的功率, 并与拟合算法的计算结果以及实车道路试验的结果进行对比。结果表明, 本文提出的计算方法更接近试验结果, 能为串联式混合动力汽车的加速性能计算提供更好的参考。

**关键词:** 车辆工程; 加速时间; 加速性能; 串联式混合动力汽车

**中图分类号:** U467      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-2850(2017)08-0892-05

## Acceleration characteristic calculation of series hybrid electric vehicle

PENG Dengzhi, JING Dayong, ZHOU Zhenhua, WU Weixing

(Technical Center of Dong Feng Motor Coporation, Wuhan 430025, China)

**Abstract:** Based on the calculation method of the traditional vehicle accelerating time and taking the characteristic of series hybrid electric vehicle into consideration, a new method is given to calculate the needed power of series hybrid vehicel when accelerated to a certain speed. The result of this new method is compared to the results of fitting method and vehicle field test. According to the comparison, the method provided in this paper can offer a better reference to evaluate the acceleration characteristic of series hybrid electric vehicle.

**Key words:** vehicle engineering; acceleration time; acceleration characteristic; series hybrid electric vehicle

### 0 引言

随着汽车保有量的不断增加, 汽车在方便人民生活的同时, 也带来了大气污染、全球变暖及石油危机等一系列环境问题。因此, 纯电动汽车与混合动力汽车得到了大力发展。在纯电动汽车的关键技术尚未取得实质性突破的情况下, 国内外汽车厂商及科研人员对混合动力汽车做了大量研究。混合动力汽车根据动力系统的组合分类, 可分为串联式混合动力汽车、并联式混合动力汽车和混联式混合动力汽车<sup>[1]</sup>。本文主要针对串联式混合动力汽车进行研究。

汽车加速时间作为汽车加速性能的重要评价指标, 在汽车设计阶段就需要纳入考虑。汽车在加速时, 需要动力系统提供大功率为汽车加速, 因此在串联式混合动力汽车选型中, 一般将加速时所需功率作为动力系统及电机选型的重要指标。不同于传统汽车, 串联式混合动力汽车的动力系统由发动机发电机组与动力电池两部分组成。发电机的输出功率与驱动电机转速无关, 仅与发电机达到最大输出功率的响应时间有关。传统汽车加速时间的计算方法不能直接应用于串联式混合动力汽车。现有研究中, 多采用拟合速度与加速时间的方式, 通过加速时间计算动力系统的需求功率<sup>[2]</sup>。但对实际车辆而言, 动力系统所提供的功率也随着加速时间变化。因此, 在计算加速性能时, 需要同时考虑动力系统能提供的功率和驱

动系统所需功率的变化。

本文在传统汽车加速性能计算方法的基础上, 充分考虑串联式混合动力汽车的动力系统特点, 计算串联式混合动力汽车的加速性能。同时也采用拟合速度与加速时间的方法计算动力系统的功率, 最后将二者的计算结果与实车道路试验结果进行对比。

## 1 加速时间计算理论

### 1.1 传统汽车加速性能计算理论

汽车在行驶时, 驱动力  $F_t$  与滚动阻力  $F_f$ 、空气阻力  $F_w$ 、坡道阻力  $F_i$  及加速阻力  $F_j$  有如下关系<sup>[3]</sup>:

$$F_t = F_f + F_w + F_i + F_j, \quad (1)$$

加速时, 不考虑坡道阻力  $F_i$ 。根据《汽车理论》中  $F_f$ 、 $F_w$ 、 $F_j$  的计算方法, 加速时间为

$$t_m = \int_{v_1}^{v_2} \frac{m\delta}{\frac{P_e \eta i}{nr} - \frac{1}{2} C_d A \rho v^2 - mgf} dv, \quad (2)$$

其中,  $P_e$  为发动机功率 (kW);  $n$  为发动机转速 (r/min);  $i$  为动力从发动机传递到车轮的总传动比;  $r$  为车轮滚动半径 (m);  $\eta$  为整个系统的传递效率;  $m$  为整车质量 (kg);  $g$  为重力加速度 ( $m/s^2$ );  $f$  为滚动摩擦系数;  $C_d$  为空气阻力系数;  $A$  为迎风面积 ( $m^2$ );  $\rho$  为空气密度 ( $kg/m^3$ );  $\delta$  为旋转质量系数。

### 1.2 速度-加速时间拟合计算加速性能理论

在计算单纯由动力电池供能的车辆加速性能时, NG 等<sup>[2]</sup>提出了拟合速度与加速时间的方法来计算加速时所需功率  $P_a$ 。基于公开发表的车型速度与加速时间的关系拟合得到式 (3), 然后通过积分的方式求取加速时所需的功率。

$$P_a = \frac{m\delta}{t_m} \left[ \frac{1}{2} v_m^2 + fg \int_0^{t_m} v dt \right] + \frac{C_d A \rho}{2 t_m} \int_0^{t_m} v^3 dt, \quad (3)$$

其中,  $v = v_m \left( \frac{t}{t_m} \right)^x$ ,  $v_m$ 、 $t_m$  分别为加速后达到的速度和加速所需要的时间;  $x$  为拟合函数中的参数, 取值范围在 0.47~0.53,  $x$  取值越小, 加速越慢 (百公里加速时间约 12 s),  $x$  取值越大, 加速越快 (百公里加速时间约 8 s)<sup>[2]</sup>。

在上述拟合公式的基础上, 唐磊<sup>[4]</sup>提出在  $t_m$  前一刻加速度功率需求最大, 并假定在  $t_m$  到  $t_m - 0.1$  s 这段时间内的加速度一致, 则此时所需要的最大加速功率计算公式为

$$P_a = \frac{m\delta}{0.1} v_m^2 \left[ 1 - \left( \frac{t_m - 0.1}{t_m} \right)^x \right] + \frac{C_d A \rho}{2} v_m^3 + mgf v_m. \quad (4)$$

采用拟合算法能方便积分求取加速时所需功率, 因此, 很多研究人员在设计中采用了该方法。但在实际应用中,  $x$  的取值范围因具体车型不同而变化较大, 0~60 km/h 加速时间为 30 s,  $x$  取值为 0.58<sup>[5]</sup>; 0~100 km/h 加速时间为 15 s,  $x$  取值为 0.5<sup>[6]</sup>; 0~100 km/h 加速时间为 15 s,  $x$  值为 0.2<sup>[7]</sup>。

### 1.3 基于传统算法的加速性能计算方法

传统的内燃机汽车的动力系统输出功率  $P$  直接与发动机转速 (车速) 相关, 而串联式混合动力汽车由发电机与动力电池供能, 提供的总功率  $P_s$  为发电机输出功率  $P_g$  与动力电池输出功率  $P_b$  之和, 动力系

统输出功率与时间  $t$  相关 (如图 1 所示)。发电机输出功率  $P_g$  需要在一定时间后才能达到最大输出功率。驱动电机的需求功率  $P_q$  (加速时为电机的峰值功率) 与电机转速相关 (如图 2 所示), 电机转速与车速直接相关, 而在加速过程中, 车速与加速时间相关, 整个系统使用的功率  $P$  为动力系统提供的功率与驱动系统需求的功率中较小的值, 即

$$P = \min \{P_s, P_q\}. \quad (5)$$

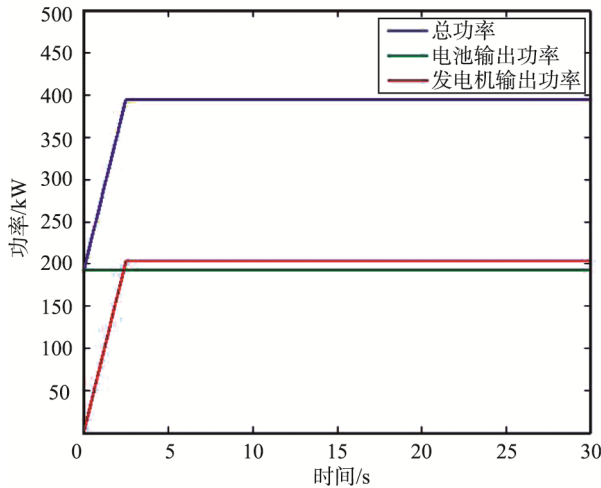


图 1 动力系统输出功率随时间的变化

Fig. 1 Power output changing with time by power system

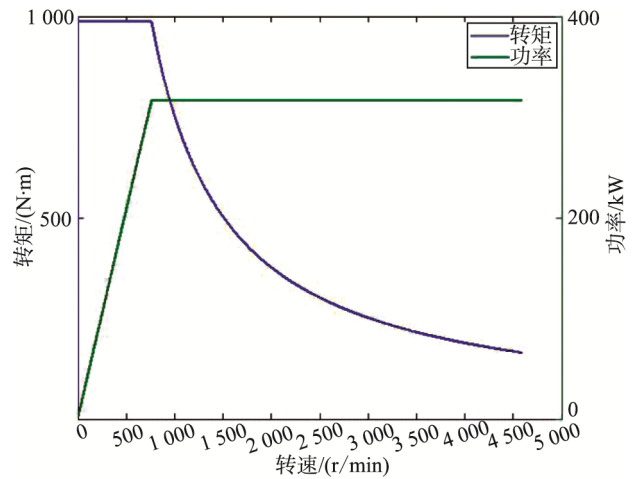


图 2 电机转速与转矩及需求功率的关系

Fig. 2 Relationship of motor rotate, speed-torque and power

根据传统车加速时间计算方法, 将式 (5) 代入式 (2), 串联式混合动力汽车加速时间为

$$t_m = \int_{v_1}^{v_2} \frac{m\delta}{\frac{P\eta i}{nr} - \frac{1}{2}C_d A \rho v^2 - mgf} dv, \quad (6)$$

其中,  $n$ 、 $\eta$ 、 $i$  分别为驱动电机的转速、驱动电机到车轮的传递效率与传动比。

由式 (5) 和式 (6) 可知, 如在加速期间, 动力系统所提供的功率  $P_s$  恒大于或等于驱动电机需求的功率  $P_q$ , 则通过式 (6) 可方便地求取加速时间  $t_m$ 。

如果动力系统所提供的功率  $P_s$  恒小于驱动电机需求的功率  $P_q$ , 则动力系统或驱动电机功率过大, 增加了系统的体积和质量, 因此必须考虑在加速期间二者不同时刻大小关系不一致的情况。在该情况下, 采用式 (6) 计算加速时间, 直接积分存在困难。

在 Matlab 中编制程序, 以电机转速  $n$  为变量, 可求取相应时刻的车速  $V$ , 根据电机的功率-转矩与转速  $n$  的关系可求得相应时刻的功率  $P_q$  与转矩  $T_q$ 。通过  $T_q$  与车速  $V$  求得该时刻的瞬时加速度, 可求得加速到车速  $V$  所需要的时间  $t$ , 根据图 1 的关系可求得该时刻动力系统所能提供的总功率  $P_s$ , 比较该时刻的  $P_s$  与  $P_q$ , 取较小值计算电机所能使用的实际功率  $P$ 。根据电机功率-转矩的关系求得该时刻的实际转矩  $T$ , 最终求得实际加速时间  $t_m$ , 这一过程中, 变量电机转速  $n$  的步长越小, 所求得的加速时间  $t_m$  越准确。对比求得的加速时间与设计要求, 若不满足, 则需要调整动力系统的发电机功率  $P_g$  与动力电池输出功率  $P_b$  以及驱动电机功率  $P_q$ , 以满足设计要求。

## 2 计算结果

由于传统算法不适用于本车动力性计算, 分别采用前文中的两种速度-加速时间拟合算法和本文的算

法计算某串联式混合动力越野车的加速性能。该车各参数如表 1 所示。

表 1 某串联式混合动力越野车整车参数  
Tab. 1 Parameters of an off-road series hybrid electric vehicle

参数	值	参数	值
整车质量(满载)/kg	5 250	风阻系数	0.55
0~80 km/h 加速时间/s	10	动力电池最大放电倍率	8
车轮滚动半径/mm	480	旋转质量系数	1.2
迎风面积/m <sup>2</sup>	4.2	减速器速比	5

采用拟合速度与加速时间的方法计算所需的总功率。针对本车的速度与加速时间进行拟合, 反求  $x$  值。如图 3 所示,  $x=0.55$  时, 拟合曲线与车速-时间理论值较为接近, 故  $x$  取值为 0.55. 根据拟合式 (3) 及式 (4), 结合表 1 中的相关参数, 求得发电机输出功率  $P_g$  分别为 59.6, 77.1 kW.

采用本文所提算法求得发电机输出功率  $P_g$  为 127.6 kW.

采用拟合算法与本文所提方法的计算结果有较大误差, 这是因为在使用拟合速度-加速时间方法求取加速过程中的需求功率时, 没有考虑到发电机输出功率在加速初期不能达到峰值功率输出这一情况。因此, 利用该方法所计算的需发电机提供的功率值偏小。

### 3 加速性能试验验证

通过测量某串联式混合动力越野车 0~80 km/h 的加速时间与加速过程中动力系统相关参数, 验证计算结果。试验道路、环境风速、汽车载荷、人的坐姿和车况等试验条件依据 GB/T12534—1990《汽车道路试验方法通则》<sup>[8]</sup>和 GB/T12543—2009《汽车加速性能试验方法》<sup>[9]</sup>。本试验中用到的仪器设备及规格如表 2 所示。

表 2 试验中使用的仪器设备  
Tab. 2 Equipements in the test

序号	仪器设备名称	数量	型号
1	被试车辆	1 辆	某混合动力越野车
2	计时器	1 台	
3	车速仪	1 台	AX.22 GPS 车速仪

通过样车整车控制器 (vehicle control unit, VCU) 可采集样车在实车道路试验过程中发动机的转速及转矩、动力电池输出的电流及电压, 以此为基础, 可分别计算出加速过程中发动机与动力电池输出的功率。二者随时间的变化分别如图 4、图 5 所示。

根据图 4 及图 5 的中数据, 整车 0~80 km/h 加速时间约为 9.7 s, 通过发动机、发电机输出功率为 132.3 kW, 远大于采用拟合算法的计算值, 且与采用本文提出的计算方法所计算的结果也有一定的误差, 误差主要源于对系统传递效率的简化, 且未计算整车附件的能量消耗。

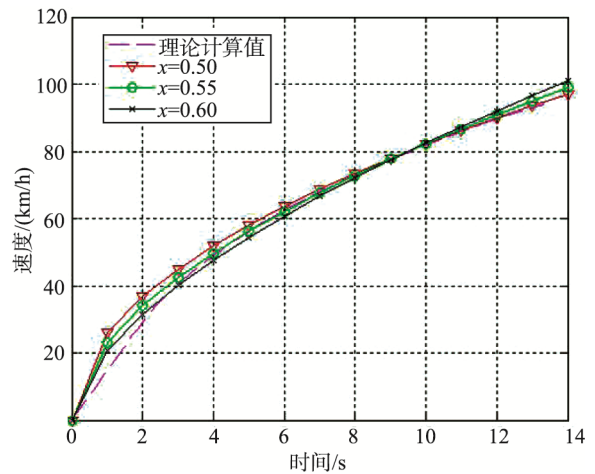


图 3 车速的理论计算值与不同  $x$  取值的拟合曲线对比  
Fig. 3 Fitting curves comparison of vehicle theoretical calculation values with different  $x$  values

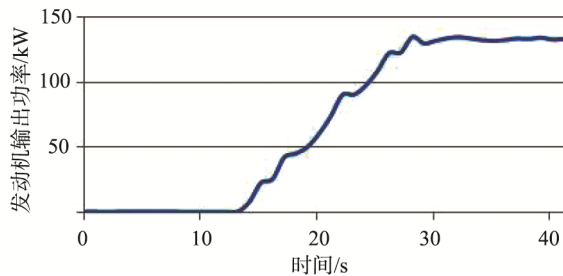


图4 发动机输出功率

Fig. 4 Output power of engine

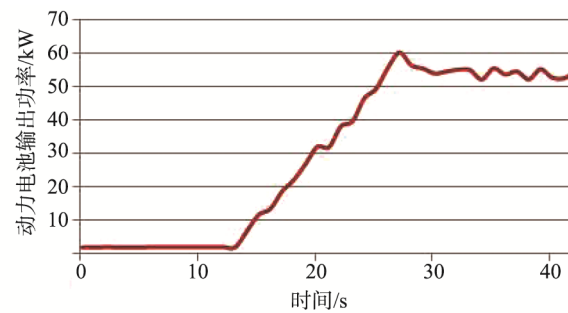


图5 动力电池输出功率

Fig. 5 Output power of battery

## 4 结论

采用速度与加速时间拟合算法并不适用于串联式混合动力汽车,其动力系统需求的功率估算误差较大。本文在传统算法的基础上,根据串联式混合动力汽车自身特点,提出了新的计算方法,能更准确地计算动力系统所需的功率,为动力系统总成选型提供重要依据。为进一步降低计算误差,需要对各总成间的传递效率进行测试,对整车附件的能量消耗进行更加准确的计算。

## [参考文献] (References)

- [1] 祝占元. 电动汽车[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007.  
ZHU Z Y. Electromobile[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2007. (in Chinese)
- [2] NG H K, SANTINI D J, VYAS A D. The prospects for hybrid electric vehicles, 2005-2020: results of a dephi study[J]. Hydrogen, 1999, 2942: 1-4.
- [3] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.  
YU Z S. Automobile theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2009. (in Chinese)
- [4] 唐磊. 基于混合度的串联混合动力客车特性参数设计[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
TANG L. Parameter design for series hybrid electric bus based on degree of hybridization[D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese)
- [5] 孙永正, 李献菁, 邓俊, 等. 插电式串联混合动力轿车的选型匹配与仿真[J]. 汽车工程, 2010, 32(12): 1017-1018.  
SUN Y Z, LI X J, DENG J, et al. Type selection, matching and simulation of plug-in series hybrid electric car [J]. Automotive Engineering, 2010, 32(12): 1017-1018. (in Chinese)
- [6] 王冰. 增程式电动汽车动力系统参数匹配[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.  
WANG B. Power-train parameters matching for extended-range electric vehicle[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [7] 刘振. 轮毂电机驱动系统与燃料电池电动汽车的动力匹配[D]. 长春: 吉林大学, 2015.  
LIU Z. Study on power matching of fuel cell electric vehicle with in-wheel-motorized-drive system[D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国国家标准化管理局. GB/T 12534—1990 车道路试验方法通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12534—1990 Motor vehicles-general rules of road test method[S]. Beijing: China Standard Press, 1990. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国国家标准化管理局. GB/T 12543—2009 车加速性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12543—2009 Acceleration performance test method for motor vehicles[S]. Beijing: China Standard Press, 2009. (in Chinese)