

针对增程式电动汽车动力系统参数匹配问题,以某增程式整车参数为基础,基于加速能力、爬坡能力、最高车速的动力性目标,通过对增程式电动汽车动力系统的主要参数进行理论计算、完成参数匹配并选型,并在Cruise软件中建立模型完成整车动力性仿真分析。

□ 福建船政交通职业学院 柳玉升 李智强

基于动力性的增程式电动汽车动力参数匹配分析

增程式电动汽车利用驱动电机作为驱动车辆的动力源,以动力电池组为主要能源,而发动机—发电机组作为增程器,提供辅助动力。增程器的使用增加了整车的续航里程,但是不匹配的动力系统不仅无法降低能耗,反而增加车重,对整车的成本、能耗、动力性产生不利影响,违背设计初衷。因此,有必要对增程式电动汽车的动力系统参数匹配进行研究。本文以增程式电动汽车动力性为研究目标,分析加速能力、爬坡能力、最高车速和减速器速比、驱动电机参数之间的匹配关系,基于AVL CRUISE整车模型对纯电动模式下增程式电动汽车的动力性进行仿真验证,达成增程式电动汽车动力性的合理匹配。

整车性能参数输入

本文增程式电动汽车选定整车基本参数和性能目标,如表1与表2所示。

动力总成参数匹配

1. 电机功率计算

(1) 最高车速确定电机功率

在增程车型中,驱动电机是唯一动力驱动装置,整车的动力性很大程度上取决于电机的峰值功率。按设计目标要求,半载时最高车速为140 km/h,30 min 最高车速为120 km/h,在平直道路上以最高车速行驶时,电机峰值功率应大于或等于以该车速行驶时的滚动阻力功率和空气阻力功率之和,见公式(1):

$$P_{\max 1} \geq \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{fmg}{3600} v_{\max} + \frac{C_D A}{76140} v_{\max}^3 \right) \quad (1)$$

式中, $P_{\max 1}$ 是电机峰值功率; η_T 是传动系统效率; f 是滚动阻力系数。取 f 为0.007 2, η_T 为0.95,估算整车峰值功率应满足 $P_{\max 1} \geq 42.31 \text{ kW}$;以此类推,额定功率应满足 $P_r \geq 29.94 \text{ W}$ 。

(2) 爬坡能力确定电机功率

考虑满载时以一定的行驶速度爬上既定坡度,电机峰值功率应满足公式(2):

$$P_{\max 2} \geq \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{fmg \cos \alpha}{3600} v + \frac{C_D A}{76140} v^3 + \frac{mg \sin \alpha}{3600} v \right) \quad (2)$$

式中, $P_{\max 2}$ 是电机峰值功率; $\alpha = \arctan i$, i 是坡度; v 是一定的爬坡车速,取20 km/h。计算可得, $P_{\max 2} \geq 39.18 \text{ kW}$ 。

(3) 加速性能确定电机功率

起步加速时间应满足公式(3):

$$t = \frac{1}{3.6} \int_0^v \frac{\delta m}{F_t - F_w - F_f} dv \quad (3)$$

半载状态在平直路面上行驶时消耗的功率应满足公式(4):

表1 整车基本参数

参数名称	单位	数值
轴距	mm	2 602
整备质量	kg	1 440
最大总质量	kg	1 815
轮胎滚动半径	m	0 315
风阻系数	%	34.5
迎风面积		2.36

表2 整车性能目标

参数名称	单位	性能目标
EV 模式最高车速	km/h	140
REV 模式最高车速	km/h	120
30 min 最高车速	km/h	120
0 ~ 100 km/h 加速时间	s	12
最大爬坡度	%	40



$$P_{\max 3} \geq \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{fmg}{3600} v + \frac{C_D A}{76140} v^3 + \frac{\delta m v}{3600} \frac{dv}{dt} \right) \quad (4)$$

车辆从 0 加速到 100 km/h 加速时间小于 10.5 s, 从而得出

$$P_{\max 3} \geq 86.92 \text{ kW}。$$

综上所述, 电机峰值功率为 $P_{\max} \geq \max(P_{\max 1}, P_{\max 2}, P_{\max 3}) = 86.92 \text{ kW}$, 考虑电机的后备功率, 取电机峰值功率为 $P_{\max} = 90 \text{ kW}$, $P_{31} = \text{kW}$ 。

2. 减速器速比计算

(1) 速比上限计算

减速器速比的上限由电动机最高转速和最高行驶车速确定:

$$i_g \leq 0.377 \frac{n_{\max}}{v_{\max}} \quad (5)$$

式中, i_g 是减速器的速比; $v_{\max}$ 是最高行驶车速; $n_{\max}$ 是电机最大转速。

根据整车的性能目标, 得出 $i_g \leq 8.02$ 。

(2) 速比下限计算

根据最大爬坡度对应的行驶阻力和驱动电机低转速下对应的最大输出转矩来确定传动系速比下限为:

$$\begin{cases} i_g \geq \frac{F_f + F_w}{\eta_r T} r \\ F_i = F_f + F_w + F_j \end{cases} \quad (6)$$

根据整车的性能目标, 得出 $i_g \geq 7.50$ 。

综上所述, 得出减速器速比范围。在此区间内进行配齿后及考虑经济性较优, 得出减速器速比为 $7.50 \leq i_g \leq 8.02$ 。

3. 增程器参数计算

(1) 发电机参数计算

电机作为增程驱动行驶时的发电单元, 主要作用是发电机耦合连接, 完成发动机机械功率的转换, 为车辆行驶提供驱动功率或为蓄电池充电。在发电机选型匹配中, 考虑在增程模式, 需要

保证整车可以满足增程模式最高车速, 则发电机功率应满足:

$$P_G \geq \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{fmg}{3600} v_{\max} + \frac{C_D A}{76140} v_{\max}^3 \right) \quad (7)$$

计算后发电机功率 $P_G \geq 37.5 \text{ kW}$ 。

(2) 发动机参数计算

在发动机的选型匹配中, 发动机输出功率除了能够满足发电机需求功率, 还应使发动机的高效区间与发电机高效区间尽可能匹配, 则发动机功率应满足 $P_E \geq P_G$ 。其中, P_E 为发动机功率, 取 $P_E \geq 40 \text{ kW}$ 。

4. 动力总成选型

(1) 电机选型

根据已确定的电机参数, 最终选择市面已量产的一款电机产品, 电机外特性曲线如图 1 所示。

(2) 减速器选型

通过计算得出减速器速比范围为 $2.50 \leq i_g \leq 8.02$ 。综合考

虑车辆的动力性和能量利用率、电机安装断面结构, 结合市面上产品资源, 本文设计速比选择 7.55。

(3) 增程器选型

发动机选型: 根据已确定的发动机参数, 结合供应商发动机的万有特性曲线, 确定功率和转矩与燃油消耗率的最佳区域, 最终选定的发动机产品万有特性曲线如图 2 所示。

发电机选型: 根据已确定的发电机参数, 结合供应商电机 Mapping 图, 由转速、转矩与电机效率值确定最佳工作范围的 Mapping 图, 如图 3 所示。

基于 Cruise 仿真验证

AVL-Cruise 软件可以用于车辆动力性仿真, 其模块化的建模可使设计者根据不同要求, 搭建不同结构的车辆模型。因此, 仿真通过 Cruise 完成, 整车部件通过参数化建模完成, 不同部件之间可以通过电气连接或者机械连接实现整车结构仿真, 然后将相关信号用总线连接, 控制信号与整车反馈信号得以在整车快速通讯。

在整车组件参数设置界面, 输入整车结构参数及系统组成部件的基本参数, 车辆整车组件参

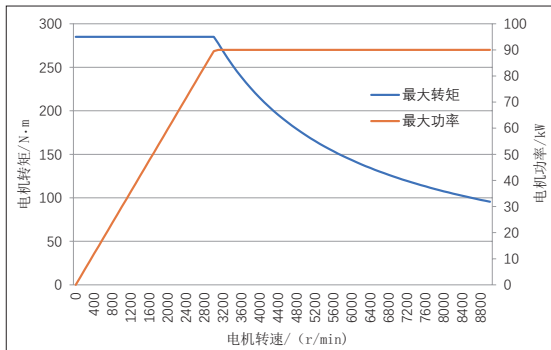


图 1 电机外特性图

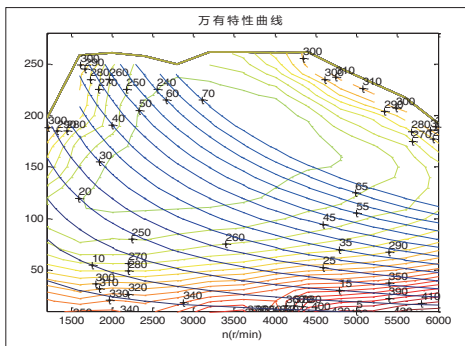


图 2 发动机万有特性曲线

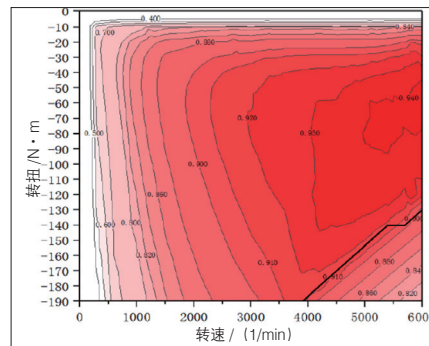


图 3 发电机万有特性图

数输入窗口。主要输入参数有车身尺寸、整备质量、满载质量、迎风面积、空气风力系数、轴距、前后轮轮压及重心距前轴距离等。

1. 全负荷加速仿真结果

车辆全负荷百公里加速时间仿真，驱动电机负荷系数设置为1，驱动电机沿着外特性曲线工作，仿真结果如图4所示。图中分别为车辆加速度、车辆速度、车辆加速行驶距离随仿真时间的变化曲线。在加速初期，驱动电机恒转矩工作，车辆加速度较大，在基速点之后，加速度逐渐减小，速度变化曲线逐渐平缓，百公里加速时间为11.06s。在加速末时刻由于最高车速的限

制，车速不再上升，最高车速为141.6 km/h。因此加速时间及最高速度满足目标设定。

2. 最大爬坡度仿真结果

增程式电动汽车的最大爬坡度通常在驱动电机恒转矩工作时取得，恒功率时爬坡度有所下降，仿真结果如图5所示。

由于只有主减速器，加速仿真过程中一直为1档，从图中可以得出在车速为25 km/h时，整车能达到的最大爬坡度为38.67%，符合性能指标中关于爬坡度的要求。

计算匹配后所采用的动力总成参数，通过整车性能仿真模型计算结果，如表3所示。通过仿真验算可知，通过计算、选型

表 3 整车性能参数仿真结果

No.	参数	单位	性能目标	仿真结果
1	最高车速	km/h	≥ 140	141.6
2	30 min 最高车速	km/h	≥ 120	120
3	0 ~ 100 km/h 加速时间	s	≤ 12	11.06
4	最大爬坡度	%	≥ 40	40

表 4 动力总成选型参数

零件名称	参数	单位	数值
电机	峰值功率	kW	90
	最大转矩	N·m	285
	额定功率	kW	90
	额定转矩	N·m	87
减速器	最大转速	r/min	9 500
	速比	-	7.55
发动机	最大净功率	kW	110
	最高转速	r/min	5 500
	发动机排量	cc	1 480.8
发电机	最高转速	r/min	6 000
	最大转矩	N·m	190

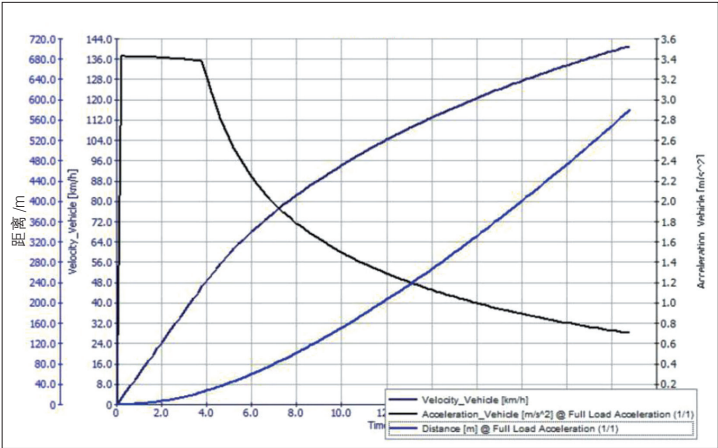


图 4 整车百公里加速仿真

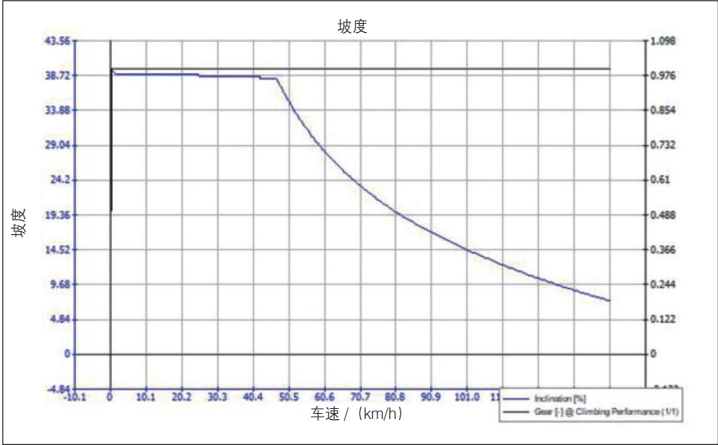


图 5 整车爬坡度仿真结果

的动力总成可以满足性能目标要求。因此经过一系列的匹配计算及仿真验算，最终可以确定的动力总成参数，如表4所示。

结论

(1) 本文通过设定增程式电动汽车动力性能目标，对车辆动力系统进行计算匹配，综合考虑汽车运行特性、电机特性和传动效率，得出了一系列合理的理论计算设计方法和选型依据。

(2) 在Cruise软件中对增程式电动汽车的动力经济性进行仿真分析，验证通过计算匹配的动力系统性能可以满足整车对动力性能的要求，最终可以确定增程式电动汽车的动力总成参数。

(3) 对增程式电动汽车动力系统参数匹配的研究，是提高增程式电动汽车整车动力性能和经济性的重要措施，今后将进一步结合经济性进行探究。 AI