

# 仿真技术在纯电动汽车能量管理分析中的应用

## The Application of Simulation to EV Energy Management Analysis

何荣国 吴阳博 李科迪

(上海大众汽车有限公司, 上海 201805)

**摘要:** 首先阐述了纯电动汽车能量管理的意义, 介绍了纯电动汽车的结构和工作原理, 然后通过 GT-Suite 仿真软件对纯电动汽车进行了综合工况能量流仿真, 确定进行能量管理的目标和方向。结合传统车不同工况燃油经济性, 仿真分析纯电动汽车在不同电机控制方式下能量消耗率, 仿真结果为实际控制策略匹配提供了参考依据。最后结合仿真结果, 给出了理论上为了达到最高的能量利用率的最佳巡航车速。

**关键词:** 电动汽车 能量管理 电机控制 仿真

**Abstract:** The significance of Electrical Vehicle (EV) energy management is expounded firstly, and then the structure and principle of EV are introduced. According to the simulation result of energy flow in NEDC cycle, the target or the orientation of energy management is fixed on. Combined with the fuel economy of traditional vehicle in different profile, EV's energy consumption in different E-Motor control strategy is simulated and analyzed. Simulation result can be a reference for realization in real vehicle. The optimal cruise speed is given according to the simulation result and theoretical analysis.

**Key Words:** Electrical Vehicle; Energy Management; Motor Control; Simulation

## 0 引言

随着新能源汽车技术的不断成熟, 已经有越来越多的新能源汽车从概念车、样车走向了市场。综合分析目前形势, 我国政府出台了《节能与新能源汽车产业发展规划》, 规划中对新能源汽车提出了新的期待和要求。《规划》要求到 2015 年, 纯电动乘用车综合工况续航里程不低于 150km<sup>[1]</sup>。纯电动汽车以蓄电池作为唯一能量源, 从目前技术来看, 蓄电池的能量密度远远达不到汽油, 即纯电动汽车的续航里程远远达不到传统燃油车的水平, 从而直接影响了纯电动汽车的推广和应用。能量管理, 就是运用一定的控制手段, 最大限度利用车载能源, 改善纯电动汽车的经济性, 目前已成为了各大汽车厂商及科研部门研究的热门方向<sup>[2]</sup>。

针对目前上市或者处于样车开发阶段的几个厂商的电动车进行调研, 发现很多车型应用了一定的控制手段来实现不同的驾驶特性。如 E-Golf 的 Range、Normal 和 Comfort 模式;

Volt 的 Normal、Sport 和 Mountain 模式、Leaf 的 Eco 模式等。应用不同的控制模式也是进行一定的能量管理，达到动力性和经济性的合理配置。

## 1 纯电动汽车结构及能耗分析

为了从理论上分析能量管理的有效性及其可行性，本文首先分析纯电动汽车的结构，基于该结构通过 GT-Suite 仿真软件搭建模型进行仿真结果分析，从而为能量管理提供指导性方案。

### 1.1 纯电动汽车结构及工作原理

纯电动汽车的结构比较简单。主要包括电池、电机、功率转换器（含直流转交流、直流转直流，交流转直流等功能）、减速器、半轴、轮胎等。驱动过程能量传递过程看，放电时能量从电池流出，经过功率转换器进行直流交流转换及电流控制，输出到电机，电机通过机械结构将能量传递到轮胎驱动车辆；机械力传递过程，驱动力从电机输出，通过减速箱到车轮半轴，最后到驱动轮；另外从功率转换器也输出一路低压电到 12V 蓄电池，用于低压用电器工作；制动过程，利用制动器将动能通过摩擦损耗，或者将电机当作发电机用，制动过程产生的能量通过功率转换器回馈到电池。对于舒适系统，与传统燃油车不同的是，纯电动汽车采用的是电加热器和电动压缩机，这两个零件均为高压零部件，从高压电池获得能量。具体结构见下图 1。

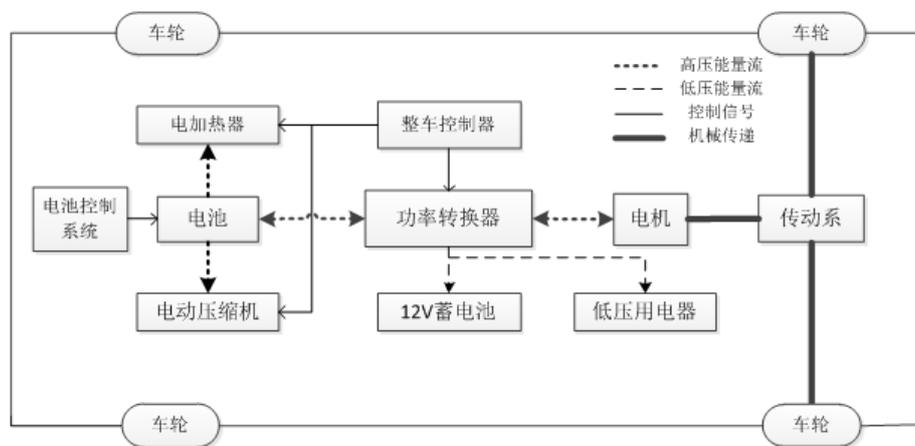


图 1 纯电动汽车结构

### 1.2 纯电动汽车能耗仿真分析

以 NEDC 工况为例，通过仿真分析某款纯电动汽车的能量消耗分布情况，如图 2 所示。

从纯电动汽车的结构及仿真结果分析，能量消耗主要有如下几个方面：电池损耗、低压用电器损耗、电机及功率转换器损耗、减速器机械损失、滚动阻力、空气阻力及由于整车惯量引起的消耗。对以上各种能量消耗进行分析以确定可以控制的对象，电池的损耗较少；低压用电器损耗是进行工况的必要消耗；传动系损耗是机械结构本身的固有效率；而滚阻和风阻是整车的固有特性，需要修改整车参数才能达到修改的目的，即改变轮胎或优化造型等。电机

及其控制器的损耗和工作点的效率相关,我们可以控制电机工作点,使其尽量工作在高效区,达到改善整车的经济性的目的。从图中可知,制动能量回馈对于电池来说也有不少的量,制定合理的制动能量回馈策略同样可以改善整车的经济性。

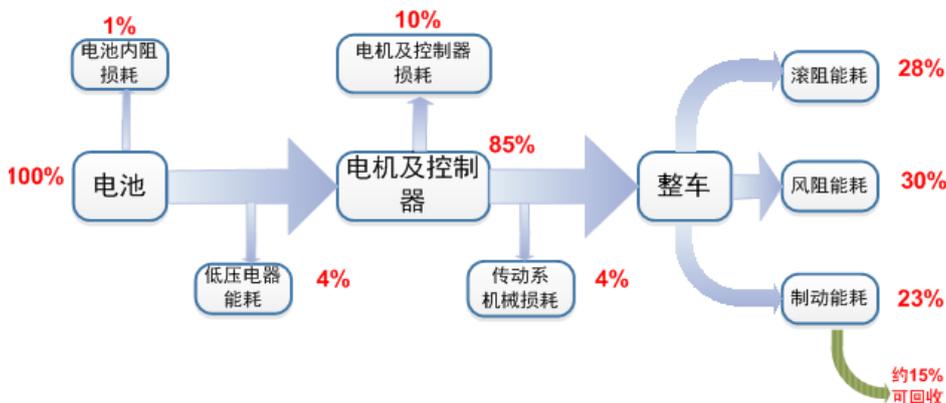


图 2 某款纯电动汽车仿真能量流图

## 2 能量管理分析

为了制定合理的控制策略,使电机工作在最佳效率点,必须对其本身的性质进行一定的了解。下图 3 所示为某款电机的效率图,可作为参考。

观察电机的效率图,我们可以发现,电机效率在低转速高扭矩区间及高转速低扭矩区间的效率非常低,即经济性极差。为了改善电动汽车的经济性,应控制电机尽量少的时间工作在这两块低效区,尽量长的时间工作在高效区。

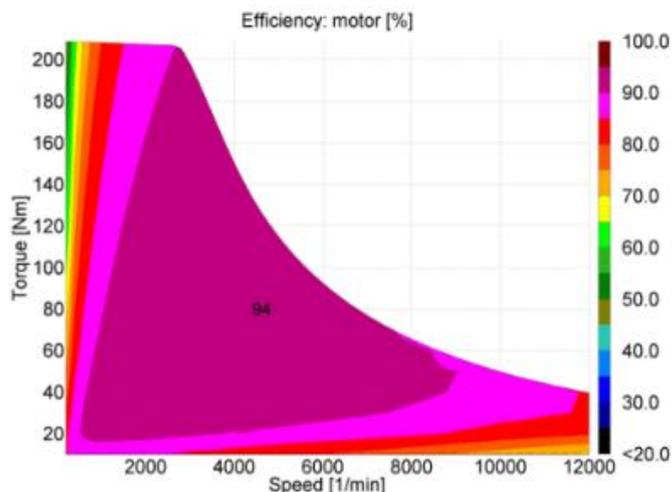


图 3 某款电机效率图

### 2.1 传统车不同工况燃油消耗对比

表 1 罗列了几种车型的加速燃油消耗量与等速燃油消耗量的对比<sup>[3]</sup>。

表 1 几种车型不同工况燃油消耗量对比

车型	等速燃油消耗量/[L/100km]	等速燃油消耗量/[L/100km]	加速燃油消耗量/[L/100km]	加速燃油消耗量/[L/100km]

	(90km/h 匀速)	(120km/h 匀速)	极限加速 (0-100km/h)	平稳加速 (0-100km/h)
奥迪 A4-1.8T	6.79	9.32	62.8 (184m)	18 (587m)
奥迪 A4-3.0	7.76	9.83	80.0 (172m)	21.6 (540m)

由表 1 所示, 极限加速的燃油消耗量是等速燃油消耗量的 7-10 倍, 而平稳加速则只有等速燃油消耗量的 2-3 倍。

## 2.2 纯电动汽车不同工况能量消耗率仿真分析

分析传统车等速燃油消耗量和加速的燃油消耗量可以知道加速过程的能耗会急剧上升。对应到纯电动汽车, 受到试验及时间条件的限制, 目前还没有相关数据, 可以通过仿真手段对比各种工况的能量消耗率, 获得初步认识。

表 2 是对某款纯电动汽车在不同工况下的仿真结果。

表 2 某款纯电动汽车不同工况能量消耗率仿真结果

	NEDC 工况	60km/h 等速工况	极限加速 (0-100mk/h)
能量消耗率/[Wh/km]	164.3	100.5	1090.8

由表 2 可知, 对于该款纯电动汽车, 其极限加速的能量消耗率差不多是 60km/h 等速工况的 10 倍。以此数据作为参考, 可以想象如果对加速过程进行一定的控制, 以牺牲加速性来弥补经济性, 降低能量消耗率, 可以更有效的利用车载能源。在客户以续驶里程为目的, 有加速请求时, 整车控制器控制电机工作在高效区优先, 次要满足加速需求。

## 2.3 纯电动汽车能量管理分析仿真支持

以上我们讨论了纯电动汽车在不同工况时, 因为不同工作点的效率会有较大的差别, 导致整车经济性的差别。我们的目标是运用一定的控制策略, 使电机尽量工作在高效区。但是在实车匹配时, 如果没有一定的经验或者指导性数据, 如何控制电机的工作区间, 使其在动力性和经济性达到比较合理的分配, 这是非常难的, 不仅需要花费大量的人力及时间, 效果可能还不具备可比较性。而仿真可以充分利用其优势, 可以根据需求设计任意的控制过程, 进行仿真, 分析比较各个方案的动力性及经济性差别, 将结果提供给匹配工程师进行参考。

同样以某车型为例, 设计几种不同的控制方法, 比较其动力性和经济性, 仿真结果如图 4 所示。

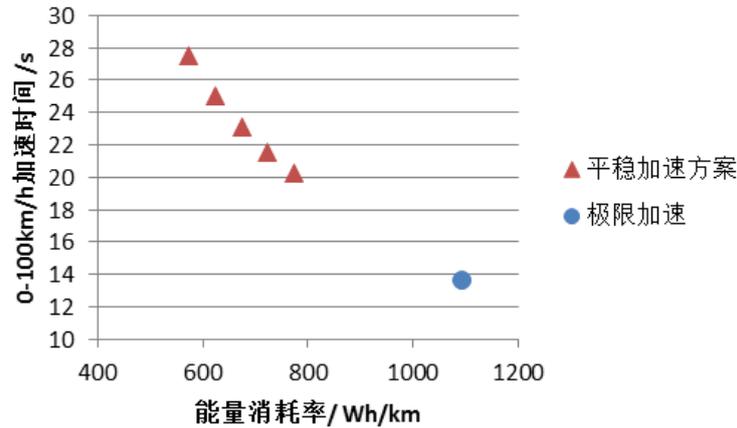


图 4 不同控制方法动力性—经济性对比图

如图 4 所示，匹配工程师可以根据实际需求对动力性和经济性进行权衡，然后选择合适的控制方法进行匹配。

通过以上分析可知，等速工况较加速工况的能量消耗率低很多，在道路情况允许的情况下，在等速工况可以行驶更长的里程。为了提高燃油经济性，定速巡航技术在传统燃油车中已得到普遍应用。

对于等速工况，续驶里程=电池能量/(电机输入功率+其他负载功率)\*车速。

续驶里程(km) $S$ ，电池能量(kWh) $E$ ，电机输入功率(kW) $P$ ，其他负载功率为低压电器功率 $P_0$ ，转速(km/h) $v$ 。

$$\text{电机输入功率(kW): } P = T \cdot \frac{n}{9550},$$

其中驱动力矩 $T = \frac{F_t \cdot r}{i \cdot \eta \cdot \eta_m}$ ，转速 $n = \frac{v \cdot i}{0.377 \cdot r}$ ， $F_t$ 为驱动力(N)， $r$ 为车轮滚动半径(m)， $i$ 为传动

比， $\eta$ 为传动系机械效率， $\eta_m$ 为电机及控制器效率。

结合汽车的行驶方程式<sup>[3]</sup>

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

或

$$\frac{T_{tq} i \eta}{r} = G f + G i_0 + \frac{C_D A}{21.15} u^2 + \delta m \frac{du}{dt} \quad (2)$$

其中 $F_t$ 为驱动力， $F_f$ 为滚动阻力， $F_i$ 为爬坡阻力， $F_w$ 为空气阻力， $F_j$ 为加速阻力； $T_{tq}$ 为电机扭矩(Nm)， $G$ 为整车重力(N)， $f$ 为滚阻系数， $C_D$ 为风阻系数， $A$ 为迎风面积( $m^2$ )， $u_a$ 为车辆行驶速度(km/h)， $i_0$ 为道路坡道， $\delta$ 为汽车旋转质量还换算系数， $m$ 为汽车质量(kg)，考虑到 0 坡度等速巡航，可以将行驶方程式简化为：

$$\frac{T_{tq} i \eta}{r} = Gf + \frac{C_D A}{21.15} u^2 \quad (3)$$

综合以上各式得，

$$S = \frac{E}{\left(G \cdot f + \frac{C_D \cdot A \cdot v^2}{21.15}\right) \cdot \frac{r}{i \cdot \eta \cdot \eta_m} \cdot \frac{v \cdot i}{0.377 \cdot r} \cdot \frac{1}{9550} + P_0} \cdot v \quad (4)$$

由上式(4)可知，对于某一车型，整车参数基本确定，定速巡航的续驶里程决定于巡航车速及该工作点的电机及控制器的效率。

另外由图3的电机效率图可知，不同工作点的效率不同。同样，我们可以通过仿真获得最佳巡航车速（即巡航时电机最佳工作点）。

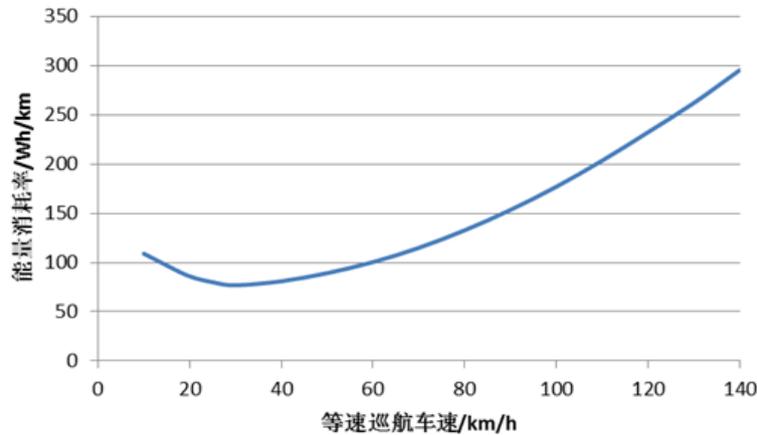


图5 等速巡航不同车速对应能量消耗率

由图5可以初步判断，对于该车型30km/h左右的巡航车速是最佳巡航车速。

### 3 结束语

在进行能量管理分析时，结合纯电动汽车的结构特点，综合分析各种能量损耗，确定较易进行控制的电机及其控制器的损耗，借鉴传统车分析不同工况下燃油经济性的分析思路，利用仿真技术分析不同工况下能量管理的手段及效果比较，为实车匹配实现提供参考依据。

未来基于该控制手段在实车上的应用，可以通过试验分析经济性的改善效果，并比较仿真结果与实际效果的一致性。同时考虑其他能量管理措施，为进一步改善经济性提供参考。

### 4 参考文献

- [1] 节能与新能源汽车产业发展规划
- [2] 石庆升. 纯电动汽车能量管理关键技术问题的研究[D]. 山东大学, 2009
- [3] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009