

# 纯电动汽车两档减速器速比设计

## Design of Gear Ratio for Dual-Stage Gear Reducer on a Pure Electric Vehicle

孙全 金启前 赵福全  
(吉利汽车研究院有限公司)

**摘要:** 采用单级减速器的纯电动汽车想要获得较好的动力性能,需要匹配大功率的驱动电机或选取较大速比减速器,现有动力电池的技术水平决定了动力电池的放电功率往往限制驱动电机的功率输出,在驱动电机功率、扭矩难以较大提高的情况下,两档减速器是现阶段的较好方式,本文使用 GT-SUITE 建立电动汽车模型,确定两档速比及换挡时机。

**关键词:** 纯电动汽车、两档减速器、速比、GT-SUITE

**Abstract:** A high-power drive motor is required or a high-ratio gear reducer is selected to match if a pure electric vehicle with a single gear reducer requires a wonderful power performance. The power output of a drive motor usually limited by battery discharge power largely depends on the existing technical level of power battery. The dual-stage gear reducer is a better method at this stage under the condition that it is quite difficult to enhance power and torque of drive motor. In this paper, an electric vehicle model is constructed using GT-SUITE to determine dual-stage gear ratio and shift opportunity.

**Key words:** Pure Electric Vehicle, Dual-Stage Gear Reducer, Gear Ratio, GT-SUITE

### 引言

近年来,石油能源短缺问题越来越严重,且传统燃油汽车对环境压力也急剧加大,所以节能、环保的电动汽车取得了快速发展<sup>[1]</sup>,纯电动汽车因其能真正实现零油耗、零排放,成为新能源汽车发展的重要方向之一。

纯电动汽车通常采用单级减速器,这时加速性能和最大爬坡度与最高车速就是相互矛盾的指标要求,为获得较好的加速性能和爬坡度,需要选择较大速比,较大速比又会限制整车最高车速;在追求较好动力性能的时候,往往需要增加驱动电机功率,现阶段的动力电池放电能量又往往限制驱动电机的功率输出,使即使选用较大功率的驱动电机也不能发挥出应有的性能。要解决这些矛盾,在现阶段驱动电机和动力电池技术未取得突破性进展的情况下,单靠单级减速器难以实现,两级减速器因其速比可调且结构相对简单,成为现阶段一个较好的解决方案。

## 1 纯电动汽车动力系统选型

### 1.1 整车性能目标及整车基本参数

根据 GB/T28382-2012《纯电动乘用车技术条件》及市场主要竞品车型性能分析，确定本车型的整车性能指标如下：

表 1 整车性能目标

要求项目	性能指标
峰值最高车速	$\geq 150\text{km/h}$
持续最高车速	$\geq 130\text{km/h}$
0-100km/h 加速时间	$< 12\text{s}$
最大爬坡度	$\geq 30\%$
续航里程（NEDC 工况）	$\geq 120\text{km}$

所设计的纯电动汽车与同级别燃油车相当，因为电动的转速-转矩特性逼近理想的运行特性，故在加速性能上有较高要求。纯电动汽车动力电池质量较大，整车整备质量较同级别车有较大提高，整车基本参数如下：

表 2 整车基本参数

整车整备质量	1050kg
迎风面积	$2.1\text{m}^2$
空气阻力系数	0.35
车轮滚动半径	275mm
滚动阻力系数	0.012
传动系统效率	0.94

### 1.2 电机系统参数确定

整车持续最高车速 $\geq 130\text{km/h}$ ，根据整车阻力功率曲线（已考虑传动系统效率）可以看出，驱动电机的额定输出功率 $\geq 27.6\text{kW}$ 。

在不考虑速比（即速比取 1）的前提下，整车最大爬坡度 $\geq 30\%$ ，驱动电机的峰值扭矩 $\geq 1170\text{Nm}$ ；整车最高车速 $\geq 130\text{km/h}$ ，驱动电机峰值转速 $\geq 1260\text{r/min}$ 。

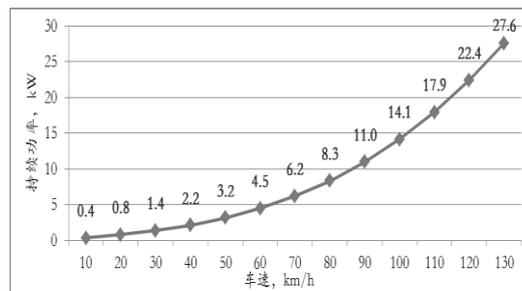


图 1 整车阻力功率曲线

驱动电机的峰值功率主要是受加速性能和电池放电能力限制。

### 1.3 电池系统参数确定

电池系统的选型受三方面的限制，一是续航里程，整车 NEDC 工况法续航里程 $\geq 120\text{km}$ ，要求电池系统的可用能量 $\geq 16.5\text{kWh}$ ；二是放电功率要求，电池系统的放电功率需满足电机系统的要求；三是布置空间，在现有动力电池的技术水平下（电池额定放电能力 1.5C，峰值放电能力 3.5C），布置空间的尺寸往往是电池选型的决定性因素，布置空间的限制也就限制了动力电池的放电功率，现有的布置空间布置后的电池峰值放电功率在 75kW。

### 1.4 动力系统参数确定

根据电池系统的放电功率限制，电机系统的峰值功率选择在 60kW。为获得较好的整车性能，结合现有电机系统供应商的技术状态，电机系统的峰值转速取 10000r/min，峰值扭矩取 180Nm。整车动力系统的参数确定如下：

表 3 动力系统参数匹配

电机额定功率	30kW
电机峰值功率	60kW
电机峰值扭矩	180Nm
电机峰值转速	10000r/min
电池能量	22kWh
电池峰值放电功率	75kW

## 2 基于 GT-SUITE 的纯电动汽车模型建立

仿真软件 GT-SUITE 中包含很多新能源系统模块，如电动机模块、动力电池模块等，能够非常方便的建立纯电动汽车模型。使用 GT-SUITE 软件建立的此款纯电动汽车的模型如 2 所示，包含整车模块、电机模块、电池模块、传动系统、电机控制、制动能量回收控制等模块。

制动能量回收能够有效提高整车续航里程，仿真模型中制动能量回收策略采用吉利现有的控制策略搭建，因为此部分不影响减速器速比的选择，本文不进行介

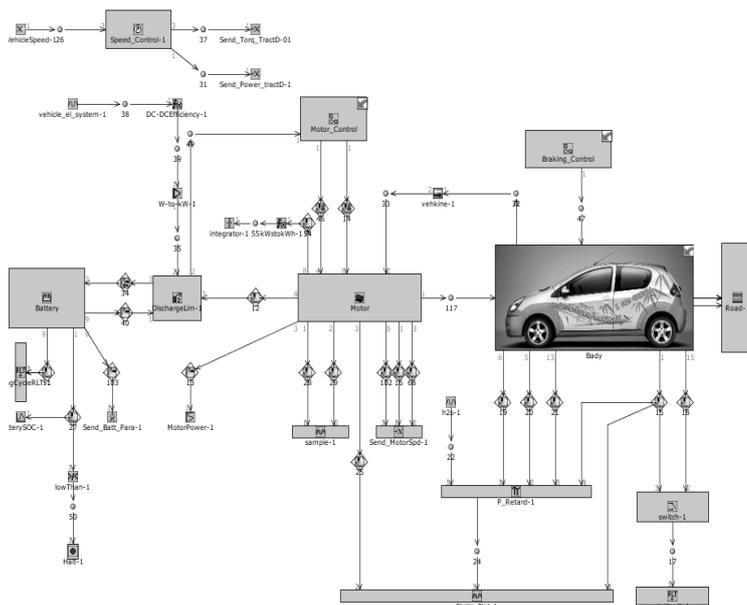


图 2 基于 GT-SUITE 的纯电动汽车模型

绍。

### 3 减速器方案确定

因电池放电功率限制,在不增加驱动电机功率和扭矩的情况下,采用单级减速器,受最高车速需 $>150\text{km/h}$ 的限制,减速器速比必须小于 6.35,且整车最高爬坡度要达到 30%,减速器速比必须大于 6.5,两者相互矛盾,在采用单级减速器方案是难以实现。假设采用 6.5 的减速器速比,整车加速性能也难以到达要求。图 3 为采用峰值功率 60kW,峰值扭矩 180Nm 时的整车加速性能仿真结果,从结果中可以看出,整车 0-100km/h 加速时间在 12s 以上。

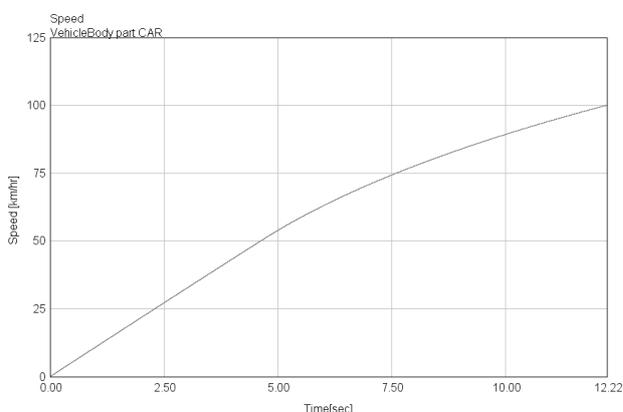


图 3 0-100km/h 加速性能

在这种情况下想提供整车 0-100km/h 加速性能和最高车速等性能,有两条途径,一是增加驱动电机输出功率,提高驱动电机最高转速;二是采用两级减速器。现有驱动电机系统供应商转速难以提高,且动力电池的放电能力难以取得较大提高,增加驱动电机输出功率也不可行,故选择两级减速器方案。

#### 3.1 两级减速器速比确定

两挡变速器速比选择的基本原则:一挡速比在满足汽车爬坡要求的同时,要兼顾在常用低速段电机运行在高效率区;二挡在满足最高车速的同时,尽量降低电机的输入轴转速,同时要满足常用高速段运行时电机转速尽量落在电机运行的高效区域。同时,在速比选择过程中还要考虑挡位切换过程中平顺性控制问题,过大的1挡速比和过小的2挡速比将极有可能造成挡位切换过程中电机输出总功率不能保持平衡,影响平顺性。<sup>[2]</sup>

1挡速比满足整车最大爬坡度要求,则 $i_1$  (1挡速比)  $>6.5$ ;

2挡速比满足整车最高车速要求,则 $i_2$  (2挡速比)  $<6.35$ ,同时需满足常用高速运行时驱动电机转速工作在驱动电机运行的高效区,图4为所选择驱动电机的效率MAP,从图中可以看出驱动电机在 4000r/min 时效率较高,则:

$$i_2 = \frac{\pi \cdot n_h \cdot r_d}{30V_h} \quad [3]$$

式中 $n_h$ 为电机高效转速,即4000r/min;  $r_d$ 为车轮滚动半径;  $V_h$ 为整车车辆常用高速运行车速,取90km/h。

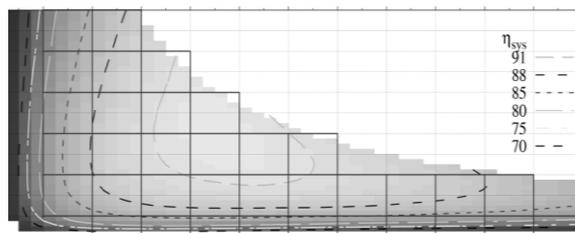


图 4 电机系统效率图

综合考虑，初步选定1挡速比 $i_1=10$ , 2挡速比 $i_2=4.5$ 。

### 3.2 换挡时机确定

换挡时机的选择对整车动力性及经济性都具有比较大的影响，因为驱动电机具有很宽的恒功率区，驱动电机的输出功率在换挡前后相等，整车动力性就可以保证；要考虑整车经济性，换挡时机的选则需尽量满足电机在等功率模式下运行在更高效工作点，根据驱动电机的系统效率图及暂定的两挡速比，换挡时机选择在驱动电机转速达到6500r/min的时候进行换挡。

### 3.3 整车动力性能验证

根据上文选定的速比及换挡时间，在已经建立的模型中设置减速器速比及换挡时机，仿真采用两级减速器方案后的整车性能，见图5和图6。

从图5可以看出，整车0-100km/h加速性能达到设计指标要求，但提升幅度并不大，在12.7%，但在0-50km/h段，加速性能提升较多，在26.3%。

从图6可以看出，整车峰值最高车速在160km/h以上，持续最高车速在130km/h以上，满足设计指标要求。

## 4 总结

在整车最高车速要求不高，或加速性能、爬坡度等要求不高的情况下，单级减速器方案完全能够胜任整车匹配的要求。但在即要求较高的整车最高车速，又追求动力性能的情况，尤其是在选用的驱动电机和动力电池性能难以获得较大性能提高要求的情况下，匹配两级速比减速器将是一个非常好的解决方案。

## 5 参考文献

- [1] 崔盛民 《新能源汽车技术》 北京大学出版社 2009 年
- [2] 黄伟、王耀南等 《汽车技术》 2011 年
- [3] Mehrdad, Yimin Gao, Ali Emadi 现代电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池车-基本原理、理论和设计 机械工业出版社 2010

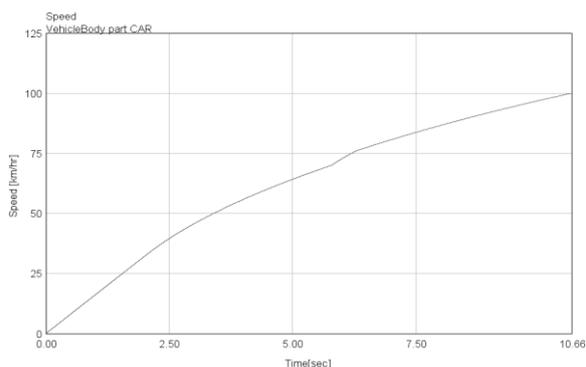


图5 两级减速方案0-100km/h加速时

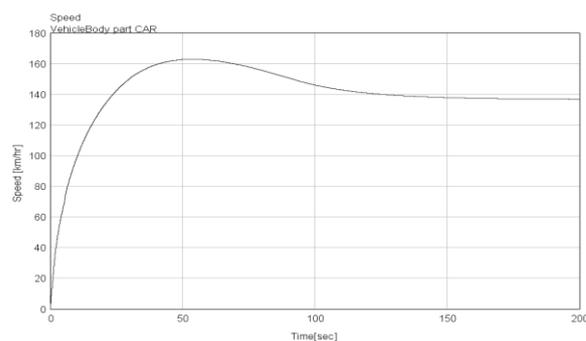


图6 两级加速方案最高车速