

# 两档AMT纯电动汽车的换挡协调控制及试验研究

黄 石  
四川职业技术学院

**摘 要:** 与传统内燃机汽车相比, 纯电动汽车在环保方面具有显著优势, 大力发展电动汽车已经成为汽车产业发展主流趋势。纯电动汽车在设计以及制造方面还存在一定的不足, 特别是在动力系统方面, 还有很多可待完善之处, 例如目前汽车产业中几乎所有纯电动汽车都在用单级减速器, 汽车传动系统的转速比是固定值。为了进一步提升纯电动汽车性能以及驾驶体验, 相关研究人员尝试设计两档AMT纯电动汽车换挡协调控制策略。

**关键词:** AMT变速箱; 动力匹配; 换挡策略

## Shifting Coordination control and experimental research of two-shift AMT battery electric vehicles

Huang Shi  
Sichuan Vocational and Technical College

**Abstract:** Compared with traditional vehicles with internal combustion engines, battery electric vehicles have significant advantages in environmental protection. Electric cars have become the mainstream trend in the development of the automobile industry. There are still some deficiencies in the design and manufacturing of battery electric vehicles, especially in the power system. There are many things to be improved. For example, almost all battery electric vehicles in the automobile industry use a single reduction gear, and the speed ratio of the automobile transmission system is a fixed value. To further improve the performance and driving experience of battery electric vehicles, relevant researchers tried to design two-shift AMT battery electric vehicles.

**Keywords:** AMT; power matching; shift strategy

目前常见的电动汽车以固定档位为主, 固定档位无法在更加广阔的范围内对车速进行灵活调整, 影响驾驶员的

**课题项目:** 基于纯电动车AMT换挡控制策略建模与仿真优化研究, 编号: 2022YZB008

**Project:** Based on pure electric vehicle AMT shift control strategy modeling and simulation optimization research No.2022YZB008

**作者简介:** 黄石, 性别: 男, 出生年月: 1986年7月, 民族: 汉, 籍贯: 四川冕宁, 职称: 中级职称, 学历: 大学本科, 研究方向: 汽车制造与设计。

**About the author:** Huangshi Gender: Male Date of birth: July 1986 Nationality: Han Native place: Mianning, Sichuan, Title: Intermediate title Education: Undergraduate Research Direction: Automobile Manufacturing and Design

驾驶体验, 对于纯电动汽车性能的提升产生了限制作用。为了解决这一问题, 研究人员尝试对电动汽车变速箱进行升级, 利用多档位动力系统代替传统的固定档位动力系统, 围绕两档AMT变速装置开展换挡协调控制与试验。

### 1 计算两档AMT传动比

对两档AMT纯电动汽车进行换挡协调设计过程中, 要保障汽车电池、电机等参数不变, 依据纯电动汽车设计要求, 匹配适宜的两档传动比。本次设计中, 对于电动汽车的性能要求如下(详见表1)。

表1 电动汽车设计参数要求

性能	某品牌电动汽车	设计参数要求
爬坡度	$\geq 20\%$	$\geq 30\%$
最高时速 (kw/h)	110	120
百公里电耗 (kw/h)	10.32	$< 10$
续航里程 (km)	260	$\geq 255$

纯电动汽车的主减速比是一个固定值, 因此其搭载

的变速箱只需要确定两个档位的传动比。首先要确定变速箱最大传动比,影响变速箱最大传动比的因素是车辆与地面的附着力,以及在最大爬坡状态下汽车电机的扭矩,要确保驱动力始终大于阻力,传动比数值越高车辆的爬坡能力越强。同时,为了避免纯电动汽车出现打滑问题,要确保驱动力不高于汽车轮胎与地面的附着力<sup>[1]</sup>。

$$\frac{F_{\alpha \max} r}{i_0 \eta T_{\max}} \leq i_1 \leq \frac{F_N \varphi r}{T_{\max} i_0 \eta} \quad (1)$$

公式(1)中 $F_{\alpha \max}$ 表示纯电动汽车在最大爬坡状态下的行驶阻力,在不考虑加速阻力的前提下, $F_{\alpha \max}$ 主要由爬坡阻力( $F_i$ )、滚动阻力( $F_f$ )以及最低通过速度风阻( $F_w$ )三个部分组成。即: $F_{\alpha \max}=F_i+F_f+F_w$ 。 $T_{\max}$ 代表电机在设定转速下的最大扭矩参数,变量 $\eta$ 为机械效率, $F_N$ 表示汽车驱动轮的垂直反饋力。其中,计算 $F_N$ 、 $F_w$ 的公式为:

$$F_N = \frac{mg}{L} (b \cos \alpha_{\max} - h_g \sin \alpha_{\max}) \quad (2)$$

$$F_w = \frac{\rho C_D A}{2 \delta m^2} u^2 \quad (3)$$

公式(2)与公式(3)中, $r$ 为车轮半径, $u$ 为车辆行驶速度, $i$ 表示档位传动比,将参数代入公式之后,得到2档传动比( $i_2$ )范围[0.39, 0.85],1档传动范围为[0.85, 2.43]。

## 2 创建两档AMT纯电动汽车传动系统模型

确定变速箱1档与2档的传动范围之后,设计人员开始创建传动系统模型(如图1所示)。

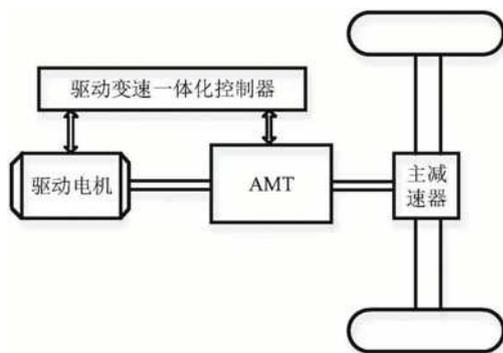


图1 两档AMT汽车传动系统示意图

分析图1可以发现,本次设计中的电动汽车传动系统主要由AMT、驱动电机、驱动变速控制器以及主减速器组成,车辆行驶过程中,驱动电机负责提供驱动力,通过两档AMT变速器将驱动力传递给车轮以及主减速器,令驾驶员可以根据实际驾驶需求灵活调整车速,并优化车速变化曲线<sup>[2]</sup>。

### 2.1 创建电池模型

本次设计中的电池系统使用内阻模型,明确电池温

度、SOC(电池荷载状态)与开路电压、内阻之间的关系。

$$V_{oc} = V_{oc-cell}(\text{Temp}, \text{SOC}) \times B_{Cell} \quad (4)$$

$$R_{disc} = R_{disc-cell}(\text{Temp}, \text{SOC}) \times B_{Cell} \quad (5)$$

公式(4)与公式(5)中,变量 $V_{oc}$ 代表电池组件的开路电压, $V_{oc-cell}(\text{Temp}, \text{SOC})$ 则代表电池组件单体开路电压, $B_{Cell}$ 为电池组内串联电池实际数量。 $R_{disc}$ 表示电池放电内阻, $R_{disc-cell}(\text{Temp}, \text{SOC})$ 则为电子组件的单体内阻。

### 2.2 创建驱动电机模型

油门开度以及驱动电机的转速,主要由电机输出转矩决定,电机输出转矩计算公式为:

$$T_0 = \frac{\eta_c \eta_m P_B}{\omega_m} = \frac{\eta_c P_B f(\omega_m, T_m)}{\omega_m} \quad (6)$$

公式(6)中, $T_0$ 表示电机的输出转矩, $\omega_m$ 表示电机实际转速, $f(\omega_m, T_m)$ 则为电机工作效率,变量 $\eta_c$ 表示驱动变速一体化控制装置的工作效率。

### 2.3 整车行驶阻力矩

电机驱动力经由AMT变速箱形成输出转矩,再经过主减速器、半轴传递至车轮,则车轮行驶阻力计算公式为:

$$T_f = i_0 r \left( mgf \cos \alpha + mgs \sin \alpha + \frac{C_d A}{21.15} V^2 + \delta_m \frac{dv}{dt} \right) \quad (7)$$

公式(7)中,变量 $m$ 代表整车的重量, $g$ 为车辆行驶过程中的重力加速度, $\alpha$ 表示路面坡度, $C_d$ 表示空气阻力, $v$ 表示车辆实际速度, $f$ 为车轮与地面的摩擦系数, $r$ 为车轮的半径, $i_0$ 表示主减速器的传动比, $\delta_m$ 代表质量转换系数<sup>[3]</sup>。

## 3 制定换挡控制策略

就目前电动车产业发展而言,其变速箱换挡控制可以分为惯性相与转矩相两个阶段,其中转矩相控制的主要作用是提升转矩跟踪调节反应效率,减少变速箱处于转矩相阶段所承受的换挡冲击,根据实际的冲击参数调整驱动电机转矩变化率:

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{J_e \cdot i_0 \cdot (J_1 i_g^2 + J_2)}{r i_g} \quad (8)$$

公式(8)中 $J_e$ 表示AMT变速箱换挡转矩垂直向冲击力, $J_1$ 为驱动电机转动惯量, $J_2$ 为齿轮转动惯量。根据现有的国际标准, $J_e \leq 10 \text{m} \cdot \text{s}^{-3}$ ,在满足冲击量要求的前提下,在电机转矩处于最大变化率的状态下进行摘挡操作,汽车的电机力矩模式发生变化,转为自由模式,此时电机转矩逐步降低,直至归零。

电机进入惯性相阶段之后,其控制目标发生变化,由提升转矩跟踪调节反应效率,转变为缩短转速同步时间。车辆行驶过程中,AMT变速箱受到的冲击度以及换

挡时间,与转速差控制紧密相关。本次设计中,设计人员使用PID控制装置,并搭配有限状态切换控制模式,实现对于转速的快速调节。

$$\begin{cases} n_1 = n_2 \cdot i_g & n_2 \geq 200 \text{ 或 } n_2 \leq -200 \\ n_1 = n_2 \cdot i_g + n_3 & 0 \leq n_2 \leq -200 \\ n_1 = n_2 \cdot i_g - n_3 & -200 < n_2 \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

公式(9)中,  $n_1$ 表示电机目标转速,  $n_2$ 为AMT变速装置中间转数,  $n_3$ 为AMT变速箱。在AMT变速箱由转矩相切换为惯性相的过程中,电机的转速会出现一定程度的降低。因此,在换挡时要为变速箱设定修正值,由一档换到二档时转速修正值为100r/min,由二档切换至一档转速修正值为80r/min<sup>[4]</sup>。

当变速箱由一档切换至二档的时候,变速箱控制单元(TCU)在接收到整车电控系统(VCU)发送的档位切换指令之后,开始执行换挡操作,此时安装在纯电动汽车上的微型控制单元(MCU)对电机输出转矩进行控制,将输出转矩逐渐降为0,此时电机切换至自由模式,AMT变速箱在自由模式下调整拨叉完成换挡操作,此时AMT变速箱由转矩相切换至惯性相。随后,微型控制单元将电机调整为转矩模式,提升电机转速直至达到目标转速,待电机转速达到目标转数之后,将电机切换至自由模式,完成拨叉的拨动操作,完成挂挡(如图2所示)。

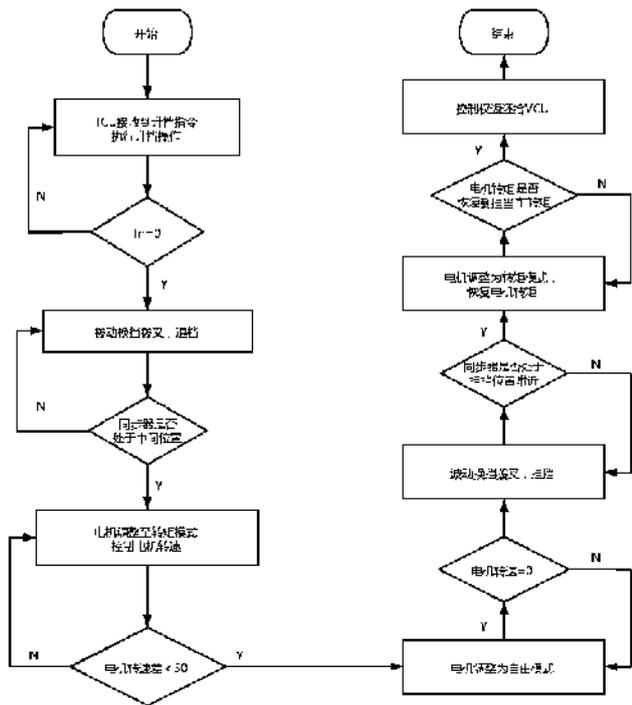


图2 升档控制流程图

#### 4 实验验证

完成设计工作之后,工作人员尝试对二档AMT换挡协调控制方案进行有效性验证。采用升降档测试的方式,

在VCU发出升档/降档指令之后,电机切换至卸扭状态并拨动拨叉是AMT变速箱处于空档状态,再根据目标档位参数调整电机转速,当电机转速趋近目标档位转速之后进行挂挡,并依靠同步器保持转速同步<sup>[5]</sup>。

具体进行实验时,工作人员分别模拟了NEDC(新欧洲驾驶周期)市区路况以及0~100km/h两种驾驶场景,通过实验观察两档AMT换挡协调控制策略有效性。通过实验发现,在0~100km/h加速实验中,两档AMT的换挡时间始终保持在0.5s以内,最大冲击度始终没有超过8.0m/s<sup>3</sup>。在NEDC市区路况场景下,升档/降档的时间未超过0.6s,最大冲击度为7.8m/s<sup>3</sup>。此外,工作人员在实验室搭建转动系统实验台架,对安装的两档AMT变速箱的纯电动汽车进行换挡实验,通过实验发现AMT变速箱升档时间为0.6s,降档时间为0.8s,且换挡过程较为平滑,车辆速度变化不存在明显波动,驾驶体验较好,由此证明本次换挡协调控制设计符合要求。

#### 5 结语

在努力实现“碳中和”以及“碳达峰”目标这一宏观背景下,新能源汽车产业的发展受到了越来越多的关注。受到技术条件的制约,大部分新能源汽车依旧采用单级减速器,其传动系统的转速比为固定值,无法进一步激发纯电动汽车的潜能。为了妥善处理这一问题,设计人员积极尝试利用两档AMT变速箱令转动系统转速能够根据驾驶需求自由变化,在确定两档AMT变速箱转速比的基础上,构建传动系统模型并制定换挡控制策略,通过实验验证两档AMT变速箱换挡协调策略的有效性,为纯电动汽车的发展提供技术支持。

#### 参考文献:

- [1]毕善汕,姚子欣.基于模糊PI的两档纯电动汽车AMT变速器换挡控制[J].林业机械与木工设备,2022,50(01):17-22.DOI:10.13279/j.cnki.fmwe.2022.0013.
- [2]肖力军,王明,钟志华,张邦基,徐卫东.两档AMT纯电动汽车换挡协调控制及试验研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2019,46(02):10-18.DOI:10.16339/j.cnki.hdxzbkb.2019.02.002.
- [3]徐海港,张鑫,林连华,张建武.电驱动两档AMT新型动力系统参数匹配与研究[J].机械设计与制造,2019(01):107-110+117.DOI:10.19356/j.cnki.1001-3997.2019.01.029.
- [4]丁俊,王灵犀.AMT车辆综合性换挡规律的研究[J].沈阳理工大学学报,2008,27(04):87-90.
- [5]杨志刚,曹长修,黄建明.智能控制技术在汽车AMT中的应用[J].重庆交通学院学报,2002(04):110-113.