

# 电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制策略

蔡自强 孙 辉 冯大强

四川职业技术学院汽车技术学院 四川遂宁 629000

**摘 要:**近年来,汽车智能化的发展趋势正处于快速崛起阶段。同时,电动车辆 AMT 换挡系统也越来越受到人们的重视。目前,电动车辆 AMT 换挡系统已广泛应用于国内中档车型,改变了以往只应用高端品牌的趋势。传统的机械换挡已逐渐被换挡开关所取代,另外,整个电动车辆 AMT 换挡系统的换挡故障模式增加了电信号指令传输的过程。与传统的机械位移相比,电子位移系统更加复杂和多样化。目前,智能驾驶辅助系统正在以电动车辆 AMT 换挡系统为核心系统投入使用,既能保证驾驶员的驾驶安全,又能为驾驶员创造舒适的工作环境。可持续发展的理念为电动汽车产业的快速崛起和发展提供了新的机遇,政府部门出台的各种优惠扶持政策为电动汽车产业的发展指明了方向。因此,加强对电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制系统故障维护策略的研究,总结电动车辆 AMT 换挡过程中维护经验,对我国电动汽车行业的稳定发展具有重要意义。

**关键词:** 电动车辆; AMT 换挡; 驱动电机控制策略

随着汽车的普及和技术的发展,具有良好动力性的自动变速器技术得到了广泛的应用。电控机械自动变速器(AMT)具有普通变速器传动效率高、结构简单的特点,同时又具有液压自动变速器的自动变速器的优点。本文结合电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机的常见故障,对系统关键部件的可靠性进行了评估。通过搭建试验平台,改进试验参数设计,以工作环境温度、转速变化和负载工况为核心指标,对关键部件的使用寿命和可靠性进行评价。试验结果表明,润滑脂的选择、密封结构的设计以及材料的高低温性能是影响电机轴承使用寿命和可靠性的重要参数。总结研究成果,可为制定国产电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机的技术改进和性能优化方案提供重要的参考思路。

## 一、电动车辆 AMT 换挡选择原理及换挡系统

在操作过程中,由于电动车辆 AMT 换挡机构采用的是信号传输的工作方式而不是机械连接的工作方式,所以要研究电动车辆 AMT 换挡机构的工作特性,避免齿轮识别误差,信号传输误差和换挡状态与车辆行驶工况之间不同步,从而保证换挡工作处于正常工作状态,提高换挡工作的工作效率。目前,电动车辆 AMT 换挡机构在丰田混合动力汽车行业已经得到了广泛的应用,但在其他汽车制造商中还没有得到广泛的应用。此外,国内外对信号控制逻辑和可靠性控制设计方法的研究较少。目前,有关方面正在参考电动车辆 AMT 换挡机构的结构和工作原理,利用建模仿真和快速控制原型技术设计和验证信号控制逻辑和控制可靠性方法。AMT 采用自动变速器理论和电子技术,在原有固定轴齿轮传动和干式离合器的基础上,采用电子控制单元(ECU)和控制机构完成发动机油门调整、档位选择和换挡,以及离合器的分离和组合,从而实现车辆起动、选档、换挡的自动控制。AMT 的控制原理是当司机驾驶车辆,ECU 将实现自动控制的动力传动

系根据具体法律的帮助下执行机构根据车辆的驾驶状态,如车辆速度、齿轮、发动机转速、加速度等。以及驾驶员的操作意图,从而实现车辆的平稳启动和换挡。对于在原有手动传动系统基础上进行控制的 AMT,由于空间有限,选择直流电动机具有很大的优势;此外,直流电动机的使用寿命比步进电机长。因此,在选择齿轮和换挡空间有限的情况下,宜选用直流电机作为执行机构的动力源。本文以单独励磁的直流电机为例,进行了齿轮的选择和换挡设计。

### (一) 直流电动机数学模型及传递函数

他励直流电动机模型如下:

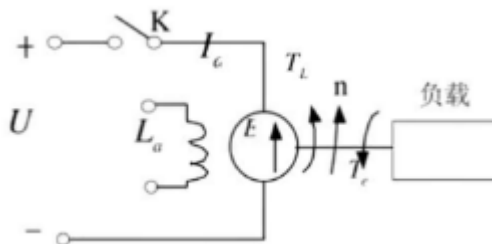


图 3.1 他励直流电动机模型

直流电动机的电压平衡方程式为:

$$U = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a, \quad e_a = C_e \Phi n$$

式中为 k 闭合时电枢两端的增压量、电枢回路产生的电流、反电动势、电枢回路的电阻、电感。所有小写字母都是瞬时值。根据传动系统的运动方程,经拉普拉斯变换得到上式:

$$U - E_a = (R_a + L_a s) I_a = R(1 + \tau_a s) I_a$$

$$E_a = C_e \Phi n$$

$$T_e = C_m \Phi I_a$$

$$T_e - T_L = J_a n s$$

(四) 其中大写字母为拉普拉斯变量, 为电磁转矩, 为负载转矩, 为转速, 为拉普拉斯转换的变量, 为电磁时间常数。从上面的表达式可以看出, 电压、负载转矩和转速的关系, 并从中推导出传递函数如下:

$$\frac{n}{U} = \frac{1/(C_e \Phi)}{1 + \tau_m s}$$

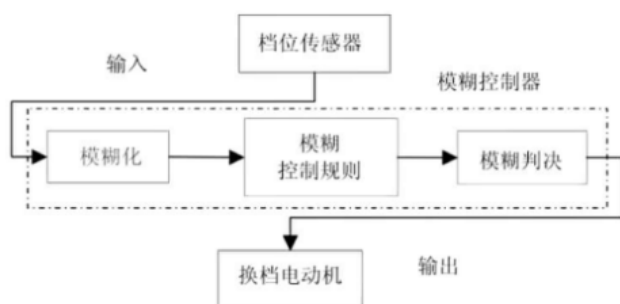
$$\frac{I_a}{U} = \frac{J_a s / (C_e C_m \Phi^2)}{1 + \tau_m s}$$

$$\frac{n}{T_L} = \frac{R_a / (C_e C_m \Phi^2)}{1 + \tau_m s}$$

其中, 有补偿组取 0.1, 无补偿组取 0.4; 根据上述关系, 可以分析直流电机的响应过程, 根据直流电机电压、转矩和对角转速的响应来选择合适的电动机。

#### (五) AMT 选换挡系统优化设计

在完成 AMT 硬件系统设计后, 对 AMT 选换挡系统的控制, 也随着自动控制技术的发展, 向智能控制方向发展, 模糊控制已经成为目前实现智能控制的有效手段。



## 二、电动车辆 AMT 换挡的发展历程

近年来, 电动车辆 AMT 换挡的核心发展过程是由产品设计和生产运营两部分组成的。在发展的过程中, 要注意电动汽车的工作寿命、功能性能、管理维护等方面潜在的问题。在发展电动车辆 AMT 换挡的过程中, 尽量要求规范合理的换挡操作, 控制电动车辆 AMT 换挡的正常运行。在电动车辆 AMT 换挡产品设计中, 应充分考虑电动车辆 AMT 换挡的最大承载范围、安全等级要求、故障控制等因素, 并考虑能将损失降到最低的具体措施。为电动车辆 AMT 换挡设定了多个功能安全目标, 然后从车辆角

度发展了功能失效安全状态, 分析了实现这些目标的必要条件和功能安全内容, 讨论了与当前系统体系结构路径功能相关的安全状态和容错区间, 进而评估了电动车辆 AMT 换挡系统在出现故障时的正常工作状态, 以及应采取的规范措施。

## 三、电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机故障分析与评价模型建立

### (一) 常见故障类型及维护策略

电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机常见的故障有以下三种类型:(1) 温度型, 包括绕组烧坏、轴承老化、轴弯曲变形等由于温度过高引起的故障;(2) 振动型, 包括电机振动引起的绕组运动、绝缘退化、铁芯松动等问题;(3) 污染类型, 包括绝缘老化、润滑不良、轴承疲劳、零件腐蚀等环境污染或化学腐蚀引起的问题。其中, 轴承磨损失效和绝缘老化是电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机故障的主要原因。润滑脂的抛掷和挥发、电机频繁的启停以及车辆内负载的变化, 都容易影响电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机及其零部件的使用性能。如何建立有效的评价模型, 实现对电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机使用寿命和运行可靠性的定量评价, 已成为一个亟待解决的问题。

### (二) 寿命与可靠性评估模型

一般来说, 电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机内部有两个轴承系统, 绝缘系统则包含匝间、相间、槽间共 3 种类型, 任一部件发生故障均会影响到电机的可靠性, 任何部件的故障都会影响电机的可靠性。在电动机轴承的设计模型中, 众所周知, 轴承寿命是双参数威布尔分布, 设轴承特征寿命为  $\eta$ 、形状参数为  $m$ 、额定动负载为  $C$ 、转速为  $n$ , 轴承寿命指数为  $E$ 、载荷系数为  $f_P$ , 在可靠度为  $R$  时轴承寿命及修正系数分别为  $L_R$  和  $f_R$ , 则轴承寿命与可靠度模型分别为:

$$L_R = \left( \frac{10^6}{60n} \right) \left( \frac{C}{f_P} \right)^E f_R$$

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^m \right]$$

在电机绝缘系统模型设计上, 已知绝缘系统可靠性服从指数分布, 设绝缘系统失效率为  $\lambda_i$ , 环境、质量、种类、结构系数分别为  $\pi_E$ 、 $\pi_Q$ 、 $\pi_K$ 、 $\pi_G$ , 温度、加速常数分别为  $N_T$  和  $G$ , 失效率及其调整系数分别为  $\lambda_{2i}$  ( $i=1, 2, 3$ ) 和  $A$ , 则绝缘系统可靠度模型为:

$$R_{2i}(t) = \exp(-\lambda_{2i} t)$$

$$\lambda_{2i} = \lambda_0 \pi_E \pi_Q \pi_K \pi_G$$

$$\lambda_0 = A \exp \left( \frac{T_{H0} + 273}{N_T} \right)^G$$

## 四、电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机寿命与可靠性测试结果

### (一) 关键部件特性分析

电动汽车驱动系统以电机轴承为关键部件, 通常采用深沟球轴承和润滑脂润滑设计, 适用于中低速工况。当轴承处于高速

运行状态时, 润滑脂的纤维结构在强烈的剪切作用下会产生严重的发热, 削弱轴承的冷却和润滑效果, 并造成早期失效的问题。电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机的运行要求轴承转速控制在  $1000\text{r/min}$  以上, 这对电机轴承的使用寿命和高速性能提出了更高的要求。在高温、高速运行环境下, 润滑脂的稠度会因高速抛出和高温挥发而降低, 影响实际润滑效果, 加剧轴承磨损, 进而缩短电机轴承的使用寿命。考虑到电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机实际运行环境和辐射条件的影响, 对高温提出了更高的要求; 在低温运行条件下, 容易增加轴承的驱动功率和运行功率消耗, 这也会影响轴承的使用寿命。考虑到电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机实际运行环境和辐射条件的影响, 对电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机轴承的耐高温、耐低温性能提出了更高的要求。

## (二) 试验参数设计

由于在电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机的运行过程中影响轴承使用寿命和可靠性的因素比较复杂, 本实验设计拟重点研究以下三个方面: (1) 轴承在极端高温和极端低温环境下的可靠性; (2) 轴承在极限速度和加速度条件下的寿命和可靠性, 并建立速度和时间变化曲线; (3) 建立了电机在不同滚动负载条件下的使用寿命。在试验条件的设计中, 选取电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机的 X、Y 轴承作为试验对象。测试环境的室温  $20^{\circ}\text{C}$ 。可靠性测试的条件下进行极端高温  $145^{\circ}\text{C}$  和极端低温  $-55^{\circ}\text{C}$ 。1 样本两个模型分别准备测试动态轴承的性能。在试验条件的设计上, 主要分为前期运行和试验周期两个阶段。在前期运行阶段, 转速为  $300\text{r/min}$ , 试验时间为 1800 秒, 累计试验 30min; 试验循环阶段包括三个加速恒速阶段和一个减速恒速阶段。加速度阶段轴承转速分别为  $0\sim 4000\text{r/min}$ 、 $4000\sim 8000\text{r/min}$  和  $8000\sim 1000\text{r/min}$ 。减速阶段对应的转速分别为  $1000\sim 6000\text{r/min}$  和  $6000\sim 0\text{r/min}$ 。恒转速分别为  $4000\text{r/min}$ 、 $8000\text{r/min}$ 、 $1000\text{r/min}$  和  $6000\text{r/min}$ , 经过 200 个累积循环后, 计算出总试验时间为 400H。

## 五、电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制系统故障及控制策略

### 常见故障的维修策略

异响是电动汽车常见故障之一。该故障主要是指电动汽车在行驶过程中出现的异响。这种声音不仅奇怪, 而且与电动汽车正常行驶时产生的声音也有很大的不同。出现这种异常噪声的原因是电机电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机可能会出现转子清扫或轴承磨损等问题。对于转子扫膛的问题, 维修人员可以用塞尺

检查定子和转子之间的空气。检查后若故障排除, 应进一步检查轴承是否磨损。如果轴承磨损, 必须立即更换。如果检查后没有发现以上两个原因, 应该从其他方面寻找线索, 找出问题的原因, 然后进行相应的维修。

## (二) 顿挫故障及维修策略

顿挫故障是最容易被司机发现的错误之一。一般情况下, 电动汽车在行驶过程中, 当所有仪表显示正常时, 如果出现一顿一顿且极度不舒适和不通畅的情况时, 则可能是电机故障导致顿挫故障。此时, 维修人员应使用专业工具进行简单的处理。若处理后仍未排除故障, 应到专业维修店进行维修。

## (三) 电气故障及维护策略

电动汽车因电气原因引起的故障不易检测, 难度大。目前, 由电气原因引起的常见故障及解决方法主要包括以下几个方面: (1) 电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机运行过程中间歇性超速故障及维护。一般情况下, 电动汽车在行驶过程中发生这种故障后, 扭矩会突然增大或减小。该故障的维护主要通过更换内部控制器来解决。 (2) 电机温度过高及维护。故障原因可能是电机龙转子断条或绕组转子线圈接头松动, 或轴承磨损严重导致电机额定电压过低。对于此类故障的维护, 首先要查明故障的原因。如果确定是轴承磨损造成的, 应立即更换轴承。如果电机温升是由电机引起的, 应通过调整电压来解决。如果维修人员检查后仍不能确定故障的具体原因, 必须及时到专业维修站进行维修。

## 结束语

由于电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制系统是电动汽车动力输出的来源, 维修人员应充分重视电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制系统故障检测和维修的重要性, 从而在保证电动汽车整体性能的前提下, 延长电动车辆 AMT 换挡过程中驱动电机控制系统的使用寿命, 为驾驶员的人身安全提供全方位的保护。

## 参考文献:

- [1] 陈莉, 自动离合器的自适应最优控制研究 [J], 上海交通大学学报, 2020 (10)。
- [2] 高少华, 陈宁, AMT 变速箱的设计 [J], 无锡商业职业技术学院学报, 2020 (3)。
- [3] 陈修锋 .FMEDA 在汽车工业产品设计中的应用 [J]. 汽车实用技术, 2019 (5): 5-8。

## 作者简介:

蔡自强 男 1989.04.18 汉 重庆 助教 本科 研究方向: 汽车制造  
作者单位 (含二级学院): 四川职业技术学院汽车技术学院