

# Design of Functional Test Bench for Hub Motor of Electric Vehicle

Hanming Pan<sup>1</sup>, Haibing Fu<sup>2</sup>, Aixiang Kong<sup>2</sup>, Liangyu Lei<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Zhejiang Zhaofeng Mechanical and Electronic Co. Ltd, Hangzhou Zhejiang

Email: [xuyuanfeng@163.com](mailto:xuyuanfeng@163.com)

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2015; accepted: Jul. 19<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 22<sup>nd</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In according with the distinctive external rotor structure of hub motor, a functional test bench of hub motor for electric vehicle is designed, including hub motor control system, experiment stand, and measurement & control system. Basic parameters of the hub motor can be measured through adjusting the inputs and loading torque of the motor, such as input voltage/current, input power, motor speed, and output torque. A variety of tests can be implemented to comprehensively test the performance of the motor, such as no-load test, loading test, and efficiency test, which provides data support for the design and optimization of hub motor.

## Keywords

Hub Motor, Test Bar, Motor Measurement

---

# 电动汽车用轮毂电机性能试验台设计

潘汉明<sup>1</sup>, 付海兵<sup>2</sup>, 孔爱祥<sup>2</sup>, 雷良育<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>浙江农林大学工程学院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江兆丰机电股份有限公司, 浙江 杭州

Email: [xuyuanfeng@163.com](mailto:xuyuanfeng@163.com)

收稿日期: 2015年7月1日; 录用日期: 2015年7月19日; 发布日期: 2015年7月22日

## 摘要

根据轮毂电机独特的外转子结构，设计了电动汽车轮毂电机性能试验台，包括轮毂电机控制系统、试验台架和测量与控制系统三部分，通过调节电机的输入量和负载转矩，不仅能测量轮毂电机的基本参数，如输入电压/电流，输入功率，电机转速，输出转矩等，还能对电机进行各种试验，如空载试验、加载试验、效率试验等，全面检测轮毂电机的性能，为轮毂电机的设计和优化提供数据支持。

## 关键词

轮毂电机，试验台，电机测量

## 1. 引言

轮毂电机作为一种新型永磁无刷直流电机，具有独特的外转子结构，非常适合与汽车的轮辋集成，是电动汽车驱动系统的重要发展方向[1]。轮毂电机的性能检测一般参照普通交流电机试验标准，但因其特殊的结构，往往需要对原有试验台进行改造。本文介绍了一套轮毂电机性能试验台，用于检测电机的性能参数，生成电机特性曲线，作为判定电机性能的重要依据。

实验台主要测量轮毂电机的输入电压/电流、输入功率、输出转矩、电机转速和系统效率。

输入电压/电流的测量采用磁平衡原理[2]。原边电压作用在一个线圈上并产生磁通，与副边绕组产生的磁通相互抵消，此时即可根据副边绕组的输出电压跟踪输入电压的变化，原理如图1所示。

输入电流的测量与电压类似，原边线圈以原边长直导体代替。测得输入电压和输入电流后，几个根据公式  $P = UI$  获得输入功率，式中， $P$ 、 $U$ 、 $I$  分别表示输入功率、输入电压和输入电流。

电机输出转矩采用非接触式转矩传感器[3]，其原理是，利用随弹性轴旋转的齿圈变化，在两个信号线圈中激励出周期变化的电压信号，由于两电压信号的相位差与两齿圈的相位差成正比，而齿圈的相位差又正比于弹性轴所受扭矩  $T$ ，故可根据电压信号的相位差跟踪弹性轴的扭矩。另一方面，根据电压信号的频率  $f$  和齿圈齿数  $Z$  即可根据公式  $n = 60f/Z$  推导出电机转速。最后由公式  $P = 2\pi nT/60$  推导出电机的输出功率。非接触式转矩传感器原理如图2所示。

## 2. 试验台硬件结构和功能设计

轮毂电机性能试验台主要由三部分组成：轮毂电机控制系统、试验台架和测量与测控系统。各部件技术参数见表1。

### 2.1. 轮毂电机控制系统

轮毂电机控制系统主要用于独立控制电机的启动、加速、正反转、电制动等，如图3所示。

系统铅酸动力电池串联作为电源，双投开关用于切换系统输入电压等级，方便不同额定电压的控制器的快速更换。反转开关闭合，电机反向运行，反之正转。电子加速器和制动踏板分别控制电机的速度和电制动。

### 2.2. 试验台架

试验台架主要由三爪卡盘、转矩转速传感器和磁粉制动器组成，如图4所示。

三爪卡盘用于固定轮毂电机主轴，卡盘通孔内开有键槽，防止电机主轴在大扭力下打滑。转矩转速

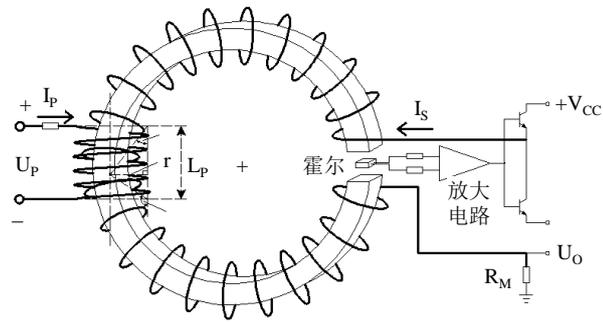


Figure 1. Measurement of voltage  
图 1. 电压测量

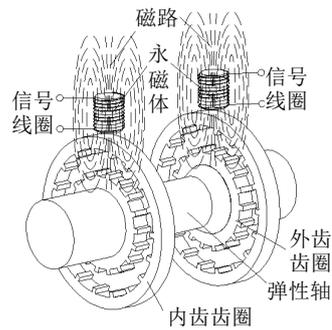


Figure 2. Schematic diagram of non-contact torque sensor  
图 2. 非接触式转矩传感器原理图

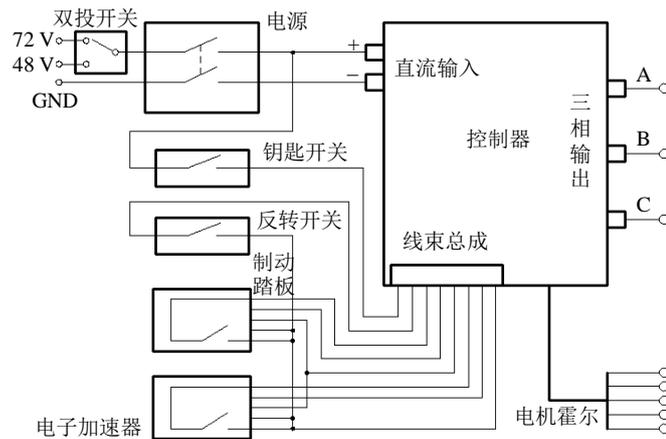


Figure 3. Structural diagram of hub motor control system  
图 3. 轮毂电机控制系统结构图

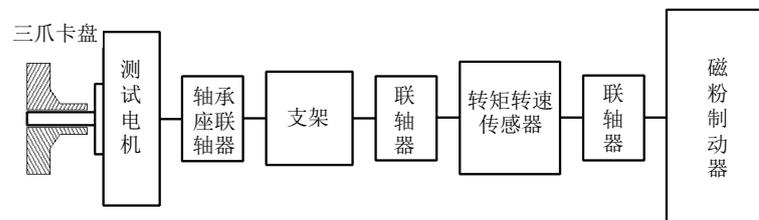


Figure 4. Structural diagram of experiment stand  
图 4. 试验台架结构图

**Table 1. Parameters of test bench components**  
**表 1. 实验台部件技术参数**

部件	型号	规格参数
控制系统	控制器	KEB72601 输入电压: 18~90 V 输出功率: 6 kW
	电源	6-EVF-120H 12V120AH 铅酸电池组
	踏板	JKH-005-A-65 输入电压: 5 V 输出电压: 1~5 V
试验台架	三爪卡盘	K11-200 最大输入转矩: 250 Nm
	转矩转速传感器	NJ1D 额定转矩: 300 Nm 工作转速: 3000 rpm
	制动器	FZJ-30 额定转矩 300 Nm
测控系统	扭矩测量仪	NC-3A 信号幅度: 0.2~20 V 交流 精度: $\pm 0.1\%$ F.S 输入阻抗: 10 k $\Omega$ 采样时间: 1 ms~5 s
	工控机	610L 操作系统: Windows XP

传感器的主轴与试验台架中心轴重合，并通过两个传感器联轴器固定，以保证精度。磁粉制动器为电机提供负载扭矩。

### 2.3. 测量与控制系统

为测量与控制系统编写软件系统“电动汽车轮毂电机性能试验台”，用于监测电机运行参数，控制电机负载，生成电机性能曲线和报表输出，其功能结构如图 5 所示。

## 3. 轮毂电机试验

根据轮毂电机的性能要求，设计了轮毂电机的试验项目，包括空载试验、加载试验、效率试验等。下面以一台自主研发的 3 kW 轮毂电机电机为例，进行试验项目说明。电机的基本参数见表 2。

### 3.1. 空载试验

空载试验主要测量电机的最高转速、空载电流、损耗等[4]。试验时，保持额定电压不变，电机不带负载运行，逐步调节电机转速至最大值，记录电机的最高转速、空载电流、输入功率等参数。试验结果见表 3。

### 3.2. 加载试验

加载试验时，给电机施加 1.5 倍额定输出转矩，然后逐步降低转矩至  $0.25T_N$ ，适当选取若干个点，记录电机运行参数。根据所得数据，绘制电机的电流特性( $I_m-T$  曲线)、机械特性( $n-T$  曲线)和功率特性( $P_{in}-T$ 、 $P_{out}-T$  和  $\eta-T$  曲线)，分别见图 6~8。

加载电流特性，是指输入电流关于输出转矩的函数，轮毂电机的加载电流特性是一条斜率为正的直线。

机械特性，是指电机转速关于输出转矩的函数。轮毂电机的机械特性是一条斜率为负的直线，与横、纵坐标的交点分别代表电机的堵转转矩和空载转速。

功率特性，是指电机的输入/输出功率关于输出转矩的函数。为方便观察，图 8 中还给出了系统效率

关于输出转矩的函数。

### 3.3. 效率试验

效率试验的主要目的是测量电机和控制器在不同转矩和转速下的效率分布，并绘制系统效率 MAP 图[5]。所谓系统效率 MAP 图，是指系统效率关于电机转速和输出转矩的二元函数  $\eta = f(n, T)$  曲面在  $n-T$  平面的等高投影，是分析电机效率性能的重要依据。图 9 给出了试验电机的系统效率 MAP，图中还画出了电机的机械特性及其拟合线。

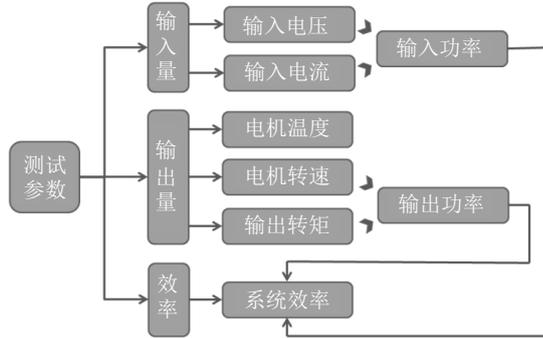


Figure 5. Structural diagram of the functions of software system  
图 5. 软件系统功能结构

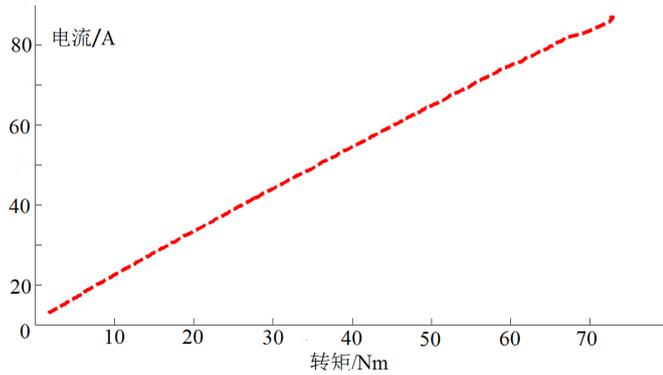


Figure 6. Current characteristic of loading  
图 6. 加载电流特性

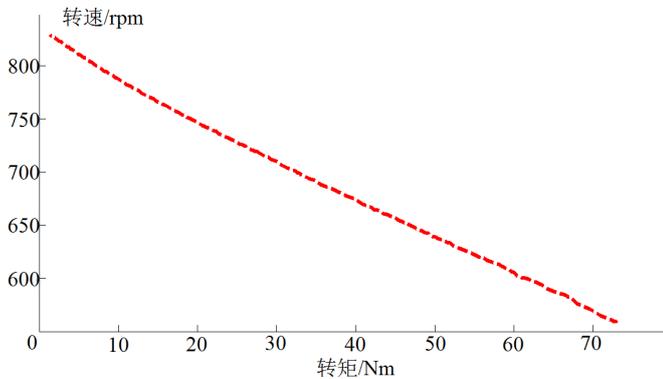
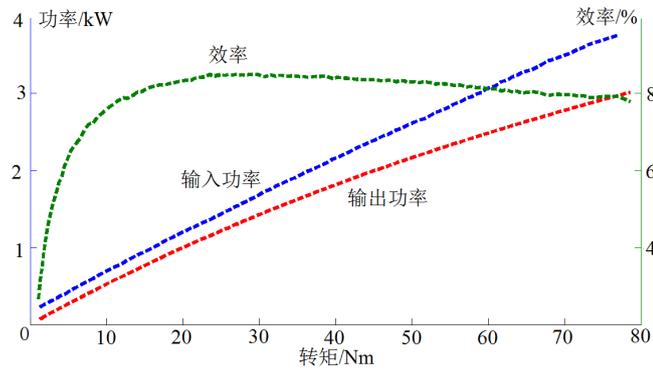
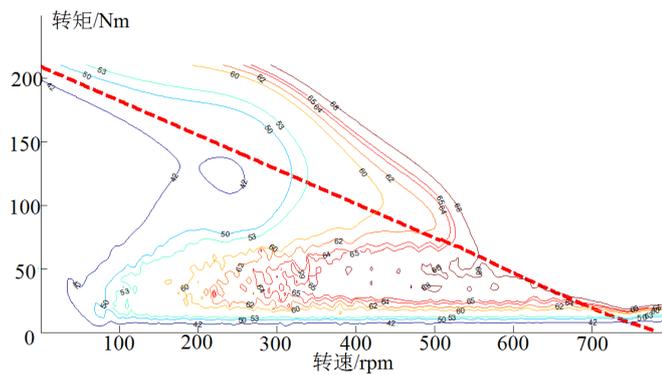


Figure 7. Mechanical characteristic  
图 7. 机械特性



**Figure 8. Power characteristic**  
**图 8. 功率特性**



**Figure 9. System efficiency MAP of tested motor**  
**图 9. 试验电机系统效率 MAP 图**

**Table 2. Basic parameters of tested motor**  
**表 2. 试验电机基本参数**

参数	电压	功率	转速
额定值	72 V	3 kW	600 rpm

**Table 3. Results of no-live load**  
**表 3. 空载试验结果**

参数	输入电压	输入电流	最大转速	输入功率
值	72 V	15.1 A	794	1100

#### 4. 结束语

根据轮毂电机外转子的结构特点，设计了轮毂电机性能试验台，包括轮毂电机控制系统、试验台架和测量与控制系统三部分，可全面检测电机和控制器的输入电压/电流、输入功率、电机转速、输出转矩，系统效率等参数，并对电机进行各类试验，如空载试验、加载试验、效率试验等。结果表明，轮毂电机性能试验台能很好的检测轮毂电机运行过程中的参数，为轮毂电机的设计和测试提供数据支持。

#### 参考文献 (References)

[1] 董铸荣, 贺萍, 韩承伟, 等 (2014) 电动汽车电动轮综合性能试验台开发. *实验技术与管理*, **11**, 80-83.

- [2] 李俊, 彭中华 (2010) 直流大电流测量技术研究. *仪表技术*, **6**, 27-29.
- [3] 胡明江, 王忠, 祁利巧, 等 (2009) 转矩传感器在柴油机低温阻力矩中的应用. *仪表技术与传感器*, **1**, 9-11.
- [4] 杨俊华, 吴捷, 杨金明, 等 (2005) 无刷双馈风力发电机空载试验问题探讨. *电机与控制学报*, **6**, 529-536.
- [5] 黄妙华, 喻厚宇 (2005) 影响并联混合动力电动汽车发动机在高效区工作的因素. *汽车工程*, **1**, 11-15.