

新能源汽车电机发展趋势及测试评价研究

严蓓兰

(国家中小电机质量监督检验中心, 上海 200063)

摘要: 为缓解能源短缺与环境污染问题, 新能源汽车得到了迅速发展、推广, 并成为当今汽车产业的重要研究方向。以新能源汽车电机的种类及国内外新能源汽车电机选型应用情况出发, 对新能源汽车电机的发展趋势和对评价有关的测试项目作了分析研究。

关键词: 新能源汽车; 驱动电机; 测试; 评价

中图分类号: TM 306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)06-0109-08

Development Trend and Test Evaluation Research of New Energy Vehicle Motor

YAN Beilan

(China National Center for Quality Supervision and Test of S&M Size Electric Machines,
Shanghai 200063, China)

Abstract: In order to alleviate the problem of energy shortage and environmental pollution, new energy vehicles have been rapidly developed and promoted, and have become an important research direction of today's automobile industry. Based on the types of new energy motor vehicles and the selection and application of new energy motor vehicles at home and abroad, the development trend of the new energy motor vehicle motor and the test items related to the evaluation are analyzed and studied.

Key words: new energy vehicles; motor; test technology; evaluation

0 引言

新能源汽车作为节能环保的新产品, 其研究和开发得到了重视, 成为当前汽车产业未来发展的方向。我国政府一直都非常重视交通领域对能源和环境的影响, 在“九五”、“十五”和“十一五”期间相继投资启动了与节能相关的新能源汽车建设项目。“十二五”“十三五”规划则将节能减排作为汽车行业的发展方向, 建议新能源汽车的推广列入国家的重要计划。新能源汽车的大力发展可以缩小我国汽车工业与发达国家汽车工业之间的差距, 并可带动我国汽车相关产业与技术的发展。

新能源汽车的快速发展为新能源汽车电机行业的发展提供了很好机遇, 驱动电机及其控制系统作为其核心部件之一, 发展前景广阔。

1 新能源汽车电机类型和选型分析

1.1 驱动电机的类型

新能源汽车的驱动电机主要包括: 交流异步、永磁同步和开关磁阻电机。当前电机技术分类比较如表 1 所示, 由此可知永磁同步电机综合量化得分最高, 其效率和控制特性有较大优势, 开关磁阻电机制造、成本优势较大。

1.2 新能源汽车驱动电机选型分析

直流电机系统具有成本低、控制简单等特点, 是电动汽车最早采用的系统。随着电力、电子及自控技术等新技术的发展, 交流异步电机、永磁同步电机和开关磁阻电机表现出比直流电机更为优越的性能, 逐步取代了直流电机控制系统。

大多数新能源汽车电机采用永磁同步电机; 一部分汽车公司采用交流异步电驱动系统。表 2

表 1 驱动电机基本性能比较

电机类型	直流无刷	交流异步	永磁同步	开关磁阻
性能	***	*****	*****	***
重量	***	**	*****	***
效率	**	***	*****	***
控制特性	**	*****	*****	*
制造	****	**	***	*****
成本	***	*****	**	*****
合计	16	19	24	20
适用性	伺服电机	一般工业设备 家用电器	新能源汽车	一般工业设 备家用电器

* 为综合量化比较,未加权。

表 2 部分国内外新能源汽车驱动电机选型

国内		国外	
车型	电机类型	车型	电机类型
北汽 EU	永磁	宝马 i3	永磁同步
比亚迪 唐、秦	永磁	宝马 Active Hybird	永磁同步
上汽荣威 EV/HEV	永磁	宝马 Mini-E	交流感应
东风 EV/HEV	永磁	特斯拉 S	交流感应
奇瑞 EV/HEV	永磁	雪佛兰 Spark	永磁
江淮 EV/HEV	永磁	雪佛兰 Volt	永磁
吉利 帝豪、知豆	永磁	丰田 Fit Ev	永磁
吉利 全球鹰	交流	丰田 Pruis	永磁
众泰 云 100	交流	丰田 Leaf	永磁同步
众泰 E200/E30/T11	永磁		
广汽 传祺	永磁		
长江 EV	轮毂		

给出了国内外主要新能源汽车驱动电机类型及电机供应商,各个新能源汽车车型的驱动电机选型基本与分析一致。

2 新能源汽车电机发展现状

目前新能源汽车电机主要以永磁电机和感应电机为主,本文将着重介绍这两种电机发展现状。

2.1 国外新能源汽车驱动电机的发展现状

感应电机的代表当属特斯拉 Model S。特斯拉汽车 Tesla Model S P85D 所搭载三相感应电动机最大功率可达 515 kW (700 Ps), 转速范围为 12 000~20 000 r/min, 加上双电机四驱设计, 在减

速电机配合下, 可轻易产生 930 N·m 的扭矩, 令 P85D 的百千米时速加速在 3.4 s 内便可完成。Model S 前后置双电机配置依靠特斯拉优化过的算法, 可以根据不同的行驶状况产生不同的动力交错输出, 保持汽车的高效运行。助于优异的控制算法和高效的铸铜转子异步电机, 特斯拉无论是动力还是在节能、续航方面都有很大优势, 纯电动模式续航里程可达 426 km。

永磁同步电机的代表为丰田 Prius 系列。丰田公司在 1997 年便研发出世界上第一款成熟的混合动力汽车—Prius, 迄今为止已发展到第 4 代。第 4 代 Prius 电机采用了分段线圈式定子, 转子磁路结构也做了改变, 电机的峰值功率为 53 kW, 峰值扭矩为 163 N·m, 最高转速更是达到 17 000 r/min。图 1 所示为 Prius 系列电机的转子结构图。从结构变化可以看出丰田对永磁同步电机设计研究逐渐深入, 其转速及功率密度也不断提高, 总的基调为增加直轴电感, 增加凸极率。除 Prius 系列, 丰田还研制了 V 一型转子结构的 2008 Lexus LS600H, 峰值功率为 110 kW, 峰值扭矩为 300 N·m, 最高转速达到 10 230 r/min, 功率密度高达 2.46 kW/kg。

奥迪混合动力汽车 Q3 驱动电机为永磁同步电机, 其最大输出功率为 32 kW, 最高转速达到 12 500 r/min。另一款 Q5 采用的永磁同步电机最大功率为 40 kW (2 300 r/min), 最高转矩为 211 N·m, 功率密度达到 1.54 kW/kg。

宝马公司研发了宝马 i3 永磁同步电机。该电机充分发挥了内置式永磁同步电机的优势, 电机总重约为 42 kg, 电机功率可达 125 kW, 扭矩可达 250 N·m。

图 2 所示为宝马 i3 电机转子结构。从图 2 中可以看出 i3 电机转子的磁钢布局和槽形都非常的复杂和特殊, 目的是减小电机磁链的条件下, 增加电感凸极率。电机反电动势很小, 但输出扭矩却很大; 电机需要弱磁的车速很高 (工况很少), 而扭矩电流比却做得很大。

2.2 国内新能源汽车驱动电机的发展现状

借助于国家政策的支持与财政补贴, 我国新能源车用电机得到了快速发展。国内很多高校、研究机构、汽车生产商相继投入到新能源汽车电

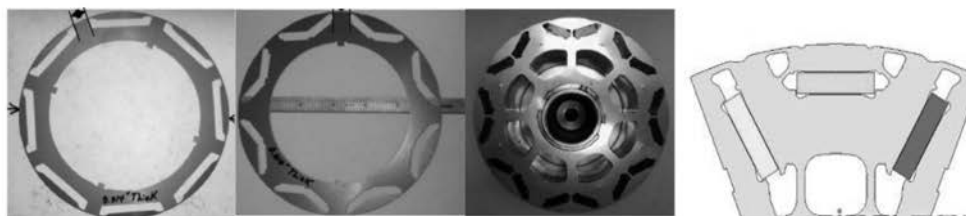


图1 Prius 系列转子结构图



图2 宝马 i3 转子结构图

机的研发中,并且取得了一定成果。

天津大学、天津清源公司研制的永磁同步电机及其控制系统的峰值功率为 45 kW,最大转矩为 99.5 N·m,系统最高效率为 95%,功率密度为 1.087 kW/kg。沈阳工业大学国家稀土永磁电机工程技术研究中心,研制出额定功率为 20 kW,最大功率为 40 kW,功率密度超过 1.5 kW/kg 的高功率密度永磁同步电机。江苏省交通科学股份有限公司研制了 100 kW 电动汽车双绕组永磁同步电机,额定功率为 100 kW,峰值功率为 220 kW,额定转矩为 960 N·m,峰值转矩为 3 200 N·m,全转速全转矩范围具有两个高效运行区域,电机与驱动器总体效率不小于 90%,高速与过载运行范围效率不小于 80%。其效率云图如图 3 所示。

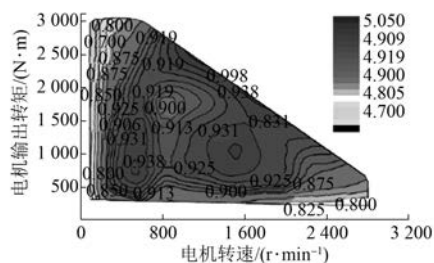


图3 双绕组永磁同步电机效率云图

上海电驱动 EM1269/EC1262 型号车用永磁同步电机性能指数如下:峰值功率为 94 kW,额定功率为 45 kW,峰值转矩为 225 N·m,额定转矩为 100 N·m,额定转速 4 300 r/min,峰值转速为 12 000 r/min。

精进电机研发的驱动电机额定功率为 85 kW,峰值功率为 135 kW,额定转矩为 325 N·m,峰值转矩为 600 N·m,额定转速为 2 500 r/min,峰值转速为 6 000 r/min。

蔚来 es8 采用前后双异步电机,综合最大功率为 480 kW,综合最大扭矩为 840 N·m,纯电最大续航里程达到 355 km。

安徽巨一永磁同步电动机额定功率为 45 kW、峰值功率为 90 kW,额定转矩为 86 N·m,峰值转矩为 230 N·m,额定转速为 5 000 r/min,最高转速为 12 000 r/min。

比亚迪 e6 采用的永磁电机额定功率为 75 kW,峰值功率为 90 kW,电动机总转矩为 450 N·m,最高车速为 140 km/h,单次充电续航里程在综合工况下最大可达 300 km。

目前,虽然我国新能源汽车动力技术有了突飞猛进的发展,但在高端技术等方面,与国际先进水平还具有一定差距。

2.3 新能源汽车驱动电机的发展趋势

图 4 所示为电机外特性曲线,标出了电机不同工作区域的特点及研发难点。结合新能源汽车电机的发展现状,新能源汽车电机的发展趋势如下:

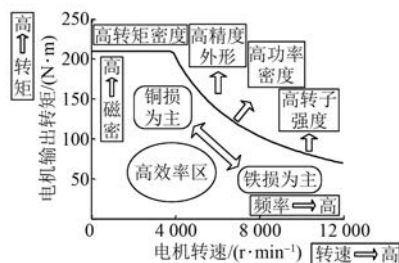


图4 电机外特性曲线

(1) 在广泛领域的高效率。汽车工况复杂,其电机需要在多个工作点运行,要实现新能源汽车高续航及节能要求,在广泛领域的高效率是重要的研究方向。

(2) 电机驱动系统的轻量化、小型化。电机作为驱动系统中重要的动力来源,电机驱动系统轻量化、小型化必然会使电机驱动系统集成化和一体化,在高性能电动汽车中,底盘系统、制动系统、电机传动系统已经实现一体化集成。

(3) 电机控制系统的数字化。高速高性能微处理器使得电驱动控制系统进入一个全数字化时代,在高性能高速的数字控制芯片的基础上,高性能的控制算法、复杂的控制理论得以实现,同时,使用面向用户的可视化编程,通过代码转化和下载直接进入微处理,将进一步提高编程效率和可调试性。

(4) 电机系统智能化。新能源汽车电机系统的数字化使机电一体化技术得到长足发展。目前国际上先进的电机系统已集成了诊断、保护、控制、通信等功能,可实现电机系统的自我诊断、自我保护、自我调速、远程控制等,电机系统智能化发展成为必然趋势。

3 新能源汽车驱动系统测试标准体系及评价

随着产业的蓬勃发展,行业对产品的性能评价体系逐步完善。目前,国内的新能源汽车准入要求中明确规定整车厂须具备动力系统、驱动系统、控制系统集成测试能力、电子电控测试系统功能测试能力。对于零部件厂商来说,测试开发能力也是重中之重。

3.1 新能源汽车驱动系统标准体系

目前主流新能源汽车驱动系统测试的标准体系如表 3 所示。

表 3 国内新能源汽车驱动系统测试相关标准

标准编号	标准名称
GB/T 18488.1—2015	电动汽车用驱动电机系统 第 1 部分:技术条件
GB/T 18488.2—2015	电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分:试验方法
GB/T 29307—2012	电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法
QC/T 1068—2017	电动汽车用异步驱动电机系统
QC/T 1069—2017	电动汽车用永磁同步驱动电机系统
GB 14711—2013	中小型旋转电机通用安全要求

3.2 新能源汽车驱动系统测试项目

GB/T 18488.1—2015《电动汽车用驱动电机

系统 第 1 部分:技术条件》^[1]和 GB/T 18488.2—2015《电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分:试验方法》^[2]主要针对的测试对象为新能源汽车中核心“三电”系统中的“驱动系统”和“电机”。电动汽车用驱动系统测试项目分类如表 4 所示。

表 4 电动汽车用驱动系统测试项目分类

项目类别	试验项目
电气性能	驱动电机定子绕组冷态直流电阻、驱动电机系统效率、转矩-转速特性、馈电特性、工作电压范围、堵转转矩、持续转矩、持续功率、峰值转矩、峰值功率、最高工作转速、驱动电机控制器工作电流、空载损耗
控制性能	控制精度、响应时间
安全性能	壳体机械强度、液冷系统冷却回路密封性能、绝缘电阻、耐电压试验、超速、温升、接地、保护功能、电容放电时间
环境性能	低温、高温、耐振动、防水、防尘、湿热、盐雾、电磁兼容
可靠性	耐久性测试

3.3 新能源汽车驱动系统测试设备及仪器

用于构成电动汽车用驱动系统的测试设备包括:试验电源、负载电源、变频负载电机和测量仪器。电动汽车驱动电机及控制器测试系统结构如图 5 所示。

试验电源将输入的三相交流电转换为可为被试控制器供电的直流电;负载电源可使用交流变

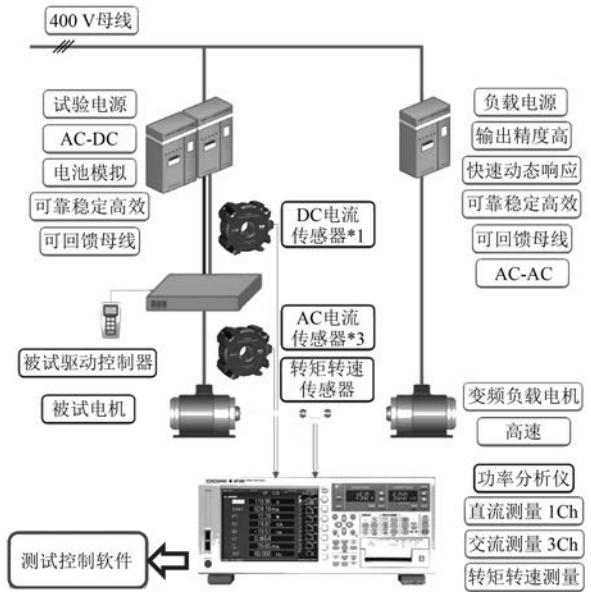


图 5 电动汽车驱动电机及控制器测试系统结构

频电源,变频负载电机需要与被测汽车驱动电机的最高转速能够匹配,一般选用高速变频电机;测量系统由电参数测量仪、交直流电流传感器、转矩-转速传感器和上位机控制软件组成。在对汽车驱动电机及控制器的测量中,除了需要测量电机的三相交流输入电压、三相交流输入电流、输入功率、功率因数等,还需要测量驱动器的直流输出电压、直流输出电流和电机输出的转矩、转速信号等。为了保证测试结果的准确性,测量时各参数读数必须同时读取。故使用的电参数测量仪应具有电参数测量通道4组以上,转矩-转速测量通道1组。测试系统的仪表精度应达到表5给出的各项需求。

表5 电动汽车用驱动系统测试项目分类

测量仪器	精度等级
电气测量仪器	0.5级(兆欧表除外)
分流器或电流传感器	控制精度、响应时间
转矩测量仪	0.5级
转速测量仪	± 2 r/min
电阻测量仪	0.2级
温度计	± 1 K

通过测试控制软件,不仅可以实现对试验电源、负载电源及变频负载电机进行远程控制,根据试验需求对被试驱动电机系统进行自动或半自动的加载控制,还能根据试验需求,将收集到被测驱动电机系统的试验参数进行保存和自动计算,将计算结果转化为MAP图。

4 新能源汽车驱动系统评价有关的关键测试项目

4.1 高效工作区

4.1.1 测试目的

驱动电机系统效率是指驱动电机系统的以同一单位表示的输出功率与输入功率的百分比。高效工作区是指驱动电机系统分别在驱动或馈电状态下系统效率不低于80%的工作区域。

根据电机的转矩-转速特性试验的数据,分析驱动系统在不同工作状态下的效率分布,得出驱动电机及控制器系统的高效工作区以及高效工作区所占的比例,并找出最高效率点,以此判定驱

动电机的相关特性。

4.1.2 测试仪器

主要有功率分析仪、转矩转速传感器、温度记录仪、流量计、电桥等。

4.1.3 试验方法

系统效率的测量采用直接测量系统的输入功率和输出功率的直接法进行。通常采用转矩转速传感器或测功机法测量机械功率,电功率采用功率分析仪配合电流传感器测定。

在驱动电机系统转矩转速工作范围内,选择不少于10个转速点。这些转速点一般在最高转速的10%至最高工作转速的范围内均匀选取,但必须包括额定转速点、最高转速点、持续功率对应的最低工作转速点以及其他有特殊定义的转速点;然后在每个转速点上,再均匀选取10个或以上的转矩点进行试验,这些转矩点应包括额定转矩点、峰值(最大)转矩点、额定功率曲线上的点、峰值(最大)功率曲线点以及其他有特殊定义的转矩点。根据以上原则,选择不小于100个合适的转矩转速点进行试验。试验在热态以及额定电压下,驱动器工作在电动或馈电状态下进行。

4.1.4 记录数据

主要有驱动电机控制器(母线直流电压和电流)、驱动电机(电参数、机械参数)、驱动电机系统或驱动电机控制器或驱动电机效率、驱动电机绕组温度、冷却介质温度流量。

4.1.5 计算公式

驱动电机控制器效率:

$$\eta_c = \left(\frac{P_{co}}{P_{ci}} \right) \times 100\%$$

式中: P_{co} ——驱动电机控制器的输出电功率;

P_{ci} ——驱动电机控制器的输入电功率。

驱动电机效率:

$$\eta_m = \left(\frac{P_{mo}}{P_{mi}} \right) \times 100\%$$

式中: P_{mo} ——驱动电机的输出功率。驱动状态为机械功率,馈电状态下输出的为电功率;

P_{mi} ——驱动电机的输入电功率。驱动状态为电功率,馈电状态下输出的为机械功率。

驱动电机系统电动状态效率:

$$\eta_c = \left(\frac{T \times n}{9.55 \times U \times I} \right) \times 100\%$$

驱动电机系统馈电状态效率:

$$\eta_c = \left(\frac{9.55 \times U \times I}{T \times n} \right) \times 100\%$$

式中: T ——驱动电机轴端的转矩,单位为牛米($\text{N} \cdot \text{m}$);

n ——驱动电机轴端的转速,单位为转每分钟(r/min);

U ——驱动电机控制器直流母线电压平均值,单位为伏(V);

I ——驱动电机控制器直流母线电流平均值,单位为安(A)。

4.1.6 结果整理与计算

根据所测得的每个转矩-转速点的数据,整理得出每个点的驱动器的效率、电机的效率以及驱动系统的效率;按照相关标准(如 GB/T 18488.1-2015 中 5.4.9.2)对高效工作区的要求,统计符合条件的测试点数量,其值和总试验点数量的比值即为高效工作区的比例,所有测试点中效率最高值即为最高效率。

图 6 是本中心为某新能源汽车电机企业生产的额定功率/峰值功率为 15/30 kW、额定转速/峰值转速为 5 200/7 200 r/min 的永磁同步电动机驱动状态下的效率 MAP 图,图 6 中横坐标为转速 n (单位 r/min),纵坐标为转矩 T (单位 $\text{N} \cdot \text{m}$),其中效率等值线 80.00 所包围的区域为高效区(效率 $\geq 80\%$),该图反映此电机高效区占比为 75%。

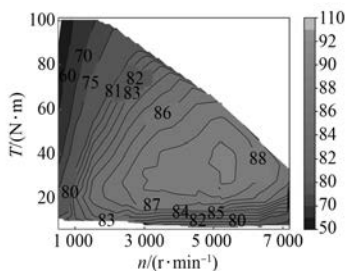


图 6 额定电压电动效率 MAP 图示例

4.2 馈电特性

4.2.1 测试目的

在驱动电机因惯性旋转或被拖动旋转时,驱动电机此时运行于发电机状态,驱动电机可通过控制器向电源馈电。

通过测取驱动电机及控制器系统在不同状态下的馈电性能,得出整个系统的馈电能力。结合高效工作区测试结果,用于测试驱动系统的省电节能性,并作为判定系统馈电能力是否合格的依据。

4.2.2 测试仪器

功率分析仪、转矩转速传感器。

4.2.3 试验方法

被试驱动电机在馈电状态下,驱动电机控制器工作于设定的直流母线电压、驱动电机在相应的工作负载和转速下进行馈电试验。

4.2.4 记录数据

驱动电机控制器(母线直流电压和电流)和驱动电机(电参数、机械参数)等。

4.2.5 计算公式

驱动电机系统馈电状态效率:

$$\eta_c = \left(\frac{9.55 \times U \times I}{T \times n} \right) \times 100\%$$

4.2.6 结果整理与计算

馈电电压范围、馈电电流大小和馈电效率应符合产品技术文件规定。

图 7 是本中心为某新能源汽车电机企业生产的额定功率/峰值功率为 15/30 kW、额定转速/峰值转速为 5 200/7 200 r/min 的永磁同步电动机馈电状态下的效率 MAP 图,图 7 中横坐标为转速 n (单位 r/min),纵坐标为转矩 T (单位 $\text{N} \cdot \text{m}$),其中效率等值线 80.00 所包围的区域为高效区(效率 $\geq 80\%$),该图反映此电机高效区占比为 78%。

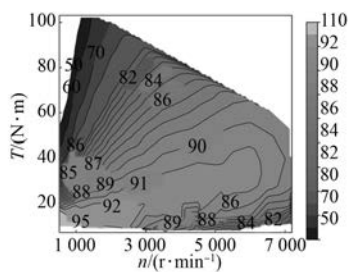


图 7 额定电压馈电效率 MAP 图示例

4.3 控制精度

4.3.1 测试目的

控制精度是指测量值与设定值的偏差占设定值的百分比,分为转速控制精度和转矩控制精度。求取驱动电机及控制器系统的控制精度,作为判定系统控制能力的依据。

4.3.2 测试仪器

功率分析仪、转矩转速传感器等。

4.3.3 试验方法

① 控制精度-转速控制精度。该试验一般在热态下进行,驱动电机为空载状态,输入侧电压为额定电压。在 10%~90% 最高工作转速范围内,均匀取 10 个不同转速点作为目标转速值。电机首先处于静止状态,通过给驱动器一个目标转速值,使其由静止自行加速直至稳定。

② 控制精度-转矩控制精度。该试验一般在热态下进行,驱动电机为电动状态,输入侧电压为额定电压。在 10%~90% 峰值扭矩范围内,均匀取 10 个不同转矩点作为目标转矩值。驱动电机首先工作在空载电动状态,此时陪试电机工作在一个预先设定的速度模式下,通过给驱动器一个目标转矩值,使其由空载自行加载直至转矩与转速都稳定。

4.3.4 记录数据

① 控制精度-转速控制精度。设定目标转速值、实际稳定转速值。

② 控制精度-转矩控制精度。设定目标转矩值、实际稳定转矩值。

4.3.5 计算公式

① 控制精度-转速控制精度:

$$\text{转速控制精度} = \frac{|n_t - n_{\text{set}}|}{n_{\text{set}}} \times 100\%$$

式中: n_t ——转速测量值,单位为转每分钟(r/min);

n_{set} ——转速测定值,单位为转每分钟(r/min)。

② 控制精度-转矩控制精度:

$$\text{转矩控制精度} = \frac{|T_t - T_{\text{set}}|}{T_{\text{set}}} \times 100\%$$

式中: T_t ——转矩测量值,单位为牛米(N·m);

T_{set} ——转矩测定值,单位为牛米(N·m)。

4.3.6 结果整理与计算

① 控制精度-转速控制精度:计算每个目标转速值与实际转速的差值或者偏差占比。取所有目标转速值中偏差最大的值作为整个系统的转速控制精度的判定依据。

② 控制精度-转矩控制精度:计算每个目标转矩值与实际转矩的差值或者偏差占比。取所有目标转矩值中偏差最大的值作为整个系统的在某

个特定转速下的转矩控制精度的判定依据。

以下表格是本中心为某新能源汽车电机企业生产的永磁同步电机驱动系统进行的转矩控制精度测试数据,从测试数据可以反映该电机在低转矩下转矩控制精度偏差较大,最大达到 7.78%,在转矩 25 N·m 以上转矩控制精度偏差较低。

表 6 转矩控制精度

序号	目标值/(N·m)	实际值/(N·m)	差值/(N·m)	偏差占比/%
1	9	8.3	-0.7	7.78
2	17	16.6	-0.4	2.35
3	25	24.8	-0.2	0.8
4	33	33.1	0.1	0.3
5	41	41.2	0.2	0.49
6	49	49.2	0.2	0.41
7	57	57.3	0.3	0.53
8	65	65.3	0.3	0.46
9	73	73.3	0.3	0.41
10	81	81.1	0.1	0.12

4.4 响应时间

4.4.1 测试目的

响应时间指驱动电机控制器从接收指令信息开始到第一次达到响应期望值所经过的时间,分为转速响应时间和转矩响应时间。

求取驱动电机及控制器的转矩与转速响应时间,作为判定系统控制能力的依据。

4.4.2 测试仪器

功率分析仪、转矩转速传感器、函数曲线记录仪等。

4.4.3 试验方法

① 响应时间-转速响应时间。该试验一般在热态下进行,驱动电机为空载状态,输入侧电压为额定电压。该试验分 5 次进行,沿驱动电机转子圆周取 5 个点作为各次试验的起始位置。各次试验开始时,电机处于静止状态,通过给驱动器一个目标转速值,使被试电机由静止状态自行加速直至转速稳定。

② 响应时间-转矩响应时间。该试验一般在热态下进行,驱动电机为堵转状态,输入侧电压为额定电压。该试验分 5 次进行,沿驱动电机转子圆周取 5 个点作为各次试验的起始位置。各次试验开始时,电机处于静止堵转状态,通过给驱动器

一个目标转矩值,使被试电机静止状态自行加载直至转矩稳定。

4. 4. 4 记录数据

① 响应时间-转速响应时间。启动圆周位置、目标转速、每个起始点的转速-时间曲线。

② 响应时间-转矩响应时间。启动圆周位置、目标转矩、每个起始点的转矩-时间曲线。

4. 4. 5 结果判定

① 响应时间-转速响应时间。分析每个起始点的转速-时间曲线,得出该点的响应时间。取 5 次试验中时间最长的点作为该目标转速下的转速时间响应时间。

② 响应时间-转矩响应时间。分析每个起始点的转矩-时间曲线,得出该点的响应时间。取 5 次试验中时间最长的点作为该目标转矩下的转矩时间响应时间。

以下表格是本中心为某新能源汽车电机企业生产的永磁同步电机驱动系统进行的转矩响应时间测试数据,从测试数据可以反映该电机在达到同一目标转速 (500 r/min)、同一目标转矩 (90 N·m),5 次不同的起始点情况下,每次的响应时间。从表 7 中可以看出,最大的响应时间为 798 ms,最小的响应时间为 689 ms。

5 结 语

电动汽车作为一种区别于依赖传统石油提供动能的普通汽车,使用电能作为其驱动能源的现

表 7 转矩控制精度

序号	转速/ (r/min)	目标转矩/ (N·m)	响应 时间/ms	最大响应 时间/ms
1	500	90	789	
2	500	90	689	
3	500	90	798	798
4	500	90	713	
5	500	90	708	

代交通工具,对解决日趋严重的资源危机与环境污染问题起到了重要作用。我国政府非常重视电动汽车的研发创新,出台了相关发展规划,提供了良好的政策环境,支持鼓励与引导电动汽车的发展。电机作为新能源汽车电驱动系统的核心部件将成为未来的研究热点。新能源汽车驱动电机的发展将是整个新能源汽车产业发展的重中之重,新能源汽车驱动电机的评价对电机行业的发展有着广泛和重要的引领意义,希望本文研究的对新能源驱动电机评价有关的测试和分析能对行业的发展和进步起到一个抛砖引玉的作用。

【参 考 文 献】

[1] 电动汽车用驱动电机系统 第 1 部分:技术条件: GB/T 18488.1—2015[S].
[2] 电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分:试验方法: GB/T 18488.2—2015[S].

收稿日期: 2018 -03 -14

(上接第 75 页)

【参 考 文 献】

[1] 唐任远.现代永磁电机理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1997.
[2] 全国稀土永磁电机协作网.积极开发和大力推广稀土永磁电机[C]//第六届全国永磁电机学术交流会,吉林,1998: 1-7.
[3] RAHMAN M A, ZHOU P. Advances in permanent magnet electrical machines: a review[C]//CICEM' 95, Hangzhou,1995: 366-373.

[4] 李声晋,陈法善.航空用稀土永磁电机的发展[C]//1994 年全国永磁电机学术交流会议论文集,北京,1994: 9-12.
[5] 田忠元,李钟明.稀土永磁电机航空航天应用现状及发展[C]//第六届全国永磁电机学术交流会,吉林,1998: 14-19.
[6] 陈俊峰. 永磁电机[M].北京:机械工业出版社,1982.

收稿日期: 2017 -11 -08