

# 电动汽车电驱动系统标准体系研究

曹冬冬, 胡建, 徐泉

(中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300)

[摘要]文章从电动汽车对电驱动系统的使用要求出发,分析了我国电动汽车电驱动系统标准体系现状,按照基础通用、产品规范和测试方法三类,对现行标准中电驱动系统耐电压特性、电安全特性和部分重要试验方法进行分析,同时文章对 ISO、IEC、日本汽车技术法规(安保基准)以及 ECE 法规等国际法规关于电驱动系统标准的现状,和制修订状态进行了介绍。根据现有标准体系,文章给出了加强对集成产品测试方法标准的研究的建议,以及根据国内和 ISO 部分标准项目同期开展的现状,提出加强 ISO 标准参与程度的建议。

关键词:电动汽车;电驱动系统;标准体系

## Research on Standard System for Electric Drive of Electric Vehicle

Cao Dongdong, Hu Jian, Xu Xiao

(China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd., Tianjin 300300)

[Abstract] Based on the requirements of electric vehicle for electric drive, this paper analyzes the current situation of electric drive standard system in China. In accordance with the basic general, product specifications and testing methods, this paper analyzes the voltage resistance characteristics, electrical safety characteristics and some important test methods of the current standard. At the same time, this paper introduces the current status and working dynamic of electric drive system in ISO, IEC, Japanese automotive technical regulations (security standards) and ECE regulations. According to the existing standard system, this paper gives some Suggestions to strengthen the research on test method standard of integrated product. And according to the current situation of the concurrent development of some domestic and ISO standard projects, Suggestions are put forward to strengthen the participation of ISO standards.

Keywords: electric vehicle, drive motor system, standard system

### 0 引言

随着电动汽车行业的快速发展,电驱动系统行业也有了巨大进步。产品技术水平持续提升、产业发展规模进一步扩大,新材料新工艺不断涌现,集成化发展趋势明显<sup>[1]</sup>。

由于电动汽车的行驶需求和工作条件的复杂性,传统电驱动系统性能已经无法满足电动汽车的使用需要,高电压、高转速、高效率的电驱动系统成为电动汽车用电驱动系统的主要特性。为保障电动汽车用电驱动系统的使用性能和安全性能,提升产品的技术水平,我国构建了较为完善的驱动电机标准体系,在促进电机产品技术改进,加速安全性提升,保障有效测试等方面起到规范和引导的作用。同时随着产品技术的不断进步,标准也需要不断完善更新。

### 1 电驱动系统结构

电动汽车电驱动系统包括动力输出的驱动电机、

电能变换的功率变换器(逆变器)以及电机控制器<sup>[2]</sup>,是电动汽车的主要驱动源,用于实现车辆各种复杂状况的驱动、加速、减速、倒车等功能。电动汽车驱动电机控制器通常由直流链路、功率电子电路和电子控制单位三部分构成<sup>[3]</sup>,如图 1 所示。

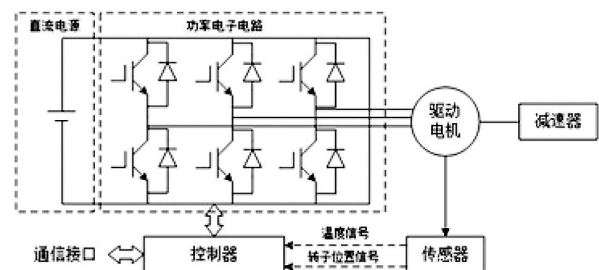


图 1 交流驱动电机驱动系统的结构

电机控制器通过接收通信接口或踏板模拟量输入以及驱动电机的转子位置传感器和冷却温度传感器的输出信号,和驾驶员操作命令和车辆状态信息,并经处理后将反馈信息传递给功率电子电路,功率电子电路

将电能传递给驱动电机,实现驱动电机正常工作,保证驱动电机的可控运行。

## 2 我国电驱动系统标准体系现状

现阶段我国已经形成较为完善的电动汽车标准体系,包括基础通用、电动车辆整车、关键系统及零部件和接口及设施四大领域<sup>[4]</sup>。电驱动系统标准体系是电动汽车标准体系的重要组成部分,属于关键系统及部件。

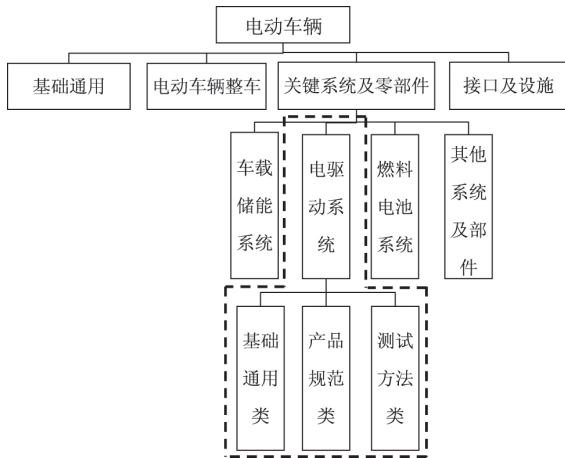


图2 电动汽车电驱动系统标准体系图

电驱动系统标准体系包含了基础通用类、产品规范类、测试方法类等三个方面标准。以上标准的实施从产品、检测、管理三个维度保证了电驱动产品的质量水平和技术深度。

### 2.1 基础通用类标准

基础通用类标准是对电驱动系统通用的技术要求、故障分类及系统接口等内容的规范,是电驱动系统的基本功能及安全性的保证。

#### 2.1.1 电驱动系统耐电压特性

现阶段,我国电动乘用车电压平台在300V-500V左右,商用车电压平台在500V-800V,电驱动系统是高压电能的直接使用系统,驱动电机绕组及功率电子电路需要耐受高压电能的冲击,而电压的瞬时变化和浪涌等现象使得功率部件的耐压要求远高于直流母线的额定电压值,表1为现阶段功率部件的耐压的主流水平。

为保证在驱动电机内部的绕组导线之间、绕组与机壳、绕组与温度传感器的短路现象发生时,电驱动系统不受损伤,使得驱动电机的耐压能力能够满足电动汽车的使用要求,国家标准规定了驱动电机和电机控制器的耐压性,分别为驱动电机绕组的匝间冲击耐电

表1 电驱动系统功率部件耐压水平

器件	耐压规格
Y2 电容	1500VAC 1min 或 2000VAC 2s/3400VDC 2s
接触器	2500VAC 或 2200VAC 60s
接插件	2500VAC
缓冲电阻	3000VAC 60s
模块	2500VAC 60s
霍尔	2500VAC 60s 2000VAC 60s

压和工频耐电压要求,如表2所示,标准中明确规定了不同部位所应耐受的交流电压的有效值或最高值的计算方法。

表2 标准对驱动电机系统的耐电压部位

耐电压分类	具体部位
电机绕组的匝间冲击耐电压	电枢绕组
	励磁绕组
	有刷直流驱动电机电枢绕组
工频耐电压	电机绕组对机壳
	电机绕组对温度传感器
	驱动电机控制器

### 2.1.2 电驱动系统电安全特性

电驱动系统长期工作于高压环境下,电安全是系统关注的重点。为防止人员触电,系统中设置了绝缘电阻,使得即使在发生短路的情况下,仍能保证人身安全。

绝缘电阻是人员与电动汽车高压电路形成回路时,系统对人体防护的最后保障,绝缘电阻值的确定是在人员安全的基础上确定的。国家标准对驱动电机和驱动电机控制器进行了绝缘电阻值的规定。

表3 标准对驱动电机系统绝缘电阻的规定

试验部位	环境状态	绝缘电阻值
定子绕组对壳体	冷态	大于 20MΩ
	热态	$R = \frac{U_{dmax}}{100 + \frac{P}{100}}$
	冷态	大于 20 MΩ
定子绕组对温度传感器	热态	$R = \frac{U_{dmax}}{100 + \frac{P}{100}}$ 且不低于 0.38Ω
驱动电机控制器绝缘电阻值	冷态及热态	不小于 1 MΩ

为保证电驱动系统直流侧与交流侧之间的负载平衡,电驱动系统中安装有支撑电容,用于实现电路的滤

波和电能的贮存,为保护人身安全,逆变器的支撑电容一般会设置放电电路,以降低直流侧电容的电压。标准中规定,当驱动电机控制器有被动放电要求时,被动放电时间应不大于5分钟,有主动放电要求时,标准中要求应在3秒内将直流侧电容的电压下降至60V。

### 2.1.3 电驱动系统故障分类及系统接口

驱动电机需要实现电子信息的通信、电气信号的输入和机械动力的输出,以上信息都需要驱动电机系统对外的交流,而接口的不一致将引起产品的互换性和兼容性问题,QC/T 896-2011《电动汽车用驱动电机系统接口》为行业提供了电气接口的通用要求、动力电气接口的连接方式、控制信号接口的连接方式等内容的参考。

2011年发布的QC/T 893-2011《电动汽车用驱动电机系统故障分类及判断》规定了驱动电机故障模式的确认原则和故障分类,通过规范性附录的形式对驱动电机系统故障模式进行了规定,包括损坏型故障模式、退化型故障模式、松脱型故障模式、失调性故障模式、堵塞与渗漏性故障模式以及性能衰退或功能失效型故障模式。随着技术的发展该标准中规定的故障种类已经无法完全覆盖行业的需求,电机控制中涉及到的通信类故障以及相应的故障诊断要求都是现阶段所需求的。

## 2.2 产品类标准

电驱动系统产品类标准是在基础通用标准基础上,对于产品的特性问题进行规定,是电驱动系统标准体系的主体。随着电驱动系统集成水平的不断加深,集成类产品已经作为单独的产品类型应用于整车上,标准的制定顺应行业的发展需求,电驱动系统产品类标准可分为单体类产品标准和集成类产品标准两大类。

### 2.2.1 单体类产品标准

电机单体种类较多,标准仅针对现阶段使用范围最为广泛以及技术方向较为明显的异步驱动电机、永磁同步驱动电机和具有充放电功能的电机控制器进行了规定。

现阶段使用最为广泛的是异步驱动电机和永磁同步驱动电机,因此专门制定了适用于以上产品的行业标准,为行业提供相应的产品要求。两项标准分别规定了异步驱动电机区别于其他驱动电机的空载电流容差和堵转电流容差等内容的要求和相应试验方法,永磁同步驱动电机的最大空载反电势限值、空载反电势容差、驱动电机系统空载损耗、永磁体老化退磁等要求和相应试验方法。

对外放电已经成为电动汽车的一项重要功能,而

使用电机控制器实现对外放电是实现放电功能的主要技术路线之一,为保障具有放电功能的电机控制器使用性能,QC/T 1088-2017《电动汽车用充放电式电机控制器技术条件》该标准除了规定控制器的一般要求外,增加了对V2G、V2L、V2V等放电模式电气性能的规定,为电动汽车放电应用的相关技术方向进行引导、规范。

### 2.2.2 集成类产品标准

集成化是电驱动重要的发展方向,电驱动系统集成化产品具有体积小、重量轻、成本少等特点,有利于整车性能的提升。针对集成类产品目前发布了QC/T 1022-2015《纯电动乘用车用减速器总成技术条件》和QC/T 1086-2017《电动汽车用增程器技术条件》两项标准。

QC/T 1022-2015规定了减速器总成的基本参数,同时对减速器的基本要求、台架试验要求以及清洁度等内容提出了指标要求,并规定了相应的试验方法;QC/T 1086-2017适用于由内燃机和发电机及控制器组成的车载式增程器,规定了增程器的外观、输出特性、响应特性、环境适应性、电气安全性、能量转换率等技术内容,其中对于系统无法统一规定的项目,如环境适应性、系统密封性等,标准中将内燃机和发电机及控制器两者分别规定,保证了标准的可操作性。

## 2.3 测试方法类标准

测试方法类标准是技术要求落地的保障,对于电驱动系统标准提供了通用要求试验方法、可靠性试验方法、电磁兼容(EMC)试验方法。

### 2.3.1 可靠性测试

驱动电机系统可靠性是产品开发中关注的重点,国家标准提供了基于试验台架的驱动电机系统可靠性试验方法。可靠性试验按照驱动电机系统所应用的车辆的类型进行区分,主要分为纯电动商用车、纯电动乘用车、混合动力汽车三大类,根据不同种类车辆的工作特点,设置相应的循环工况,按照标准规定的试验顺序,共计运行时间为402h。转矩符合循环按照图3和表4进行。

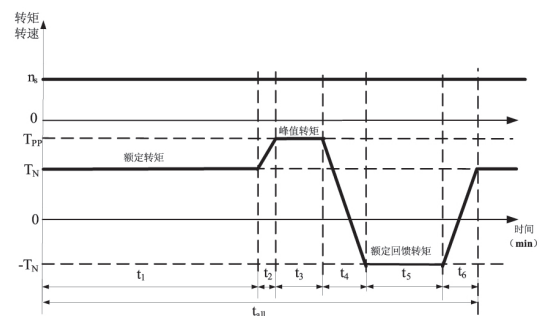


图3 电动汽车用驱动电机系统可靠性测试循环示意图

表 4 电动汽车用驱动电机系统可靠性测试循环参数表

负载转矩	运行时间 (min)		
	纯电动商用车	纯电动乘用车	混合动力汽车
持续转矩 $T_N (t_1)$	23.5	22	6.5
$T_N$ 过渡到 $T_{pp} (t_2)$	0.5	0.5	0.5
峰值转矩 $T_{pp} (t_3)$	1	0.5	0.5
$T_{pp}$ 过渡到 $T_N (t_4)$	1	1	0.5
持续回馈转矩 $T_N (t_5)$	3	5	6.5
$-T_N$ 过渡到 $T_N (t_6)$	1	1	0.5
单个循环累计时间	30	30	15

### 2.3.2 电磁兼容性测试

根据上文分析,可以发现驱动电机系统包含大量大功率电力电子装置,相对于其他车辆电气电子器件,其电磁发射更大,更容易影响车载电子设备、车外附近电子设备和其他道路车辆的正常工作而危及道路的安全性。另外,一旦驱动电机系统的控制部分受到干扰,对车辆驾驶造成影响,进而可能会危及道路的安全性。

因此对于驱动电机系统 EMC,国家标准主要从电动汽车驱动电机系统电磁辐射发射 (EMI) 和抗扰度 (EMS) 两方面进行要求,用于评价电驱动系统在模拟驱动条件下的电磁兼容性。同时标准中给出了采用双锥天线测量辐射发射试验、采用 BCI 法的发射抗扰度试验和使用频率在 1GHz 以上时使用喇叭天线的辐射抗扰度试验的布置示例。

## 3 国际标准法规动态

电动汽车用电驱动系统标准是标准化工作的研究

重点。国际上,ISO、IEC、日本汽车技术法规以及 ECE 法规对电机及电机控制器标准研究方面开展了大量工作。

### 3.1 ISO 标准

国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 重视新能源汽车标准的研究,在道路车辆标准化技术委员会 (ISO/TC22) 下成立了电动车辆分技术委员会 (ISO/TC22/SC37), 主要对电动汽车整车、动力系统和动力蓄电池包标准 (包括整车性能、安全、能耗、操纵性、电池包性能与安全、驱动系统性能与可靠性等等) 进行研究。

ISO/TC22/SC33 下设 4 个工作组, 其中 WG4 是连接到电驱动系统的系统和部件标准研究工作组, 目前 ISO 正在制定 ISO 21782《电力驱动道路车辆—电驱动部件测试规程》系列标准, 主要包括通用要求、驱动电机系统、电机及逆变器、DC/DC 转换器性能测试和负载测试等内容。

### 3.2 IEC 标准

国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 是早期开展电驱系统标准制定的组织之一。

IEC/TC 69 是该机构的电动道路车辆和电动工业车辆技术委员会, 主要开展电动车辆基础设施相关的标准研究工作。IEC 针对电动汽车用电力驱动系统进行了大量工作, 制定了 IEC 60349《电力驱动 轨道和道路车辆用旋转电机》系列标准, 规定了道路车辆使用的除电子变流器供电的交流电动机之外的交流电机、电力变流器供电的交流电动机、用损耗总和法来确定变流器供电的交流电动机的总损耗、电子变流器永磁同步

表 5 ISO 标准最新动态

序号	标准编号	标准名称	阶段
1	ISO 21782.1	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 1: General	DIS
2	ISO 21782.2	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 2: Performance testing of motor system	DIS
3	ISO 21782.3	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 3: Performance testing of motor and inverter	DIS
4	ISO 21782.4	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 4: Performance testing of DC/DC converter	AWI
5	ISO 21782.5	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 5: Operating load testing of motor system	AWI
6	ISO 21782.6	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 6: Operating load testing of motor and inverter	DIS
7	ISO 21782.7	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for electric propulsion components -- Part 7: Operating load testing of DC/DC converter	AWI

电动机四部分的试验方法。

### 3.3 日本汽车技术法规

日本国土交通省 (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT) 是日本中央省厅之一,由其负责制定了日本汽车技术法规(安保基准)是日本汽车行业所必须遵守的法律法规。

日本汽车技术法规(安保基准)14-5-1 及 14-5-1-commentary 《电动汽车驱动电机额定输出功率试验规程》和 14-5-2 及 14-5-2-commentary《电动汽车驱动电机最大输出功率试验规程》两项法规,分别规定了电动汽车电机在控制器相连接条件下额定输出功率及最大输出功率的测试方法。

### 3.4 ECE 法规

联合国欧洲经济委员会 (Economic Commission of Europe, ECE) 汽车法规由联合国世界车辆法规协调论坛(WP.29)负责起草,制定了多项规范电动汽车国际法规。

其中 ECE R85 Rev1-Amendment5《用于驱动 M 类和 N 类机动车辆的内燃机净功率和电驱动系统最大 30min 功率测量方法的统一规定》该法规修订案是在原 ECE R85 基础上进行了补充,增加了对电力驱动系的要求,同时在测试净功率的基础上增加了对三十分最大功率的测试。

## 4 结束语

电驱动标准体系是电动汽车标准体系中重要的组成部分,从电动汽车的使用角度出发对于电驱动系统的安全性、技术要求、测试方法等方面做出引导和规范,从标准层面引领电驱动系统整体水平的不断提升。

本文对我国电动汽车电驱动系统标准体系进行详

细解读,从基础通用、产品规范和测试方法三类标准出发,对现行标准中电驱动系统耐电压特性、电安全特性和部分重要试验方法的关键内容进行标准分析。

从目前的标准体系可以发现,现阶段电驱动系统相关标准多是以单个部件为考核对象,随着电驱动系统集成化水平的不断提升,集成类产品将逐渐成为市场主流,对于集成产品的测试标准目前仍不够成熟,因此有必要加强对集成产品测试方法的标准化研究。

本文同时介绍了 ISO、IEC、日本汽车技术法规(安保基准)以及 ECE 法规等,不同国家以及国际标准法规制定组织的电驱动系统标准法规制修订动态。其中 ISO/TC22/SC33 下的 WG4 连接到电驱动系统的系统和部件标准研究工作组现阶段正在制定多项国际标准,而电动汽车用 DC/DC 变换器、电驱动系统可靠性试验方法等国家标准目前也在同期制修订过程中,在学习借鉴国际先进经验的同时,也可以以此为契机加深我国对 ISO 标准的参与力度,提升我国对于国际标准的影响程度。

#### 参考文献

- [1] 贡俊,张舟云.车用驱动电机产业发展动态[M]//中国汽车技术研究中心,日产(中国)投资有限公司,东风汽车有限公司.中国新能源汽车产业发展报告.北京:社会科学文献出版社,2018.
- [2] 王志福,张承宁.电动汽车电驱动理论与设计[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [3] 程夕明,张承宁.新能源汽车功率电子基础[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [4] 刘桂彬,徐泉,曹冬冬.中国电动汽车标准化工作进展[M]//中国汽车技术研究中心,日产(中国)投资有限公司,东风汽车有限公司.中国新能源汽车产业发展报告.北京:社会科学文献出版社,2018.

## 声明

为适应我国信息化建设,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,本刊已被《中国学术期刊网络出版总库》及 CNKI 系列数据库收录,免费提供作者文章引用统计分析资料。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理。

作者观点与本刊无关。

作者向本刊投稿并录用视为作者稿件著作权的转移。

版权所有,未经书面许可,不得全部或部分翻印、转载。

“中国汽车技术研究中心”已更名为“中国汽车技术研究中心有限公司”,期刊主管主办单位名称变更申请正在审批中。