

T/CSAE ××-XXXX

ICS  
T

# 团 体 标 准

T/CSAE ××-XXXX

## 轮毂电动轮可靠性试验规范

Liability Test Standard of Electric Wheel

XXXX-××-×× 发布

XXXX-××-×× 实施

中国汽车工程学会 发布

## 目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 试验条件.....	1
4.1 一般要求.....	1
4.2 基本参数.....	2
4.3 试验电源.....	2
4.4 冷却条件.....	2
5 可靠性试验规范.....	2
5.1 循环工况试验.....	2
5.2 耐振动试验.....	3
5.3 侧向力冲击试验.....	3
5.4 车轮动态弯曲疲劳试验.....	4
5.5 车轮动态径向疲劳试验.....	4
5.6 盐雾试验.....	4
5.7 泥水喷溅试验.....	4
5.8 防护等级.....	4
5.6 试验安排.....	4
6 工况试验过程的检查及维护.....	4
6.1 定期检查.....	4
6.2 故障及停机的处理.....	5
7 工况试验数据记录及数据处理.....	5
7.1 数据记录.....	5
7.2 数据处理.....	5
8 可靠性评定方法.....	5
8.1 可靠性试验评估.....	5
8.2 循环工况试验后复测.....	5
8.3 可靠性试验小结.....	6
附录 A（规范性附录）.....	7

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利，标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会提出。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

本标准为首次制定。



# 轮毂电动轮可靠性试验规范

## 1 范围

本标准规定了轮毂电动轮及轮毂电机系统在电动轮台架、轮毂电机台架上进行可靠性试验的方法和评价方法。

本标准适用于轮毂电动轮和轮毂电机系统。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

GB 755 旋转电机 定额和性能

GB 7258-2017 机动车运行安全技术条件

GB/T 2900.25 电工术语 旋转电机

GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术

GB/T 5334 乘用车车轮性能要求和试验方法

GB/T 15704 道路车辆 轻合金车轮 冲击试验方法

GB/T 18488.1 -2105 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 19596 电动汽车术语

GB/T 21670 乘用车制动系统技术要求及试验方法

QC/T 893-2011 电动汽车用车驱动电机系统故障分类及判断

QC/T 1069-2017 电动汽车用永磁同步驱动电机系统

ISO 19453.3 Road vehicles -Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment for drive system of electric propulsion vehicles – Part 3: mechanical loads

## 3 术语和定义

GB/T2900.13、GB/T19596、GB/T18488.1、GB/T18488.2、GB/T 28046.3、GB/T 29307、QC/T893、QC/T 1069 以及 TB 团体标准确立的术语和定义适用于本标准。

## 4 试验条件

### 4.1 一般要求

轮毂电动轮和轮毂电机的可靠性试验条件应满足 GB/T18488.2、轮毂电动轮技术条件和试验方法的要求。

## 4.2 基本参数

用于可靠性测试的应是完整的被试轮毂电动轮总成 7 套，样件符合制造厂技术条件的规定。

## 4.3 试验电源

试验电源由动力直流电源提供，或者由动力直流电源和其它储能（耗能）设备联合提供，电压精度满足 $\leq\pm 1\%$ 工作直流电压。

## 4.4 冷却条件

可靠性试验过程中尽量模拟随车速变化的实际车况冷却条件。对于液冷的电机或控制器，应采用制造厂商规定的冷却条件及介质。

# 5 可靠性试验规范

## 5.1 循环工况试验

在技术要求规定的环境及冷却条件下进行，轮毂电动轮/轮毂电机需带完整的动密封功能（可不带制动器），按照以下推荐工况进行循环工况试验，循环 760 次。

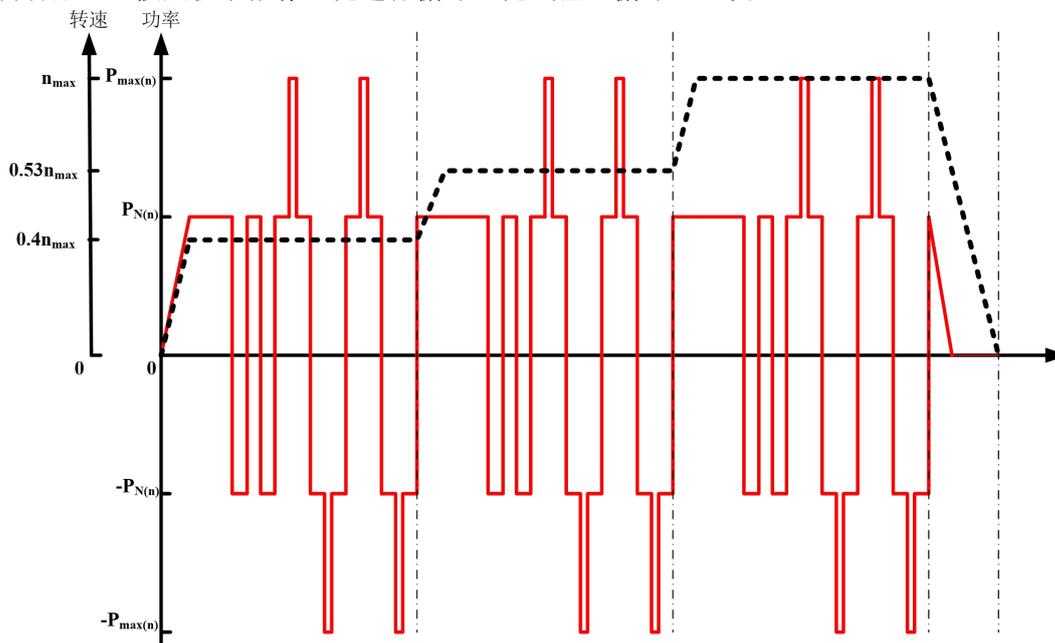


图 1 可靠性工况试验示意图（需要通过实车试验调整）

图中，分四段工况，前三段转速分别为 $n_1$ ， $n_2$ 与 $n_{max}$ ，最后一段为自然降速工况。（注： $n_1$ ， $n_2$ 与 $n_{max}$ 为分别对应60km/h，80km/h和最高巡航车速的电机转速）

前三段工况中，分别依次有以下几个工况：

表 1 可靠性工况试验前三段工况说明（参数需要通过实车试验调整）

工况	工况	运行时间	备注
----	----	------	----

序号			
1	转速从初始转速上升至目标转速	不短于0.5min	电机功率持续上升或线性过渡至目标转速所规定的额定功率；
2	额定电动工况	2min	
3	额定发电工况	2min	
4	额定电动工况	2min	
5	额定发电工况	2min	
6	额定电动工况	2min	
7	峰值电动工况	T1	技术文件中规定的峰值运行时间，建议不短于5s
8	额定电动工况	2min	
9	额定发电工况	2min	
10	峰值发电工况	T1	
11	额定发电工况	2min	
12	额定电动工况	2min	
13	峰值电动工况	T1	
14	额定电动工况	2min	
15	额定发电工况	2min	
16	峰值发电工况	T1	
17	额定发电工况	2min	

要求额定电动工况到额定发电工况的相互切换时间需短于100ms，计入后续运行工况的时间；额定工况到峰值工况的相互切换时间需短于100ms，计入后续运行工况的运行时间。

第四个工况的降速阶段，测功机将转速逐渐下降至零转速，时间持续5min，电机系统功率下降至零功率的时间不长于100ms。

整个循环工况的运行时间不短于79.5min。

试验前后测试轮毂电动轮的外特性，输出能力下降应<5%；复测其防护等级，必须仍然满足防护等级要求。

试验过程中的动密封件替换次数由制造商与客户双方协定。动密封件替换时需在完成一定数量的循环结束后进行，不可在循环工况进行时暂停，替换完成后从暂停的工作点继续试验。

试验过程中制动器是否工作以及工作的机制由制造商与客户双方协定。

## 5.2 耐振动试验

若无特殊规定，轮毂电动轮总成应能在环境温度  $85 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 90%~95%的条件下，XYZ 三个方向均应满足 ISO 19453.3 中非弹性体的耐振动要求。

试验准备：确保电动轮输出端直接受到振动加速度，高低压线束、水管等应模拟整车实际情况进行振动试验。

试验过程中，轮毂电动轮以空载额定转速状态进行测试，试验不得出现高低压线束磨损、水管断裂、过温保护、绝缘损坏、螺钉松脱、结构件损坏、异响、卡死等任何形式的故障。

## 5.3 侧向力冲击试验

轮毂电动轮总成应满足 GB/T 15704 的耐冲击要求。

#### 5.4 车轮动态弯曲疲劳试验

轮毂电动轮应在非带电状态下和车轮一起进行车轮动态弯曲疲劳试验，其操作方法参考 GB/T 5334。

#### 5.5 车轮动态径向疲劳试验

轮毂电动轮应在非带电状态下和车轮一起进行车轮动态径向疲劳试验，其操作方法参考 GB/T 5334。

#### 5.6 盐雾试验

轮毂电动轮应符合 GB/T 28046.4-2011 的 5.5 的耐盐雾腐蚀、渗漏和功能试验要求。

#### 5.7 泥水喷溅试验

轮毂电动轮应满足 JB/T 10238 的耐泥水喷溅要求。

#### 5.8 防护等级

电动轮总成应符合 IP67 的要求，在完成浸水试验后，立即复测电机的绝缘电阻、耐压以及外特性。

绝缘电阻的下降以及耐压测试漏电流的增加应不能影响轮毂电动轮的正常运行。外特性不允许有下降。若有进水情况也不能导致轮毂电动轮包括轴承异响、电机及减速器（若有）卡滞等任何形式故障。

#### 5.6 试验安排

每台轮毂电动轮的试验安排如下：

第一台：泥水喷溅试验；

第二台：先进行耐振动试验，再进行侧向力冲击试验。

第三台：轮毂电动轮和车轮一起进行动态弯曲疲劳试验。

第四台：轮毂电动轮和车轮一起进行动态径向疲劳试验。

第五、六、七台：该三台电机均要依次完成以下试验：防护等级试验，盐雾试验，循环工况试验，最后再进行防护等级与外特性复测。

### 6 工况试验过程的检查及维护

#### 6.1 定期检查

试验过程中需要定期停机检查试验设备，并检查紧固件、机械连接件及管路，检查连接电缆及接口等。

## 6.2 故障及停机的处理

试验过程中应记录每次停机的原因及操作内容。  
当出现故障时，应进行故障分析，排除故障，并记录。

## 7 工况试验数据记录及数据处理

### 7.1 数据记录

试验过程中需记录被测试轮毂电动轮或轮毂电机输出的转矩和转速、母线电压、电流、电机温度、控制器温度、冷却液温度、关键试验数据等。

### 7.2 数据处理

电机和逆变器根据《QC/T 893-2011 电动汽车用车驱动电机系统故障分类及判断》进行记录及数据分析。制动器的故障也应一并记录及分析。

## 8 可靠性评定方法

### 8.1 可靠性试验评估

可靠性试验故障用平均首次故障时间、故障停车次数及故障平均间隔时间来评定。  
平均首次故障时间MTTFF

$$\widehat{MTTFF} = \frac{T'}{n'} \quad (1)$$

$$T' = \sum_{j=1}^{n'} T_j' + (n - n')T_e \quad (2)$$

其中： $\widehat{MTTFF}$ ——平均首次故障时间点估计值(h)； $n'$ ——发生首次故障驱动电机系统的数量； $T'$ ——无故障工作总时间(h)； $T_j'$ ——第j个电机系统首次故障时间(h)，不计轻微故障； $n$ ——试验的系统总数； $T_e$ ——定时截尾时间。

故障平均间隔时间 (MTBF)

$$\widehat{MTBF} = \frac{T}{r} \quad (3)$$

$$T = \sum_{j=1}^k T_j + (n - k)T_e \quad (4)$$

其中： $\widehat{MTBF}$ ——故障平均间隔时间的点估计值(h)； $r$ ——T时间内发生的故障总数，不含轻微故障； $k$ ——中止试验系统数； $T$ ——工作总时间(h)； $T_j$ ——第j个电机系统中止试验时间(h)，不计轻微故障。

单侧区间估计下限值按下式计算

$$(\widehat{MTBF})_L = \frac{2T}{\chi^2[2(r+1), \alpha]} \quad (5)$$

其中： $(\widehat{MTBF})_L$ ——故障平均间隔时间置信下限值(h)； $\chi^2[2(r+1), \alpha]$ ——自由度为 $2(r+1)$ ，置信水平为 $\alpha$ 的 $\chi^2$ 分布值；建议 $\alpha$ 为0.1；

### 8.2 循环工况试验后复测

试验后需要进行被测轮毂电机系统的复测，比较试验前后的电机外特性、温升等性能曲线及参数，其性能参数应满足GB/T18488.1和相关产品技术文件的要求。

### 8.3 可靠性试验小结

试验结论应包括几个方面：

- (1) 泥水喷溅试验结论；
- (2) 耐振动+侧向力冲击试验结论；
- (3) 动态弯曲疲劳试验结论；
- (4) 动态径向疲劳试验结论；
- (5) 防护等级+盐雾试验结论；
- (6) 循环工况试验结论：
  - A. 描述故障的模式、类型、数量。
  - B. 描述平均首次故障时间及故障平均间隔时间。
  - C. 必要时，根据工况试验结果，提出改进和补充试验的建议。

## 附录 A（规范性附录）

表 A1 检查记录表

顺序号	时间	母线电压	母线电流	转矩	转速	气压	环境温度	冷却介质温度*	冷却介质流量*	电机温度**	控制器温度**	轴承温度**	绝缘性能	其他
1														
2														
3														

\*——需要记录具体冷却介质，在自然冷却条件下，如果外加风机吹拂，则记录吹拂风量。

\*\*——需要记录相应的测量部位。

表 A2 故障记录表

顺序号	故障时间	循环序号	故障等级	故障类型	故障模式	故障描述	故障原因	排除措施	维修时间	维修费用
1										
2										
3										

表 A3 维护记录表

序号	时间	循环序号	维护内容	维护原因	维护耗时
1					
2					
3					