

推荐性国家标准

《电动汽车用驱动电机系统可靠性
试验方法》

（征求意见稿）

编制说明

标准起草项目组

2021年08月

目 次

一、 工作简况.....	1
二、 国家标准编制原则和确定国家标准主要内容依据	1
三、 主要试验（或验证）情况分析.....	2
四、 标准中涉及专利的情况.....	7
五、 预期达到的社会效益等情况.....	8
六、 采用国际标准和国外先进标准的情况.....	8
七、 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性.....	8
八、 重大分歧意见的处理经过和依据.....	8
九、 标准性质的建议说明.....	8
十、 贯彻标准的要求和措施建议.....	8
十一、 废止现行相关标准的建议.....	8
十二、 其他应予说明的事项.....	8

《电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法》

（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

1. 任务来源

驱动电机系统的可靠性是电动汽车产品开发中关注的重点，直接影响用户驾乘体验。在驱动电机系统研发、定型阶段，通过合理的台架可靠性试验，可以充分暴露产品各方面的缺陷，为产品的设计改进提供依据，从而提高产品的可靠性。随着电动汽车行业的飞速发展，制造商、设计师及用户对驱动电机系统应用的理解更加深入，对驱动电机系统的可靠性也提出了更具体的要求。为适应我国未来一段时期驱动电机系统产品技术趋势及其可靠性发展需求，对 GB/T 29307-2012 进行修订。

本标准的修订计划由国家标准化委员会下达，项目计划编号：20202469-T-339，项目名称为《电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法》。

2. 主要工作过程

《电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法》标准修订工作于 2019 年正式启动，由中国第一汽车股份有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司联合牵头，在对国内外主流驱动电机系统可靠性试验标准、发动机可靠性试验标准等相关信息进行了充分的调研后，本标准修订是在“电动汽车用驱动电机系统标准研究工作组”（下称工作组）内进行，为更好的完成编写工作，在工作组内组织成立了标准起草组，起草组由国内外主要整车生产企业、零部件生产企业、检测机构等近 20 家单位组成。

2019 年 4 月，起草组完成了初版标准修订草案，并在合肥的工作组会议上进行了分享，之后组织召开了多次起草组会议和技术交流并在工作组内部开展了多轮意见征集与讨论，于 2021 年 8 月形成了标准征求意见稿。主要技术会议及研究活动情况如下：

a) 2019 年 4 月，在合肥召开的 2019 年第一次标准工作组会议上，起草组介绍了原标准 400h 试验工况时间的计算过程，提出了工况存在运行过温、考核不全面等问题，针对机械应力、电应力、热应力分别提出了转速升降循环、转矩升降循环、转矩负荷循环试验，并对初版修订草案进行了详细介绍，与会专家分别就术语、试验条件、试验工况、可操作性等展开了充分的讨论，会议确定了标准修订框架。

b) 2019 年 9 月，在天津召开了起草组会议，各单位专家对第一次会议提出的问题分别提出了解决建议，同时提出并重点讨论了本标准对高度集成式驱动电机系统的适用性、以及

可靠性试验后是否定义拆解等问题,会后起草单位对各工作组成员提出的建议进行了整理,形成第二版修订草案。

c) 2019年11月,在西安召开了2019年第二次标准工作组会议:主要就术语中峰值功率的持续时间、峰值功率前置条件、驱动电机系统持续特性曲线的转折点与峰值特性曲线的转折点的区别定义、最高工作转速定义与18488.1的协调性、试验冷却条件、试验工况等展开了详细的讨论,形成初步结论和第三版修订草案;会上专家对试验工况循环次数计算的输入数据提出了异议,认为某一家企业产品的工况作为输入无法覆盖大多数企业产品的情况,对此会上未得出结论,建议各单位整理数据及解决建议,会后进行汇总。

d) 2020年3月,受疫情影响,以网络会议形式召开了标准起草组会议,二十余位专家参与此次会议。会上再一次就标准是否包含多合一集成式驱动电机系统进行了充分讨论,并达成一致意见:标准适用于多合一系统产品。会议对下一步工作进行了部署:由各参会单位评估目前标准工况对多合一产品的适用性,并于2020年5月给出反馈意见;由起草单位完成标准中工况构建及循环次数定义的详细说明。

e) 2020年5月和9月分别以网络会议形式召开了工作组会议和起草组会议,重点对之前未解决的问题进行了修订汇报和总结,同时起草单位对试验循环次数计算进行了详细的介绍,前期问题基本达成统一意见;与会专家提出了一些新问题,如性能初试和复试应保留哪些必要的检测项目,试验如何选择考核等级以及可靠性评价指标等问题,会后起草单位对这些问题进行了细化更改,形成较为完善的修订草案。

f) 2020年10月,在无锡召开标准工作组会议:与会专家建议试验项目合并为两项或者一项以减少试验成本,会后起草单位对草案进行了进一步优化,将转矩负荷循环与转矩升降循环进行了技术合并,同时保证电、热应力的综合考核。

g) 2021年4月,在天津召开起草组会议,起草单位对合并后的试验方法进行了介绍。参会企业提出辅助驱动电机的标准适应性问题,由于各家辅驱电机控制策略无法统一,因此建议标准只作为辅驱电机可靠性验证参考。

h) 2021年6月,在银川召开了标准工作组会议:与会专家讨论并更正了草案部分语言描述:转速升降循环试验建议改为带载进行,以保证花键或齿轮的啮合状态;附录的试验考核等级推荐按一定设计寿命范围进行划分。

i) 2021年8月,以网络会议形式召开了标准起草组会议,会议要求各企业按起草单位的计算方法和各家用户数据分别计算试验循环次数,并进行汇总,以提高标准的通用性。会后起草单位对反馈意见进行了整理,形成征求意见稿。

二、国家标准编制原则和确定国家标准主要内容的依据

1. 编制原则

a) 通用性原则:标准要考虑产品多样性,既适用于分体式驱动电机系统,也要适用于

集成式驱动电机系统, 同时为极特殊构型产品提供试验方法上的参考。

b) 先进性原则: 标准适应当前及未来一段时期, 驱动电机系统的技术发展趋势及生产应用情况, 具有一定的科学先进性, 对企业研发生产起到规范引导作用。

c) 适应性原则: 标准应考虑行业驱动电机系统的生产和应用的平均水平, 行业测试设备的平均发展水平, 确保标准提出的试验考核等级与各企业经济、技术发展水平以及相关方的承受能力相适应。

d) 协调性原则: 标准与GB/T 18488等相关标准协调统一。

2. 主要内容及论据

本标准通过对驱动电机系统的主要失效模式、国内外主流可靠性试验标准以及发动机可靠性试验方法等进行了充分的调研后, 参考ISO-21782系列标准, 并基于用户实际运行数据, 针对驱动电机系统运行过程中受到的机械应力、电应力、热应力分别设计了可靠性验证工况, 主要解决原标准试验工况运行过温、考核不全面等问题。

2.1 术语定义

考虑到驱动电机系统高度集成化的技术发展趋势, 术语定义中增加了“分体式驱动电机系统”、“集成式驱动电机系统”的定义, 同时为了方便读者理解以及后文试验工况的准确描述, 定义了“额定转速”、“转折转速”、“最高工作转速”、“持续功率”、“持续转矩”。

2.2 试验条件

试验条件与GB/T 18488.2-2015相协调, 因此对原标准试验条件的描述进行了精简, 与GB/T 18488.2-2015一致的内容直接进行了具体章节的引用, 包含环境、试验电源、布线、冷却条件等要求。

2.3 试验程序

试验程序规定了试验前的准备工作, 性能初试以及性能复试的具体检测项目。针对集成式驱动电机系统, 参考GB/T 1022-2015中减速器疲劳寿命试验, 试验前准备工作增加了被测装置是集成式驱动电机系统时, 对传动装置的磨合要求。另外, 起草组一致认为: 性能初试及复试直接对试验项目较多的GB/T 18488进行引用, 缺乏指向性。因此明确了性能初试及性能复试的必要检测项目: 绝缘电阻测试、峰值转矩测试。

2.4 可靠性试验

为了标准考核更科学全面, 基于用户数据提取的驱动电机系统实际运行工况重新设计了可靠性试验工况, 包含转速升降循环和转矩负荷循环两个试验, 并根据不同的设计寿命等级进行了考核等级划分。试验循环次数的最终确定综合了起草组各单位的用户数据计算结果, 具有代表性。

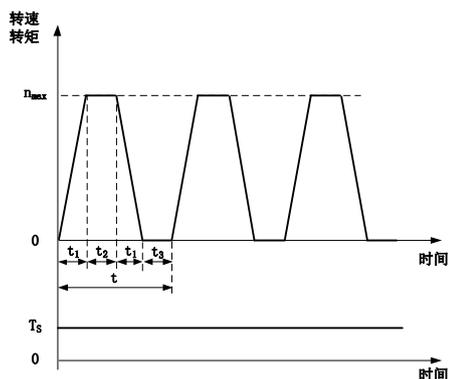


图1 转速升降循环

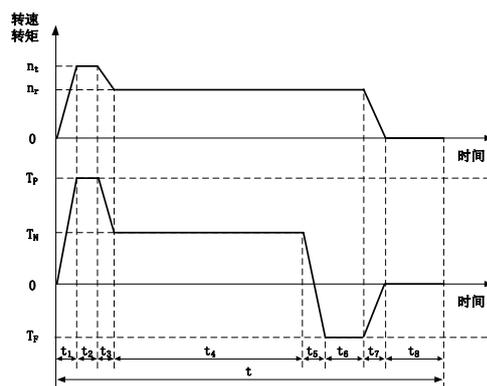


图2 转矩负荷循环

以转速升降循环为例，确定试验循环次数总体工作思路如下：

a) 一般电动汽车的驱动电机系统转速与车速成正比，因此起草组各单位对多个用户的车速历程数据进行循环计数处理，对于每个用户得到不同变程的车速循环片段若干。

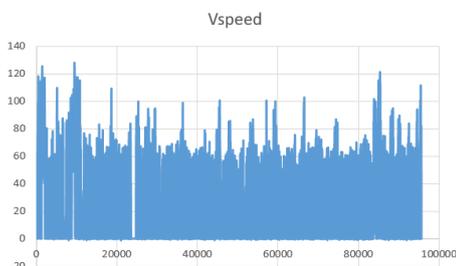


图3 某用户车速历程数据

某用户车速变程km/h	片段次数
(0, 10]	N1
(10, 20]	N2
(20, 30]	N3
(30, 40]	N4
(40, 50]	N5
.....

图4 循环计数处理数据

b) 按系统薄弱环节的损伤模型对不同变程的车速循环片段次数进行加速折算，折算目标为0~最高车速~0的次数，折算模型为：

$$A=(\Delta N_i/\Delta N_{max})^k$$

其中A为加速因数， ΔN_i 为不同的车速变程， ΔN_{max} 为最大车速变程，k取经验值11。

c) 根据行驶里程计算不同用户平均每公里出现的0~最高车速~0的次数，选取可覆盖90%用户强度的单位里程循环次数作为计算输入，计算不同可靠性寿命里程（30万、60万、120万）下的目标工况循环次数。

平均每公里出现目标工况次数	
用户1	0.2342
用户2	0.0078
用户3	0.0143
用户4	0.0541
.....

图5 不同用户每公里目标工况出现次数

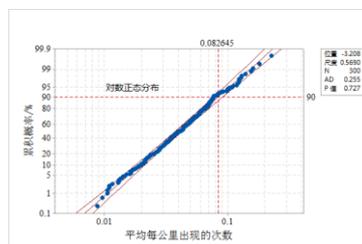


图6 90分位工况数据选取

表1 目标工况循环次数

可靠性寿命里程 (km)	0~Nmax~0总循环次数 (90分位)
30万	24793
60万	49587
120万	99174

d) 按28046.1-2011附录B式B.2的方法，基于Weibull分布，估计置信度50%，可靠度90%，试验样本数量 $n=1$ ，Weibull因子 $\beta=10$ （因产品而异）的情况下，各个寿命里程（30万公里、60万公里、120万公里）下的试验总循环次数。

表2 试验工况循环次数

可靠性寿命里程 (km)	0~N _{max} ~0总循环次数	等级
100万以上等级	120000	A
60万等级	60000	B
30万等级	30000	C

e) 转矩负荷循环中的峰值转矩冲击次数的计算过程与之类似，在满足峰值转矩冲击次数的基础上，增加了持续功率工况，保证热考核的时间与原标准中的热考核时间相当。

由于驱动电机系统技术发展较快，产品构型方案、整车应用情况复杂多样，因此，以上计算方法、加速模型和过程参数的选取不能覆盖所有驱动电机系统产品的使用情况，起草单位在标准修订过程中，组织各起草组各单位根据各自产品特点按以上思路框架进行了相应的计算，最后综合了各家的平均水平，对计算过程和结果进行了一定的修正，计算结果相对合理，满足标准设置质量门槛，提高行业产品整体质量水平的宗旨。

2.5 检查及维护

标准规定了可靠性试验过程中，检查及维护的一般要求，随时的检查，每1h及每24h的检查要求以及故障停机后的处理方法。当被测装置是集成式驱动电机系统时，应增加对减速器的油温监控，保证其不超过最高许用温度。

2.6 可靠性试验评定

本部分保留了通用的可靠性评定方法，如MTTF的计算方法，另外根据产品测试经验及对国内外相关标准内容的研究，可靠性评定章节增加了性能初试及性能复试的具体评价指标：驱动电机系统在转折转速及最高工作转速的峰值转矩衰减不大于5%。

3. 标准修订主要变化

与GB/T 29307—2012版标准相比，新版标准除编辑性修改外主要技术变化如下：

- a) 修改了范围，增加了参考执行的特殊机型的规定（见第1章，2012版的第1章）；
- b) 修改了持续转矩、最高工作转速的术语定义，删除了峰值功率的术语定义，增加了分体式驱动电机系统、集成式驱动电机系统、额定转速、转折转速、持续功率的术语定义（见第3章，2012版的第3章）；
- c) 增加了被测驱动电机系统包含减速器时试验前的磨合要求（见5.1.3）；
- d) 修改了性能初试及性能复试的测试项目（见5.2, 2012版的5.2）；
- e) 修改了可靠性试验规范，试验项目由转矩负荷循环一项修改为转速升降循环和转矩负荷循环两项可靠性试验（见第6章，2012版的第6章）；

- f) 增加了可靠性评定中性能初试及性能复试的具体评价指标 (见9.2、9.3) ;
- g) 删除了附录A的可靠性试验记录表格, 增加了可靠性试验循环次数的推荐原则 (见附录A, 2012版的附录A) 。

三、 主要试验 (或验证) 情况分析

为保证标准提出的试验工况具有合理性、可操作性, 对多合一驱动电机系统具有适用性, 起草组各单位开展了大量验证工作。

1. 试验循环次数摸底验证

选取某款驱动电机系统样机 A, 按标准 6.2 的规定进行试验, 试验现场如图 7 所示, 实际运行曲线如图 8 所示, 试验过程中未出现因被测体失效导致的停机故障, 试验循环次数达到 3 万、6 万、12 万次后分别对样机进行性能复测和拆机检查, 性能复测结果均满足标准 9.2 和 9.3 的要求, 拆机未发现被测体机械结构异常损坏, 见图 9。试验过程发现, 过快的升降斜率会对测试设备造成一定影响, 因此标准对转速变化率进行了修正。

选取同款驱动电机系统样机 B, 按标准 6.2 的规定进行无限循环次数试验, 在试验次数达到 15 万次左右时, 被测体运行出现明显异响, 拆解发现转子冲片局部出现磨损变黑, 分析为转子疲劳导致的转子爆破, 见图 10。

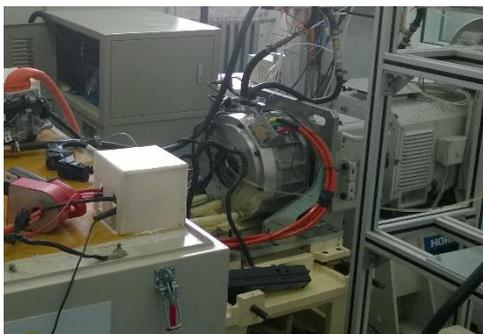


图 7 转速升降循环试验现场

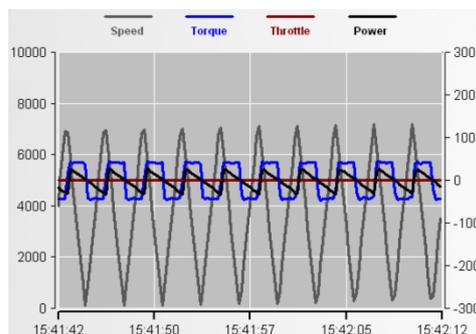


图 8 试验实际运行曲线

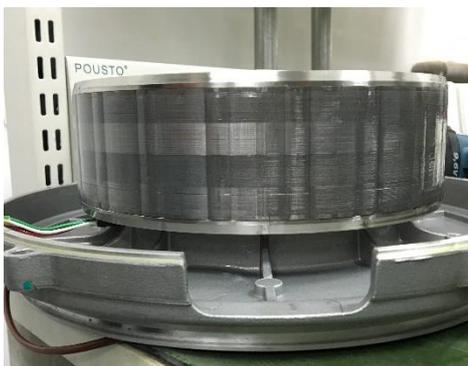


图 9 样机 A 拆解分析

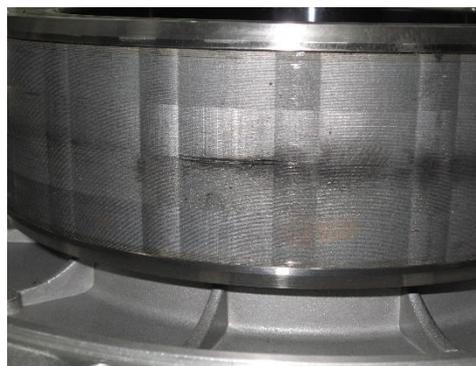


图 10 样机 B 拆解分析

选取某款集成式驱动电机系统 (含减速器), 按标准 6.2 的规定进行试验, 试验现场如图 11 所示, 实际运行工况曲线如图 12 所示, 试验过程中未出现因被测体失效导致的停机故障, 试验循环次数达到 3 万、6 万、12 万次后分别对样机进行性能复测和拆机检查, 性能复

测结果均满足标准 9.2 和 9.3 的要求，拆机未发现驱动电机系统和减速器机械结构异常损坏。



图 11 多合一转速升降循环验证

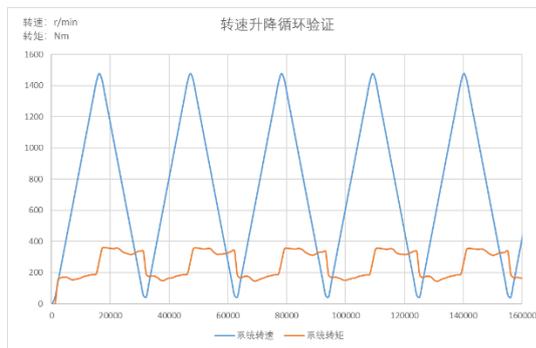


图 12 实际运行工况曲线

2. 转矩负荷循环验证

减速器齿轮、轴承等零部件在转矩负荷循环的考核下，容易出现失效，为了达到驱动电机系统的考核目的，同时不造成减速器的提前失效，标准修订过程中，起草组重点对多合一驱动电机系统进行了验证。选取两款集成式驱动电机系统（含减速器）样机 C、样机 D，按标准 6.3 的规定进行试验，见图 13、图 14；实际运行曲线见图 15、图 16。



图 13 样机 C 转矩负荷验证

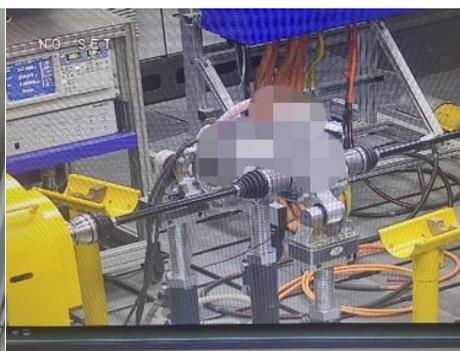


图 14 样机 D 转矩负荷验证

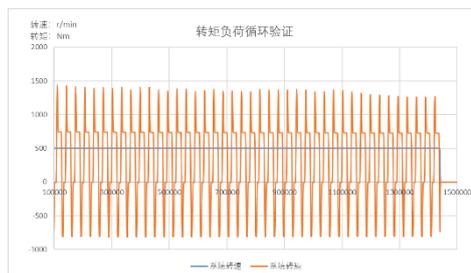


图 15 实际运行工况曲线 1

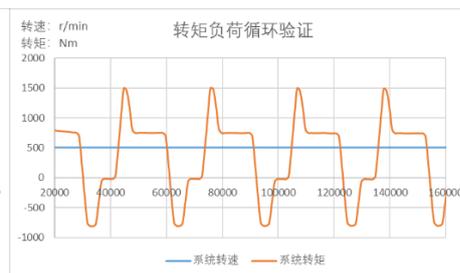


图 16 实际运行工况曲线 2

试验过程中未出现因被测体失效导致的停机故障，试验循环次数达到 5 万、10 万、20 万次后分别对样机进行性能复测和拆机检查，性能复测结果均满足标准 9.2 和 9.3 的要求，拆机未发现被测体（包括减速器）机械结构异常损坏。

3. 验证结论

标准提出的试验工况具有合理性、可操作性，并且同样适用于多合一驱动电机系统。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利。

五、预期达到的社会效益等情况

本标准的修订和实施有利于提高国家电动汽车行业电驱产品的总体质量水平，规范和引导企业的生产研发工作，为我国电动汽车行业的快速发展提供标准支撑。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准的部分试验工况设计借鉴了 ISO 21782 的内容；技术指标方面，区别于 ISO 21782，采用了大量用户数据作为工况输入，因此，试验的严苛程度更为合理。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准在电动汽车标准体系中属于关键系统及零部件分类下的电驱动系统标准，属于测试方法类标准，与 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》等相关标准协调一致。

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准没有冲突或矛盾。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无

九、标准性质的建议说明

本标准推荐为推荐性标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

无

十一、废止现行相关标准的建议

无

十二、其他应予说明的事项

无