

团 体 标 准

T/CSAE XX—2020

新能源乘用车一体化电驱动总成测评规范

Test and assessment specifications for Integrated electric drive system
of new energy passenger cars

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前 言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
3.1 一体化电驱动总成	2
3.2 高压控制模块	2
3.3 减速器模块	2
4 测试条件和要求	2
4.1 试验环境条件	2
4.2 仪器仪表	3
4.3 测试设备要求	3
4.4 测试要求	3
5 试验方法和技术要求	3
5.1 一般性试验	3
5.1.1 外观及质量	3
5.1.2 密封性	4
5.1.3 绝缘电阻	4
5.1.4 耐电压	4
5.1.5 接地电阻	4
5.2 性能试验	4
5.2.1 动态密封	4
5.2.2 输入输出特性	4
5.2.3 差速可靠性	7
5.2.4 拖曳力矩	8
5.3 安全性试验	8
5.3.1 温升	8
5.3.2 超速试验	9
5.3.3 高压控制模块支撑电容放电时间	9
5.4 环境适应性试验	9
5.4.1 温湿度试验	9
5.4.2 机械负荷试验	10
5.4.3 化学负荷试验	10
5.4.4 流动混合气体腐蚀试验	11
5.4.5 盐雾试验	11
5.4.6 IP 防护等级测试	11
5.5 EMC 测试	11
5.5.1 传导发射	11
5.5.2 辐射发射	11
5.5.3 辐射抗扰度（电波暗室法、大电流注入法）	11
5.5.4 磁场抗扰度	12

5.5.5 手持发射机抗扰度	12
5.5.6 沿电源线的瞬态传导抗扰度	12
5.5.7 静电放电	12
5.5.8 耦合电瞬态发射抗扰度	12
5.6 NVH 测试	12
5.7 可靠性测试	12
5.7.1 总成耐久试验	12
5.7.2 冷却回路脉动可靠性	13

前 言

本标准按照GB/T1.1 – 2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准提出单位：中国汽车工程学会测试分会。

本标准起草单位：中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、上海捷能汽车技术有限公司、北汽新能源汽车股份有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、吉利汽车研究院(宁波)有限公司、重庆长安新能源汽车科技有限公司、北京新能源汽车技术创新中心有限公司、上海蔚来汽车有限公司、苏州汇川联合动力系统有限公司、南京越博动力系统股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、株洲齿轮有限责任公司、广州小鹏汽车科技有限公司、上海电驱动有限公司

本标准主要起草人：孔治国、黄炘、符代竹、李毅、魏跃远、陈琳芝、梁红强、王江波、阮鸥、马永泉、柳海明、王泽兴、刘佳琦、周楷涛、常诚、刘滨、刘传德、邬红光、刘祥环、李文帅、彭钱磊、任安心、李文帅、何鹏林、谢立湘、曹冬冬、张明朗、祝昆仑、罗远灿、潘晓东、郑洪涛、徐梹、陈雷、孙玲玲、王云

新能源乘用车一体化电驱动总成测评规范

1 范围

本规范规定了新能源乘用车一体化电驱动总成的检验规则、测试条件及要求、测试方法等。

本规范适用于新能源乘用车一体化电驱动总成（以下简称总成），即高压控制模块、驱动电机模块、单级减速器模块和（或）差速器模块的组合。其它一体化电驱动总成可以参考执行。

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，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.18-2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）

GB/T 10592-2008 高低温试验箱技术条件

GB/T 18386-2017 电动汽车 能量消耗率和续驶里程 试验方法

GB/T 18488.1 电动汽车用驱动电机系统 第1部分：技术条件

GB/T 18488.2 电动汽车用驱动电机系统 第2部分：试验方法

GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 28046.4-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分 气候负荷

GB/T 28046.3-2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分 机械负荷

GB/T 28046.5-2013 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第5部分 化学负荷

GB/T 30038-2013 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP 代码）

GB/T 36282-2018 电动汽车用驱动电机系统电磁兼容性要求和试验方法

QC/T 1022-2015 纯电动乘用车用减速器总成技术条件

QC/T 1132-2020 电动汽车用电动力系统噪声测量方法

3 术语和定义

GB/T 19596 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 一体化电驱动总成 integrated electric drive system

新能源乘用车动力驱动总成单元，耦合组成模块包括但不限于以下部分：驱动电机模块，减速器模块，高压控制模块。

3.2 高压控制模块 high-voltage control module

电机控制器或多合一控制器。

注：多合一控制器包含电机控制器、直流变换器、车载充电机、高压接线盒等功能的模块

3.3 减速器模块 reducer module

齿轮及其他机械元件获得减速功能的传动装置及其控制模块。

4 测试条件和要求

4.1 试验环境条件

GB/T 18488.2 规定的试验环境条件适用于本文件。

4.2 仪器仪表

仪器的准确度或误差应不低于表 1 的要求，并满足实际测量参数的精度要求，尤其对于电气参数测试量的仪器仪表，应能够满足相应的直流参数测量的精度和波形要求。

表 1 试验仪器准确度

序号	试验仪器	准确度或误差
1	电气测量仪器	0.5 级（兆欧表除外）
2	电流传感器	0.2 级
3	转速测量仪	0.1 级
4	转矩测量仪	0.2 级
5	温度传感器	$\pm 1^{\circ}\text{C}$

4.3 测试设备要求

如无特殊要求，两轴电驱动测试台架：包括两台负载电机，负载电机输出转速应能覆盖总成输出转速，负载电机总输出转矩应能覆盖总成输出转矩。

高压电源应能够满足被试总成的功率要求，并能够工作于相应的工作电压状态。

温控系统应能够满足被试总成的温度控制要求。

若被试件有环境要求，环境仓应能够满足被试总成工作环境要求。

GB/T 18488.2、QC/T 1022-2015 规定的布线、安装要求适用于本文件。

4.4 测试要求

性能试验前，应对总成进行以下项目检查：

- a) 检查是否按照规定加注润滑油；
- b) 按照条件加装油温传感器；
- c) 总成进行输入输出特性、拖曳力矩、温升、超速、NVH、可靠性测试时，按照如下条件完成磨合试验：
 - 1) 输出转速保持最高设计转速的 50%，最大允许偏差为 $\pm 10\text{r/min}$ ；
 - 2) 输出转矩为峰值转矩的 10%，最大允许偏差为 $\pm 5\text{N}\cdot\text{m}$ ；
 - 3) 磨合时间：正转 2 小时，反转 1 小时；
 - 4) 磨合后减速器应更换润滑油。

如无特殊要求，试验过程中，总成两轴端输出转速差速率不超过 1%，输出转矩差与总输出转矩的百分比在总输出转矩大于 $1000\text{N}\cdot\text{m}$ 时不超过 1%或者设计规定，其余情况下不超过 $10\text{N}\cdot\text{m}$ 。

5 试验方法和技术要求

5.1 一般性试验

5.1.1 外观及质量

外观以目测为主，样件外观无异常，无污损，即无可见的渗油、划痕、变形、腐蚀、开裂等。

采用满足测量精度要求的衡器量取总成的质量并记录。

总成应有直流电源极性、进出水方向、高压危险、接地等标识。

5.1.2 密封性

5.1.2.1 冷却回路密封性

5.1.2.1.1 试验要求

- 1) 该项试验宜将总成所有冷却回路联合测量;
- 2) 如果生产制造中没有相应涂层要求, 试验前不允许对驱动电机或驱动电机控制器表面涂覆可以防止渗漏的涂层, 但是允许进行无密封作用的化学防腐处理;
- 3) 试验使用介质可采用液体或气体, 液体介质可为含防锈剂的水、煤油或黏度不高于水的非腐蚀性液体, 气体介质可为空气、氮气或者惰性气体;
- 4) 用于测量试验气体压力的测量仪表精度不低于 0.5 级, 试验液体压力的测量仪表的精度不低于 1.5 级, 量程为试验压力的 1.5-3 倍。

5.1.2.1.2 试验方法及判定标准

试验时, 试验介质的温度应和试验环境的温度一致并保持稳定; 将被试样品冷却回路的一端堵住, 但不能产生影响密封性能的变形; 向回路中充入试验介质, 利用压力仪表测量施加的介质压力。

1) 使用气体介质试验时, 应使冷却回路保持干燥, 逐渐加压至试验压力不低于 200kPa, 保持 60s 后, 压力下降应不大于 1kPa, 或压力保持过程中, 泄露率仪表显示值下降应不大于 4mL/min;

2) 使用液体介质试验时, 应将冷却回路腔内的空气排空, 加压至试验压力不低于 200kPa, 并保持该压力至少 15min, 无渗漏。

5.1.2.2 腔体密封性

- 1) 总成如由各独立腔体组成, 宜独立分开测量;
- 2) 保留一个通气阀将压力为 20 ± 2 kPa 的滤水压缩气体送入腔体, 关闭通气阀并保持 30 秒, 压力下降应不大于 25Pa, 或压力保持过程中, 泄露率仪表显示值下降应不大于 5mL/min。

5.1.3 绝缘电阻

应分别在冷态及热态情况下测量总成直流输入端对外壳的绝缘电阻。

GB/T 18488.2 中规定的相关试验方法及要求适用于本文本。

5.1.4 耐电压

应测量总成直流端子对机壳的直流耐压, 该直流电压为 GB/T18488.1-2015 中 5.2.8.2.1 中规定的对应交流耐压有效值的 1.414 倍, 漏电流不大于 5mA。

GB/T 18488.2 中规定的相关试验方法及要求适用于本文本。

5.1.5 接地电阻

总成中所有能触及的可导电部分与外壳接地点的电阻最大值应不大于 0.1Ω , 接地点应有明显的接地标志。

GB/T 18488.2 中规定的相关试验方法及要求适用于本文本。

5.2 性能试验

5.2.1 动态密封

QC/T 1022-2015 中 6.2.4.1 规定的试验方法及要求适用于本文本。

其中试验油温可以根据使用情况由用户指定。

5.2.2 输入输出特性

如无特殊要求, 总成冷却系统入口温度设置为 $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$; 流量依据产品的技术要求设

定；风冷机的吹拂点、散热片等温度按制造厂的规定执行；减速器润滑油温度按产品技术要求规定或控制在 $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、必要时可增大温度允差；电机绕组温度在 60°C ~最高允许温度。

5.2.2.1 工作电压范围

台架试验时，如无特殊要求，宜将总成的直流母线电压根据产品技术文件分别设定在额定工作电压、最高工作电压和最低工作电压，在不同的工作电压下，测试不同输出转速下的最大输出转矩，记录稳定的转速和转矩数值。

在总成转速范围内的测量点数不少于 10 个，绘制转速-转矩特性曲线，检查转矩输出是否符合产品技术文件的规定。

5.2.2.2 转速-转矩特性

5.2.2.2.1 转速测试点的选取

试验时，在总成工作转速范围内一般选取不少于 10 个转速点，最低转速点宜不大于最高工作转速的 10%，相邻转速点之间的间隔不大于最高工作转速的 10%。测试点选择时应包含必要的特征点，如：

- 额定工作转速点；
- 最高工作转速点；
- 其他特殊定义的工作点。

5.2.2.2.2 测量参数的选择

试验时，在相关的测试点处宜选择测量或计算下列数据：

- 1) 总成直流母线电压和电流；
- 2) 总成驱动电机的电压、电流及电功率；
- 3) 总成输出的转矩、转速及机械功率；
- 4) 总成减速器油温；
- 5) 总成驱动电机绕组的温度；
- 6) 冷却介质的流量和温度；
- 7) 其他特殊定义的测量参数。

5.2.2.2.3 试验方法

1) 试验时，总成直流端功率宜使用功率测量装置直接测量获得，测量时，电压的测量点应在总成靠近直流接线端子处。

2) 试验过程中，为保证测量精度，总成的工作转矩和转速宜直接在输出轴端测量。总成输出轴端和转矩转速测量设备之间应是刚性连接，如果可以忽略联轴装置的传动效率和中间的风摩损耗，也可以在总成轴端与转矩转速测量设备之间放置联轴环节，转速转矩测量设备的读数即为总成轴端的输出值。

3) 如考虑到联轴装置的传动效率和试验过程中的风摩损耗的情况，参照 GB/T 18488.2-2015 附录 A 的方法对试验结果进行修正。

5.2.2.3 持续转矩

试验时，使总成工作于持续转矩及持续功率对应的最低转速下，利用 5.2.2.2.3 的方法进行试验和测量，总成应能长时间正常工作且 10min 中内温升不高于 2K，工作时长要求可由用户协商确定。

5.2.2.4 持续功率

按照 5.2.2.3 获得的持续转矩和相应的工作转速，利用以下公式计算获得总成在相应工

作点的持续功率。

$$P_S = \frac{T_L \times n_L + T_R \times n_R}{9550} \dots\dots\dots (1)$$

式中, P_S ——总成输出端的功率, 单位为 kW,
 T_L ——左侧半轴测功机测试转矩, 单位 N·m,
 T_R ——右侧半轴测功机测试转矩, 单位 N·m,
 n_L ——左半轴侧输出转速, 单位 r/min,
 n_R ——右半轴侧输出转速, 单位 r/min。

5.2.2.5 峰值转矩

峰值转矩试验结果应标注测试环境温度。

试验时, 使总成工作于技术文件规定的峰值转矩、转速和持续时间下, 利用 5.2.2.2.3 的方法进行试验, 峰值转矩试验持续时间 30 秒或按照用户或制造商的要求进行试验并记录持续时间。试验过程中总成应能够正常工作。

如需多次进行峰值转矩的试验, 宜将总成恢复到冷态后进行。

5.2.2.6 峰值功率

按照 5.2.2.5 测试获得的峰值转矩和相应的工作转速, 利用式 (1) 计算获得总成在相应工作点的峰值功率, 峰值功率应标注试验持续时间。

5.2.2.7 最高工作转速

在试验过程中, 总成宜处于热态。试验时, 匀速调节试验台架, 使总成的转速升至最高工作转速, 并施加不低于产品技术文件规定的转矩, 稳态工作持续时间应不少于 3min。按照 5.2.2.5 的方法进行试验, 每 30s 记录一次总成的输出转速和转矩。

5.2.2.8 效率

5.2.2.8.1 测试点的选取

a) 转速测试点的选取;

按照 5.2.2.2.1 执行, 在最高输入转速 10%以下宜包括 2%、4%、6%的转速点。

b) 转矩测试点的选取;

在总成电动或馈电状态下, 在每个转速点上一一般取不少于 10 个转矩点。测试点选择时应包括必要的特征点:

- 1) 持续转矩;
- 2) 峰值转矩 (或最大转矩);
- 3) 其他特殊定义的工作点。

注: 峰值转矩 10%下的测试点宜至少包括 2 个点。

c) 测量参数的选择按照 5.2.2.2.2 执行。

d) 试验方法按照 5.2.2.2.3 执行。

5.2.2.8.2 效率的测量

a) 工作点效率;

总成处于电动工作状态时, 输入功率为总成直流母线输入的电功率 P_E , 输出功率为总成轴端的机械功率 P_M , 效率按式 (2) 求取:

$$\eta_1 = \frac{P_M}{P_E} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

总成处于馈电工作状态时, 输入功率为总成轴端的机械功率 P_M , 输出功率为总成直流母线输出的电功率 P_E , 效率按式 (3) 求取:

$$\eta_2=\frac{P_E}{P_M}\times100\%..... (3)$$

式中：

η_1, η_2 ——总成的电动和馈电状态下效率（%）；

b) 高效区等级划分

在每个转速点上，分别记录从低转矩到高转矩，以及从高转矩到低转矩的试验结果，并以相同转矩下两次测试效率的平均值作为该转矩对应的效率值。根据测试数据，按照线性插值方法绘制系统效率分布图，并通过计算面积占比的方法得到相应条件下的能效数值。

在规定的测试条件及测试方法下，总成的高效工作区（效率不低于 85%）占总工作区的百分比数值（X）称为总成高效区占比，划分为四级，如表 3 所示。

表 2 总成高效区占比分级

	1 级	2 级	3 级	4 级
高效区占比（X）	$X\geq85\%$	$85\%>X\geq80\%$	$80\%>X\geq75\%$	$75\%>X\geq70\%$

注：总成高效区占比分级应标注总成工作电压。

c) 工况效率测试：

工况效率测试可采用如下两种方法之一开展，报告中需注明：

1) 台架布置整车控制器，总成，高压电源，电子油门和刹车踏板等，将指定工况下的车速设定为目标值，公差要求参考 GB/T 18386 中 4.4.2 执行。直流母线电压宜在额定工作电压进行；

2) 将指定工况车速转化为负载测功机的转速、转矩，并输入到测功机控制系统。转矩偏差不大于±3%或根据用户要求确定；

试验过程应记录直流端电压、电流、输出转矩、输出转速，各记录数据应保持同步，采样频率不低于 10Hz。

试验后基于时间进行求和得到轴端输出能量、制动回馈能量和总能量消耗，分别计算驱动效率、回馈发电效率和总能量利用效率。

5.2.3 差速可靠性

将总成安装在试验台上，按规定加注润滑油，磨合工况如下：其中任一个输出端固定，另一个输出端可自由转动。油温控制在 85±5℃，正转，空载，以 100±5r/min 的输出转速运转不少于 5min，交换固定端和自由转动端，重复上述试验。磨合完成后更换润滑油。

磨合完后按照如下工况开始正式试验。

1) 高速低扭：正转，最高输出转速的 50~55%，电机轴端转矩为该工作转速下对应最大转矩的 10~15%或 30~35N·m 转矩，其中一个输出端固定不转，另一端可以转动，持续时间不少于 15min，交换固定端和转动端后重复上述试验，持续时间不少于 15min。。

2) 低速高扭：正转，保持最高输出转速的 20%±10r/min，差速率 12%~15%，控制输出转矩按下表规定的顺序和条件进行试验，每一个循环的时间不大于 3min，总循环次数不少于 200 次。

表 3 低速高扭试验条件

试验阶段	输出转矩（N·m）	试验时间（min）
1	从 0 升到 75%最大输出转矩±50	≤1
2	75%最大输出转矩±50	≥1
3	从 75%最大输出转矩±50 降到 0	≤1

试验完成后，总成中减速器模块应做拆解分析，应满足以下要求：

- 1) 轴承表面无点蚀，烧结等迹象；
- 2) 齿轮状态无异常；
- 3) 所有油封状态正常；
- 4) 齿轮和差速器状态正常；

注：不含差速器的总成不进行本项试验。

5.2.4 拖曳力矩

5.2.4.1 工作模式

试验应选择如下工作模式之一进行：

工作模式 I：总成的所有高低压线束和接插件均未连接。冷却回路无冷却液注入，接头处密封。

工作模式 II：总成只进行低压供电。冷却系统按照技术文件规定设置。

5.2.4.2 试验方法

转矩传感器和转速传感器的精度等级应不低于 0.05 级。测试设备转速控制精度应不低于 $\pm 2\text{r/min}$ 。总成可安装油温传感器。

试验时总成半轴的连接倾角应符合技术文件要求。

根据总成特点选择工作模式。两种模式的转速切换点为总成不超过该转速时，由于转子旋转产生的反电动势不会对总成造成损坏。

拖曳试验宜分别在冷态、热态下进行。冷态状态为润滑油温度与室温相差不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ；热态状态为润滑油温度 $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

总成运行在零转速至最高工作转速或用户最高允许转速之间，步长为 100r/min 。待转速、转矩稳定后记录各转速下左右半轴端的转矩值该转矩值的代数和为总成在对应转速下的拖曳力矩，并绘制转速-拖曳力矩曲线。

5.3 安全性试验

5.3.1 温升

5.3.1.1 测试要求

1) 总成试验时宜在驱动电机绕组、电机控制器 IGBT、电机控制器外壳、减速器外壳、环境仓、冷却液出入口、减速器模块放油螺栓处、轴承等位置布置温度传感器，温度传感器与总成高压部分保持有效绝缘。其中驱动电机绕组、电机控制器 IGBT 温度可采用总成采集结果。

2) 如总成中包含其它电气设备，如 DC/DC、OBC 等，应同时在额定负载条件下工作。

5.3.1.2 测试准备

环境仓温度设置为 65°C ，冷却液流量设置为最低许用流量，冷却液温度设置为最高许用温度。

5.3.1.3 测试工况

总成按照表 5 工况进行测试总成，每个工况开始前，总成应恢复至温升测试初始状态其中，工况 4 由供需双方确定，参照执行。

表 4 温升测试工况

工况序号	测试转速	测试转矩	工况持续时间
1	持续功率对应的转速	持续转矩	电机控制器、驱动电机、减速箱油温全部达到热稳态，或者根据系统定义时间
2	峰值转矩-转速特性曲线拐点对应转速	峰值转矩	30s，温度不超限或满足设计要求
3	最高输出转速	持续功率对应转矩	30min，温度不超限或满足设计要求
4	满足工况要求	满足工况要求	120km/h 或最高车速, 3%坡度情况，持续时间到系统热稳态
			15km/h, 15%坡度情况，持续时间到系统热稳态
			90km/h, 7%坡度情况，持续时间到系统热稳态

注：

a) 热稳态：总成电机控制器温度、电机绕组温度、减速箱油温在相应工况运行的情况下，30min 内温升变化小于 2K，视为总成温度达到热稳态；其中，电机控制器温度、电机绕组温度可采用被试件自带传感器测定结果，并在报告中注明。

b) 温升测试初始状态：总成处于不工作状态，通入规定的冷却液，在规定的环境经温度下静置，30min 系统各部分温升变化小于 2K，视为总成达到温升测试初始状态。

c) 在工况 2 和工况 4 下，如总成电机控制器温度、电机绕组温度、减速器油温超过限值，无法达到热稳态，应设定相应限值，进行限功率或停机处理等。

5.3.1.4 测试判定

按满足以下条件视为合格：

a) 总成温升测试达到热稳态时，电机控制器，电机绕组、油温均未超过总成定义的最高许用温度

b) 总成温升测试规定的时间内，电机控制器，电机绕组、减速箱油温均未超过总成定义的最高许用温度。

c) 温升测试过程中未出现因温度超限值引起的限功率故障或停机故障等。

5.3.2 超速试验

将总成电机轴端 1.2 倍最高工作转速按照减速比换算成轴端输出转速，将两轴总成试验台架转速设置为此转速，持续 2min，机械不应发生有害变形。

5.3.3 高压控制模块支撑电容放电时间

高压控制模块支撑电容应具有被动放电功能，被动放电时间应不大于 3min；当高压控制模块有主动放电要求时，主动放电时间应不超过 3s。

高压控制模块支撑电容放电时间试验方法按照 GB/T 18488.2-2015 中 8.3 执行。

5.4 环境适应性试验

5.4.1 温湿度试验

5.4.1.1 低温贮存

试验时，将总成按照 GB/T 2423.1—2008 的规定，放入温箱内，使箱内温度降-40℃，并保持 24h，试验过程中，总成处于非通电状态。试验后复测绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能试验，各项功能均应正常。

5.4.1.2 高温贮存

试验时，将总成放入温箱内，按照 GB/T 2423.2—2008 的规定，使箱内温度升至 85℃，并保持 48h，试验过程中，总成处于非通电状态。试验后复测绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

根据用户要求，可以将低温贮存和高温贮存组合成高低温交变贮存试验，开展测试。

5.4.1.3 恒定湿热试验

试验方法及要求按照 GB/T 28046.4 中 5.7 规定进行，试验后复测绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.1.4 湿热循环

按照 GB/T 28046.4 中 5.6.2.3 规定进行，试验后复测绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.1.5 温度冲击

按照 GB/T 28046.4 中 5.3.2 规定进行。其中，在每个温度点保持 60min 或根据用户要求选择。试验后复测绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.1.6 冰水冲击

按照 GB/T 28046.4 中 5.4 规定进行。

5.4.2 机械负荷试验

5.4.2.1 振动试验

按照 GB/T 18488 相关规定进行或用户自行指定，零部件应无损坏，紧固件应无松脱现象。试验后绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

试验过程中，温度条件按照 GB/T 28046.3 中 4.1.1 规定进行。

5.4.2.2 机械冲击试验

按照 GB/T 28046.3 相关规定进行。试验后绝缘电阻应不小于 100 Ω/V，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.3 化学负荷试验

按照 GB/T 28046.5—2013 中第 4 条进行，所用化学试剂按照表 6 执行。

试验后应进行以下项目测试，绝缘电阻满足 5.1.3 要求，冷却回路密封性满足 5.1.2 要求，标志和标签应保持清晰可见：

- 1) 冷态绝缘电阻试验；
- 2) 液冷系统冷却回路密封性能试验；注：如供需双方达成一致，可选用总成壳体开展试验。

表 5 化学负荷试剂表

代号	化学试剂	温度	持续时间 (h)
A	制动液	85℃	22
B	防冻液	85℃	22
C	减速器油	85℃	22
D	车用化学清洁剂	常温	2
E	挡风玻璃清洗剂	常温	2
F	其它用户指定的液体和条件		

5.4.4 流动混合气体腐蚀试验

按照 GB/T 28046.4 中 5.8 的规定进行。试验后绝缘电阻应不小于 $100\ \Omega/V$ ，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.5 盐雾试验

按照 GB/T 2423.18 规定的试验方法，采用 5%氯化钠溶液（NaCl）进行盐雾试验，并至少满足严酷等级 4 的要求。

试验前，总成应进行目视检查和功能检测，外观和功能检查正常方可进行试验。如有必要，总成表面应进行适当清洁，以保证表面杂质不影响盐雾试验效果。可根据实际情况选择清洁方法，如擦拭、清水冲洗等，但要求清洁方法不影响盐雾对总成的作用，也不能引起二次腐蚀。试验前应尽量避免用手接触总成表面。

试验结束后，按照标准 GB/T 2423.18 要求进行清洗和恢复。恢复后，观察外观，不应出现可见的红锈和锈坑，绝缘电阻应不小于 $100\ \Omega/V$ ，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.4.6 IP 防护等级测试

GB/T 30038-2013 中规定的防护等级试验适用于本文本，至少应达到 IP67、IPX9K，其中减速器模块部分不作考核。本项目试验对象宜为 5.4.2.1 试验后样件，试验后绝缘电阻应不小于 $100\ \Omega/V$ ，并根据用户要求进行功能测试，各项功能均应正常。

5.5 EMC 测试

如无特殊要求，试验中总成应根据 GB/T36282 要求，工作转速为额定转速的 50%，转矩为持续转矩的 50%，机械输出负载达到持续功率的 25%。

5.5.1 传导发射

依据 GB/T 18655-2018 附录 I 中推荐的图 I.2 进行试验布置，用测量接收机分别测量高压和低压人工电源网络射频端口的骚扰电压，高压端口传导发射测量值应不超过 GB/T 18655-2018 中表 I.1 规定的等级 3 的限值要求，低压端口传导发射其测量值应不超过 GB/T 18655-2018 中表 5 规定的等级 3 的限值要求。

依据 GB/T 18655-2018 附录 I 中推荐的图 I.6 进行试验布置，用测量接收机测量低压线束的骚扰电流，其测量值应不超过 GB/T 18655-2018 中表 6 规定的等级 3 的限值要求。电流测量探头的位置应分别放置于距离总成 50mm 和 750mm 的线束长度位置。

总成其它参数和条件依据 GB/T 18655-2018 进行设置。

5.5.2 辐射发射

依据 GB/T 18655-2018 附录 I 中推荐的图 I.10 进行试验布置，测量总成的电场辐射，其测量值应不超过 GB/T 18655-2018 中表 7 规定的等级 3 的限值要求。

总成其它参数和条件依据 GB/T 18655-2018 进行设置。

5.5.3 辐射抗扰度（电波暗室法、大电流注入法）

依据 GB/T 36282-2018 中第 5.2.1 条的规定进行试验，在施加干扰期间和之后，总成应满足表 7 的测试等级要求在模拟干扰信号施加过程中，总成的电机转速波动应不大于测试转速的 $\pm 10\%$ ，转矩波动应不大于测试转矩的 $\pm 10\%$ 。

表 6 辐射抗扰度测试等级要求

频率 MHz	试验方法	试验等级
20-200	大电流注入法（开环法、CBCI）	100mA
200-2000	电波暗室法	100V/m
1200-1400	雷达波	300V/m
2700-3100	雷达波	300V/m

总成其它参数和条件依据 GB/T 36282-2018 进行设置。

5.5.4 磁场抗扰度

按照 GB/T 36282-2018 中图 5 进行试验布置，依据 ISO 11452-8: 2015 规定的辐射环法进行低频磁场抗扰度测试，总成。磁场抗扰度试验等级应不低于 ISO 11452-8:2015 附录 A 中表 A.1 和 A.2 规定的等级 II。在模拟干扰信号施加过程中，总成的电机转速波动应不大于测试转速的 $\pm 10\%$ ，转矩波动应不大于测试转矩的 $\pm 10\%$

总成其它参数和条件依据 ISO 11452-8:2015 进行设置。

5.5.5 手持发射机抗扰度

按照 GB/T 36282-2018 中图 5 进行试验布置，依据 ISO 11452-9: 2012 规定方法对总成耦合干扰场强，试验等级按照 ISO 11452-9: 2012 表 A.1 进行设置总成。在模拟干扰信号施加过程中，总成的电机转速波动应不大于测试转速的 $\pm 10\%$ ，转矩波动应不大于测试转矩的 $\pm 10\%$

总成其它参数和条件依据 ISO 11452-9: 2012 进行设置。

5.5.6 沿电源线的瞬态传导抗扰度

依据 GB/T 36282-2018 中第 5.2.2 条的规定进行试验，总成应满足 GB/T 36282-2018 中第 4.2.2 的要求。

总成高低压上电，处于待机状态

5.5.7 静电放电

依据 GB/T 36282-2018 中第 5.2.3 条的规定进行试验，总成应满足 GB/T 36282-2018 中第 4.2.3 的要求。

5.5.8 耦合电瞬态发射抗扰度

试验按照 GB/T21437.3-2012 中第三章规定的方法进行，试验时总成处于工作状态，试验方法选择 CCC 方法和 ICC 方法；试验严酷等级应符合 GB/T21437.3-1012 表 B.1 或表 B.2 中三级的要求，试验后总成的功能等级应满足 GB/T28046.1-2011 定义的 A 级；

5.6 NVH 测试

QC/T 1132—2020 《电动汽车用电动动力系噪声测量方法》中规定的试验方法适用于本文件。

要求如下：

总噪声水平、阶次噪声、啮合阶次噪声、悬置刚性安装点振动、靠近轴承中心位置振动应满足用户要求。

5.7 可靠性测试

5.7.1 总成耐久试验

a) 工况要求

测试工况宜由实车运行工况导入，进行加速和处理。

耐久试验周期应满足整车 30 万公里或用户要求的使用要求。台架测试时间由用户确定，但加速后不应改变总成疲劳损伤模式和失效机理。

应根据倒车、拖车、连续爬坡、连续下坡等情况确定转速、转矩和持续时间，载荷谱中推荐拥堵路况占比 10%，激烈驾驶工况 13%，城市工况 27%，城郊工况 35%，高速工况 15%。

b) 试验要求

耐久试验前应进行功能和性能检查。

耐久试验应加入温湿度要求。

试验过程中总成直流母线电压设定为额定电压。

在耐久试验前后，开展温度梯度试验，试验方法参考 GB/T 28046.4 中 5.2 进行。

试验中宜实时进行振动监测，监测点的布置应包括轴承外壳；

试验过程中监测总成、试验设备、测量参数有无异常，若出现噪音大、异响、冒烟、管路爆裂、转速失控、转矩突变、温度突变、通讯中断、测量数据丢失等异常情况，应立即停机，待异常情况解除后再继续试验。

c) 评价标准

试验过程中，总成不允许发生诸如轴承损坏、电机绕组绝缘击穿、电机控制器 IGBT 炸裂、转矩突变等严重故障，允许总成在试验过程中出现过温、过压等可恢复的保护功能故障。

试验中更换润滑油时间可按照实车应用要求比例折算。

试验后，总成应能够正常工作，不发生故障；不允许出现变形、渗油、壳裂。

试验前后，最高效率及峰值功率、峰值转矩下降不超过 10%或满足用户要求。

试验后拆开检查，轴承、轮齿点蚀不超过 20%，不允许出现气蚀，轮齿不允许胶合、断裂等，无渗油。

推荐使用 3 至 6 台样品进行耐久试验。

5.7.2 冷却回路脉动可靠性

a) 试验方法

试验中，设定冷却液温度为 65℃；

对冷却回路施加 0.5kPa 和 2kPa 两个压力之间变化的脉动压力，每分钟 25~35 次，脉动次数 10 万次。

b) 试验要求

试验前后应按照 5.1.2 要求进密封性试验，满足用户要求。