

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX-2026

直流无刷减速电机可靠性试验方法

Brushless DC geared motor reliability test method

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

目 次

前 言 II

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

5 试验程序 2

6 试验项目及方法 3

7 检查及维护 4

8 试验结果处理 4

9 可靠性评定 5

10 试验报告 5

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由×××提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：×××

直流无刷减速电机可靠性试验方法

1 范围

本文件规定了直流无刷减速电机可靠性试验的试验条件、试验程序、试验项目及方法、检查及维护、试验结果处理、可靠性评定和试验报告。

本文件适用于各类工业设备、机器人、医疗器械、交通运输辅助设备等领域使用的直流无刷减速电机，其他特殊领域用同类电机可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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（系列） 环境试验 第2部分（系列标准）

GB/T 18488 电动汽车用驱动电机系统

QC/T 893 电动汽车用驱动电机系统故障分类及判断

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

直流无刷减速电机 brushless DC gearmotor

由无刷直流电机与齿轮减速机构集成，通过电子换向实现动力输出，可降低输出转速并增大输出扭矩的动力组件。

3.2

B10 寿命 B10 life

指在规定的使用条件下，同一批次电机群体中 10% 的产品将发生失效的时间点，即群体可靠性为 90% 时的寿命时长。

3.3

加速寿命试验 accelerated life test

在不改变电机失效机理的前提下，通过施加高于正常使用条件的应力（如扭矩、转速、温度等），缩短试验周期，快速获取电机寿命特征的试验方法。

4 试验条件

4.1 环境条件

4.1.1 除另有规定外，各项试验均应在下列环境下进行：

a) 温度：23 ℃ ± 5 ℃；

- b) 相对湿度：45% ~ 75%；
- c) 大气压力：86 kPa ~ 106 kPa。

4.1.2 高低温、湿热、振动、冲击等环境试验条件应符合 GB/T 2423 系列标准的相关规定，具体参数根据试验项目要求确定。

4.2 电源条件

4.2.1 供电电源应稳定，电压波动范围不超过额定电压的 $\pm 1\%$ ，频率波动范围不超过额定频率的 $\pm 0.5\%$ 。

4.2.2 电源的谐波含量应符合相关标准要求，确保对电机性能测试无显著干扰。

4.3 负载条件

4.3.1 试验负载应采用精度不低于 $\pm 1\%$ 的加载装置施加，负载类型应符合电机的设计用途。

4.3.2 加速寿命试验中的应力负载应根据加速模型计算确定，确保不改变电机的失效机理。

4.4 冷却条件

试验过程中的冷却设备或冷却条件应满足下列要求：

- 风冷电机：试验时应装配实际应用中的风冷装置，风速按产品技术文件规定。
- 自然冷却电机：试验过程中不施加额外冷却措施，保持环境通风良好。
- 液冷/油冷电机：使用制造商规定的冷却液/润滑油，冷却系统工作参数（流量、温度）符合产品技术文件要求，并定期更换冷却液/润滑油。

5 试验程序

5.1 试验前准备

5.1.1 按产品批量确定样本量，批量 ≤ 100 台时取 5 台；批量 > 100 台时取 10 台，或按双方约定。样本应经出厂检验合格，具有完整的产品合格证和技术文件。

5.1.2 将样本在试验环境条件下静置 2 h 以上，使其温度与环境温度一致。

5.1.3 按实际应用方式安装样品，确保安装牢固，传动连接无松动、无偏心；连接供电系统、负载系统和监测系统，进行空载试运行，确认各系统工作正常。

5.1.4 若产品技术文件有规定，试验前应进行磨合，磨合条件按规定执行，磨合后更换润滑油（针对带润滑系统的电机）。

5.1.5 按 GB/T 18488 的相关要求，测试并记录电机的绝缘电阻、额定转速下的扭矩、功率、电流、绕组温度等初始性能参数。

5.2 可靠性试验运行

5.2.1 按试验方案设定的条件启动试验，持续运行至规定时间或出现失效为止。

5.2.2 试验过程中不得随意调整试验参数，确需调整时应记录调整原因、调整值及调整时间。

5.2.3 加速寿命试验应根据选定的加速模型（如逆幂律模型）计算加速系数和试验时间，确保试验结果可等效换算为正常使用条件下的寿命。

5.3 性能复试

可靠性试验完成后，按照 5.1.5 的规定进行性能复试。

6 试验项目及方法

6.1 常温耐久性试验

6.1.1 试验条件

环境温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，供电电压为额定电压，负载为额定扭矩，转速为额定转速，冷却条件按 4.4 执行。

6.1.2 试验时间

常规试验为 1 000 h；若产品技术文件规定 B10 寿命大于 1 000 h，试验时间可按加速寿命试验方案执行。

6.1.3 运行方式

连续运行期间按 7.3、7.4 的要求进行检查和记录。

6.2 加速寿命试验

6.2.1 应力选择

优先选择扭矩、转速作为加速应力，也可结合温度应力。加速应力水平应根据产品材质、结构强度确定，避免因应力过高导致异常失效。推荐加速扭矩不超过额定扭矩的 2.5 倍，加速转速不超过额定转速的 2 倍。

6.2.2 加速模型

采用逆幂律（IPL）模型计算加速系数，按式（1）计算：

$$AF = \left(\frac{V_a}{V_u}\right)^n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

AF ——加速系数；

V_a ——加速应力水平；

V_u ——正常使用应力水平；

n ——应力影响系数，根据试验数据或经验确定，齿轮磨损类失效 n 取 2 ~ 4，轴承失效 n 取 3 ~ 5。

6.2.3 试验步骤

按下列步骤进行：

- a) 根据加速系数计算结果，确定加速试验的应力水平和试验时间；
- b) 将电机安装在试验台上，设置并稳定加速应力条件；
- c) 启动电机，使其在加速应力下连续运行，每 12 h 记录一次关键参数（电压、电流、转速、扭矩、温度等），并检查电机运行状态；
- d) 试验过程中若出现试样失效，记录失效时间和失效现象；
- e) 试验持续至所有试样失效或达到规定的试验时间，停机后对试样进行全面检测分析。

6.3 周期性负载可靠性试验

负载循环曲线按电机实际应用中的负载变化规律设定；循环周期应根据实际应用场景确定，无规定

时取 10 min/循环，试验总循环次数按产品技术文件规定，无规定时不少于 1 000 次循环。

6.4 故障注入试验

针对电机控制器及保护功能，模拟常见故障场景，如电压波动、负载突变、传感器信号异常等，验证电机的故障响应能力和自我保护功能，具体故障类型和注入方式按产品技术文件规定。

7 检查及维护

7.1 一般要求

试验过程中的检查及维护应按本章节规定执行，检查结果和维护情况需详细记录并存档；检查周期可根据电机特性和试验条件适当增减。

7.2 实时监测

7.2.1 通过监测系统实时采集电机的电压、电流、转速、扭矩、绕组温度、减速器油温等参数，当参数超出允许范围时，系统应自动报警或紧急停机。

7.2.2 实时监听电机运行声响，若出现异常噪声（如撞击声、摩擦声、啸叫声），应立即停机检查，排查噪声源并记录。

7.3 每 1h 检查

记录 1 h 内的平均电压、平均电流、平均转速、平均扭矩，以及最高绕组温度、最高减速器油温；检查供电系统、负载系统的工作状态是否正常。

7.4 每 24h 检查

7.4.1 允许停机 1 次，停机时间不超过 1 h；检查电机及减速器的紧固件、连接件是否松动，管路、电缆及接口是否完好，有无渗漏现象。

7.4.2 检查冷却液/润滑油的液面高度，不足时及时补充；检查冷却系统的工作状态。

7.4.3 对电机外观进行检查，记录是否有变形、磨损、锈蚀等情况。

7.5 故障及停机处理

7.5.1

7.5.2 每次停机均需记录停机原因、停机时间及处理措施；若为电机本身故障导致的停机，应判定为失效停机，并按 QC/T 893 进行故障分类和记录。

7.5.3 试验过程中可按产品质量要求定期更换易损件，更换情况需详细记录。

7.5.4 中断的负载循环不计入有效试验时间；若停机时间超过 1 h，重新启动后 1 h 内的运行时间不计入有效试验时间。

8 试验结果处理

8.1 数据整理

8.1.1 整理试验过程中的所有记录数据，包括样品信息、试验条件、运行参数、检查结果、故障情况、停机记录等，形成完整的试验数据清单。

8.1.2 对性能初试与复试数据进行对比，计算性能参数变化率。

8.2 失效判定

出现下列情况之一时，判定电机失效：

- a) 额定负载下，输出扭矩下降超过额定值的 10%；
- b) 额定转速下，工作电流增大超过额定值的 20%；
- c) 绕组温度超过产品技术文件规定的最高允许温度，或出现绝缘损坏、短路、断路现象；
- d) 减速器出现严重磨损、卡滞、渗漏油，或输出转速波动超过 $\pm 5\%$ ；
- e) 电机无法启动、频繁停机，或保护功能失效；
- f) 其他影响电机正常使用的故障。

8.3 数据统计

8.3.1 统计试验总有效时间、各样本的运行时间、失效样本数量及失效时间。

8.3.2 采用二项式模型或 Weibull 分布模型对试验数据进行统计分析，计算电机的可靠性指标。

9 可靠性评定

9.1 评定依据

根据产品技术文件规定的可靠性目标（如 B10 寿命、某一时间点的可靠度、允许失效数等），结合试验结果进行评定。

9.2 合格判定

9.2.1 在规定的试验时间内，所有样本无失效，且复试性能参数变化率符合要求，判定为满足可靠性目标。

9.2.2 若产品技术文件允许一定数量的失效，根据统计分析结果，若实际可靠度不低于规定值，判定为合格。

9.3 不合格判定

试验过程中失效样本数量超过允许值；统计分析得出的可靠性指标低于产品技术文件规定的目标值；复试性能参数变化率超出允许范围，影响电机正常使用。

10 试验报告

试验报告应包括但不限于以下内容：

- a) 报告编号、试验名称、试验日期、试验单位、试验人员；
- b) 前言；
- c) 样品信息；
- d) 试验依据；
- e) 试验条件；
- f) 试验过程概述：试验程序执行情况、停机及故障处理情况；
- g) 试验数据：性能初试与复试数据、运行参数记录、失效数据统计；
- h) 试验结果；
- i) 结论与建议。

