

T/CAQI

团 体 标 准

T/CAQI XXXX—XXXX

新能源驱动电机绕组及电磁线局部放电 (PD) 测试方法

Test method for partial discharge (PD) of windings and electromagnetic wires of new
Energy drive motor

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国质量检验协会 发 布

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 试验一般规定 2

5 测试设备 2

6 试验环境 4

7 试验方法 4

8 试验步骤 5

9 试验报告 6

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。

本文件由华兴中科标准技术（北京）有限公司提出。

本文件由中国质量检验协会归口。

本文件起草单位：青岛艾普智能仪器有限公司、沈阳昌盛电气设备科技有限公司、河南豫变电工有限公司、露笑科技股份有限公司、江西中易微连新材料科技有限公司、华域汽车电动系统有限公司、先登高科电气股份有限公司、广东金雁电工科技股份有限公司、长沙湘鸿仪器机械有限公司、上海拜研检测技术服务有限公司、华兴中科标准技术（北京）有限公司。

本文件主要起草人：韩庆江、柴娜、马雨璐、蒋丽微、赵衡、张东旭、魏雄强、林熙云、刘蔚、张市明、蓝学宜、梁学昊、叶贤忠、李华、刘永庆、丁月。

新能源驱动电机绕组及电磁线局部放电(PD)测试方法

1 范围

本文件规定了新能源驱动电机绕组及电磁线局部放电(PD)的试验一般规定、测试设备、试验环境、试验方法、试验步骤和试验报告。

本文件适用于新能源驱动电机定子绕组,以及组成电机定子的电磁线的局部放电试验。

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 4074.5—2008 绕组线试验方法 第5部分:电性能

GB/T 4074.7—2009 绕组线试验方法 第7部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法

GB/T 20833.1—2021 旋转电机 绕组绝缘 第1部分:离线局部放电测量

GB/T 22720.1 旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机无局部放电(I型)电气绝缘结构的鉴别和质量控制试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

局部放电 partial discharge (PD)

在电场作用下,绝缘材料中局部区域的放电现象。

注:通常伴随有电流脉冲和电磁辐射。

3.2

局部放电起始电压 partial discharge inception voltage (PDIV)

在规定的试验条件下,施加于电磁线上的电压从某一观测不到局部放电的较低值逐步增加至试验回路中初次探测到局部放电时的最低电压。

注:对于交流电压,PDIV定义为电压的有效值;对于脉冲电压,PDIV定义为峰值或峰-峰值电压。

3.3

重复局部放电起始电压 repetitive partial discharge inception voltage (RPDIV)

在规定的试验条件下,多次极性相同的冲击电压中至少出现半数PD脉冲的最小电压。

注:对于脉冲电压,RPDIV定义为峰值或峰-峰值电压。

3.4

局部放电起始熄灭电压 partial discharge inception and extinction voltage (PDEV)

在规定的试验条件下,施加于电磁线上的电压从某一观测到局部放电较高值逐渐减小直到停止出现重复性局部放电时的电压。

注:对于交流电压,PDEV定义为电压的有效值;对于脉冲电压,PDEV定义为峰值或峰-峰值电压。

3.5 干扰 interference

不是局部放电但可能影响局部放电试验结果的脉冲信号。

注:干扰一般来自测试设备外部。

3.6

背景噪声 background noise

测试设备不接被测品时测到的信号。背景噪声一般由外部电气部件或线路产生。

4 试验一般规定

4.1 试验原则

对于本文件没有规定的试验条件及试验要求，按产品标准规定进行。若本文件与产品标准不一致时，以产品标准为准。

4.2 试样状态调节和实验的标准环境

试样应在温度为(15~35)℃，相对湿度为：(45~75)%的条件下制备，状态调节时间不少于24 h。

若试样为电磁线，试验用绕组线从线轴上取下时，不应承受张力或不必要的弯曲，也不应受到外界污染。每次试验前应去除足够的绕组线，以确保试样不包含损坏的线段。

5 测试设备

5.1 局部放电测试设备

局部放电测试设备是评估新能源汽车绕组及部件局部放电量大小的常用设备，由制备装置、试验电源、耦合装置、信号传输装置、信号测量模块、数据分析处理软件等部分组成。

5.2 测试设备带宽对试验的影响

局部放电测试设备的频率响应特性，直接决定其对绕组局部放电信号的检出能力。测试设备带宽应符合下列规定：

——局部放电测试设备带宽应采用低频测量模式或高频测量模式；

——低频测量模式：

- 1) 带宽参数：通常为 1 MHz 或数百 kHz；
- 2) 传感器类型：采用电容性耦合单元作为局部放电（PD）传感器；
- 3) 性能特点：对远距离局部放电信号具有较好检测灵敏度，但测量结果易受噪声及干扰影响；
- 4) 试验要求：试验时应制定噪声与干扰分离的专项技术规程。

——高频测量模式要求：

- 1) 带宽参数：通常为 300 MHz~3 GHz；
- 2) 传感器类型：采用天线作为局部放电（PD）传感器，用于检测局部放电产生的电磁辐射脉冲信号；
- 3) 性能特点：电磁辐射信号随传播距离增加而衰减，检测灵敏度与传感器布置位置密切相关；
- 4) 布置要求：局部放电（PD）传感器应靠近局部放电源布置。

5.3 耦合单元对试验的影响

对于低频测量设备，电容性耦合单元一般由高压电容和低压耦合电路串联构成。由高压电容、耦合电路、传输系统及测量电路构成的试验系统，其特性参数会对试验灵敏度产生影响。

5.4 PD 传感器要求

5.4.1 对于天线法传感器，可使用下述装置：

- 设计用于局部放电试验的特定传感器；
- 安装于定子绕组内的槽部导线；
- 安装于电机外壳特定位置的铁片或微带天线。

5.4.2 对于耦合法传感器，可采用下述耦合装置与电容构成 PD 传感器：

- RLC 网络；
- 含有隔离变压器或 Rogowski 线圈的电流变压器。

5.5 测试设备

5.5.1 高压电源

输出电压范围应符合以下规定：

- 输出精度：±1%；
- 稳定性：±0.5%；
- 输入电压（AC）：220 V±10%，50/60 Hz；
- 输出电压（AC）：0 kV~5 kV；
- 波形失真率：小于3%；
- 电压波动：小于1%；
- 大负荷电流：100 mA；
- 电压精度：读数±（1%，10位）；
- 电压设定范围：0 kV~5 kV。

5.5.2 局部放电检测仪

5.5.2.1 工频 PD 应符合以下规定：

- 检测灵敏度：≤1 pC；
- 频率：50 Hz/60 Hz；
- 波形：正弦波（工频）；
- 大容量负荷：5000 pF；
- 放电阈值单位：pC/nC；
- 电压上升速率：可调；
- 定电压测试：固定某个电压点进行测试，时间可设置。

5.5.2.2 高频方波 PD 应符合以下规定：

- 检测灵敏度：≤1 pC；
- 频率范围：10 kHz~30 MHz；
- 数据采集速度：≤1 ms；
- 应答发生频率：10 PPS~9000 PPS；
- 校正脉冲电压：2V、20V；
- 校正脉冲频率：50 PPS；
- 内置耦合电容：1000 pF。

5.5.2.3 冲击 PD 应符合以下规定：

- 检测灵敏度：≤0.1 mV；
- 波形：脉冲电压；
- 判定阈值：1 mV~500 mV；
- 放电阈值单位：mV；
- 电压上升速率：可调。

5.5.3 热态试验仪

强迫通风电热烘箱，室温至200℃，温度偏差为±3℃。

5.6 试验夹具

试验夹具应符合以下规定：

- 电极间距可调，绝缘支架；
- 由耐高压、低损耗绝缘材料制成；
- 确保与绕组或电磁线试样的良好接触，避免局部放电干扰。

注：对于电磁线PD测试，夹具可以采用盛有不锈钢珠的容器，也可以采用盛有镀镍铁珠的容器或其他适当的夹具。在采用金属珠的情况下，其直径应不超过2 mm。此外，应定期用合适的方法清洗金属珠或其他夹具。

5.7 测试设备安装及布线

为保证试验准确性，测试设备安装及布线应符合以下规定：

- 固定牢靠，无振动现象；

- 保持接地良好；
- 引出线与周围导体（线体、大地等）不接触，推荐保持 10 cm 以上距离；
- 对于天线法传感器，应靠近试样，推荐距离 5 cm~20 cm。

6 试验环境

6.1 电磁环境

为确保试验结果准确性，应尽量降低试验现场的电磁干扰。工厂常见干扰源符合以下规定：

- 大型设备启停瞬间产生的电网电压波动；
- 伺服电机、变频器等电力电子设备引起的瞬变；
- 电动工具操作产生的换向器火花；
- 工厂其他位置电路接触不良产生的火花；
- 高压输配电线路产生的放电脉冲。

6.2 气候环境

空气湿度、温度对绝缘材料的绝缘特性有重大影响，因此试验现场应保持温湿度在允许范围内。推荐的温湿度范围为：温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 。

7 试验方法

7.1 试验方法概述

局部放电测量可在电磁线、定子绕组上进行。特殊情况下，可使用高海拔PD法、高温高海拔PD法等方法模拟试样在高海拔条件下的局部放电情况。

7.2 工频 PD 试验

7.2.1 通则

工频PD法测试时，设备输出标准50 Hz/60 Hz高压施加于试样，通过传感器测量试样PD放电量，以此判断试样是否符合要求。

7.2.2 单根电磁线测试方法

将电磁线样品固定在测试夹具上，并确保电极与样品良好接触。

推荐测试参数：初始电压200 V；逐步增加电压，步长25 V；判断标准50 pC。

注：以上电压为有效值。

7.2.3 定子绕组测试方法

将试样固定在测试平台上，按GB/T 20833.1—2021中的表5、表7连接，并确保电机端子与样品良好接触。

推荐测试参数：初始电压500 V；逐步增加电压，步长25 V；判断标准100 pC；判断电压不低于母线电压1.5倍或900 V，两者取最大值。

注：以上电压为有效值。

7.3 冲击 PD 试验

7.3.1 通则

冲击PD法测试时，设备输出规定的局部放电脉冲电压并施加到绕组中，通过传感器测量试样PD放电量，以此判断试样是否符合要求。

7.3.2 电磁线绕组测试方法

对于电磁线绕组，设备测量高压输出端口分别与绕组两端可靠连接。

推荐测试参数：初始电压1000 V；逐步增加电压，步长2%；判断标准50 mV。

注：以上电压为峰值。

7.3.3 定子绕组测试方法

定子绕组测试冲击PD时，设备测量端口U/V/W分别与定子绕组U/V/W可靠连接。

推荐测试参数：初始电压1000 V；逐步增加电压，步长2%；判断标准50 mV；判断电压根据注2设定。

- 注1：以上电压为峰值；
注2：根据GB/T 22720.1附录B，判断电压=母线电压*相位系数*尖峰系数)*增强系数；相位系数为2，尖峰系数取1～2.5之间；增强系数取1.25～1.63之间。

7.4 高海拔 PD 试验

电机在高海拔下工作时，气压降低导致更容易发生局部放电。必要时，需通过试验装置模拟生成低气压环境，并在此环境下测量局部放电量大小。高海拔PD试验时，接线方式与7.2、7.3一致。

测试方法：在同样条件下，同一试样在常压和5 km海拔（气压54 kPa）分别测试，PDIV电压比值不应超过1.25。

7.5 高温高海拔 PD 试验

必要时，需通过试验装置模拟生成高温低气压环境，并在此环境下测量局部放电量大小。高温高海拔PD试验时，接线方式与7.2、7.3一致。

测试方法：在同样条件下，同一试样在常温常压和高温5 km海拔（温度155 ℃、气压54 kPa）分别测试，PDIV电压比值不应超过1.63。

8 试验步骤

8.1 测试设备确认

8.1.1 背景噪声测量

为确保实验回路不影响试样局部放电的测量，宜先将试验回路电压升至终止电压而无明显放电，放电量不应超过判断标准的50%。

8.1.2 测试设备能力确认

为防止测试设备异常（如测试线路开路）造成测试结论错误，宜使用良品\不良品点检方式对测试设备能力进行确认，确认后方可使用。

8.2 试样准备

8.2.1 漆包圆线

适用于导体标称直径大于0.250 mm，小于或等于2.500 mm漆包圆绕组线。按GB/T 4074.5—2008中4.4的规定制备试样。为确保同批试样性能均匀，在进行耐高频脉冲试验前应对所有试样按2倍于表1中所规定的试验电压进行工频交流耐压试验筛选，电压持续时间为1 s，筛选出因试样加工而漆膜受损的试样。

表 1 脉冲试验电压

导体标称直径mm		稳态冲击电（U _a ）V	
		2级漆膜	3级漆膜
>0.250	≤0.500	750	1000
>0.500	≤0.710	1000	1250
>0.710	≤0.950	1250	1500
>0.950	≤1.600	1500	
>1.600	≤2.500	考虑中	
注：稳态冲击电压U _a 的偏差为0.5%。			

8.2.2 漆包扁线

按GB/T 4074.7—2009中5.1.2的规定制备试样。为确保同批试样性能均匀，在进行耐高频脉冲试验前应对所有试样按1000 V进行工频交流耐压试验筛选，电压持续时间为1 s，筛选出因试样加工而漆膜受损的试样。

8.2.3 定子绕组

按照GB/T 20833.1—2021中9.1.3、9.1.4的规定制备试样。

8.3 试验结果处理

试样制备完毕后，根据7.2、7.3、7.4的规定进行测试。当测试设备检测到局部放电信号时，记录此时的电压值，即为PDIV值或RPDIV值。为全面验证试样性能，在型式验证阶段可同步测试PDEV值。记录PD值，并根据要求判断测试结果是否合格。

9 试验报告

9.1 试验报告内容包括：

- a) 试样信息：型号、规格、生产批次/编号；
- b) 设备信息：设备型号、编号、检定/校准日期；
- c) 试验条件：实验人员、日期、环境温度、相对湿度、大气压力；
- d) 试验结果：PDIV 值或 RPDIIV 值；
- e) 结论：合格或不合格。

9.2 报告格式：报告应清晰、完整。
