

中华人民共和国工业和信息化部 发布

**20XX—XX—XX实施**

**202X—XX—XX发布**

**电机测试装置校准规范**

（报批稿）

**Calibration Specifications for Motor Test Device**

JJF（机械）1090—2022

**中华人民共和国工业和信息化部**

**机械计量技术规范**

**电机测试装置校准规范**

Calibration specification for

Motor Test Device

**JJF (机械)1090—2022**

****

归 口 单 位：中国机械工业联合会

负责起草单位：上海电器科学研究所（集团）有限公司

机械工业第十五计量测试中心站

上海电科智能装备科技有限公司

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

陈 勤（上海电器科学研究所（集团）有限公司）

参加起草人：

潘小慧（机械工业第十五计量测试中心站）

丁礼人（上海电器科学研究所（集团）有限公司）

沈喆威（上海电器科学研究所（集团）有限公司）

安 平（上海电科智能装备科技有限公司）

**目 录**

[引 言 II](#_Toc16603)

[1 范围 1](#_Toc31723)

[2 引用文件 1](#_Toc1014)

[3 术语和定义 1](#_Toc22996)

[4 概述 2](#_Toc297)

[5 计量特性 3](#_Toc30603)

[5.1 外观及性能要求 3](#_Toc22964)

[5.2主要计量特性 3](#_Toc1015)

[6 校准条件与校准设备 6](#_Toc28899)

[6.1 环境条件 6](#_Toc3382)

[6.2测量标准及其他设备 6](#_Toc23662)

[7 校准项目和校准方法 7](#_Toc23006)

[7.1 外观检查 7](#_Toc22835)

[7.2 校准项目 7](#_Toc2426)

[7.3 校准方法 7](#_Toc28228)

[7.3.1校准数据的读取方法 7](#_Toc7605)

[7.3.2试验电流示值误差校准 8](#_Toc31201)

[7.3.3试验电压示值误差校准 9](#_Toc23056)

[7.3.4功率示值误差校准 9](#_Toc32478)

[7.3.5功率因数示值误差校准 9](#_Toc5653)

[7.3.6电压频率示值误差校准 9](#_Toc32376)

[7.3.7转矩示值误差校准 10](#_Toc15979)

[7.3.8转速示值误差校准 10](#_Toc18864)

[7.3.9效率示值误差校准 10](#_Toc25395)

[8 校准结果表达 10](#_Toc20132)

[9 复校时间间隔 10](#_Toc26257)

[附 录 A 11](#_Toc18812)

[附 录 B 15](#_Toc13400)

[附 录 C 41](#_Toc15839)

引 言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等编制。

本规范为首次发布。

电机测试装置校准规范

1 范围

本校准规范适用于新购置的、使用中的和修理后的电机测试装置计量性能的校准。其测量参数可以是数字显示，也可以是模拟显示。

其他类似仪器也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》

JJF 1491-2014《数字式交流电参数测量仪校准规范》

JJG 924-2010《转距转速测量装置检定规程》

GB/T 1029-2005《三相同步电机试验方法》

GB/T 1032-2012《三相异步电动机试验方法》

GB/T 14481-2008《单相同步电机试验方法》

GB/T 9651-2008《单相异步电动机试验方法》

GB/T 1311-2008《直流电机试验方法》

GB/T 20114-2019《普通电源或整流电源供电直流电机的特殊试验方法》

IEC 60034-19：2014《Rotating electrical machines - Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and rectifier-fed supplies》

凡是注日期的引用文件，仅该日期对应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。

3 术语和定义

3.1效率*η*（%）

效率*η*一般被认定是以同一单位表示的输出机械功率P2（一般为输入功率P1减去总损耗功率PT）与输入功率P1之比，通常以百分数表示。

4 概述

本校准规范主要适用于各类电机测试装置的现场整体校准。见安装范例图1。

测试装置输入功率的现场整体校准，通常是将标准电流传感器串接在电机测试装置的电流回路，标准电流传感器输出信号接入功率分析仪。被测电压信号经过标准高压分压器（低电压无需使用）或标准隔离放大器（测试现场无影响仪器正常工作的电磁干扰时，可不使用隔离放大器）等标准电压传感器传输到功率分析仪。通过采集被测的电流、电压信号可以对电压、电流、频率、功率、功率因数、谐波电压、谐波电流等参量的示值误差进行校准。

测试装置输出机械功率的现场整体校准，则是由标准转矩转速传感器配合数字功率表，使用自制的万用联轴器与被校测试装置的机械量传感器串接在一起，比较两者所显示出来的扭矩值与转速值，最终计算出其输出机械功率的误差；数字功率表的另外的一个用途体则现在其自身的公式编辑上，通过将各个传感器所测得的数值进行代数运算得出被校电机测试装置上被试品的效率，然后与试验系统的效率值进行比较，由此也可评估测试装置用于能效评估数值的正确性，上述各个方法的综合即可达到现场校准电机测试装置及其类似系统的目的。

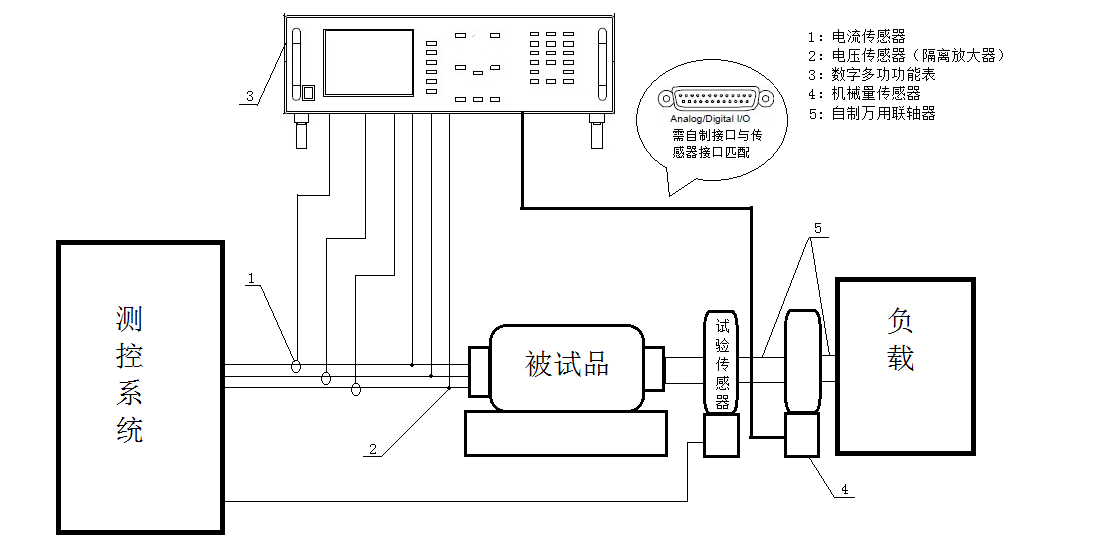


图1 电机测试装置现场校准安装范例图

5 计量特性

5.1 外观及性能要求

1. 测试装置应有明确的标记。包括名称、型号、规格、出厂编号、制造单位等。
2. 测试装置的外形结构应完好，表面不应有明显的凹痕、外伤、裂痕和变形等现象。电源开关动作正常，按钮开关的动作应明确。

5.2主要计量特性

5.2.1 试验电流示值误差

电机测试装置试验电流示值误差按式（1）计算。

*SI*= ×100% （1）

式中：*SI*—试验电流示值误差

In—测量标准测得的电流实际值

Ix—电机测试装置的电流显示值

电机测试装置试验电流示值误差一般应优于±0.7％。

5.2.2试验电压示值误差

电机测试装置试验电压示值误差按式（2）计算。

*SU*= ×100% （2）

式中：*SU*—试验电压示值误差

*Un*—测量标准测得的电压实际值

*Ux*—电机测试装置的电压显示值

电机测试装置试验电压示值误差一般应优于±0.5％。

5.2.3功率示值误差

电机测试装置功率示值误差按式（3）计算。

*SP*= ×100% （3）

式中：*SP*—功率示值误差

*Pn*—测量标准测得的功率实际值

*Px*—电机测试装置的功率显示值

电机测试装置功率示值误差一般应优于±0.7％。

5.2.4功率因数示值误差

电机测试装置功率示值误差按式（4）计算。

*S*λ= ×100% （4）

式中：*S*λ—功率因数示值误差

λ*n*—测量标准测得的功率因数实际值

λ*x*—电机测试装置的功率因数显示值

电机测试装置功率因数示值误差一般应优于±0.7％。

5.2.5电压频率示值误差

电机测试装置电压频率示值误差按式（5）计算。

*Sf* = ×100% （5）

式中：*Sf*—频率示值误差

*fn*—测量标准测得的电压频率实际值

*fx*—电机测试装置的电压频率显示值

电机测试装置功率因数示值误差一般应优于±0.1％。

5.2.6转矩示值误差

电机测试装置转矩示值误差按式（6）计算。

*S*M= ×100% （6）

式中：*S*M—转矩示值误差（满量程）

*Mn*—测量标准测得的转矩实际值

*Mx*—电机测试装置的转矩显示值

*MM*—电机测试装置的转矩满量程值

电机测试装置转矩示值误差一般应优于±0.5％。

5.2.7转速示值误差

电机测试装置转速示值误差按式（7）计算。

*S*V= ×100% （7）

式中：*S*V—转矩示值误差（满量程）

*Vn*—测量标准测得的转速实际值

*Vx*—电机测试装置的转速显示值

*VM*—电机测试装置的转速满量程值

电机测试装置转速示值误差一般应优于±0.2％。

5.2.8效率示值误差

电机测试装置效率示值误差按式（8）计算。

Δη= *ηx*-*ηn*  （8）

式中：Δ*η*—效率示值误差

*ηn*—测量标准测得的效率计算值

*ηnx*—电机测试装置的效率计算值

电机测试装置效率示值误差一般应优于±0.2％。

5.2.9计量特性汇总表

计量特性汇总见表1。

表1 计量特性汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目名称 | 测量范围 | 最大允许误差 |
| 1 | 试验电流 | (0.1～4000)A | ±0.7％ |
| 2 | 试验电压 | （0.1～12000）V | ±0.5％ |
| 3 | 试验功率 | （0.1～12000）V/(0.1～4000)A | ±0.7％ |
| 4 | 功率因数 | （0～1） | ±0.7％ |
| 5 | 电压频率 | (1～1000)Hz | ±0.1% |
| 6 | 转矩 | （0.5～10000）N·m | ±0.5% |
| 7 | 转速 | （6.0～8000）r/min | ±0.2% |
| 8 | 效率 | （0～1） | ±0.2% |

6 校准条件与校准设备

6.1 环境条件

6.1.1环境温度：20℃±10℃；相对湿度：（30~80）%RH。

6.1.2供电电源：电压变化不低于电源额定电压的±10％，频率变化不低于电源额定频率的±1%。

6.1.3测试装置显示仪表或设备周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2测量标准及其他设备

6.2.1标准电流传感器

标准电流传感器的测量范围应覆盖被校电机测试装置的电流范围，为了保证测量范围内的准确度，要求电流传感器多量程；电流传感器的频率范围应满足被校电机测试装置的频率范围。在被校测试装置工作频率范围内，比值准确度应优于0.1级。

6.2.2标准高压分压器

标准高压分压器的测量范围应覆盖被校电机测试装置的电压范围，在被校测试装置工作频率范围内，幅值准确度应优于0.1级。

6.2.3标准隔离放大器

标准隔离放大器的电压测量范围应覆盖被校电机测试装置的电压范围，频率范围应满足被校电机测试装置的频率范围。在被校测试装置工作频率范围内，电压准确度应优于0.1级。

6.2.4标准功率分析仪

标准功率分析仪应有电流、电压、功率、功率因数、频率、谐波、扭矩等测量功能。功率分析仪与电流传感器组成的电流测量回路的电流测量范围需覆盖被校电机测试装置的电流范围，功率分析仪与高压分压器、隔离放大器组成的电压测量回路的电压测量范围需覆盖被校电机测试装置的电压范围。在被校测试装置工作频率范围内，功率分析仪的电流、电压、功率、功率因数、频率准确度等级应优于0.1级。

6.2.5标准转矩传感器

要求标准转矩传感器的测量范围为（0.1~10000）N·m，最大允许误差：±0.03%FS。有相应的连接器件固定在机械轴上。

6.2.6标准转速表

采用非接触式标准转速表，测量范围（1.0～8000）r/min，最大允许误差：±0.03%FS。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

电机测试装置的铭牌上应有以下主要标志：名称、型号、制造商和出厂编号。所有的标志应清晰明显，接线端子完好，无影响被校测试装置性能的损坏。被校测试装置接通电源后应能正常工作。

7.2 校准项目

校准项目见表2，实验室可根据电机测试装置的类型及客户的要求，选择校准其中适用的项目。

表 2. 电机测试装置校准项目一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 项目名称 | 技术要求的条款号 | 校准方法的条款号 |
| 1 | 外观 | 5.2.8 | 7.1 |
| 2 | 试验电流 | 5.2.8 | 7.4 |
| 3 | 试验电压 | 5.2.8 | 7.5 |
| 4 | 试验功率 | 5.2.8 | 7.6 |
| 5 | 功率因数 | 5.2.8 | 7.7 |
| 6 | 电压频率 | 5.2.8 | 7.8 |
| 7 | 转矩 | 5.2.8 | 7.9 |
| 8 | 转速 | 5.2.8 | 7.10 |
| 9 | 效率 | 5.2.8 | 7.11 |

7.3 校准方法

7.3.1校准数据的读取方法

由于电机测试装置工作时负载的不稳定性，显示的数据短期变化较大，所以在校准时要尽量在同一时刻读取被校测试装置和测量标准的显示数据，建议用拍照的方式同时得到两者的测量数据。

7.3.2试验电流示值误差校准

由于电机测试装置校准方式是现场整体校准，在对校准试验电流时，就必须将所有的电流电压传感器及机械量传感器安装到位。

所有标准装置部件按校准接线原理框图2连接，根据被测电流的大小决定是否使用电流传感器，如果被测电流小于功率分析仪的额定电流，则电流信号直接接入功率分析仪的电流输入端。如果被测电流大干功率分析仪的额定电流，需要使用电流传感器，电流传感器串接在被测电流回路中，选择电流传感器的量程，电流传感器的输出接入功率分析仪的电流输入端。接通被校电机测试装置的电源，进入正常操作流程，待试验电流稳定后，分别读取被校电机测试装置电流显示值和测量标准上显示的电流值，然后根据电流传感器变比折算成电流实际值。

在每个电流量程内，按电流量程的10%~100%之间均匀选取3～5个校准点。并按式（1）计算各校准点的电流示值误差SI。

由于电机启动电流比正常的工作电流大5-7倍，所以在校准试验电流时，应正确选择功率分析仪和电流传感器的量程。

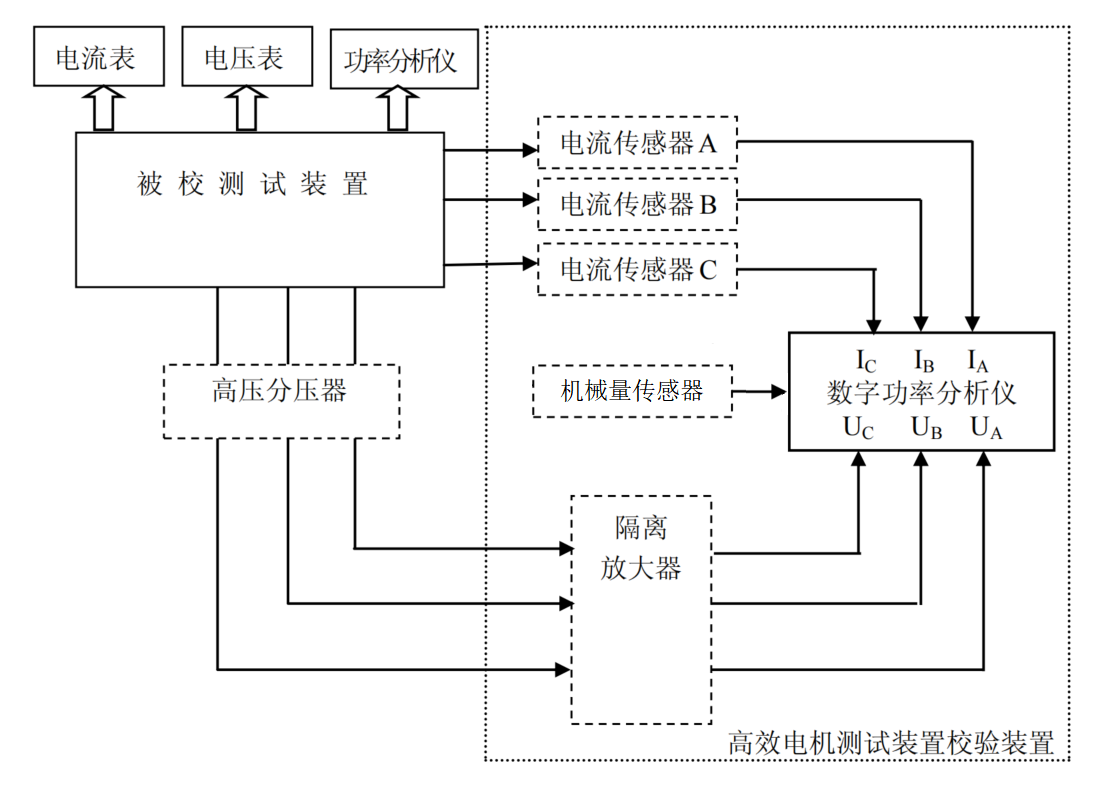


图2 校准接线原理框图

7.3.3试验电压示值误差校准

按图2接线，根据被测电压信号的大小及测试现场有无较强电磁干扰的情况，考虑是否使用高压分压器和隔离放大器。被测电压信号通过高压分压器、隔离放大器接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压稳定后，分别读取被校电机测试装置电压显示值和测量标准上显示的电压值，然后根据高压分压器变比、隔离放大器的放大或衰减倍数折算成电压实际值。

在每个电压量程内，按电压量程的10%~100%之间均匀选取3～5个校准点。并按式（2）计算各校准点的电压示值误差SU。

7.3.4功率示值误差校准

按图2接线，根据被测电流的大小决定是否使用电流传感器，如果被测电流小于功率分析仪的额定电流，则电流信号直接接入功率分析仪的电流输入端。如果被测电流大干功率分析仪的额定电流，则电流传感器串接在被测电流回路中，电流传感器的输出接入功率分析仪的电流输入端。被测电压信号通过高压分压器（电压小于功率分析仪的额定电压时，无需使用）、隔离放大器（无强电磁干扰时，无需使用）接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压、试验电流稳定后，分别读取被校电机测试装置功率显示值和测量标准上显示的功率值。按式（3）计算各校准点的功率示值误差SP。

7.3.5功率因数示值误差校准

接线方法同功率示值误差校准的接线方法。接通被校电机测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压、试验电流稳定后，分别读取被校电机测试装置功率因数显示值和测量标准上显示的功率因数值。按式（4）计算各校准点的功率因数示值误差Sλ。

7.3.6电压频率示值误差校准

接线方法同试验电压示值误差校准的接线方法。接通被校电机测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压稳定后，分别读取被校电机测试装置电压频率显示值和测量标准上显示的电压频率值。按式（5）计算各测试点的电压频率示值误差。

在电压频率调节范围内，选取2～5个常用试验电压频率作为校准点。并按式（5）计算各校准点的电压频率示值误差S*f*。

7.3.7转矩示值误差校准

按原理框图2连接，电机测试装置的转矩传感器和测量标准配用的转矩传感器放置必须在同一机械轴上，系统正常运转后，分别从电机测试装置的转矩显示仪和测量标准的转矩显示器上读取转矩值，按式（6）计算各测试点的转矩示值误差。

在转矩调节范围内，选取2～5个常用扭矩作为校准点。并按式（6）计算各校准点的转矩示值误差SM。

7.3.8转速示值误差校准

按原理框图2连接，将标准转速表配用的转速反光纸贴在被校电机测试装置的转矩转速传感器上，启动电机测试装置，逐步增速，待稳定后，分别从电机测试装置的转速显示仪上和标准转速表上读取转速值，按式（7）计算各测试点的转速示值误差。

在转速调节范围内，选取2～5个常用转速作为校准点。并按式（7）计算各校准点的转速示值误差SV。

7.3.9效率示值误差校准

按原理框图2连接，将可调节负载接入测试装置中，启动电机测试装置，待稳定后，采用输入-输出法进行效率的校准，即将测得的输入电功率值与输出的机械功率进行比较，得到转换效率值，分别记录电机测试装置和标准装置的效率计算值，按式（8）计算各效率示值误差。电动机效率测试常用的B法测试中涉及的冷端数值和各阶段温度值由于大多数被校测试装置并没有整合这次参数的测量功能，故本规范不做测量方法的说明。

8 校准结果表达

经校准的位移传感器，出具校准证书或校准报告，报告内容详见附录C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年电机测试装置的复校周期由客户根据使用的环境和频度决定，为了保证满足相应的技术指标，建议复校周期不低于一年。

附 录 A

（资料性）

校准结果格式

电机测试装置校准记录参考格式

共2页/第1页

委托单位： 地址：

收样日期： 校准日期：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器名称 |  | | | | 证书编号 |  |
| 制造厂 |  | 型号规格 |  | | 出厂编号 |  |
| 标准器名称 |  | 标准器编号 |  | | 证书有效期 |  |
| 测量范围 |  | 不确定度（或准确度  等级或最大允许误差 | |  | | |
| 校准依据 |  | 温度 |  | | 湿度 |  |

1. 外观及性能检查：
2. 试验电流示值误差：（*f* = Hz)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检电流示值（ ） | 测量标准示值（ ） | 实际电流值（ ） | 误差（%） |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

1. 试验电压示值误差：（*f* = Hz)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检电压示值（ ） | 测量标准示值（ ） | 实际电压值（ ） | 误差（%） |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

1. 功率示值误差：（*f* = Hz)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检功率示值（ ） | 实际功率值（ ） | 误差（%） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

1. 功率因数示值误差：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 测试条件 | 被检功率因数示值 | 实际功率因数值 | 误差 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

电机测试装置校准记录参考格式

共2页/第2页

1. 电压频率示值：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被检电压频率示值（Hz） | 实际电压频率值（Hz） | 误差 |
|  |  |  |

1. 转矩示值误差：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方向 | 被检转矩示值（Nm） | 实际转矩示值（Nm） | 误差 |
| 顺时针 |  |  |  |
|  |  |  |
| 逆时针 |  |  |  |
|  |  |  |

1. 转速：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被检转速示值（r/min） | 实际转速值（r/min） | 误差 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

校准 年 月 日 核验 年 月 日

校准证书内页的格式

校准结果

共2页/第1页

1. 外观：
2. 试验电流：（*f*= Hz)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检电流示值（ ） | 实际电流值（ ） |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. 试验电压：（*f*= Hz)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检电压示值（ ） | 实际电压值（ ） |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. 功率：（*f*= Hz)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 被检功率示值（ ） | 实际功率值（ ） |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. 功率因数示值误差：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程/相位 | 测试条件 | 被检功率因数示值 | 实际功率因数值 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

1. 电压频率：

|  |  |
| --- | --- |
| 被检电压频率示值（Hz） | 实际电压频率值（Hz） |
|  |  |
|  |  |

1. 转矩示值误差：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方向 | 被检转矩示值（Nm） | 实际转矩示值（Nm） |
|  |  |  |
|  |  |  |

校准证书内页的格式

校准结果

共2页/第2页

1. 转速：

|  |  |
| --- | --- |
| 被检转速示值（r/min） | 实际转速值（r/min） |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

校准结果测量不确定度的描述：

附 录 B

（资料性）

不确定度的评定实例

电机测试装置测量结果的示值主要有：试验电流、试验电压、功率、功率因数、电压频率、转矩以及转速。现对上述七项测量结果的不确定度分别进行评定。

由于现场大电流校准测量时,影响条件难以控制，所以测量的重复性主要是由被校对象的波动形成，从而试验电流、试验电压、功率的测量不确定度中，A类分量占比较主要的地位。

**一 试验电流示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（20±3）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：

高精度交流电流传感器：额定测量电流4000A，变比4000A/2A，测量带宽15Hz~5kHz。400A~4000A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.02%读数，角度最大允许误差±0.05°；100A~400A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.04%读数，角度最大允许误差±0.07°。

高精度交直流电流传感器：额定测量电流500A/AC，变比1000A/1A，测量带宽DC~500kHz。DC~100Hz时：幅值最大允许误差±（0.015%读数+0.005%量程），角度最大允许误差±0.02°。

高精度功率分析仪：电流范围（0~32）A，测量带宽DC，0.05Hz~3MHz。量程：20mA、40mA、80mA、150mA、300mA、600mA、1.2A、2.5A、5A、10A、20A、32A；45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±（0.01%读数+0.02%量程）。

试验电流（0.1~20A），不使用电流传感器，电流信号直接接入功率分析仪。试验电流（20~100A），使用PSU1000HF高精度交直流互感器，100A以上用LMG-Z542高精度交流互感器。

1.4 被测对象：试验电流≤4000A的电机测试装置。

1.5 测量过程：被测电流信号直接接入或通过电流互感器接入功率分析仪，调节电机测试装置的试验电流，待电流稳定后，读出电机测试装置试验电流的显示值和功率分析仪的电流读数，功率分析仪的电流读数乘以电流互感器变比得到测试装置的电流实际值，将测试装置的电流显示值与实际值相减，其差值即为被校测试装置的电流示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*I*=*I*x-*I*n

式中： Δ*I*——测试装置电流示值误差。

*I*x——测试装置电流显示值。

*I*n——测量标准电流实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 电流传感器误差引入的不确定度；
3. 功率分析仪误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*I*x)的评定定

被校测试装置试验电流*I*x的标准不确定度*u*(*I*x)来源于被校测试装置的测量不重复，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择电流测量点：500A/50Hz、150A/50Hz、50A/50Hz，在重复性条件下，连续独立测量 10 次获得一组测量值，见表1。

表1 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 500A | 500.6 | 500.4 | 500.2 | 500.0 | 500.7 | 501.4 | 501.2 | 500.8 | 502.3 | 500.7 |
| 150A | 150.48 | 151.05 | 150.64 | 150.84 | 150.61 | 150.49 | 150.70 | 150.64 | 151.01 | 150.62 |
| 50A | 50.05 | 49.99 | 49.95 | 50.13 | 50.11 | 49.94 | 50.08 | 50.04 | 50.00 | 49.91 |

测量点500A：平均值=500.8A；单次实验标准差：*s*==0.665A：

测量点150A：平均值=150.71A；单次实验标准差：*s*==0.198A：

测量点50A：平均值=50.02A；单次实验标准差：*s*==0.0744A：

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*I*x)=*s*。

测量点500A：*u*(*I*x)=0.665A

测量点150A：*u*(*I*x)=0.198A

测量点50A：*u*(*I*x)=0.0744A

3.2 电流传感器、功率分析仪误差引入的不确定度*u*(*I*n)的评定

输入量*In*的标准不确定度*u*(*In*)主要是电流互感器、功率分析仪误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

测量点500A的标准不确定度*u*(*In*)

电流传感器在500A/50Hz测试点的误差：*e1*=±0.02%读数=±0.02%×500=±0.1A

功率分析仪在500A/50Hz测试点的误差：

*e2*=±（0.01% 读数+0.02%量程）=±（0.01%×500+0.02%×600）=±0.17A。

*e*=*e1*+*e2*=±0.27A，区间半宽度α=0.27A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*In*)==0.156A

测量点150A的标准不确定度*u*(*In*)

电流传感器在150A/50Hz测试点的误差：*e1*=±0.04%读数=±0.04%×150=±0.06A

功率分析仪在150A/50Hz测试点的误差：

*e2*=±（0.01% 读数+0.02%量程）=±（0.01%×150+0.02%×150）=±0.045A。

*e*=*e1*+*e2*=±0.105A，区间半宽度α=0.105A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，则*u*(*In*)==0.0606A

测量点50A的标准不确定度*u*(*In*)

电流传感器在50A/50Hz测试点的误差：

*e1*=±（0.015%读数+0.005%量程）=±（0.015%×50+0.005%×500）=±0.0325A

功率分析仪在50A/50Hz测试点的误差：

*e2*=±（0.01% 读数+0.02%量程）=±（0.01%×50+0.02%×80）=±0.021A。

*e*=*e1*+*e2*=±0.0535A，区间半宽度α=0.0535A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，则*u*(*In*)==0.0309A

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*I*=*I*x-*I*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*I*/∂*I*x =1

c2 =∂Δ*I*/∂*I*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表2。

表 2 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*I*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 测量点500A：0.665A  测量点150A：0.198A  测量点50A：0.0744A | 1 | 500A：0.665A  150A：0.198A  50A：0.0744A |
| *u*(*I*n) | 测量标准的示值误差 | 测量点500A：0.156A  测量点150A：0.0606A  测量点50A：0.0309A | -1 | 500A：0.156A  150A：0.0606A  50A：0.0309A |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*I*x)与*u*(*I*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****

测量点500A：*u*c(Δ)=0.683A；测量点150A：*u*c(Δ)=0.204A

测量点50A：*u*c(Δ)=0.0806A

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)。

测量点500A：*U*=2×0.683=1.366≈1.4A；测量点150A：*U*=2×0.204=0.408≈0.5A

测量点50A：*U*=2×0.0806=0.1612≈0.17A

**6 不确定度的报告与表示**

在标准工作条件下（（20±3）℃，（30~80）％RH）：

测量点500A：I =500.8A，*U*=1.4A，*k*=2

测量点150A：I =150.7A，*U*=0.5A，*k*=2

测量点50A：I =50.02A，*U*=0.17A，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：

测量点500A：*U*rel=0.28%，*k*=2；测量点150A：*U*rel=0.28%，*k*=2

测量点50A：*U*rel=0.33%，*k*=2

**二 试验电压示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（20±3）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：

高精度功率分析仪：电压范围（0~1000）V，测量带宽DC，0.05Hz~3MHz。量程：3V、6V、12.5V、25V、60V、130V、250V、400V、600V、1000V；45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±（0.01%读数+0.02%量程）。

HST12-3三相高压分压器：每相的电压范围：（1000~12000）V，变比4000：1，45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±0.05%读数，角度最大允许误差0.06度。

1.4 被测对象：试验电压≤12000V的电机测试装置。

1.5 测量过程：被测电压信号≤1000V 时直接接入功率分析仪的电压输入端；被测电压信号≥1000V 时通过高压分压器接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压稳定后，分别读取被校电机测试装置电压显示值和功率分析仪显示的电压实际值，将测试装置的电压显示值与实际值相减，其差值即为被校测试装置的电压示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*U*=*U*x-*U*n

式中： Δ*U*——测试装置电压示值误差。

*U*x——测试装置电压显示值。

*U*n——测量标准电压实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 高压分压器误差引入的不确定度；
3. 功率分析仪误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*U*x)的评定定

被校测试装置试验电压*U*x的标准不确定度*u*(*U*x)来源于被校测试装置的测量不重复，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择电压测量点：220V/50Hz、380V/50Hz、10000V/50Hz，在重复性条件下，连续测量10次获得一组测量值，见表3。

表3 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 220V | 220.30 | 220.26 | 220.12 | 220.38 | 220.10 | 219.89 | 220.32 | 220.35 | 219.84 | 220.29 |
| 380V | 380.82 | 380.72 | 380.51 | 380.18 | 380.35 | 380.64 | 380.68 | 380.11 | 380.33 | 380.98 |
| 10000V | 10026 | 10019 | 10016 | 10017 | 10010 | 10003 | 10009 | 9999 | 10015 | 10005 |

测量点220V：平均值=220.18V；单次实验标准差：*s*==0.192V：

测量点380V：平均值=280.53V；单次实验标准差：*s*==0.285V：

测量点10000V：平均值=10012V；单次实验标准差：*s*==8.21A：

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*U*x)=*s*。

测量点220V：*u*(*U*x)=0.192V：

测量点380V：*u*(*U*x)=0.285V

测量点10000V：*u*(*U*x)=8.21A：

3.2 高压分压器、功率分析仪误差引入的不确定度*u*(*U*n)的评定

输入量*Un*的标准不确定度*u*(*Un*)主要是高压分压器、功率分析仪误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

测量点220V的标准不确定度*u*(*Un*)

功率分析仪在220V/50Hz测试点的误差：

*e*=±（0.01%读数+0.02%量程）=±（0.01%×220+0.02%×250）=±0.072V。

区间半宽度α=0.072V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*Un*)==0.0416V

测量点380V的标准不确定度*u*(*Un*)

功率分析仪在380V/50Hz测试点的误差：

*e*=±（0.01% 读数+0.02%量程）=±（0.01%×280+0.02%×400）=±0.118V。

区间半宽度α=0.118V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*Un*)==0.0681V

测量点10000V的标准不确定度*u*(*Un*)

高压分压器在10000V/50Hz测试点的误差：*e1*=±0.05%读数=±0.05%×10000=±5V

功率分析仪在50A/50Hz测试点的误差：

*e2*=±（0.01%读数+0.02%量程）=±（0.01%×2.5+0.02%×3）×4000=±3.4V。

*e*=*e1*+*e2*=±8.4V，区间半宽度α=8.4V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*Un*)==4.85V

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*U*=*U*x-*U*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*U*/∂*U*x =1；

c2 =∂Δ*U*/∂*U*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表4。

表4 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*I*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 测量点220V：0.192V  测量点380V：0.285V  测量点10000V：8.21V | 1 | 220V：0.192V  380V：0.285V  10000V：8.21V |
| *u*(*I*n) | 测量标准的示值误差 | 测量点220V：0.0416V  测量点380V：0.0681V  测量点10000V：4.85V | -1 | 220V：0.0416V  380V：0.0681V  10000V：4.85V |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*U*x)与*u*(*U*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****

测量点220V：*u*c(Δ)=0.196V

测量点380V：*u*c(Δ)=0.293V

测量点10000V：*u*c(Δ)=9.50V

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)。

测量点220V：*U*=2×0.196=0.392≈0.4V

测量点380V：*U*=2×0.293=0.586≈0.6V

测量点10000V：*U*=2×9.50=19.0≈19V

**6 不确定度的报告与表示**

在标准工作条件下（（20±3）℃，（30~80）％RH）：

测量点220V：电压=220.2V，*U*=0.4V，*k*=2

测量点380V：电压=380.5V，*U*=0.6V，*k*=2

测量点10000V：电压=10012V，*U*=19V，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：

测量点 220V：*U*rel=0.18%，*k*=2

测量点 380V：*U*rel=0.16%，*k*=2

测量点 10000V：*U*rel=0.19%，*k*=2

**三 功率示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（20±3）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：

高精度交流电流传感器：额定测量电流4000A，变比4000A/2A，测量带宽15Hz~5kHz。400A~4000A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.02%读数，角度最大允许误差±0.05°；100A~400A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.04%读数，角度最大允许误差±0.07°。

高精度交直流电流传感器：额定测量电流500A/AC，变比1000A/1A，测量带宽DC~500kHz。DC~100Hz时：幅值最大允许误差±（0.015%读数+0.005%量程），角度最大允许误差±0.02°。

高精度功率分析仪：电流范围（0~32）A，测量带宽DC，0.05Hz~3MHz。量程：20mA、40mA、80mA、150mA、300mA、600mA、1.2A、2.5A、5A、10A、20A、32A；45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±（0.01%读数+0.02%量程）。

试验电流（0.1~20A），不使用电流传感器，电流信号直接接入功率分析仪。试验电流（20~100A），使用PSU1000HF高精度交直流互感器，100A以上用LMG-Z542高精度交流互感器。

HST12-3三相高压分压器：每相的电压范围：（1000~12000）V，变比4000：1，45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±0.05%读数，角度最大允许误差0.06度。

1.4 被测对象：试验电压≤12000V、试验电流≤4000A的电机测试装置。

1.5 测量过程：被测电流信号直接或通过电流传感器接入功率分析仪的电流输入端。被测电压信号≤1000V时直接接入功率分析仪的电压输入端；被测电压信号≥1000V时通过高压分压器接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机电性能测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压、试验电流稳定后，分别读取被校电机电性能测试装置功率显示值和测量标准上显示的功率值。将被校测试装置的功率显示值与实际值相减，其差值即为被校测试装置的功率示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*P*=*P*x-*P*n

式中： Δ*P*——测试装置功率示值误差。

*P*x——测试装置功率显示值。

*P*n——测量标准功率实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 电流传感器误差引入的不确定度；
3. 高压分压器误差引入的不确定度；
4. 功率分析仪误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*P*x)的评定定

被校测试装置功率*P*x的标准不确定度*u*(*P*x)来源于被校测试装置的测量不重复性，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择功率测量点：单相有功功率9.2kW（相电压约230V、电流约50A/50Hz）、单相有功功率14kW（相电压约110V、电流约160A/50Hz），在重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表5。

表5 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 9.2kW | 9.205 | 9.212 | 9.209 | 9.215 | 9.202 | 9.189 | 9.218 | 9.216 | 9.222 | 9.213 |
| 14kW | 13.946 | 13.975 | 13.945 | 13.971 | 13.952 | 13.991 | 13.965 | 13.970 | 13.944 | 13.982 |

测量点9.2kW：平均值=9.210kW；

单次实验标准差：*s*==0.00950kW

测量点14kW：平均值=13.964kW；

单次实验标准差：*s*==0.0166kW

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*P*x)=*s*。

3.2 电流传感器、高压分压器、功率分析仪误差引入的不确定度*u*(*P*n)的评定

输入量*Pn*的标准不确定度*u*(*Pn*)主要是电流互感器、高压分压器、功率分析仪误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

所选择的测量点，并没有使用高压分压器，所以只考虑电流互感器、功率分析仪误差引起的测量不确定度。

测量点9.2kW的标准不确定度*u*(*Pn*)

电流传感器在50A/50Hz测试点的误差：*e1*=±（0.015%读数+0.005%量程）=±（0.015%×50+0.005%×500）=±0.325A。换算成相对值为：±0.065%。

功率分析仪在9.2kW测试点的误差：*e2*=±（0.015%读数+0.01%量程）=±（0.015%×9.2+0.01%×20）=±0.00338kW（此处量程为 250V\*80A=20000W）。换算成相对值为：±0.0367%。

*e*=*e1*+*e2*=±0.1017%，区间半宽度α=0.1017%，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，则*u*(*Pn*)==0.0587%

测量点14kW的标准不确定度*u*(*Pn*)

电流传感器在160A/50Hz测试点的误差：

*e1*=±0.04%读数=±0.064A。换算成相对值为：±0.04%。

功率分析仪在14kW测试点的误差：*e2*=±（0.015%读数+0.01%量程）=±（0.015%×14+0.01%×39）=±0.600kW（此处量程为130V\*300A=39000W）。换算成相对值为：±0.0429%。

*e*=*e1*+*e2*=±0.0829%，区间半宽度α=0.0829%，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，则*u*(*Pn*)==0.0479%

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*P*=*P*x-*P*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*P*/∂*P*x =1，c2 =∂Δ*P*/∂*P*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表2。

表6 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*P*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 测量点9.2kW：0.103%  测量点14kW：0.119% | 1 | 9.2kW：0.103%  14kW：0.119% |
| *u*(*P*n) | 测量标准的示值误差 | 测量点9.2kW：0.0587%  测量点14kW：0.0479% | -1 | 9.2kW：0.0587%  14kW：0.0479% |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*P*x)与*u*(*P*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****

测量点9.2kW：*u*c(Δ)=0.119%

测量点14kW：*u*c(Δ)=0.128%

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)。

测量点9.2kW：*U*=2×0.119%=0.238%≈0.24%

测量点14kW：*U*=2×0.128%=0.256%≈0.26%

**6 不确定度的报告与表示**

在标准工作条件下（（20±3）℃，（30~80）％RH）：

测量点9.2kW：P=9.210kW，*U*rel=0.24%，*k*=2

测量点14kW：P=13.964kW，*U*rel=0.26%，*k*=2

**四 功率因数示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（20±3）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：

高精度交流电流传感器：额定测量电流4000A，变比4000A/2A，测量带宽15Hz~5kHz。400A~4000A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.02%读数，角度最大允许误差±0.05°；100A~400A：48Hz~66Hz时幅值最大允许误差±0.04%读数，角度最大允许误差±0.07°。

高精度交直流电流传感器：额定测量电流500A/AC，变比1000A/1A，测量带宽DC~500kHz。DC~100Hz时：幅值最大允许误差±（0.015%读数+0.005%量程），角度最大允许误差±0.02°。

高精度功率分析仪：电流范围（0~32）A，测量带宽DC，0.05Hz~3MHz。量程：20mA、40mA、80mA、150mA、300mA、600mA、1.2A、2.5A、5A、10A、20A、32A；45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±（0.01%读数+0.02%量程）。

试验电流（0.1~20A），不使用电流传感器，电流信号直接接入功率分析仪。试验电流（20~100A），使用PSU1000HF高精度交直流互感器，100A以上用LMG-Z542高精度交流互感器。

HST12-3三相高压分压器：每相的电压范围：（1000~12000）V，变比4000：1，45Hz~65Hz时幅值最大允许误差±0.05%读数，角度最大允许误差0.06度。

1.4 被测对象：试验电压≤12000V、试验电流≤4000A的电机测试装置。

1.5 测量过程：被测电流信号直接或通过电流传感器接入功率分析仪的电流输入端。被测电压信号≤1000V时直接接入功率分析仪的电压输入端；被测电压信号≥1000V时通过高压分压器接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机电性能测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压、试验电流稳定后，分别读取被校电机电性能测试装置功率显示值和测量标准上显示的功率值。将被校测试装置的功率显示值与实际值相减，其差值即为被校测试装置的功率示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δλ=λx-λn

式中： Δλ——测试装置功率因数示值误差。

λx——测试装置功率因数显示值。

λn——测量标准功率因数实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 电流传感器误差引入的不确定度；
3. 高压分压器误差引入的不确定度；
4. 功率分析仪误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(λx)的评定定

被校测试装置功率λx的标准不确定度*u*(λx)来源于被校测试装置的测量不重复性，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择功率因数测量点：0.800（测试条件：电压230V、电流20A/50Hz），在重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表10。

表7 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 0.800 | 0.804 | 0.802 | 0.803 | 0.804 | 0.802 | 0.804 | 0.802 | 0.801 | 0.803 | 0.804 |

测量点0.8：平均值=0.8029；单次实验标准差：*s*==0.00110

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*λ*x)=*s*。

3.2 电流传感器、高压分压器、功率分析仪误差引入的不确定度*u*(*λ*n)的评定

输入量*λn*的标准不确定度*u*(*λn*)主要是功率分析仪误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

所选择的测量点，并没有使用电流传感器、高压分压器，所以只考虑功率分析仪误差引起的测量不确定度。

功率分析仪在0.800（测试条件：电压230V、电流20A/50Hz）测试点的误差：

*e*=±（0.015%读数+0.01%量程）=±（0.015%×0.8+0.01%×1）=±0.00022

区间半宽度α=0.00022，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*λn*)==0.000127

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*λ*=*λ*x-*λ*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*λ*/∂*λ*x =1

c2 =∂Δ*P*/∂*P*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表8。

表8 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*P*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 0.00110 | 1 | 0.00110 |
| *u*(*P*n) | 测量标准的示值误差 | 0.000127 | -1 | 0.000127 |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*λ*x)与*u*(*λ*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****=0.00111

取包含因子*k*=2，

扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)=2×0.00111=0.0023

**6 不确定度的报告与表示**

在标准工作条件下（（20±3）℃，（30~80）％RH）：

测量点0.800：λ*=*0.8029，*U*=2×0.00111=0.0023

**五 电压频率示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（20±3）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：高精度功率分析仪：电压范围（0~1000）V，测量带宽DC，0.05Hz~3MHz。45Hz~65Hz 时频率最大允许误差±0.020Hz。

1.4 被测对象：试验电压≤12000V的电机测试装置。

1.5 测量过程：被测电压信号≤1000V 时直接接入功率分析仪的电压输入端；被测电压信号≥1000V 时通过高压分压器接入功率分析仪的电压输入端。接通被校电机电性能测试装置电源，进入正常操作流程，待试验电压稳定后，分别读取被校电机电性能测试装置电压频率示值和功率分析仪显示的电压频率实际值，将被校测试装置的电压频率示值与实际值相减，其差值即为被校测试装置的电压频率示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*f*=*f*x-*f*n

式中： Δ*f*——测试装置电压频率示值误差。

*f*x——测试装置电压频率显示值。

*f*n——测量标准电压频率实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 功率分析仪误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*f*x)的评定定

被校测试装置试验电压*f*x的标准不确定度*u*(*f*x)来源于被校测试装置的测量不重复，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择频率测量点：50Hz、60Hz，在重复性条件下，连续测量10次获得一组测量值，见表9。

表9 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 50.000Hz | 50.045 | 50.065 | 50.051 | 50.067 | 50.043 | 50.034 | 50.032 | 50.053 | 50.028 | 50.048 |
| 60.000Hz | 60.067 | 60.077 | 60.053 | 60.051 | 60.049 | 60.044 | 60.038 | 60.058 | 60.041 | 60.029 |

测量点50Hz：平均值=50.047Hz；单次实验标准差：*s*==0.0131Hz：

测量点60Hz：平均值=60.051Hz；单次实验标准差：*s*==0.0141Hz：

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*f*x)=*s*。

测量点50Hz：*u*(*f*x)=0.0131Hz：测量点60Hz：*u*(*f*x)=0.0141Hz

3.2 高压分压器、功率分析仪误差引入的不确定度*u*(*U*n)的评定

输入量*fn*的标准不确定度*u*(*fn*)主要是功率分析仪误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

测量点50Hz、60Hz的标准不确定度*u*(*fn*)

功率分析仪在50Hz、60Hz测试点的误差：*e*=±0.020Hz。

区间半宽度α=0.020Hz，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*fn*)==0.0115Hz

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*f*=*f*x-*f*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*f*/∂*f*x =1, c2 =∂Δ*f*/∂*f*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表10。

表10 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*f*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 测量点50Hz：0.0131Hz  测量点60Hz：0.0141Hz | 1 | 50Hz：0.0131Hz  60Hz：0.0141Hz |
| *u*(*f*n) | 测量标准的示值误差 | 测量点50Hz：0.0115Hz  测量点60Hz：0.0115Hz | -1 | 50Hz：0.0115Hz  60Hz：0.0115Hz |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*f*x)与*u*(*f*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****

测量点50Hz：*u*c(Δ)=0.0175Hz

测量点60Hz：*u*c(Δ)=0.0182Hz

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)。

测量点50Hz：*U*=2×0.0175=0.035≈0.04Hz

测量点60Hz：*U*=2×0.0182=0.036≈0.04Hz

**6 不确定度的报告与表示**

在标准工作条件下（（20±3）℃，（30~80）％RH）：

测量点50Hz：*f*=50.05Hz，*U*=0.04Hz，*k*=2

测量点60Hz：*f*=60.05Hz，*U*=0.04Hz，*k*=2

**六 转矩示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（10~60）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：

1.3.1 转矩转速传感器：测量范围：（0.1~2000）N·m，最大允许误差：±0.03%FS。

1.3.2 数字频率计：测量范围：1Hz～1GHz，分辨率：1Hz，频率准确度：3×10-8。

1.4 被测对象：转矩≤10000N·m的电机测试装置。。

1.5 测量过程：电机测试装置的转矩传感器和测量标准配用的转矩传感器放置在同一机械轴上，系统正常运转后，分别从电机测试装置的转矩显示仪和测量标准的转矩显示器上读取转矩值。本次测量使用的T12转矩转速传感器将转矩转换成频率输出，顺时针时，（0~2000）N·m转矩转换成60kHz~90kHz 的频率输出，逆时针时，（0~2000）N·m转矩转换成60kHz~30kHz的频率输出。转换系数15Hz/N·m。将测试系统的转矩显示值与实际值相减，其差值即为被校测试系统的转矩示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*M*=*M*x-*M*n

式中： Δ*M*——测试装置转矩示值误差。

*M*x——测试装置转矩显示值。

*M*n——测量标准转矩实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 标准转矩传感器误差引入的不确定度；
3. 数字频率计误差引入的不确定度；
4. 数字频率计分辨率引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*M*x)的评定定

被校测试装置试验转矩*M*x的标准不确定度*u*(*M*x)来源于被校测试装置的测量不重复，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择频率测量点：500N·m、1500N·m，在重复性条件下，连续测量10次获得一组测量值，见表11。

表11 测量列

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 500 N·m | 500.6 | 500.8 | 500.7 | 500.5 | 500.6 | 500.8 | 500.9 | 500.7 | 500.5 | 500.3 |
| 1500 N·m | 1500.2 | 1500.5 | 1500.9 | 1501.2 | 1500.4 | 1500.7 | 1500.8 | 1500.4 | 1500.6 | 1500.6 |

测量点500N·m：平均值=500.64N·m；

单次实验标准差：*s*==0.178N·m

测量点1500N·m：平均值=1500.63N·m；

单次实验标准差：*s*==0.287N·m：

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*M*x)=*s*。

测量点500N·m：*u*(*M*x)=0.178N·m：测量点1500N·m：*u*(*M*x)=0.287N·m

3.1 标准转矩传感器误差引入的不确定度*u*(*M*n1)的评定

输入量*Mn1*的标准不确定度*u*(*Mn1*)主要是标准转矩传感器误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

标准转矩传感器误差*e*=±0.03%量程=±0.03%×2000=±0.6N·m，

区间半宽度α=0.6N·m，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*fn*)==0.346N·m

3.2 数字频率计分辨率引入的不确定度*u*(*M*n2)的评定

LDC-825数字频率计分辨率为1Hz，区间半宽度α=0.5Hz，对应转矩0.0333N·m，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*Mn2*)==0.0192N·m

则****=0.346N·m

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*M*=*M*x-*M*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*M*/∂*M*x =1

c2 =∂Δ*M*/∂*M*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表12。

表12 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*M*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 500N·m：0.178N·m  1500N·m：0.287 N·m | 1 | 500N·m：0.178N·m  1500N·m：0.287N·m |
| *u*(*M*n) | 测量标准的示值误差 | 0.346N·m | -1 | 0.346N·m |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*M*x)与*u*(*M*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

**5 扩展不确定度的报告**

****

测量点500N·m：*u*c(Δ)=0.389N·m

测量点1500N·m：*u*c(Δ)=0.450N·m

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)。

测量点500N·m：*U*=2×0.389=0.77N·m

测量点1500N·m：*U*=2×0.450=0.90N·m

**6 不确定度的报告与表示**

测量点500 N·m：转矩=500.64N·m，*U*=0.77N·m ，*k*=2

测量点1500 N·m：转矩=1500.63N·m，*U*=0.90N·m ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：

测量点500N·m：*U*rel=0.16%，*k*=2

测量点1500N·m：*U*rel=0.06%，*k*=2

**七 转速示值误差测量结果的不确定度评定**

**1 概述**

1.1 测量依据：JJFZ（机械）012—2020《电机测试装置校准规范》

1.2 测量环境条件：环境温度：（0~30）℃，相对湿度：（30~80）%RH

1.3 测量标准：TM-5010EK 标准转速计，测量范围：(6.0～99999.9)r/min，最大允许误差：±0.03%读数

1.4 被测对象：转速≤8000N·m的电机测试装置。。

1.5 测量过程：电机测试装置的转矩传感器和测量标准配用的转矩传感器放置在同一机械轴上，系统正常运转后，分别从电机测试装置的转矩显示仪和测量标准的转矩显示器上读取转矩值。本次测量使用的T12转矩转速传感器将转矩转换成频率输出，顺时针时，（0~2000）N·m转矩转换成60kHz~90kHz 的频率输出，逆时针时，（0~2000）N·m转矩转换成60kHz~30kHz的频率输出。转换系数15Hz/N·m。将测试系统的转矩显示值与实际值相减，其差值即为被校测试系统的转矩示值误差。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件的情况下，可以使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δ*n*=*n*x-*n*n

式中： Δ*n*——测试装置转速示值误差。

*n*x——测试装置转速显示值。

*n*n——测量标准转速实际值。

**3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，测量不确定度的主要来源有：

1. 被校测试装置的测量不重复引入的不确定度；
2. 标准转速计误差引入的不确定度；

3.1 被校测试装置测量不重复引入的不确定度*u*(*n*x)的评定定

被校测试装置试验转速*n*x的标准不确定度*u*(*n*x)来源于被校测试装置的测量不重复，采用A类不确定度评定。取一套电机测试装置，选择频率测量点：8000r/min，在重复性条件下，连续测量10次获得一组测量值，见表13。

表13 测量列（r/min）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量点 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 第4次 | 第5次 | 第6次 | 第7次 | 第8次 | 第9次 | 第10次 |
| 8000 | 8004.5 | 8004.0 | 8003.0 | 8004.5 | 8003.8 | 8003.2 | 8003.6 | 8004.2 | 8004.4 | 8003.2 |

测量点8000r/min：平均值=8003.8r/min；

单次实验标准差：*s*==0.570r/min

实际测量时以一次测量得到的数据作为测量结果，所以*u*(*n*x)=*s*。

3.1 标准转速计误差引入的不确定度*u*(*n*n)的评定

输入量*nn*的标准不确定度*u*(*nn*)主要是标准转速计误差引起的测量不确定度，采用B类不确定度评定。

TM-5010EK标准转速计的最大允许误差为±0.03%读数，在测量点8000r/min处，标准转速计的最大允许误差*e*=±0.03%×8000=±2.4r/min，

区间半宽度α=2.4r/min，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则*u*(*nn*)==1.39r/min

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*n*=*n*x-*n*n

灵敏系数 c1 =∂Δ*n*/∂*n*x =1

c2 =∂Δ*n*/∂*n*n =-1

4.2 合成标准不确定度汇总

在标准工作条件下测量时，合成标准不确定度汇总见表14。

表14合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量*u*(Xi） | 标准不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(*n*x) | 被校测试装置示值测量重复性 | 0.570 | 1 | 0.570 |
| *u*(*n*n) | 测量标准的示值误差 | 1.39 | -1 | 1.39 |

4.3 合成标准不确定度的计算

输入量*u*(*n*x)与*u*(*n*n)彼此独立，合成标准不确定度可按下式得到

****

****=1.5r/min

**5 扩展不确定度的报告**

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=*k*×*u*c(Δ)=3.0r/min。

**6 不确定度的报告与表示**

测量点8000r/min：转速=8003.8r/min，*U*=3.0r/min ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：测量点8000r/min：*U*rel=0.04%，*k*=2

附 录 C

（资料性）

校准证书或校准报告内容

校准证书或校准报告的内容要包括以下项目:

1. 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如不在实验室内进行校准）；
4. 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
5. 送校单位的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识；
7. 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
8. 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
9. 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
10. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
11. 校准环境的描述；
12. 校准结果及测量不确定度的说明；
13. 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
14. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
15. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。