

中华人民共和国工业和信息化部发布

**2021-XX-XX实施**

**2021-XX-XX发布**

**工频大电流测量系统校准规范**

（报批稿）

**Calibration Specification of Power Frequency High Current Measurement System**

**JJF（机械） 1061—2021**

**中华人民共和国工业和信息化部**

**机械计量技术规范**



**工频大电流测量系统**

**校准规范**

**Calibration Specification of**

**Power Frequency High Current Measurement System**

**归 口 单 位**：中国机械工业联合会

**起 草 单 位**：西安高压电器研究院有限责任公司

**JJF（机械） 1061—2021**

本规范条文由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：

赵 昱[西安高压电器研究院有限责任公司]

郭小妍[西安高压电器研究院有限责任公司]

张 茜[西安高压电器研究院有限责任公司]

目 录

[引 言 II](#_Toc66369368)

[1 范围 1](#_Toc66369369)

[2 引用文献 1](#_Toc66369370)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc66369371)

[4 概述 1](#_Toc66369372)

[5 计量特性 2](#_Toc66369373)

[6 校准条件 3](#_Toc66369374)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc66369375)

[8 校准结果表达 6](#_Toc66369376)

[9 复校时间间隔 6](#_Toc66369377)

[附录A](#_Toc66369378) [校准原始记录格式 8](#_Toc66369379)

[附录B](#_Toc66369380) [校准证书内页格式 10](#_Toc66369381)

[附录C工频大电流测量系统示值误差测量不确定度评定示例](#_Toc66369382) [12](#_Toc66369383)

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标示》编制。

本规范为新制订。

**工频大电流测量系统校准规范**

1 范围

本规范适用于额定电流为100A及以上的45Hz~65Hz工频试验电流测量系统的校准，对于小于100A的测量系统也可参照本规范。

2 引用文献

本规范引用了下列文件

GB/T 16927.4-2014《高电压和大电流试验技术第4部分：试验电流和测量系统的定义和要求》

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

3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范

3.1

测量系统measuring system

用于进行测量的整套装置。用于获取或计算测量结果的软件也是测量系统的一部分。大电流测量系统通常包括转换装置、传输系统、测量仪器。

3.2

转换装置 converting device

将被测量转换成另一测量仪器可记录或显示的量值的装置，如分流器、罗哥夫斯基线圈、电流互感器等。

3.3

刻度因数 scale factors

与测量仪器的读数相乘便得到整个测量系统的输入量值的因数。

3.4

交流试验电流值 value of the a.c. test current

试验电流的真有效值。

4 概述

工频大电流测量系统是用于测量工频试验大电流的测量装置，它是可将被测工频试验大电流通过转换装置按一定的比例转换为可用电流表等测量仪器直接测量的测量系统。

一般的工频大电流测量系统（如图1所示）由电流转换装置、传输系统和测量仪器所组成。电流转换装置一般是分流器、罗哥夫斯基线圈、电流互感器或其他转换装置，转换装置的二次输出端通常使用屏蔽电缆与电流表等测量仪器连接。

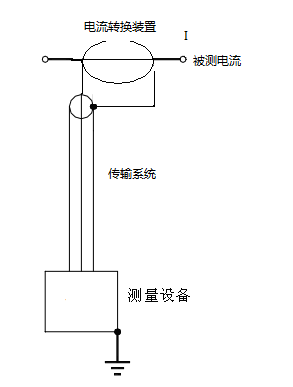


图1工频大电流测量系统原理图

5 计量特性

5.1 基本误差

工频大电流测量系统的基本误差表达式为公式（1）。

式中：——被校工频电流测量系统相对误差；

*I*n——标准测量系统的测量实际值，A；

*I*x——被校测量系统的测量示值，A。

5.2 短时稳定性

工频大电流测量系统上持续施加测量范围内的最大电流，施加时间应与预期使用时间相适应，推荐最大时间为20min，期间示值误差的变化应不大于其允许误差的1/2。

5.3 电压耐受试验

电压耐受试验只适用于使用在高电位条件下的转换装置。转换装置必须通过干式耐压试验，电压为要求的频率或波形，电压值为其额定电压的110%，持续时间1min，在该电压下，转换装置不能出现损坏的迹象。

5.4 电流耐受试验

测量系统应能承受其额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流，在该电流下，转换装置不能出现损坏的迹象。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（5~40）℃，相对湿度不大于80%。

6.1.2 周围环境清洁，无腐蚀介质，无明显振源和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测量标准的要求

一般地，工频大电流标准测量系统由转换装置、测量电缆、测量仪器等组成，标准测量系统总不确定度小于被校测量允许误差的1/3。

6.2.2其他设备

其他设备主要包括交流电流源和升流控制装置，应满足电源谐波畸变率不大于5%，电流波形应近似于一个正弦波，正峰值和负峰值的差异小于2%；交流电流源应能保证由零值平稳连续地调到被校工频大电流测量系统的额定电流。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 校准项目 |
| 外观及标志检查 | √ |
| 基本误差 | √ |
| 线性度 | √ |
| 短时稳定性 | —— |
| 电压耐受试验 | —— |
| 电流耐受试验 | —— |
| 注：“√”为需校准项目，“——”为首次校准需增加的项目 | |

7.2 校准方法

7.2.1 外观及性能检查

用目测方法检查测量系统的外观结构应完好。各端子标志清晰明确，外露件不应有松动和机械损伤。组件外壳上应标明其名称、生产厂家、型号、编号等信息。测量系统各个功能及显示应正常，各个开关和按键应能正常工作。

7.2.2 基本误差校准

7.2.2.1 校准系统示值基本误差接线图如图2所示，此方法适用于配备数字式电流表或测量软件等可以直接读取被测电流值的测量系统。



图2 校准接线示意图

将标准转换装置（分流器、罗哥夫斯基线圈、电流互感器等）的信号线用同轴电缆接入标准测量设备，调节标准测量系统和被校测量系统至合适的测量状态，操作交流电流源进行升流，同时读取标准测量系统的实际值*I*N和被校系统测量的示值*I*X，则被校测量系统电流值的基本误差按公式（2）计算

校准工频大电流时，在校准测量范围的最小和最大值之间直接与标准测量系统比对来确定基本误差，同时还应在至少3个近乎相等间隔的中间值下进行校准。

7.2.2.2 校准刻度因数基本误差的接线如图2所示，此方法适用于被校系统的测量设备不能直接读取被测电流值的测量系统。

将标准转换装置（分流器、罗哥夫斯基线圈、电流互感器等）的信号线用同轴电缆接入标准测量设备，调节标准测量系统和被校测量系统至合适的测量状态，操作交流电流源进行升流，同时读取标准测量系统的实际值*I*N和被校系统测量的示值*I*X（转换装置为罗哥夫斯基线圈时示值为*U*x），则被校测量系统的刻度因数*F*按公式（3）计算。

则被校测量系统刻度因数的基本误差按公式（4）计算

式中：——被校大电流测量系统刻度因数的基本误差；

*F*N——被校测量系统的刻度因数实际值；

*F*X——被校测量系统的标称刻度因数值。

校准工频大电流时，在校准测量范围的最小和最大值之间直接与标准测量系统比对来确定刻度因数的基本误差，同时还应在至少3个近乎相等间隔的中间值下进行校准。

7.2.3 线性度校准

在被校系统测量范围超过标准测量系统测量范围的情况下，被校准的大电流测量系统应进行线性度试验，应在不低于被校系统测量范围20%的电流下进行校准，线性度试验需在标准测量系统的最高电流水平内至少选择2个校准点，然后在与标准测量系统比对的最高电流至被较准测量系统的最高测量电流之间至少选择3个测量点。

一般认为固定位置的刚性罗哥夫斯基线圈具有良好的线性度，可以作为认可的测量系统，用认可的测量系统测量值*I*N与被校系统测量值*I*X的比值来校准被测系统的线性度，计算每一个测量点记录的*I*N与*I*X的比值*F*i，*F*i=*I*N/*I*X。

7.2.4 短期稳定性

对工频大电流测量系统施加额定电流，施加时间应与预期使用时间相适应，推荐最大时间为20min，记录试验开始和结束后的示值误差（或刻度因数误差），试验过程中不应发生任何异常现象，校准结果应满足被校系统的允许误差要求。

7.2.5 电压耐受试验

电压耐受试验只适用于使用在高电位条件下的转换装置。被校测量系统的转换装置必须通过干式耐压试验，电压为要求的频率或波形，电压值为其额定电压的110%。耐受试验的试验程序见GB/T 16927.1，转换装置不能出现损坏的迹象。

7.2.6 电流耐受试验

对被校测量系统施加额定短时电流和额定峰值耐受电流。在该电流下，被校测量系统不能出现损坏的迹象。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

a）标题，如“校准证书”；

b）实验室名称和地址；

c）进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d）校准证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e）送校单位的名称和地址；

f）被校对象的描述和明确标识

g）进行校准的日期；

h）校准所依据的技术规范的标识，包括名称及编号；

i）本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

j）校准环境的描述；

k）校准结果及其测量不确定度的说明；

l）校准证书签发人的签名、职务或等效标识；

m）校准结果仅对被校对象有效的声明；

n）未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

工频大电流测量系统在修理或调整后，应经校准才能使用。

附录A

校准原始记录格式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 委托单位： | | |
| 委托单位地址： | | |
| 仪器名称： | 型号规格： | 出厂编号： |
| 被校系统包含组件说明： | | |
| 制造单位： | 不确定度/准确度等级/允许误差： | |
| 校准地点： | 环境温度： | 相对湿度： |
| 校准日期： | 校准员： | 核验员： |

校准用主要计量标准器具：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 型号规格 | 不确定度/准确度等级/允许误差 | 出厂编号 | 证书编号 | 有效期 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

一、外观检查：

二、基本误差校准：（系统示值基本误差）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 示值（A） | 实际值（A） | 误差（%） | 测量不确定度*U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

三、基本误差校准：（刻度因数基本误差）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 示值（单位） | 实际值（A） | 刻度因数  （单位） | 刻度因数标称值  （单位） | 刻度因数基本误差（%） | 测量不确定度*U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

四、线性度校准：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被校系统示值*I*x (A) | 认可测量系统测量值*I*N (A) | *I*x和*I*N比值*F*i |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

五、短时稳定性校准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 电流水平（A） | 工作时间： | |
| 施加前相对误差（%） | 施加后相对误差（%） |
|  |  |  |

六、电压耐受试验：

七、电流耐受试验：

附录B

校准证书内页格式

证书编号：xxxxxxxx

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准机构授权说明： | | | | | | |
| 校准环境条件及地点： | | | | | | |
| 温度： | | | 相对湿度： | | | |
| 地点： | | | | | | |
| 校准所依据的技术文件（代号、名称）： | | | | | | |
| 校准用主要计量标准器具： | | | | | | |
| 名称 | 型号规格 | 不确定度/准确度等级/允许误差 | | 出厂编号 | 证书编号 | 有效期 |
|  |  |  | |  |  |  |

注：

1、本实验室仅对加盖本实验室校准专用章的完整证书负责。

2、本校准证书所给出的校准结果仅对所校准的对象有效。

3、未经本实验室书面批准，不得部分复制本证书。

第×页 共×页

校 准 结 果

证书编号：xxxxxxxx

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. 外观及性能检查 | | | | | | | | | |
| 二、系统示值基本误差校准 | | | | | | | | | |
| 示值（A） | | 实际值（A） | | | 误差（%） | | | 不确定度*U*rel（*k*=2） | |
|  | |  | | |  | | |  | |
|  | |  | | |  | | |  | |
|  | |  | | |  | | |  | |
|  | |  | | |  | | |  | |
|  | |  | | |  | | |  | |
| 三、刻度因数基本误差校准 | | | | | | | | | |
| 示值（单位） | 实际值（A） | | | 刻度因数  （单位） | 刻度因数标称值  （单位） | | 刻度因数基本误差（%） | | 测量不确定度*U*rel（*k*=2） |
|  |  | | |  |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |
| 四、线性度校准 | | | | | | | | | |
| 被校系统示值*I*x (A) | | | | 认可测量系统测量值*I*N (A) | | | *I*x和*I*N比值*F*i | | |
|  | | | |  | | |  | | |
|  | | | |  | | |  | | |
|  | | | |  | | |  | | |
|  | | | |  | | |  | | |
|  | | | |  | | |  | | |
| 四、短时稳定性校准： | | | | | | | | | |
| 电流水平（A） | | | 工作时间： | | | | | | |
| 施加前相对误差（%） | | | 施加后相对误差（%） | | | |
|  | | |  | | |  | | | |
| 五、电压耐受试验： | | | | | | | | | |
| 六、电流耐受试验： | | | | | | | | | |
| 以下空白 | | | | | | | | | |

第×页 共×页

附录C

工频大电流测量系统示值误差测量不确定度评定示例

**C.1 测量条件**

C.1.1 环境条件：温度：21.9℃，湿度：38.9%RH。

C.1.2 计量标准：光纤宽带电流测量仪，测量不确定度为*U*rel*=*2.0×10-3（*k*=2）。

C.1.3 被测对象：由电流互感器和数字式电流表及传输系统组成的大电流测量系统。

**C.2 测量模型**

Δ*I*= *I*x－*I*n

式中：

Δ*I*——被校工频电流测量系统的示值误差；

*I*x——被校工频电流测量系统的示值；

*I*n——标准工频电流测量系统的示值。

**C.3 标准不确定度*u*的评定**

C.3.1 被校测量系统示值误差测量重复性引入的标准不确定度*u*1。

在重复性条件下，用标准电流测量系统在2kA校准点进行10次连续测量，数据如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 被校系统示值（A） | 标准系统实际值（A） | 示值误差（A） |
| 1 | 2007 | 2002 | 5 |
| 2 | 2013 | 2005 | 8 |
| 3 | 2006 | 2003 | 3 |
| 4 | 2015 | 2009 | 6 |
| 5 | 2009 | 2005 | 4 |
| 6 | 2009 | 2004 | 5 |
| 7 | 2013 | 2007 | 6 |
| 8 | 2013 | 2009 | 4 |
| 9 | 2007 | 2004 | 3 |
| 10 | 2008 | 2003 | 5 |

根据贝塞尔公式计算单次测量结果的标准偏差为1.52A，故10次测量平均值的标准偏差为：*u*1 = 1.52A/= 0.48A。

C.3.2 被校工频电流测量系统分辨力引入的标准不确定*u*2

被校测量系统数字电流表的最小分辨力为1A，则其半宽度为0.5A，该分量符合均匀分布，引入的标准测量不确定度为*u*2 = 0.5A/= 0.29A。

C.3.3 校准装置示值不确定性引入的不确定度分量*u*3

本次校准使用的光纤宽带电流测量仪的相对扩展不确定为*U*rel*=*2.0×10-3（*k*=2），标准电流示值*I*n =2kA，标准不确定度*u*3 = *I*n ⋅ *U*rel / *k* = 2A。

C.3.4 温度漂移引入的测量不确定度不确定度分量*u*4

校准过程中等安匝电流母线会产生一定的温升，需监测电流母线的温度，在大电流下严格控制通电时间。温度漂移造成的示值误差在±0.04%以内，按照均匀分布估计，引入的标准测量不确定度为：*u*4 = 2kA×0.04%/= 0.46A。

**C.4 合成标准不确定度*u*c的评定**

根据以上分析，可列出不确定度分量表，如下表所示。对于示值误差重复性和被校电流测量系统分辨力引入的不确定度，取二者的较大者作为合成标准不确定度的来源。各分量相互独立，合成标准不确定度分别为：*u*c(Δ*I*) = = 2.11A。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量 | 来源 | 评定  方法 | 统计  分布 | 灵敏  系数 | 标准不确定度分量的值(A) |
| *u*1 | 示值误差测量重复性 | A | 正态 | 1 | 0.48 |
| *u*2 | 被校准测量系统的分辨力 | B | 均匀 | 1 | 0.29 |
| *u*3 | 标准装置 | B | 正态 | -1 | 2 |
| *u*4 | 温度漂移 | B | 均匀 | 1 | 0.46 |

**C.5 扩展不确定度*U***

取包含因子*k* = 2，扩展不确定度为：*U*(Δ*I*) = *k⋅u*c(Δ*I*) = 4.22A，相对扩展不确定度*U*rel (Δ*I*) = 0.21%。

**C.6 测量不确定度的报告与表示**

工频大电流测量系统在2kA测量点时的测量结果相对扩展不确定度为：

*U*rel*=*2.1×10-3 *k*=2