



中华人民共和国工业和信息化部  
机械计量技术规范

JJF（机械） xxxx—2023

直流大电流测量系统校准规范

（报批稿）

Calibration Specifications for Direct Current Measurement System

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

# 直流大电流测量系统

## 校准规范

Calibration Specifications for  
Direct Current Measurement System

JJF（机械）XXXX—2023

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股份有限公司

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：

钟磊[西安高压电器研究院股份有限公司]

姚晨皓[西安高压电器研究院股份有限公司]

李晓光[西安高压电器研究院股份有限公司]

参加起草人：

赵昱[西安高压电器研究院股份有限公司]

贾转转[西安高压电器研究院股份有限公司]

贺永智[西安高压电器研究院股份有限公司]

李炳宏[西安高压电器研究院股份有限公司]

目录

引言..... II

1 范围..... 1

2 引用文献..... 1

3 术语和计量单位..... 1

4 概述..... 2

5 计量特性..... 3

6 校准条件..... 3

7 校准项目和校准方法..... 4

8 校准结果表达..... 6

9 复校时间间隔..... 6

附录 A 校准原始记录格式..... 7

附录 B 校准证书内页格式..... 9

附录 C 直流大电流测量系统示值误差测量不确定度评定示例.....11

# 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。

本规范为新制定。

# 直流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 及以上的稳态直流电流测量系统的校准。对于小于 100A 的稳态直流电流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包括前端的转换装置，传输装置、接收测量单元等。用于获取或计算测量结果的软件也是测量系统的一部分。

[来源：GB/T 16927.4-2014，3.1.1，有修改]

### 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，如直流电流互感器、光纤电流传感器、直流电流比例标准、分流器、电流钳等。

[来源：GB/T 16927.4-2014，3.2.1，有修改]

### 3.3 测量系统的刻度因数 scale factors of a measuring system

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。

[来源：GB/T 16927.4-2014，3.3.1]

### 3.4 直流试验电流值 value of the d.c. test current

试验电流的算术平均值。

[来源：GB/T 16927.4-2014，6.2.1]

### 3.5 纹波 ripple

周期性地偏离电流的算术平均值的量。纹波的幅值定义为被测电流瞬时值最大值和最小值之差的一半。

[来源：GB/T 16927.4-2014，6.2.2]

### 3.6 纹波因数 ripple factor

电流的纹波幅值和算术平均值的比值。

[来源：GB/T 16927.4-2014，6.2.3]

## 4 概述

直流大电流系统通常由直流电流互感器、光纤电流传感器、直流电流比例标准、直流电流测量仪、分流器、霍尔电流传感器、电流钳等电流转换装置和电流显示装置以及传输装置组成，主要用于直流温升试验、晶闸管换流阀试验、MMC 柔直阀等阀类试验和其它需要测量直流大电流的场合。它是可将被测直流试验大电流通过转换装置按一定的比例转换为可用电流/电压表等测量仪器直接测量的测量系统。

一般的直流大电流测量系统（如图 1 所示）。

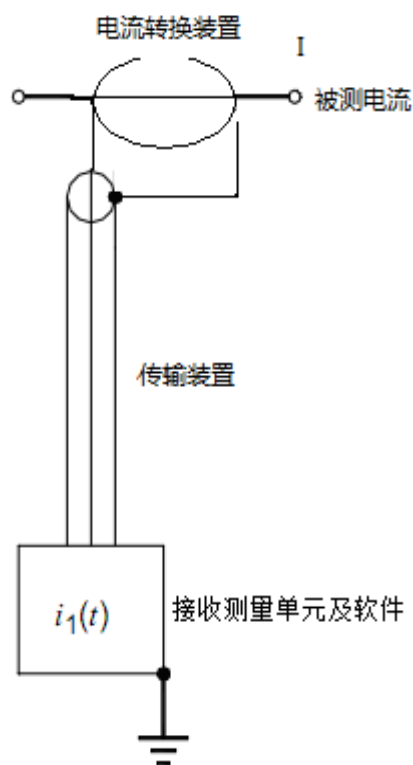


图 1 直流大电流测量系统原理图

## 5 计量特性

### 5.1 示值误差

直流大电流测量系统的示值误差表达式为公式（1）。

$$\gamma = \frac{I_x - I_n}{I_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $\gamma$ ——被校直流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。

测量系统测得的电流值最大允许误差一般不超过 $\pm 3\%$

### 5.2 测量系统的刻度因数

刻度因数最大允许误差一般不超过 $\pm 3\%$ 。

### 5.3 短时稳定性

转换装置上持续施加标定测量范围的最大电流，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。

## 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，直流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

其他设备主要包括直流电流源和升流控制装置，除非相关技术委员会另有规定，试验电流纹波因数不大于 7%的直流电流。



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

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	示值误差校准	5.1	7.2.2
2	测量系统的刻度因数	5.2	7.2.3
3	短时稳定性	5.3	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备

7.2.1.1 外观及性能检查

仔细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。

7.2.1.2 电流耐受试验

测量系统应能承受与其额定电流。在该电流下，测量系统必须满足刻度因数的要求，而且转换装置不能出现损坏的迹象。

7.2.2 示值误差校准

校准系统示值误差校准接线图如图2所示，此方法适用于可直接显示被测电流的直流电流测量系统。

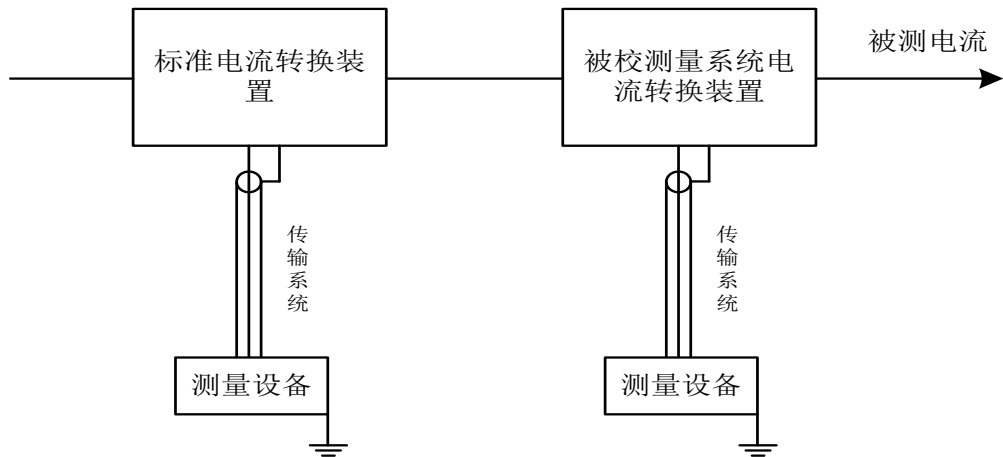


图2 校准接线示意图

将标准转换装置（光纤电流传感器、直流电流比例标准、直流电流互感器等）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，操作直流电流源进行升流，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示值误差  $\gamma$  按公式（2）计算

$$\gamma = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\% \tag{2}$$

校准直流大电流时，被校测量系统最小和最大值直接与标准测量系统比对来确定示值误差，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 测量系统的刻度因数校准

校准刻度因数的接线如图2所示，此方法适用于通过读取转换装置输出量而需要进行换算至被测电流的直流电流测量系统。

将标准转换装置（光纤电流传感器、直流电流比例标准、直流电流互感器等）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，操作直流电流源进行升流，同时读取标准测量系统的实际值  $I_N$  和被校系统转换装置输出值  $I_X$  或  $U_X$ ，则被校测量系统的刻度因数  $F$  按公式（3）计算。

$$F = \frac{I_N}{I_X} \text{ 或 } F = \frac{I_N}{U_X} \tag{3}$$

校准直流大电流时，被校测量系统最小和最大值直接与标准测量系统比对来确定刻度因数，同时还应在至少3个近乎相等间隔的中间值下进行校准。

7.2.4 短期稳定性

对直流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，期间示值误差的变化应不大于其允许误差的 1/2。

## 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。直流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：
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/ 出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/ 允许误差	证书有效期至	溯源单位 及证书编 号

## 一、外观检查：

## 二、基本误差校准：

示值（A）	实际值（A）	误差（%）	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

## 三、刻度因数校准:

示值 (单位)	实际值 (A)	刻度因数 (单位)	测量不确定度 $U_{\text{rel}}$ ( $k=2$ )

## 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 (%)

附录 B

校准证书内页格式

证书编号：XXXXXXXX

校准机构说明：					
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/ 出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/允许误差	证书有效期 至	溯源单位 及证书编 号

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。

校准结果

证书编号：XXXXXXXX

一、外观及性能检查			
二、基本误差校准			
示值（A）	实际值（A）	误差（%）	不确定度 $U_{rel} (k=2)$
三、刻度因数校准			
示值（单位）	实际值（A）	刻度因数（单位）	不确定度 $U_{rel} (k=2)$
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（%）	
以下空白			

## 附录 C

## 直流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：20.4℃，湿度：35.7%RH。

C.1.2 计量标准：光纤宽带电流测量仪，测量不确定度为  $U_{\text{rel}}=2.0\times 10^{-3}$ （ $k=2$ ）。

C.1.3 被测对象：由电流传感器和数字多用表（34401A）及传输系统组成的大电流测量系统。

## C.2 测量模型

$$\Delta I = I_x - I_n$$

式中：

$\Delta I$ ——被校直流电流测量系统的示值误差；

$I_x$ ——被校直流电流测量系统的示值；

$I_n$ ——标准直流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，用被校电流测量系统和标准电流测量系统在 5kA 校准点同时进行 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	5012	5017	5
2	5011	5005	6
3	5004	5009	5
4	5008	5003	5
5	5015	5006	9
6	5009	5004	5
7	5017	5008	9
8	5015	5009	6
9	5007	5003	4



10	5009	5003	6
----	------	------	---

根据贝塞尔公式计算单次测量结果的标准偏差为 1.70A，故 10 次测量平均值的标准偏差为： $u_1 = 1.70A/\sqrt{10}=0.54A$ 。

### C.3.2 被校直流电流测量系统分辨力引入的标准不确定度 $u_2$

在 5kA 的一次电流下，数字多用表 34401A 的分辨力折算至一次电流为 1A，半宽为 0.5A，该分量符合均匀分布，引入的标准不确定度为  $u_2 = 0.5A/\sqrt{3}=0.29A$

### C.3.3 标准装置示值不确定性引入的不确定度分量 $u_3$

本次校准使用的标准装置（光纤宽带电流测量仪）的相对扩展不确定为  $U_{\text{rel}}=2.0\times 10^{-3}$ （ $k=2$ ），标准电流示值  $I_n=5kA$ ，标准不确定度  $u_3 = I_n \cdot U_{\text{rel}}/k = 5A$ 。

### 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 $\pm 0.04\%$ 以内，按照均匀分布估计，引入的标准测量不确定度为： $u_4 = 5kA \times 0.04\% / \sqrt{3} = 1.15A$ 。

## 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： $u_c(\Delta I) = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 5.16A$ 。

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	0.54
$u_2$	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	5
$u_4$	温度漂移	B	均匀	1	1.15

## C.5 扩展不确定度 $U$

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为： $U(\Delta I) = k \cdot u_c(\Delta I) = 10.4A$ ，相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}(\Delta I) = 0.21\%$ 。

## C.6 测量不确定度的报告与表示

直流大电流测量系统在 5kA 测量点时的测量结果相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=2.1\times 10^{-3} \quad k=2$$