

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

光纤大电流测量仪校准规范

Calibration Specification for Fiber-Optic High Current Testers

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 光纤大电流测量仪校准规范

JJF XXXX-XX

Calibration Specification for Fiber-Optic  
High Current Testers

归口单位：全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

国家高电压计量站

山东省计量科学研究院

西安高压电器研究院有限责任公司

国网浙江省电力有限公司电力科学研究院

广东电网有限责任公司计量中心

本规范委托全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：



# 目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 光纤大电流测量仪.....	1
3.2 线性扩展.....	1
3.3 扩展量程.....	1
3.4 扩展电流.....	1
3.5 示值误差.....	2
3.6 扩展电流非线性附加误差.....	2
4 概述.....	2
5 计量性能要求.....	2
5.1 示值误差.....	2
5.2 扩展电流非线性附加误差.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其它设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 校准前检查.....	4
7.2 校准项目.....	4
7.3 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量不确定度评定示例.....	9
附录 B 校准原始记录格式.....	16
附录 C 校准证书内页格式.....	25

# 引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》编制。JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》，共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

# 光纤大电流测量仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于采用柔性光纤敏感环,额定电流直流 5kA~300kA 或(和)工频 5kA~60kA 的光纤大电流测量仪的校准。

额定电流大于直流 300kA 或(和)工频 60kA 的光纤大电流测量仪可参照本规范通过线性扩展实现校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 20840.8—2007 互感器 第 8 部分: 电子式电流互感器

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

## 3 术语和计量单位

以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 光纤大电流测量仪 fiber-optic high current testers

基于法拉第磁光效应的以光纤作为传感及传输介质的大电流测量仪器。

### 3.2 线性扩展 linear extension

以法拉第磁光效应等效为原则,在多匝柔性光纤敏感环条件下校准光纤大电流测量仪的线性度,并在单匝或较少匝数、较小电流条件下校准至少一个参考点,以实现测量范围的扩展。

### 3.3 扩展量程 extended range

光纤大电流测量仪通过线性扩展能够实现的测量范围。量程上限在数值上等于光纤大电流测量仪的额定电流与柔性光纤敏感环额定匝数的乘积。

### 3.4 扩展电流 extended current

在数值上等于柔性光纤敏感环的匝数与穿过敏感环的被测电流的乘积,反映了作用于光纤大电流测量仪的法拉第磁光效应的大小。

### 3.5 示值误差 error of indication

光纤大电流测量仪的示值与被测电流的参考值之差，用相对误差表示。

### 3.6 扩展电流非线性附加误差 nonlinear additional error for extended current

光纤大电流测量仪对扩展电流的响应曲线按扩展量程上限的示值误差修正后与参考直线之间的偏差。参考直线为过原点斜率为 1 的直线。该误差反映了光纤大电流测量仪对法拉第磁光效应的线性响应程度。

## 4 概述

光纤大电流测量仪(以下简称：测量仪)是一种基于法拉第磁光效应和安培定律，以光纤作为传感元件的大电流测量仪器。工作原理如图 1 所示，通常由柔性光纤敏感环、光电系统、显示仪表组成，一般也带有数字或模拟输出接口。柔性光纤敏感环可以不断开载流导体直接绕其形成闭合敏感环路。测量仪具有量程自扩展特性，基于多匝柔性光纤敏感环对法拉第磁光效应的倍增作用校准测量仪的线性度，并采用少匝数或单匝敏感环传感被测电流，可扩大测量范围，实现量程扩展。

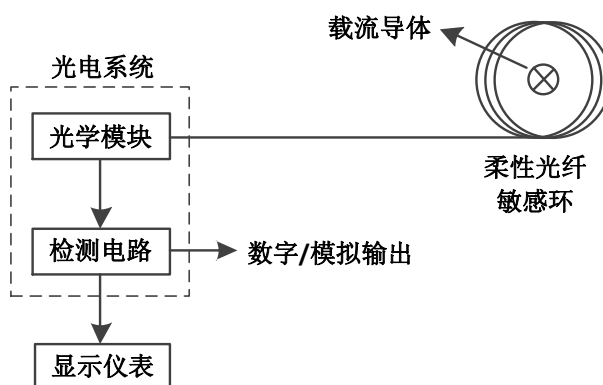


图 1 光纤大电流测量仪原理图

## 5 计量性能要求

### 5.1 示值误差

柔性光纤敏感环的匝数为额定匝数时，在额定电流的 10% ~ 100% 范围内，最大允许误差为： $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$  或  $\pm 1\%$ 。

需要扩展使用时，在校准客户指定的匝数下，额定电流点的最大允许误差为： $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$  或  $\pm 1\%$ 。



## 5.2 扩展电流非线性附加误差

在扩展量程的 10% ~ 100% 范围内, 扩展电流非线性附加误差不超过:  $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.1\%$  或  $\pm 0.2\%$ 。

注: 以上指标不用于合格性判别, 仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度:  $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ ;

相对湿度:  $\leq 80\%$ ;

校准环境无可觉察的机械振动。

### 6.2 测量标准及其它设备

#### 6.2.1 一般要求

整个校准装置的扩展不确定度 ( $k = 2$ ) 应不大于被校测量仪最大允许误差的  $1/3$ 。

#### 6.2.2 直流电流比较仪

最大允许误差不大于被校测量仪误差限值的  $1/10$ 。

#### 6.2.3 标准电流互感器

最大允许误差不大于被校测量仪误差限值的  $1/10$ 。

#### 6.2.4 直流电流误差测量装置

直流电流误差测量装置的最大允许误差不大于被校测量仪误差限值的  $1/10$ 。数据采样时间不少于  $200\text{ms}$ , 取采样值的算术平均值进行误差计算。

#### 6.2.5 工频电流误差测量装置

工频电流误差测量装置的最大允许误差不大于被校测量仪误差限值的  $1/4$ 。数据采样时间不少于 10 个周波, 误差计算方法参照 GB/T 20840.8—2007 附录 E.6.3。

#### 6.2.6 大电流发生装置

由试验电源和等安匝线圈组成。试验电源应有足够的容量和调节细度, 电流安匝数应能覆盖额定电流范围内的所有校准点。直流电源输出电流的纹波系数应小于  $1\%$ ; 交流电源的频率为  $(50 \pm 0.5)\text{Hz}$ , 波形畸变系数不大于  $5\%$ 。等安匝线圈应有足够的通流能力, 温升引起的误差应小于被校测量仪误差限值的  $1/20$ 。线圈产生的磁场干扰引起标准器的误差变化不大于被校测量仪误差限值的  $1/20$ 。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前检查

#### 7.1.1 外观检查

- a) 被校测量仪外观应完好，没有影响校准工作的缺陷；
- b) 柔性光纤敏感环的闭合装置应完好，有明确的闭合标识；
- c) 被校测量仪的铭牌应包含产品名称、型号、出厂编号、制造厂、额定电流、额定匝数及最大允许误差等信息；
- d) 仪器的输出接口应有明确的标识。

#### 7.1.2 极性检查

在额定电流的 10% 以下，使用直流或工频电流误差测量装置进行极性检查。当被校测量仪与标准器极性相同时，直流大电流测量结果符号相同，工频大电流波形同相。

### 7.2 校准项目

测量仪的校准项目应按表 1 进行。

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	直流大电流示值误差	5.1	7.3.1
2	工频大电流示值误差	5.1	7.3.2
3	扩展电流非线性附加误差	5.2	7.3.3

### 7.3 校准方法

#### 7.3.1 直流大电流示值误差

采用等安匝法校准。直流电源、等安匝线圈、直流电流比较仪连接形成闭合回路，被校测量仪的柔性光纤敏感环按所需匝数围绕等安匝线圈闭合。直流电流比较仪的输出接至直流电流误差测量装置的标准输入通道，被校测量仪的输出接至试品输入通道。

直流大电流示值误差的校准在额定电流的 10%、20%、50%、80% 和 100% 下进行，也可根据校准客户需要选取校准点。计算方法如式(1)所示。

$$\delta = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\delta$ —— 直流大电流示值误差;

$I_x$ —— 被校测量仪的电流示值, kA;

$I_s$ —— 被测电流参考值, kA。

### 7.3.1.1 数字输出示值误差校准

被校测量仪的输出为数字量时, 校准原理如图 2 所示。直流电流误差测量装置产生同步信号, 使其对标准直流电流比较仪二次输出的采样值与被校测量仪的数字输出同步, 并按照式(1)计算示值误差。

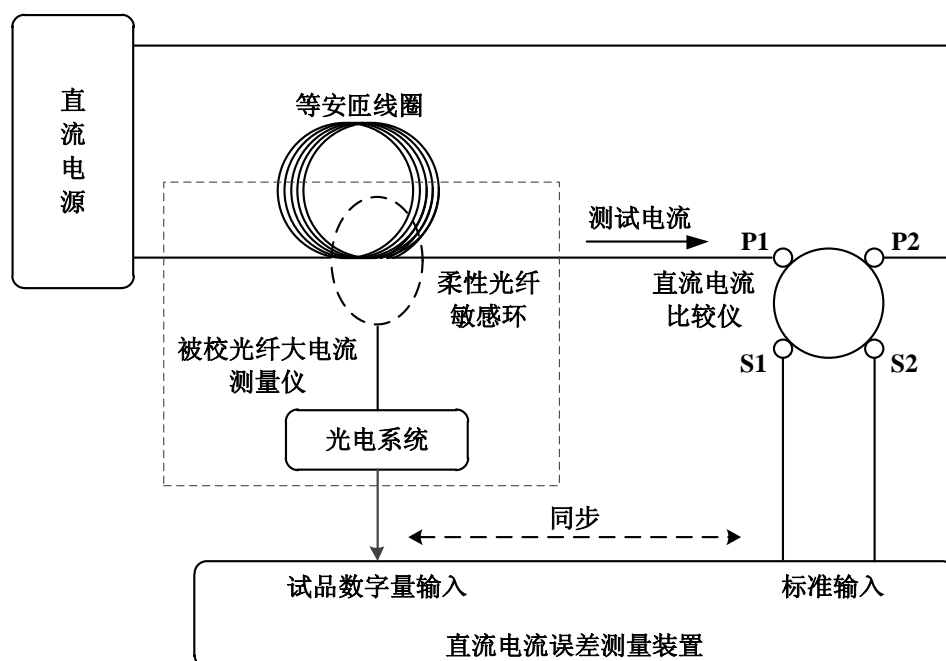


图 2 光纤大电流测量仪数字输出校准原理图 (直流)

### 7.3.1.2 模拟输出示值误差校准

被校测量仪的输出为模拟量时, 校准原理如图 3 所示。误差测量装置同步采集直流电流比较仪与被校测量仪的输出, 并按照式(1)计算示值误差。

### 7.3.2 工频大电流示值误差

交流电源、等安匝线圈、标准电流互感器连接形成闭合回路, 被校测量仪的柔性光纤敏感环按所需匝数围绕等安匝线圈闭合。标准电流互感器的输出接至工频电流误差测量装置的标准输入通道, 被校测量仪的输出接至试品输入通道。

校准点的选取及示值误差计算方法同 7.3.1。

#### 7.3.2.1 数字输出示值误差校准

被校测量仪的输出为数字量时, 校准原理如图 4 所示。工频电流误差测量装置产生同

步信号，使其对标准电流互感器二次输出的采样值与被校测量仪的数字输出同步，并按照式(1)计算示值误差。

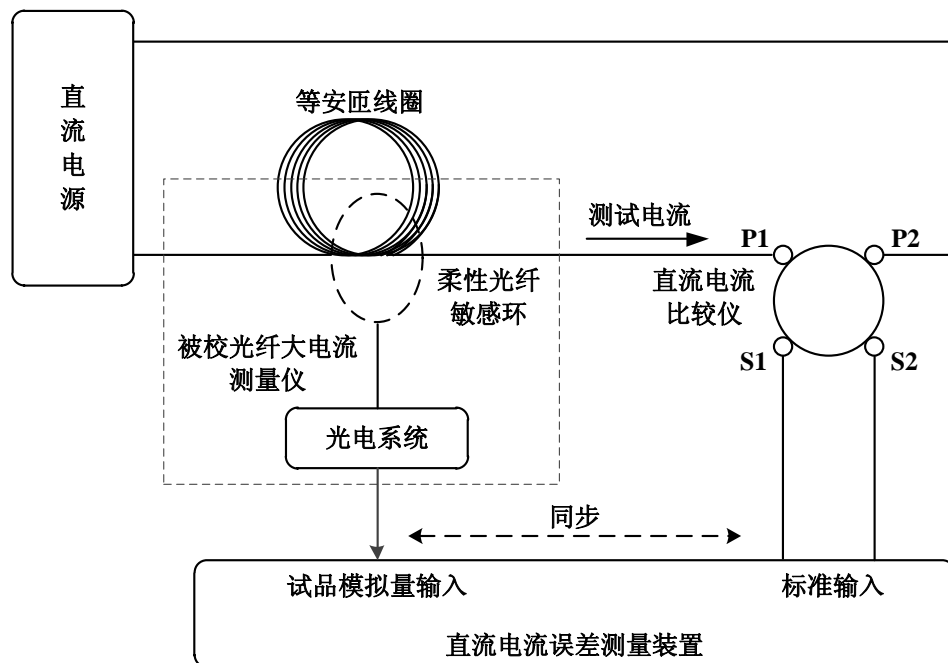


图3 光纤大电流测量仪模拟输出校准原理图（直流）

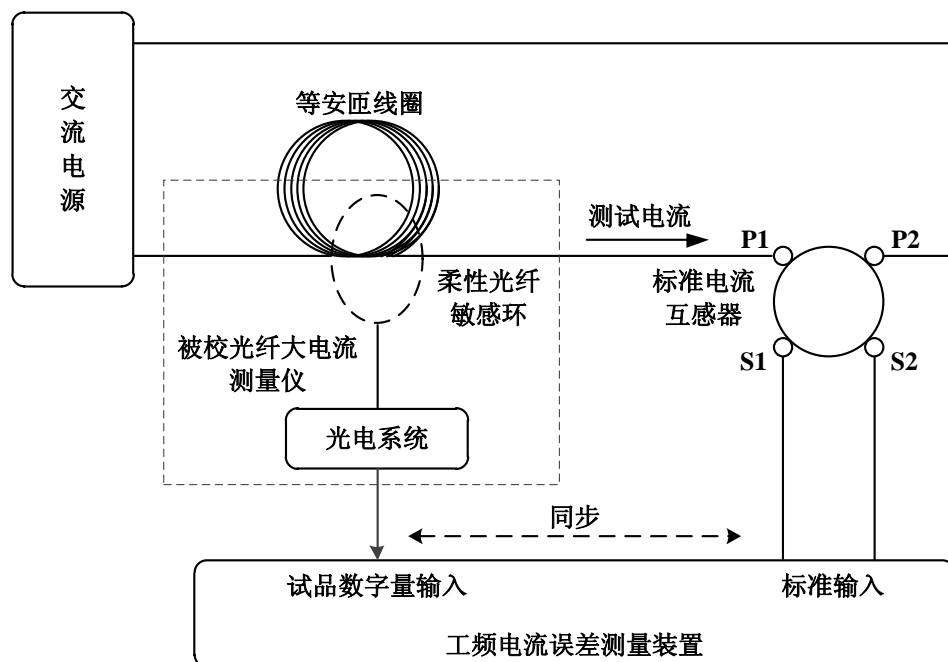


图4 光纤大电流测量仪数字输出校准原理图（工频）

### 7.3.2.2 模拟输出示值误差校准

被校测量仪的输出为模拟量时，校准原理如图5所示。误差测量装置同步采集标准电

流互感器与被校测量仪的输出，并按照式(1)计算示值误差。

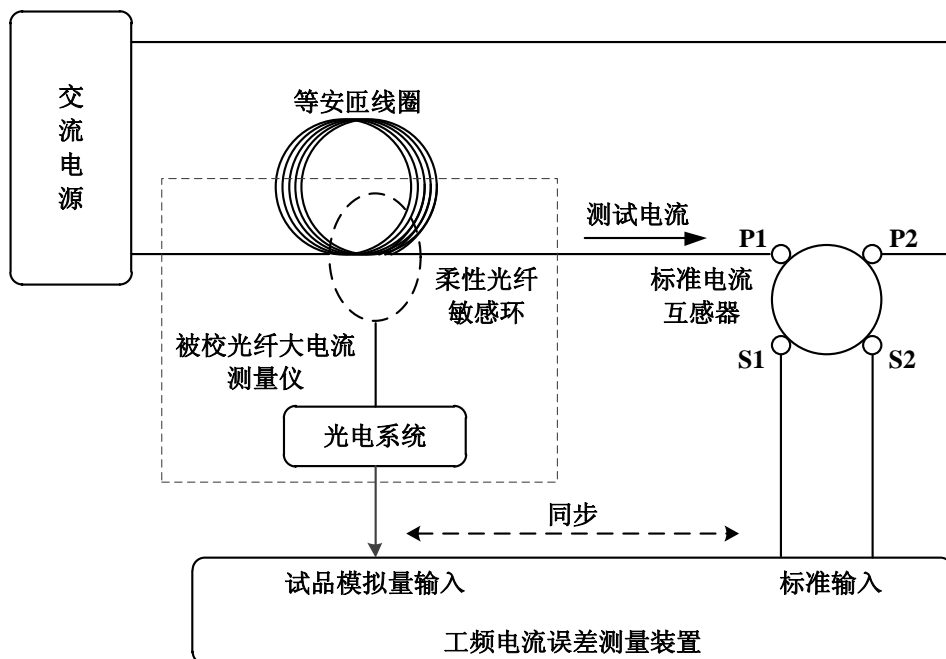


图5 光纤大电流测量仪模拟输出校准原理图（工频）

### 7.3.3 扩展电流非线性附加误差

扩展电流非线性附加误差在直流电流下校准，在扩展量程上限的10%~100%范围内，以10%为间隔进行，也可根据校准客户需要选取校准点。计算方法如式(2)所示。

$$\delta_e = \frac{I_{ex}(1 - \delta_0) - I_{es}}{I_{es}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\delta_e$ —— 扩展电流非线性附加误差；

$I_{ex}$ —— 被校测量仪的扩展电流示值，kA；

$I_{es}$ —— 扩展电流参考值，kA；

$\delta_0$ —— 扩展量程上限对应的示值误差。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书(报告)上反映，校准证书(报告)应至少包括以下信息：

- a) 标题：“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) 证书的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 12 个月。送校单位也可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A 测量不确定度评定示例

### A.1 概述

对某光纤大电流测量仪进行直流、工频大电流示值误差和扩展电流非线性附加误差的测量不确定度评定，测量仪的技术参数为：额定电流直流 300kA、工频 50kA，额定匝数 2 匝，最大允许误差 $\pm 0.2\%$ 。其中，直流和工频大电流示值误差的测量不确定度以额定电流 300kA 和 50kA 为例进行评定；扩展电流非线性附加误差以扩展电流 480kA 为例进行评定。

### A.2 直流大电流示值误差测量不确定度评定

#### A.2.1 测量模型

被校测量仪的直流大电流示值误差  $\delta$  可表示为：

$$\delta = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

考虑被校测量仪的分辨力、等安匝线圈温升、等安匝线圈磁场干扰、直流电流标准器及误差测量装置引入的不确定性，测量模型可进一步表示为：

$$\delta = \bar{\delta} + \delta I_r + \delta I_t + \delta I_m + \delta I_c + \delta I_e \quad (\text{A.2})$$

式中：

$\bar{\delta}$  —— 直流大电流示值误差多次测量结果的平均值；

$\delta I_r$  —— 被校准测量仪分辨力的影响；

$\delta I_t$  —— 等安匝线圈温升的影响；

$\delta I_m$  —— 等安匝线圈磁场干扰对标准器的影响；

$\delta I_c$  —— 直流电流标准器引入的不确定性；

$\delta I_e$  —— 直流电流误差测量装置引入的不确定性。

#### A.2.2 标准不确定度评定

(1) 直流大电流示值误差测量重复性引入的不确定度  $u_1$

将被校测量仪的柔性光纤敏感环反复多次绕制于等安匝线圈，匝数为 2 匝，并在额定电流下对示值误差进行测量，结果如表 A.1 所示。根据贝塞尔公式，单次测量结果的标准

偏差为  $u_1 = u(\bar{\delta}) = 0.023\%$ 。

表 A.1 直流大电流示值误差重复测量结果

测量次数	校准装置 (kA)	被校测量仪 (kA)	示值误差(%)
1	300.26	300.23	-0.01
2	300.22	300.16	-0.02
3	300.18	300.06	-0.04
4	300.17	300.14	-0.01
5	300.16	300.15	0.00
6	300.15	300.00	-0.05
7	300.15	300.06	-0.03
8	300.15	300.03	-0.04
9	300.13	299.95	-0.06
10	300.13	299.93	-0.07
平均值	300.17	300.07	-0.03

(2) 被校测量仪分辨力引入的不确定度  $u_2$

被校测量仪的分辨力为10A，读数误差在±5A范围内服从均匀分布，引入的不确定度分量为2.9A，换算为相对不确定度为： $u_2 = u(\delta_I) = 0.001\%$ 。

(3) 等安匝线圈温升引入的不确定度  $u_3$

校准过程中等安匝线圈通流会产生一定的温升，这将影响被校测量仪的比例因子，造成测量结果的不确定性，可通过监测线圈温度并适当冷却控制其影响。根据校准规范的规定，线圈温升引起的误差应小于被校测量仪误差限值的1/20，呈均匀分布，相应的标准不确定度分别为： $u_3 = u(\delta_I) = 0.01\%/\sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(4) 等安匝线圈磁场干扰引入的不确定度  $u_4$

根据校准规范的规定，等安匝线圈产生的磁场干扰引起标准器的误差变化不大于被校测量仪误差限值的1/20，呈均匀分布，相应的标准不确定度分别为： $u_4 = u(\delta_{I_m}) = 0.01\%/\sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(5) 直流电流标准器引入的不确定度  $u_5$

根据溯源结果，标准直流电流比较仪的最大允许误差为±0.01%，在区间内服从均匀分布，相应的标准不确定度为 $u_5 = 0.01\%/\sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(6) 直流电流误差测量装置引入的不确定度  $u_6$



根据溯源结果，误差测量装置的最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ ，在区间内服从均匀分布，相应的标准不确定度为 $u_6 = u(\delta I_s) = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.006\%$ 。

### A.2.3 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总如表A.2所示。考虑到示值误差重复性与被校测量仪分辨力引入的不确定度存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小者舍去。各分量相互独立，合成标准不确定度分别为： $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \approx 0.03\%$ 。

表 A.2 直流大电流示值误差的不确定度分量

不确定度分量	来源	评定方法	分布	灵敏系数	标准不确定度分量的值(%)
$u_1$	示值误差测量重复性	A	正态	1	0.023
$u_2$	被校测量仪的分辨力	B	均匀	1	0.001
$u_3$	等安匝线圈的温升	B	均匀	1	0.006
$u_4$	等安匝线圈磁场干扰	B	均匀	1	0.006
$u_5$	直流电流标准器	B	均匀	1	0.006
$u_6$	误差测量装置	B	均匀	1	0.006

### A.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，直流 300.17kA 校准点示值误差的扩展不确定度为： $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.03\% = 0.06\%$ 。

## A.3 工频大电流示值误差测量不确定度评定

### A.3.1 测量模型

测量模型与式(A.2)类似，主要考虑被校测量仪的分辨力、等安匝线圈磁场干扰、工频电流标准器及误差测量装置引入的不确定性。由于额定状态下等安匝线圈的单匝电流较小，温升不明显，故忽略其影响。测量模型可表示为：

$$\delta = \bar{\delta} + \delta I_r + \delta I_m + \delta I_c + \delta I_e \quad (\text{A.3})$$

式中：

$\bar{\delta}$  —— 工频大电流示值误差多次测量结果的平均值；

$\delta I_r$  —— 被校光纤大电流准测量仪分辨力的影响；

$\delta I_m$  —— 等安匝线圈磁场干扰对标准器的影响；

$\delta I_c$  —— 工频电流标准器引入的不确定性；

$\delta_e$ ——工频电流误差测量装置引入的不确定性。

### A.3.2 标准不确定度评定

(1) 工频大电流示值误差测量重复性引入的不确定度  $u_1$

将被校测量仪的柔性光纤敏感环反复多次绕制于等安匝线圈，匝数为 2 匝，并在额定电流下对示值误差进行测量，结果如表 A.3 所示。根据贝塞尔公式，单次测量结果的标准偏差为  $u_1 = u(\bar{\delta}) = 0.022\%$ 。

表 A.3 工频大电流示值误差重复测量结果

测量次数	校准装置 (kA)	被校测量仪 (kA)	示值误差(%)
1	50.027	50.030	0.01
2	50.045	50.038	-0.01
3	50.037	50.026	-0.02
4	50.030	50.010	-0.04
5	50.028	50.023	-0.01
6	50.025	50.000	-0.05
7	50.167	50.151	-0.03
8	50.308	50.280	-0.06
9	50.315	50.300	-0.03
10	50.216	50.186	-0.06
平均值	50.120	50.104	-0.03

(2) 被校测量仪分辨力引入的不确定度  $u_2$

被校测量仪的分辨力为 1A，读数误差在  $\pm 0.5A$  范围内服从均匀分布，引入的不确定度分量为 0.29A，换算为相对不确定度为： $u_2 = u(\delta_I) = 0.001\%$ 。

(3) 等安匝线圈磁场干扰引入的不确定度  $u_3$

根据校准规范的规定，等安匝线圈产生的磁场干扰引起标准器的误差变化不大于被校测量仪误差限值的 1/20，呈均匀分布，相应的标准不确定度分别为： $u_3 = u(\delta_{Im}) = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(4) 直流电流标准器引入的不确定度  $u_4$

根据溯源结果，标准电流互感器的最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ ，在区间内服从均匀分布，相应的标准不确定度为  $u_4 = u(\delta_{Is}) = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(5) 误差测量装置引入的不确定度  $u_5$

根据溯源结果，交流误差测量装置在该校准点的最大允许误差为 $\pm 0.03\%$ ，在区间内服从均匀分布，相应的标准不确定度为 $u_5 = u(\delta I_s) = 0.03\% / \sqrt{3} = 0.018\%$ 。

### A.3.3 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总如表A.4所示。考虑到示值误差重复性与被校测量仪分辨力引入的不确定度存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小者舍去。各分量相互独立，合成标准不确定度分别为： $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \approx 0.03\%$ 。

表 A.4 工频大电流示值误差的不确定度分量

不确定度分量	来源	评定方法	分布	灵敏系数	标准不确定度分量的值(%)
$u_1$	示值误差测量重复性	A	正态	1	0.022
$u_2$	被校测量仪的分辨力	B	均匀	1	0.001
$u_3$	等安匝线圈磁场干扰	B	均匀	-1	0.006
$u_4$	工频直流电流标准器	B	均匀	-1	0.006
$u_5$	误差测量装置	B	均匀	-1	0.018

### A.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，工频 50.120kA 校准点示值误差的扩展不确定度为： $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.03\% = 0.06\%$ 。

## A.4 扩展电流非线性附加误差测量不确定度评定

### A.4.1 测量模型

被校测量仪的扩展电流非线性附加误差 $\delta_e$ 可表示为：

$$\delta_e = \frac{I_{ex}(1 - \delta_0) - I_{es}}{I_{es}} \times 100\% \quad (\text{A.4})$$

考虑被校测量仪的分辨力、等安匝线圈磁场干扰、直流电流标准器及误差测量装置引入的不确定性，测量模型可进一步表示为：

$$\delta_e = \overline{\delta_e} + \delta I_{er} + \delta I_{em} + \delta I_{ec} + \delta I_{ee} \quad (\text{A.5})$$

式中：

$\overline{\delta_e}$ —— 扩展电流非线性附加误差多次测量结果的平均值；

$\delta I_{er}$ —— 被校准测量仪分辨力的影响；

$\delta_{em}$ ——等安匝线圈磁场干扰对标准器的影响；

$\delta_{cc}$ ——直流电流标准器引入的不确定性；

$\delta_{ce}$ ——直流电流误差测量装置引入的不确定性。

#### A.4.2 标准不确定度评定

(1) 扩展电流非线性附加误差测量重复性引入的不确定度  $u_1$

将柔性光纤敏感环围绕等安匝线圈形成闭合敏感环路，匝数为 2 匝。反复绕制 10 次，每次均在扩展量程上限 600kA 下校准示值误差，并将 480kA 校准点的示值按此误差进行修正，计算修正结果与参考值之间的误差，结果如表 A.5 所示。根据贝塞尔公式计算单次测量结果的标准偏差为 0.003%，故 10 次测量平均值的标准偏差为： $u_1 = u(\overline{\delta_e}) \approx 0.001\%$ 。

表 A.5 扩展电流非线性附加误差重复测量结果

测量次数	校准装置 (kA)	被校测量仪 (kA)	示值误差(%)
1	480.40	480.38	-0.004
2	480.37	480.35	-0.004
3	480.35	480.32	-0.006
4	480.34	480.30	-0.008
5	480.34	480.33	-0.002
6	480.33	480.32	-0.002
7	480.33	480.33	0.000
8	480.33	480.33	0.000
9	480.33	480.32	-0.002
10	480.32	480.30	-0.004
平均值	480.34	480.33	-0.002

(2) 被校测量仪分辨力引入的不确定度  $u_2$

被校测量仪的分辨力为 10A，读数误差在  $\pm 5A$  范围内服从均匀分布，引入的不确定度分量为 2.9A，换算为相对不确定度为： $u_2 = u(\delta_r) = 0.0006\%$ 。

(3) 等安匝线圈磁场干扰引入的不确定度  $u_3$

根据校准规范的规定，等安匝线圈产生的磁场干扰引起标准器的误差变化不大于被校测量仪误差限值的 1/20，呈均匀分布，相应的标准不确定度分别为： $u_3 = u(\delta_m) = 0.01\%/\sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(4) 直流电流标准器引入的不确定度  $u_4$

根据溯源结果，标准直流电流比较仪的最大允许误差为  $\pm 0.01\%$ ，在区间内服从均匀

分布，相应的标准不确定度为 $u_4 = u(\delta I_s) = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.006\%$ 。

(5) 误差测量装置引入的不确定度  $u_5$

根据溯源结果，误差测量装置的最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ ，在区间内服从均匀分布，相应的标准不确定度为 $u_5 = u(\delta I_s) = 0.01\% / \sqrt{3} = 0.006\%$ 。

#### A.4.3 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总如表A.6所示。考虑到扩展电流非线性附加误差测量重复性与被校测量仪分辨力引入的不确定度存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小者舍去。

各分量相互独立，合成标准不确定度分别为： $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \approx 0.01\%$ 。

表 A.6 扩展电流非线性附加误差的不确定度分量汇总表

不确定度分量	来源	评定方法	分布	灵敏系数	标准不确定度分量的值(%)
$u_1$	扩展电流非线性附加误差 测量重复性	A	正态	1	0.001
$u_2$	被校测量仪的分辨力	B	均匀	1	0.0006
$u_3$	等安匝线圈磁场干扰	B	均匀	-1	0.006
$u_4$	直流电流标准器	B	均匀	-1	0.006
$u_5$	误差测量装置	B	均匀	-1	0.006

#### A.4.4 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，扩展直流480.34kA校准点非线性示值误差的扩展不确定度为： $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.01\% = 0.02\%$ 。

## 附录 B 校准原始记录格式

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号：\_\_\_\_\_

第 页，共 页

## (一) 基本信息

客户名称：	接收日期：	
联络信息：		
器具名称：		
制造单位：	型号/规格：	出厂编号：
额定电流：	额定匝数：	最大允许误差：

## (二) 校准依据及环境条件

校准依据：	
温度： °C	校准地点：
湿度： %RH	其它：

## (三) 校准所用主要标准

名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	有效期

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号： \_\_\_\_\_

第 页, 共 页

### (四) 校准结果

#### 1. 直流大电流示值误差(额定匝数)

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值： _____ ， 标准偏差： _____ ， 扩展不确定度 _____ ， $k = 2$ 。										
20%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值： _____ ， 标准偏差： _____ ， 扩展不确定度 _____ ， $k = 2$ 。										
50%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值： _____ ， 标准偏差： _____ ， 扩展不确定度 _____ ， $k = 2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号：\_\_\_\_\_

第 页,共 页

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										
100%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										

## 2. 直流大电流示值误差(扩展使用，校准客户指定匝数)

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										



## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号: \_\_\_\_\_

第 页, 共 页

### 3. 工频大电流示值误差(额定匝数)

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
20%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
50%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号：\_\_\_\_\_

第 页, 共 页

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										
100%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										

## 4. 工频大电流示值误差(扩展使用, 校准客户指定匝数)

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100%	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号: \_\_\_\_\_

第 页, 共 页

## 5. 扩展电流非线性附加误差

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
20%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
30%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号：\_\_\_\_\_

第 页, 共 页

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										
50%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										
60%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号: \_\_\_\_\_

第 页, 共 页

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
70%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
80%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										
90%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值: _____, 标准偏差: _____, 扩展不确定度 _____, $k = 2$ 。										

## 光纤大电流测量仪校准原始记录

证书编号：\_\_\_\_\_

第 页, 共 页

电流百分数	测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100%	$\delta_0(\%)$										
	标准值(kA)										
	测量值(kA)										
	非线性示值误差(%)										
	平均值：_____，标准偏差：_____，扩展不确定度_____， $k=2$ 。										

校准员：

核验员：

校准日期：

## 附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）				
校准所使用的主要测量标准				
名 称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	证书有效期至

证书编号 XXXXXX-XXXX

# 校准结果

## 1. 直流大电流示值误差(额定匝数)

标准值(kA)	测量值(kA)	示值误差(%)	扩展不确定度 $U, k=2$

## 2. 直流大电流示值误差(扩展使用, 校准客户指定匝数)

标准值 (kA)	测量值 (kA)	示值误差(%)	扩展不确定度 $U, k=2$

## 3. 工频大电流示值误差(额定匝数)

标准值 (kA)	测量值 (kA)	示值误差(%)	扩展不确定度 $U, k=2$

## 4. 工频大电流示值误差(扩展使用, 校准客户指定匝数)

标准值 (kA)	测量值 (kA)	示值误差(%)	扩展不确定度 $U, k=2$



证书编号 XXXXXX-XXXX

# 校准结果

## 5. 扩展电流非线性附加误差

标准值 (kA)	测量值 (kA)	非线性示值误差(%)	扩展不确定度 $U, k=2$

校准员：

核验员：