**附件4：**

《15kA高精度直流大电流标准源校准规范》试验报告

**一、15kA高精度直流大电流标准源的校准方法**

湖南省计量检测研究院作为湖南省最高法定计量技术机构，一直关注高精度直流大电流标准的技术发展，致力于解决其量值溯源难题，对各种型号的高精度直流大电流标准源的计量检定、校准有着丰富的技术积累和现场经验。

高精度直流大电流标准源是一种提供稳定、准确的直流大电流的输出装置，是校准大电流计量设备如直流分流器、直流电流互感器、直流电流传感器等的标准装置。目前，国家已发布的有关直流电流源的计量技术规范最高仅适用于1000A以下，对于测量范围大于1000A的直流电流源，尤其是准确度等级在0.02级到0.005级之间的高精度直流大电流标准源，国家尚无统一的计量技术规范。急需相关技术规范指导高精度直流大电流标准源的量值溯源。

15kA高精度直流大电流标准源校准规范由湖南省计量检测研究院负责起草，参与单位有衡阳市计量测试中心、长沙天恒测控技术有限公司。

15kA高精度直流大电流标准源的校准思路是参考JJF 1284-2011《交直流电表校验仪校准规范》、JJF1597-2016《直流稳定电源校准规范》、JJF1638-2017《多功能标准源校准规范》和JJF1923-2021《电测量仪表校验装置校准规范》，同时根据直流大电流源的工作原理及其测量特性，对高精度直流大电流标准源的输出直流电流的示值误差、短期稳定性两项参数进行试验。

湖南省计量检测研究院查阅了大量技术资料，对被校对象工作原理和示值误差校准方法进行了深入研究，进行大量科学试验，总结出高精度直流大电流源校准规范的电流示值误差试验方法和步骤，解决了高精度直流大电流源溯源难题。

**二、15kA高精度直流大电流标准源的校准方法**

2.1实验目的

本规范对15kA高精度直流大电流标准源的校准方法进行规定。本次试验涉及到5kA高精度直流大电流标准源1台，直流比例标准1台，数字多用表1台，通过电流电压转换法和标准电流表法分别进行校准。

2.2实验情况

本次试验样品为湖南省计量检测研究院电子通信所的高精度直流大电流源，型号为TD2010，最大电流输出能力为5kA，精度等级为0.01级。编制组按拟定规范上规定的两种校准方法：电流电压转换法和标准电流表法分别进行了校准试验。

2.3比较和结论

由于高精度直流大电流源是模块化设计，本样品由9台600A 高稳定度直流标准源组成，每个模块可单独控制输出，整机输出时设备自动将电流平均分配至9个模块。由于标准电流表的测量范围有限，编制组在对直流大电流源单个模块分别校准时使用的标准电流表法，在对直流大电流源整体进行校准时使用的电流电压转换法。实验结果表明，“电流电压转换法”校准精度更高，因为电流电压转换标准的准确度为5ppm，8508A数字多用表的直流电压档也是10-6数量级。而高精度交直流标准表的直流电流的最高精度等级为0.005级，适合0.02级及以下，600A以下的直流电流标准源的校准。

实验室环境温度23℃，相对湿度63%。

实验地点：湖南省计量检测研究院1号楼副楼1楼实验室

1、电流电压转换法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 所使用的仪器设备名称 | 型号规格 | 编 号 | 技术特征 |
| 数字多用表 | 8508A | 267667927 | DCV:±(2.7×10-6读数+2×10-5量程) |
| 穿心式交直流I/V转换标准 | TH0240-5kA  5kA/1V | ZPY2021-1201 | 5ppm |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 示值(A) | 实际值(A) | 绝对误差(A) |
| 5000 | 500.00 | 499.97 | 0.03 |
| 1000.00 | 999.92 | 0.08 |
| 1500.00 | 1499.90 | 0.10 |
| 2000.00 | 1999.88 | 0.12 |
| 2500.00 | 2499.73 | 0.27 |
| 3000.00 | 2999.66 | 0.34 |
| 3500.00 | 3499.63 | 0.37 |
| 4000.00 | 3999.61 | 0.39 |
| 4500.00 | 4499.57 | 0.43 |
| 5000.00 | 4999.54 | 0.46 |

2、标准电流表法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 所使用的仪器设备名称 | 型号规格 | 编 号 | 技术特征 |
| 高精度交直流标准表 | TD1310 | 0119478621 | 0.005级 |
| 穿心式精密交直流电流传感器 | *I*1=500A,  *I*2=0.4A | 05155843 | 5ppm |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 模块 | 示值(A) | 实际值(A) | 绝对误差(A) |
| I1 | 300 | 299.97 | 0.03 |
| 500 | 499.95 | 0.05 |
| I2 | 300 | 299.98 | 0.02 |
| 500 | 499.97 | 0.03 |
| I3 | 300 | 299.97 | 0.03 |
| 500 | 499.97 | 0.03 |
| I4 | 300 | 299.98 | 0.02 |
| 500 | 499.97 | 0.03 |
| I5 | 300 | 299.97 | 0.03 |
| 500 | 499.96 | 0.04 |
| I6 | 300 | 300.00 | 0.00 |
| 500 | 500.01 | -0.01 |
| I7 | 300 | 299.98 | 0.02 |
| 500 | 499.97 | 0.03 |
| I8 | 300 | 299.99 | 0.01 |
| 500 | 499.99 | 0.01 |
| I9 | 300 | 299.97 | 0.03 |
| 500 | 499.94 | 0.06 |

附件1

高精度直流大电流标准源校准原始记录

委托单位：湖南省计量检测研究院 样品名称： 高精度直流大电流标准源

生产厂家：长沙天恒测控技术有限公司 型号规格TD2010 5kA出厂编号：01168803

校准依据： 征求意见稿 校准环境：温度 23 ℃ 湿度 54 ％RH

校准地点：湖南省计量检测研究院其它： /

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 所使用的标准器名称 | 型号规格 | 编 号 | 技术特征 |
| 数字多用表 | 8508A | 267667927 | DCV:±(2.7×10-6读数+2×10-5量程)  ACV:±(1×10-4读数+1×10-5量程)  DCI:±(6.5×10-6读数+2.0×10-6量程)  ACI:±(2.5×10-4读数+1×10-4量程)  OHM:±(7×10-6读数+2.5×10-7量程) |
| 穿心式交直流I/V转换标准 | TH0240-5kA | 20461520101 | 比例误差：1×10-5 |

1.外观及通电检查：符合

2.直流电流示值校准：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 示值(A) | 实际值(A) | 绝对误差(A) |
| 5000 | 500.00 | 499.97 | 0.03 |
| 1000.00 | 999.92 | 0.08 |
| 1500.00 | 1499.90 | 0.10 |
| 2000.00 | 1999.88 | 0.12 |
| 2500.00 | 2499.73 | 0.27 |
| 3000.00 | 2999.66 | 0.34 |
| 3500.00 | 3499.63 | 0.37 |
| 4000.00 | 3999.61 | 0.39 |
| 4500.00 | 4499.57 | 0.43 |
| 5000.00 | 4999.54 | 0.46 |

3、短期稳定性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 输出值(A) | 最大值(A) | 最小值(A) | 短期稳定性(A/3min) |
| 5000 | 4500 | 4499.300 | 4499.218 | 0.002% |

校准人员： 喻准 核验人员： 徐昱 校准日期： 2024.05.15

附件2

高精度直流大电流标准源校准原始记录

委托单位：长沙天恒测控技术有限公司样品名称： 高精度直流大电流标准源

生产厂家：长沙天恒测控技术有限公司 型号规格 TA1500 10kA出厂编号： /

校准依据： 征求意见稿 校准环境：温度 21 ℃ 湿度 50％RH

校准地点：长沙天恒测控技术有限公司其它： /

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 所使用的标准器名称 | 型号规格 | 编 号 | 技术特征 |
| 数字多用表 | 8508A | 267667927 | DCV:±(2.7×10-6读数+2×10-5量程)  ACV:±(1×10-4读数+1×10-5量程)  DCI:±(6.5×10-6读数+2.0×10-6量程)  ACI:±(2.5×10-4读数+1×10-4量程)  OHM:±(7×10-6读数+2.5×10-7量程) |
| 穿心式交直流I/V转换标准 | TH0240-10kA  10kA/1V | ZPY3021-1305 | 5ppm |

1. 外观及通电检查：符合
2. 直流电流示值校准：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程 | 示值(A) | 实际值(A) | 绝对误差(A) |
| 10000A | 100.000 | 100.003 | 0.00 |
| 200.000 | 200.010 | -0.01 |
| 300.000 | 300.012 | -0.01 |
| 500.000 | 500.020 | -0.02 |
| 1000.00 | 1000.036 | -0.04 |
| 2000.00 | 2000.04 | -0.04 |
| 3000.00 | 3000.01 | -0.01 |
| 4000.00 | 4000.08 | -0.08 |
| 5000.00 | 5000.27 | -0.27 |
| 6000.00 | 6000.06 | -0.06 |
| 10000.00 | 10000.80 | -0.80 |

3.短期稳定性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 输出值(A) | 最大值(A) | 最小值(A) | 短期稳定性(A/3min) |
| 10000 | 5000.00 | 5000.80 | 5000.61 | 0.004% |

校准人员： 喻准 核验人员： 徐昱 校准日期： 2024.06.29

附件3

高精度直流大电流标准源校准原始记录

委托单位：宁波中车时代传感技术有限公司 样品名称： 高精度直流大电流标准源

生产厂家：长沙天恒测控技术有限公司 型号规格TI20003kA出厂编号：23010110101校准依据： 征求意见稿 校准环境：温度 22 ℃ 湿度 55％RH

校准地点：长沙天恒测控技术有限公司其它： /

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 所使用的标准器名称 | 型号规格 | 编 号 | 技术特征 |
| 数字多用表 | 8508A | 267667927 | DCV:±(2.7×10-6读数+2×10-5量程)  ACV:±(1×10-4读数+1×10-5量程)  DCI:±(6.5×10-6读数+2.0×10-6量程)  ACI:±(2.5×10-4读数+1×10-4量程)  OHM:±(7×10-6读数+2.5×10-7量程) |
| 直流比例标准 | TH0500-5kA | 20461520101 | 比例误差：1×10-5 |

1.外观及通电检查：符合

2.直流电流示值校准：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 示值(A) | 实际值(A) | 绝对误差(A) |
| 3000 | 300.000 | 299.94 | 0.06 |
| 600.000 | 599.95 | 0.05 |
| 1500.000 | 1500.12 | -0.12 |
| 2400.000 | 2400.22 | -0.22 |
| 3000.000 | 3000.21 | -0.21 |

3、短期稳定性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量程(A) | 输出值(A) | 最大值(A) | 最小值(A) | 短期稳定性(A/3min) |
| 3000 | 2400 | 2400.32 | 2400.11 | 0.009% |

校准人员： 喻准 核验人员： 徐昱 校准日期： 2024.08.15