

直流大电流测量过程控制

Control of Measurement Processes

for Heavy Direct Current

JJF 1087—2002

本规范经国家质量监督检验检疫总局 2002 年 09 月 13 日批准，并自 2002 年 12 月 13 日起施行。

归 口 单 位： 全国直流电量计量技术委员会

主要起草单位： 中国计量科学研究院

参加起草单位： 北京机械工业自动化研究所

沈阳铝镁设计研究院

中国氯碱协会

青铜峡铝厂

本规范由归口单位负责解释

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(4)
5 直流大电流测量过程控制的要求	(4)
6 直流大电流测量设备的计量性能要求	(6)
7 直流大电流测量设备的计量确认	(7)
7.1 实验室条件下工作标准与传递标准电流比差的确认	(8)
7.2 实验室条件下建立工作标准过程参数初始值	(9)
7.3 现场条件下验证工作标准过程参数初始值	(9)
7.4 现场电力整流设备单台电流测量装置的计量确认	(9)
7.5 现场总加测量系统的计量确认	(10)
7.6 总电流测量装置的计量确认	(10)
7.7 建立电流测量装置运行过程参数	(11)
7.8 建立总电流测量装置运行过程参数	(12)
7.9 建立运行电流 $\bar{x} - R$ 控制图	(12)
7.10 核查工作标准量值程序	(13)
8 电流测量装置运行过程的监视与测量质量控制	(14)
9 直流大电流测量系统的计量确认报告与记录	(15)
附录 A 直流大电流测量设备计量确认数据表格式	(16)
附录 B 现场电流测差法和电压测差法接线原理示意图	(18)
附录 C 总加测量系统的误差修正方法	(19)
附录 D 直流大电流测量系统计量确认报告格式	(20)
附录 E 直流大电流测量系统工作标准核查报告格式	(22)

直流大电流测量过程控制

直流大电流准确计量在电化学、电冶金行业生产管理中占有重要的地位。在 ISO、IEC 和我国标准中，目前尚未制定相应的直流大电流测量设备产品技术标准和测量技术规范。由于没有统一的标准，导致了电化、电冶行业直流大电流不能准确一致地测量，直流电耗相关经济指标不具有可比性，电解生产工艺技术条件不能优化，从而降低了电能利用率和经济效益，严重制约企业生产管理技术进步。

由于直流大电流测量设备（包括测量标准和电流测量装置）仅仅在实验室条件下进行校准，不能保证在现场条件下的测量结果与在实验室测得的结果具有准确一致性。为解决现场直流大电流量值与实验室的量值不具有可比性的问题，根据 GB/T 19022.2—2000 测量设备的质量保证要求第 2 部分：-测量过程控制指南(idt ISO 10012—2:1997)提出的测量过程概念，即将测量作为一个完整过程看待，从分析测量的科学依据、测量标准量值的溯源性和校准开始，以及电流测量装置最大允许误差的确定，到现场通过必要的计量确认、验证或调整，提出客观数据最后确认测量标准和电流测量装置给出的测量结果符合预期规定的使用要求，同时证实现场条件下，直流大电流量值对实验室直流电流比例参考标准具有溯源性，电流的量值在不同条件下具有可比性。对直流大电流测量过程的计量确认和过程控制进行规范化管理，可使电流的测量质量得到有效的控制。

1 范围

本规范适用于电化学、电冶金等行业 1 kA 至 300 kA 量级直流大电流测量系统的测量过程控制。

直流大电流测量装置供需双方在签定协议时对产品质量要求可参考本规范。

2 引用文献

- GB/T 19022.1—1994 《测量设备的质量保证要求》第 1 部分《测量设备的计量确认体系》
- GB/T 19022.2—2000 《测量设备的质量保证要求》第 2 部分《测量过程控制指南》
- JJF 1047—1994 《磁耦合直流电流测量变换器校准规范》
- JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》
- JJF 1001—1998 《通用计量术语及定义》
- ISO 8258: 1991 《休哈特控制图》(英文版)
- GB/T 19000—2000 《质量管理体系》
- GB/T 18293—2001 《电力整流设备运行效率的在线测量》

3 术语

3.1 测量过程控制 control of measurement processes

监控并分析来自测量过程的数据，并采取纠正措施，以便使测量过程连续地保持在规定的要求之内。

3.2 参考标准 reference standard

基于直流电流比较仪原理研制的经权威性检测认可的直流电流比例测量标准，具有高准确度等级的传递标准、工作标准和现场直流大电流测量装置的电流比例量值均由它导出。

3.3 传递标准 transfer standard

用在不同条件下验证工作标准测量同一电流值的一致性的测量标准。

3.4 工作标准 working standard

用于日常校准或核查直流大电流测量装置的现场测量标准。

3.5 校准 calibration

在规定条件下，为确定测量仪器或测量系统所指示的量值，或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。

3.6 溯源性 traceability

通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链，使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准，通常是与国家测量标准或国际测量标准联系起来的特性。

3.7 计量确认 metrological confirmation

为确保测量设备处于满足预期使用要求状态所需要的一组操作。

3.8 直流大电流测量变换器 heavy direct current measuring transducer

将被测的直流大电流按额定比值变换成直流小电流或直流电压的测量装置，简称测量变换器。如：直流电流互感器、霍尔检测式传感器、霍尔检零式传感器、磁放大器检零式直流电流互感器、磁调制器式直流电流比较仪等。

3.9 直流大电流测量装置 heavy direct current measuring apparatus

测量变换器和显示仪表的组合，简称电流测量装置。

注：多台整流设备并联组成的整流系列，各整流设备与整流系列输出电流之间的关系式：

$$I = \sum_{k=1}^n i_k = i_1 + i_2 + \cdots + i_n$$

即：各整流设备电流测量装置电流相加，应等于整流系列总电流测量装置的电流。

3.10 直流电流总加测量变换器 direct current summation measuring transducer

将整流系列各整流设备电流测量装置的次级输出电流（或电压）汇入，进行高准确度总加变换，成为一路电流（或电压）输出，其输出量与多路输入量的总和成正比的计量器具，简称总加器。

3.11 直流电流总加测量系统 direct current summation measuring system

在直流大电流测量系统中，由经过计量确认的直流电流测量变换器、总加器和显示仪表的组合所构成的电流测量系统，简称总加测量系统。

3.12 直流电流测量变换器的变比误差（又称：比差） ratio error of a direct current measuring transducer

比差是直流电流测量变换器的电流变比相对误差。

注：

1 比差的定义式为：

$$f_I = \frac{K_{NI} - K_I}{K_I} \times 100\% = \frac{K_{NI} I_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$$

即：测量变换器的额定变比 K_{NI} 与实际变比 K_I 之差对于实际变比之比的百分率。

式中： $K_{NI} = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$ ， $K_I = \frac{I_1}{I_2}$ ；

K_{NI} ——额定变比；

K_I ——实际变比；

I_{1N} 、 I_{2N} ——测量变换器额定一次电流、额定二次电流；

I_1 、 I_2 ——实际一次电流、实际二次电流。

2 对于将被测直流大电流按额定比值变换成直流电压的测量变换器，其变比误差的表达式为：

$$f_V = \frac{K_{NV} - K_V}{K_V} \times 100\% = \frac{K_{NV} V_2 - I_1}{I_1} \times 100\% = f_I - f_R$$

式中： $K_{NV} = \frac{I_{1N}}{V_{2N}} = \frac{I_{1N}}{I_{2N} R_N}$

$$K_V = \frac{I_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2 R}$$

$$f_R = \frac{R_N - R}{R} \times 100\%$$

K_{NV} ——额定比值；

K_V ——实际比值；

f_R ——测量变换器二次电流所接电阻的相对误差；

R_N ——电阻的标称值；

R ——电阻的实际值；

V_2 ——所接电阻上的实际电压。

3 直流电流测量变换器的准确度等级

以测量变换器比差的最大允许值划分其准确度等级。如：测量变换器在给定测量范围内比差的最大允许值为 0.5%、0.2%，其准确度等级为 0.5 级、0.2 级。

3.13 直流大电流测量装置的最大允许误差 maximum permissible error of heavy direct current measuring apparatus

对给定的电流测量装置，标准、规范等所允许的误差极限值。

3.14 测量过程控制参数 measurement process control parameter

在直流大电流测量过程中，控制电流比例量值的测量误差在规定允许范围之内的一组参数。在实验室用传递标准确认工作标准测得的比差在控制限值之内的参数，称为过程参数初始值；在现场用工作标准校准电流测量装置测得的比差，称为运行过程参数。测量过程控制参数简称过程参数。

4 概述

对直流大电流测量过程进行控制，旨在规范直流大电流测量设备在实验室和现场的测量过程，确保测量设备符合预期规定的使用要求，使生产管理过程的直流大电流测量质量得到持续控制。

工业现场直流大电流测量系统与法定计量技术机构大电流实验室（以下简称：实验室）的直流电流比例参考标准，必须通过工作标准建立起量值的溯源性联系。直流大电流测量过程控制的基本原理，是在实验室由传递标准与工作标准测量同一组电流值，用二者测量结果的差值建立起工作标准过程参数初始值；到了现场以后再经过传递标准验证或核查，复现工作标准过程参数初始值在控制限值之内，据此，保证工作标准的测量值在实验室与在现场具有准确一致性，同时保证现场直流量值具有溯源性。现场直流大电流测量系统的各分电流测量装置由工作标准进行计量确认；总电流测量装置运行的准确性与可靠性，由经过计量确认的总加测量系统进行校准，确认测量误差在控制限值之内，并用二者的测量误差建立起直流大电流测量系统的运行过程参数，对运行过程参数实时监视，达到对直流大电流的测量质量进行控制。直流大电流测量过程控制的原理框图如图 1 所示。

5 直流大电流测量过程控制的要求

5.1 直流大电流用户（以下简称：用户）自愿向有关实验室提出直流大电流测量系统的计量确认或测量过程控制。

5.2 实验室的人员到现场考查，提出适合用户直流大电流测量设备的控制方案。

5.3 实验室根据用户电力整流设备的额定输出电流，提出配置相应量限测量工作标准及有关技术要求建议；采用参考标准对工作标准和传递标准在同一条件下同时进行校准，建立二者校准记录数据库；与此同时，用传递标准与工作标准同时测量一组电流，以二者测量的差值建立工作标准的过程参数初始值并将其存入数据库。

5.4 实验室的人员在现场用传递标准与工作标准测量同一组电流，验证工作标准过程参数初始值，在现场的测量值与在实验室测量的初始值在控制限值之内，以此确认工作标准在现场具有溯源性。

5.5 实验室采用工作标准对用户整流系列的各电流测量装置进行在线校准，确认其测量误差；对整流系列各电流测量装置的运行电流进行总加，以经过确认后的总加测量系统为参考校准总电流测量装置，确认其测量误差。

5.6 以整流系列其中一台电流测量装置的运行误差和总电流测量装置的运行误差作为运行过程参数，用户应建立起运行过程参数数据库。

注：对只有一台电力整流设备用一台电流测量装置的用户，建议建立运行过程参数 $\bar{x} - R$ （平均运行电流—极差）控制图。

5.7 安装电流测量装置和总电流测量装置的运行过程参数监视仪表（或绘制 $\bar{x} - R$ 控制图），对生产过程直流大电流测量系统运行的可靠性及测量质量连续地进行监测控制；

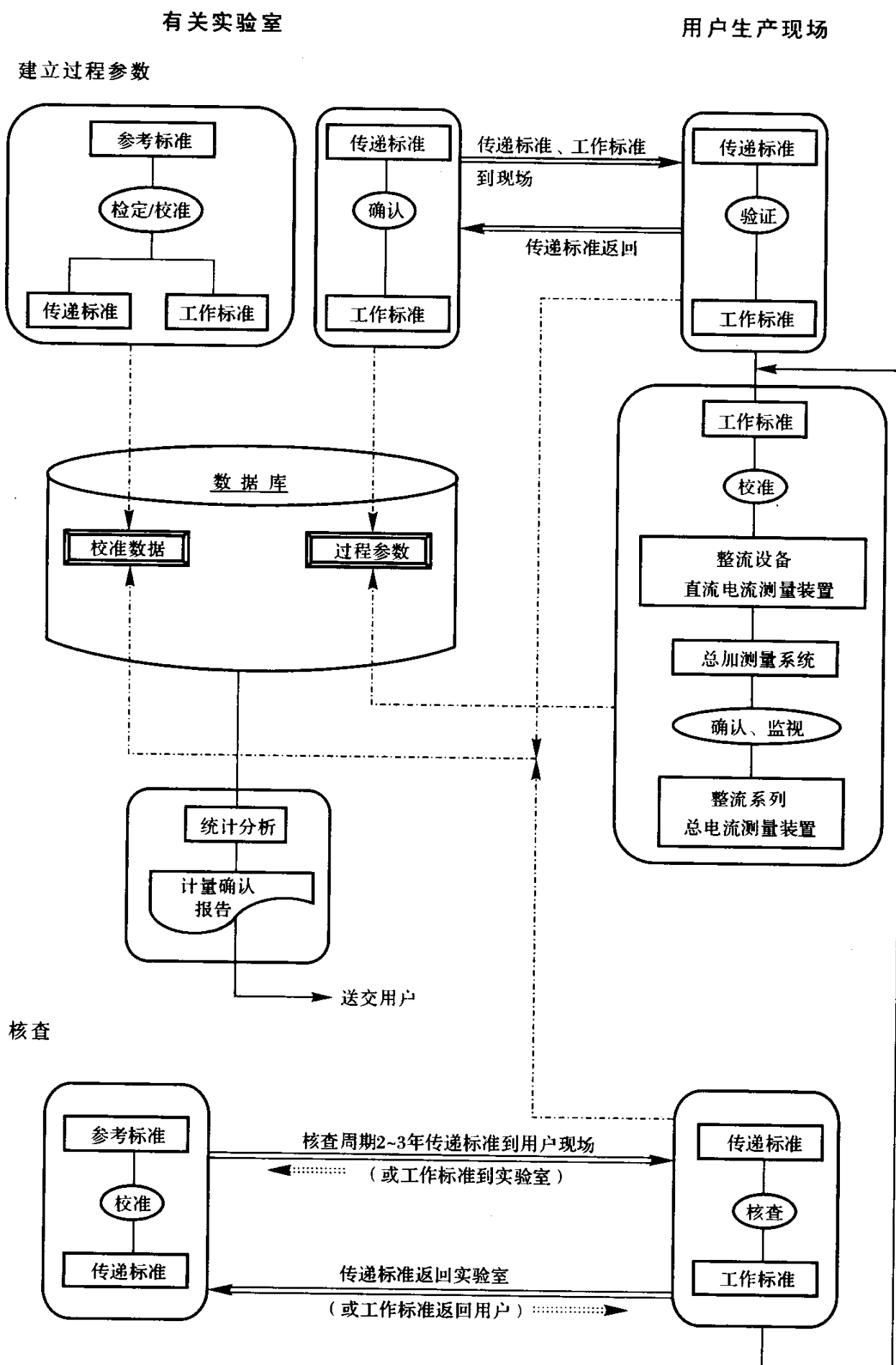


图1 直流大电流测量过程控制原理框图

5.8 现场工作标准量值溯源性核查间隔建议不超出3年。核查时用户将工作标准送至实验室，或实验室将传递标准运至用户现场，对工作标准量值的溯源性进行核查。实验室向用户提供工作标准核查报告，并给出相对于参考标准的偏移（系统误差）和测量不确定度。

6 直流大电流测量设备的计量性能要求

6.1 参考标准

电流变比准确度等级：0.001级

工作电流：(5~100) A

额定变比：1 000/1

输出电压最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-4}$

使用条件： $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$

6.2 传递标准

系列规格：10 kA/5 A，20 kA/5 A，25 kA/5 A，30 kA/5 A，40 kA/5 A，60 kA/5 A

电流变比准确度等级：0.02级

输出电压最大允许误差： $\pm 0.05\%$

电流线性误差： $\pm 0.02\%$

电压线性误差： $\pm 0.05\%$

使用条件：环境杂散磁场小于10 mT

6.3 工作标准

系列规格：10 kA/5 A，20 kA/5 A，25 kA/5 A，30 kA/5 A，40 kA/5 A，60 kA/5 A

电流变比准确度等级：0.05级

输出电压最大允许误差： $\pm 0.05\%$ （从量程的20%~100%）

线性误差： $\pm 0.05\%$

使用条件：环境杂散磁场小于10 mT

6.4 电流测差仪（比差仪）

电流变比准确度等级：0.005级

比差仪的准确度等级：2.0级

6.5 总加器

电流总加器准确度等级：0.005级

电压总加器准确度等级：0.05级

扩展量限范围：(25~350) kA

电流线性误差： $\pm 0.005\%$

电压线性误差： $\pm 0.05\%$

使用条件：环境杂散磁场小于10 mT

6.6 直流大电流测量装置

测量范围：(5~350) kA

测量变换器准确度等级：0.5 级～0.2 级

最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ， $\pm 0.2\%$

线性误差： $\pm 0.5\%$ ， $\pm 0.2\%$

7 直流大电流测量设备的计量确认

保持实验室与用户现场直流大电流量值的准确一致性与可比性，必须对工作标准、传递标准、现场电流测量装置及其总加测量系统和总电流测量装置进行计量确认，以证实现场直流大电流测量设备符合预期规定的使用要求。实验室应给出用户直流大电流测量设备的计量确认报告。直流大电流测量设备计量确认过程的原理框图如图 2 所示。

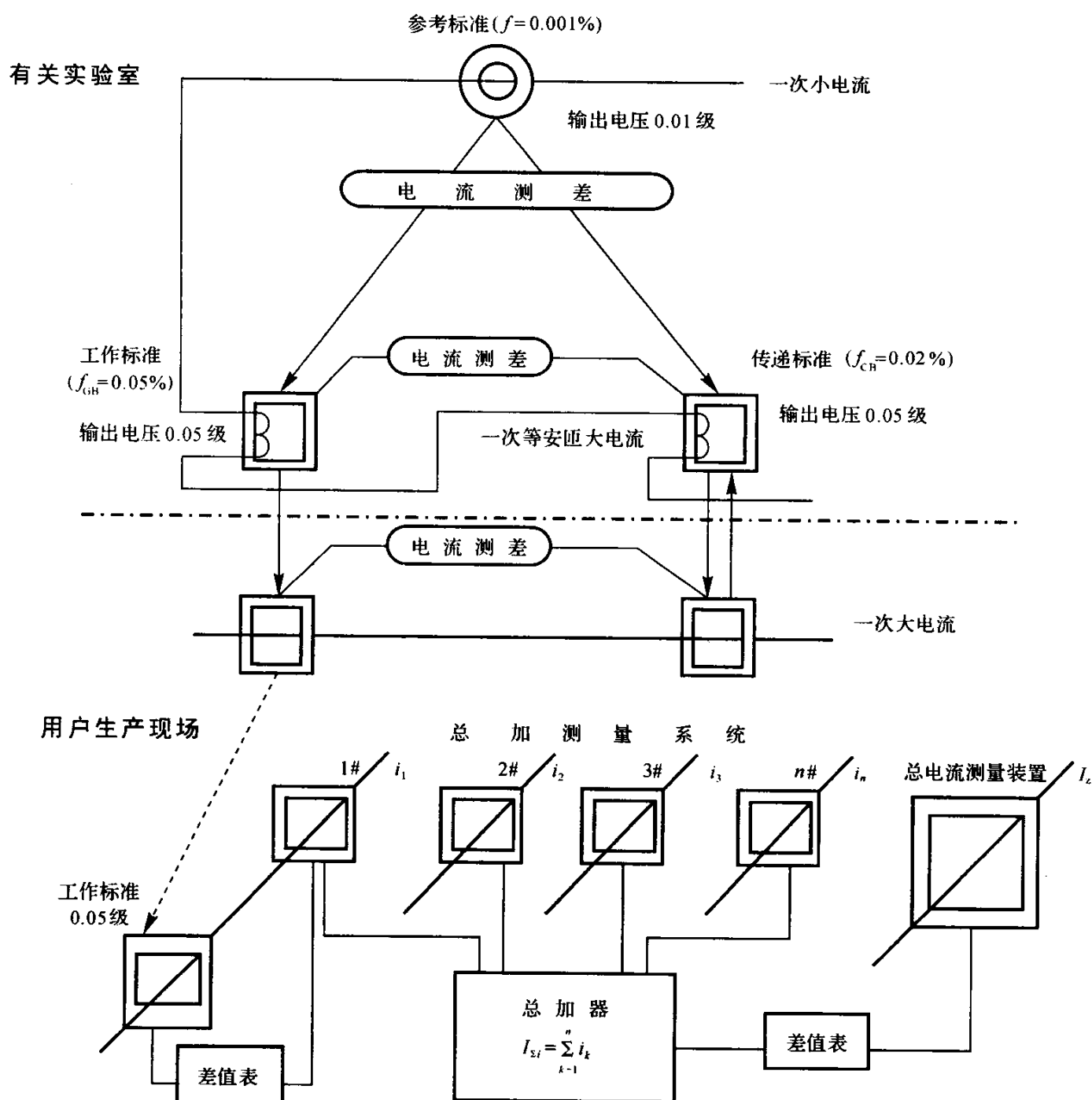


图 2 直流大电流测量设备计量确认过程的原理框图

7.1 实验室条件下工作标准与传递标准电流比差的确认

7.1.1 采用直流电流比例参考标准对工作标准和传递标准同时进行校准，确认工作标准和传递标准准确度等级。

7.1.2 工作标准比差最大值的表达式

$$f_{\text{GBM}} = |\bar{f}_{\text{GB}}| + U \quad (7-1)$$

式中： $\bar{f}_{\text{GB}}$ ——测得的工作标准比差的平均值；

$$\bar{f}_{\text{GB}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{\text{GB},i};$$

$f_{\text{GB},i}$ ——工作标准比差第 i 次测量值；

U ——工作标准比差的扩展不确定度；

$$U = k_p \cdot u_c$$

u_c ——工作标准比差合成标准不确定度；

$$u_c = \sqrt{s^2(\bar{f}_{\text{GB}}) + u^2}$$

$s(f_{\text{GB},i})$ ——工作标准比差单次测量时的 A 类评定标准不确定度；

$$s(f_{\text{GB},i}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{\text{GB},i} - \bar{f}_{\text{GB}})^2}$$

$s(\bar{f}_{\text{GB}})$ ——工作标准比差平均值的 A 类评定标准不确定度；

$$s(\bar{f}_{\text{GB}}) = \frac{s(f_{\text{GB},i})}{\sqrt{n}}$$

u ——工作标准比差的 B 类评定标准不确定度；

$$\text{电流测差时, } u = \frac{f}{\sqrt{3}}$$

$$\text{电压测差时, } u = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \sqrt{f^2 + f_R^2}$$

f ——参考标准比差的极限值；

f_R ——参考标准次级电压输出所接电阻误差的极限值；

k_p ——包含因子，取 $k_p = 3$ ，其置信概率约为 $p = 99\%$ ，测量次数 n 为 13~16。

工作标准校准数据记录格式见附录 A 表 A1（或表 A2）。

7.1.3 传递标准比差最大值的表达式

与工作标准比差最大值的表达式（7-1）相同，将式中比差的脚标 GB 换成 CB，即为传递标准比差的最大值的表达式：

$$f_{\text{CBM}} = |\bar{f}_{\text{CB}}| + U \quad (7-2)$$

传递标准校准数据记录格式见附录 A 表 A1 (或表 A2)。

7.2 实验室条件下建立工作标准过程参数初始值

7.2.1 在校准工作标准与传递标准确认其准确度等级的基础上,采用电流测差法或电压测差法确认工作标准比差相对传递标准比差的差值。

7.2.2 工作标准过程参数初始值的计算表达式

$$C = |\overline{\Delta f_{GC}}| + k_p \cdot u_c \quad (7-3)$$

式中: C ——工作标准过程参数初始值的控制限值;

$\overline{\Delta f_{GC}}$ ——工作标准相对传递标准比差差值的平均值;

$$\overline{\Delta f_{GC}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta f_{GC,i}$$

$\Delta f_{GC,i}$ ——工作标准相对传递标准比差第 i 次测量的差值;

u_c ——工作标准相对传递标准比差差值平均值的合成标准不确定度;

$$u_c = \sqrt{s^2(\overline{\Delta f_{GC}}) + u^2}$$

$s(\overline{\Delta f_{GC}})$ ——工作标准相对传递标准比差差值平均值的 A 类评定标准不确定度;

$$s(\overline{\Delta f_{GC}}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta f_{GC,i} - \overline{\Delta f_{GC}})^2}$$

u ——工作标准 B 类评定标准不确定度, $u = \frac{f_{CBM}}{\sqrt{3}}$;

f_{CBM} ——传递标准的比差极限值;

k_p ——包含因子,取 $k_p=3$,其置信概率约为 $p=99\%$,测量次数 n 为 13~16。

工作标准过程参数初始值测试记录格式见附录 A 表 A3。

7.3 现场条件下验证工作标准过程参数初始值

7.3.1 将工作标准与传递标准安装在同一直流母线上,在该直流母线实际运行电流的上限和下限处,采用电流测差法或电压测差法测量两个标准的比差差值。

7.3.2 现场工作标准过程参数的计算与 7.2.2 条的 (7-3) 式相同。

现场工作标准过程参数的测试记录格式见附录 A 表 A3。

7.4 现场电力整流设备单台电流测量装置的计量确认

7.4.1 用已经过现场验证过的工作标准,采用电流测差法或电压测差法对电流测量装置进行在线校准,测量被校装置在实际运行电流下的比差。

7.4.2 电流测量装置最大误差值的计算表达式

$$\epsilon_C = |\overline{f_C}| + U \quad (7-4)$$

式中： $\overline{f_C}$ ——测得的被校装置比差的平均值；

$$\overline{f_C} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{C,k}$$

$f_{C,k}$ ——测得的被校装置第 k 次的比差值；

U ——被校准装置比差的扩展不确定度；

$$U = k_P \cdot u_c$$

u_c ——被校装置比差合成标准不确定度；

$$u_c = \sqrt{s^2(\overline{f_C}) + u^2}$$

$s(\overline{f_C})$ ——被校装置比差平均值的 A 类评定标准不确定度；

$$s(\overline{f_C}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (f_{C,k} - \overline{f_C})^2}$$

u ——被校装置比差的 B 类评定标准不确定度；

$$\text{被校装置为电流输出型时, } u = \frac{f_{GBM}}{\sqrt{3}}$$

$$\text{被校装置为电压输出型时, } u = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \sqrt{f_{GBM}^2 + f_{GBR}^2}$$

f_{GBM} ——工作标准比差极限值, $f_{GBM} = 0.05\%$ ；

f_{GBR} ——工作标准次级电压输出所接电阻误差极限值；

k_p ——包含因子, 取 $k_p = 3$, 其置信概率约为 $p = 99\%$, 测量次数 n 为 13~16。

现场电流测量装置计量确认测试记录格式见附录 A 表 A4。

7.5 现场总加测量系统的计量确认

7.5.1 对采用整流系列供电的多台电流测量装置, 按 7.4 逐台进行计量确认 (对超差的测量变换器, 应在工作标准的监测下进行在线调整, 数字显示仪表应离线校准)。

7.5.2 对已校准的多台电流测量装置的次级输出电流 (或电压) 采用总加器进行总加 (对 0.2 级测量变换器的次级输出电流, 采用 0.005 级的电流总加器; 对 0.5 级的测量变换器的次级输出电压, 采用 0.05 级的电压总加器)。

7.5.3 由多台电流测量装置和总加器构成的总加测量系统, 需对总加电流进行修正后确认, 修正方法见附录 C。

7.6 总电流测量装置的计量确认

7.6.1 在完成总加测量系统的计量确认以后, 用总加测量系统作为参考校准总电流测量装置, 得到总电流测量装置的测量误差值。

7.6.2 总电流测量装置最大误差值的计算式

$$\epsilon_Z = \frac{|\Delta \bar{I}_Z|}{\bar{I}_{\Sigma i}} + U \quad (7-5)$$

式中： $\Delta \bar{I}_Z$ ——总电流测量装置平均电流相对总加测量系统平均电流的差值；

$$\Delta \bar{I}_Z = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta I_{Z,k}$$

$$\Delta I_{Z,k} = I_{Z,k} - \bar{I}_{\Sigma i}$$

$\Delta I_{Z,k}$ ——总电流测量装置相对总加测量系统第 k 次测量差值电流；

$\bar{I}_{\Sigma i}$ ——修正后的总加测量系统的平均电流值；

U ——总电流测量装置测量总电流误差的扩展不确定度；

$$U = k_p \cdot u_c$$

u_c ——总电流测量装置测量误差平均值的合成标准不确定度；

$$u_c = \sqrt{s^2 \left(\frac{\Delta \bar{I}_Z}{\bar{I}_{\Sigma i}} \right) + u^2}$$

$s \left(\frac{\Delta \bar{I}_Z}{\bar{I}_{\Sigma i}} \right)$ ——总电流测量装置测量误差平均值的 A 类评定标准不确定度；

$$s \left(\frac{\Delta \bar{I}_Z}{\bar{I}_{\Sigma i}} \right) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\Delta I_{Z,k}}{\bar{I}_{\Sigma i}} - \frac{\Delta \bar{I}_Z}{\bar{I}_{\Sigma i}} \right)^2}$$

u ——总电流测量装置测量误差的 B 类评定标准不确定度；

$$\text{当采用电流总加器时, } u = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{f_{\text{GBM}}^2 + \epsilon_{\Sigma i}^2 + f_{R0}^2}$$

$$\text{当采用电压总加器时, } u = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{f_{\text{GBM}}^2 + \epsilon_{\Sigma V}^2}$$

f_{GBM} ——工作标准误差限；

$\epsilon_{\Sigma i}$ ——电流总加器的误差限；

$\epsilon_{\Sigma V}$ ——电压总加器的误差限；

f_{R0} ——电流总加器次级所接电阻的误差限；

k_p ——包含因子，取 $k_p = 3$ ，其置信概率约为 $p = 99\%$ ，测量次数 n 为 13 ~ 16。

7.7 建立电流测量装置运行过程参数

7.7.1 将已经过现场验证过的工作标准，与某一台电力整流设备的电流测量装置（经过长期运行考查计量性能稳定）安装在同一电流母线上，在实际运行电流的上限和下限处，对电流测量装置进行在线校准，将校准所测得的误差，作为电流测量装置的运行过程参数。运行过程参数按（7-4）式计算，其值应小于 0.2% 或 0.5%。

7.7.2 在工作标准和被校电流测量装置次级输出之间安装差值电流表，该差值电流直接反映被校装置相对实际运行电流值的误差电流值，用户应建立电流测量装置运行过程

参数数据库。

7.8 建立总电流测量装置运行过程参数

7.8.1 在完成 7.6 条的计量确认后,以经过确认的总加测量系统作为参考校准总电流测量装置,所测得的电流误差作为总电流测量装置的运行过程参数。运行过程参数按 (7-5) 式计算,其值应小于 0.2% 或 0.5%。

7.8.2 在总加测量系统与总电流测量装置次级输出之间安装电流差值表,该差值表直接反映总电流测量装置测量实际运行电流的误差电流值,用户应建立总电流测量装置运行过程参数数据库。

7.9 建立运行电流 $\bar{x} - R$ 控制图

7.9.1 对单台电力整流设备的电流测量装置,在规定的工艺技术条件下,将工作标准安装在电流测量装置运行电流的母线上进行比较测量。

7.9.2 差值表按组序 1~ m 组读取 20 组数据,每组读 5 次,每组间隔 15 或 20 分钟,按下式计算组内平均值、极差、组间平均值和极差平均值。

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{jk} \quad n = 5 \quad (7-6)$$

$$R_j = x_{jk, \max} - x_{jk, \min} \quad (7-7)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_j \quad m = 20 \quad (7-8)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j \quad (7-9)$$

式中: $\bar{x}_j$ ——第 j 组组内平均值;

R_j ——第 j 组组内极差;

$\bar{\bar{x}}$ ——组间平均值;

$\bar{R}$ ——极差平均值;

x_{jk} ——第 j 组内第 k 次测量值;

$x_{jk, \max}$ ——第 j 组内最大测量值;

$x_{jk, \min}$ ——第 j 组内最小测量值;

n ——组内测量次数;

m ——组数。

并按下式确定控制界限, $\bar{x}$ 图的控制界限:

$$\text{上限} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (7-10)$$

$$\text{下限} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (7-11)$$

$$R \text{ 图的控制界限 (当 } n \leq 5 \text{ 时只有上限): } D_4 \bar{R} \quad (7-12)$$

依据国际标准 ISO 8258: 1991 计算控制图线系数表,查表 1 得:

表 1 计算控制图线系数表

组内观测数 n	控制限值系数	
	A_2	D_4
2	1.880	3.267
3	1.023	2.574
4	0.729	2.282
5	0.577	2.114
6	0.483	2.004
7	0.419	1.924
8	0.373	1.864
9	0.337	1.816
10	0.308	1.777

$n = 5$ 时, $A_2 = 0.577$, $D_4 = 2.114$

7.9.3 根据读取的数据按 (7-10) 至 (7-12) 式并查表确定控制界限。

7.9.4 绘制 $\bar{x}$ (平均值) 和 R (极差) 控制图

以坐标纸上的横坐标表示时间间隔, 以纵坐标表示电流差值的平均值, 将 $\bar{x}_j$ 各点及其 R_j , 分别绘制在坐标纸上, 并绘出 $\bar{x}$ 的上控制限和下控制限, 以及 R 的上控制限。通过控制图可以检验组内平均值 $\bar{x}_j$ 和极差 R_j , 如果二者都在控制限内, 则可判断电流测量装置运行是在控的, 若其中一个落在控制界限外, 则判为失控。失控时, 须查明原因, 排除故障, 恢复控制。

7.10 核查工作标准量值程序

7.10.1 用户在现场核查工作标准量值的溯源性时, 由实验室将传递标准寄给用户, 按 7.3 条的程序进行核查。核查结果若在过程参数初始值控制限值 C 之内, 说明工作标准在现场是准确可靠的, 并具有溯源性。若核查结果超出工作标准过程参数初始值的控制限值 C , 用户应将核查的数据及其计算结果寄送实验室, 由实验室进行分析, 并出具核查数据不确定度评定报告。核查数据记录格式见附录 A 表 A3。

7.10.2 用户将工作标准寄给实验室核查其溯源性时, 校准确认的程序方法按 7.1 条和

7.2 条的方法步骤进行，用户应将工作标准在现场的运行点及运行过程参数等数据附上。实验室根据核查数据出具工作标准核查报告，报告格式见附录 E。

8 电流测量装置运行过程的监视与测量质量控制

直流大电流测量质量的控制，是依靠实验室对传递标准数据库数据的监测；用户是对现场建立的电流测量装置和总电流测量装置运行过程参数（或对控制图）的监视来实现的。

8.1 传递标准数据稳定性的监测

实验室在完成工作标准过程参数初始值的建立和现场的验证后，传递标准返回实验室再校准，校准结果与数据库初始校准数据在比差最大值之内一致时，就完成了闭环的量值传递，证实了现场工作标准及其所校准的电流测量装置的量值具有溯源性。实验室定期（每月）应对各种规格的传递标准进行一次校准，连续考核其稳定性，校准数据存入传递标准数据库。

8.2 现场运行过程参数测量重复性的监视

a) 对整流系列多台电流测量装置运行准确性与可靠性的监视，利用工作标准与整流设备其中一台电流测量装置（计量性能稳定）连续进行比较测量（校准），既可对多台电力整流设备电流测量装置进行核查，同时也是对工作标准连续运行的准确性与可靠性进行监视。只要电流测量装置运行过程参数保持在最大误差控制限内，工作标准和多台电流测量装置的测量质量是处于统计控制状态，即是受控的。

注：多台电力整流设备并联运行的整流系列，每台电力整流设备所输出的电流一般都调整近似相等，而各台电流测量装置是已经过校准确认是准确可靠的，因此，工作标准对其中一台电流测量装置进行监测，也可达到对其他电流测量装置间接进行核查的目的。

b) 总电流测量装置运行的准确性与可靠性，是通过与总加测量系统进行比较，对总电流测量装置运行过程参数连续进行监视，只要总电流测量装置运行过程参数保持在最大允许误差控制限内，直流大电流测量质量是持续受控的。

8.3 测量过程控制的数据分析

通过观测电流测量装置和总电流测量装置运行过程参数监测仪表或结合 $\bar{x} - R$ 控制图，可以方便地判断直流大电流测量系统的测量质量是否受控。

a) 电流测量装置和总电流测量装置运行过程参数在控制限内，整个直流大电流测量系统的测量质量是受控的；

b) 电流测量装置运行过程参数受控，而总电流测量装置运行过程参数失控，可以利用工作标准核查其他电流测量装置。若其中一台有故障，经恢复，使总电流运行过程参数在控制限内；若其中一台装置经恢复正常运行后，而总电流测量装置运行过程参数不在控制限内，则可判定总电流测量装置有故障，必须修复并确认与已建运行过程参数一致时，才能使总电流测量装置的测量质量重新受控；

c) 当总电流测量装置运行过程参数受控，总加测量系统和多台电流测量装置运行正常，而电流测量装置运行过程参数超出控制限，则可判断工作标准出现故障。此时，

用户应及时与实验室联系，研究更换故障工作标准有关部件，使之恢复到与已确认的运行过程参数一致时，整个测量系统才能重新受控运行。

注：生产过程整流变压器或整流设备有时会出现故障，将导致监视仪表或控制图失控，因此，当监视仪表指示不正常或 $\bar{x} - R$ 图超出控制界限时，仪表监测人员与动力车间有关人员应共同分析，作出准确判断。用户应将电流测量装置故障的排除和纠正措施作详细记录。

8.4 测量过程工作标准的量值核查

在线测量工作标准出现故障修复后，用户必须向实验室提出将传递标准运到现场，重新对工作标准所建立的运行过程参数进行核查，核查程序按 7.3 条进行。工作标准核查测试报告格式见附录 E。

9 直流大电流测量系统的计量确认报告与记录

9.1 计量确认报告

用户直流大电流测量系统的计量确认，实验室应对相关的传递标准、工作标准、现场所有成套测量设备进行计量确认，建立校准数据库和过程参数数据库（或 $\bar{x} - R$ 图），并给出相应的报告和数据，计量确认报告的格式见附录 D。

9.2 计量确认的记录

实验室应保存传递标准、工作标准及其过程参数初始值的确认记录，以及现场电流测量装置和总电流测量装置的计量确认测试记录。这些记录应表明每台测量装置能满足预期规定的使用要求。记录资料应包括：

- a) 测量设备的型号、规格、序号、制造厂；
- b) 进行确认的日期和完成确认的日期；
- c) 确认结果有关数据（包括调整或修理的结果）；
- d) 规定的最大允许误差；
- e) 对预期使用的要求与限制；
- f) 完成确认记录人员签字；
- g) 记录资料负责人签字。

记录资料应分别保存在实验室和用户的数据库里，以备存查。

附录 A

直流大电流测量设备计量确认数据表格式

表 A1 工作标准（或传递标准）电流测差法校准数据

一次电流 /千安匝	差值电流 /mA	比差 /%	扩展不确定度 /%	比差最大值 /%

表 A2 工作标准（或传递标准）电压测差法校准数据

一次电流 /千安匝	差值电压 /mV	比差 /%	扩展不确定度 /%	比差最大值 /%

表 A3 实验室或现场条件下工作标准过程参数测试数据

一次电流 /kA	电流/电压差值 /(mA/mV)	比差差值 /%	扩展不确定度 /%	过程参数最大值 /%

注：在实验室条件下表 A3 一次电流为等安匝电流；在现场条件下一一次电流为实际运行电流上限和下限处的电流。

表 A4 电力整流设备电流测量装置的计量确认数据

记录数据 组序	测量装置 型号、规格	准确度 等级	工作标准 运行电流 I_{GB}/kA	测量装置 运行电流 I_C/kA	差值电 流/电压 $(\Delta A/\Delta V)/$ (mA/mV)	比 差 $f_C/\%$	扩展不 确定度 $U/\%$	比 差 最大值 $\epsilon_C/\%$	制造厂
1 组									
2 组									
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N 组									
总电流测量装置 型号、规格		准确度 等级	总加器 运行电流 /kA	总电流 测量装置 运行电流 /kA	差值电流 /A	测量误差 /%	扩展不 确定度 $U/\%$	最大 误差值 $\epsilon_Z/\%$	制造厂

注：1. 表中“差值电流/电压”——工作标准与被校测量装置次级输出电流或电压对接所检测出的差值电流或电压

2. 表中“差值电流”—— $\Delta \bar{I}_Z = \bar{I}_Z - \bar{I}_{\Sigma i}$

测量人员：(签名)

年 月 日

附录 B

现场电流测差法和电压测差法接线原理示意图

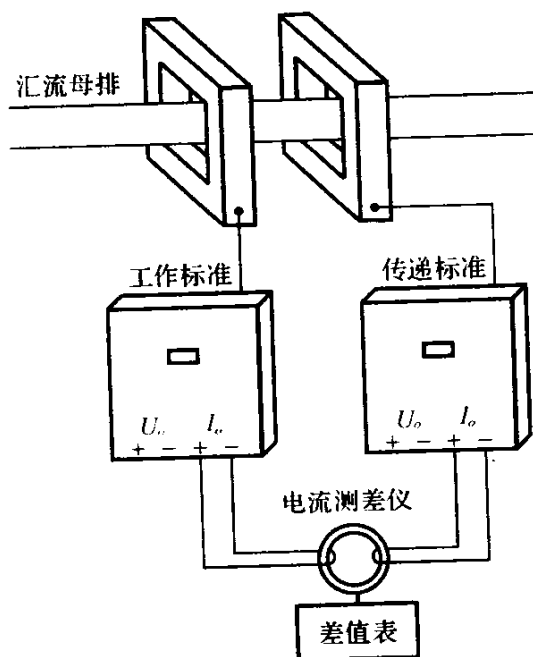
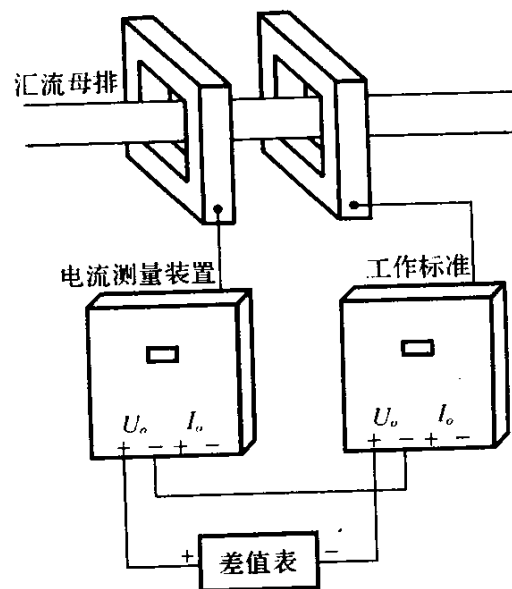
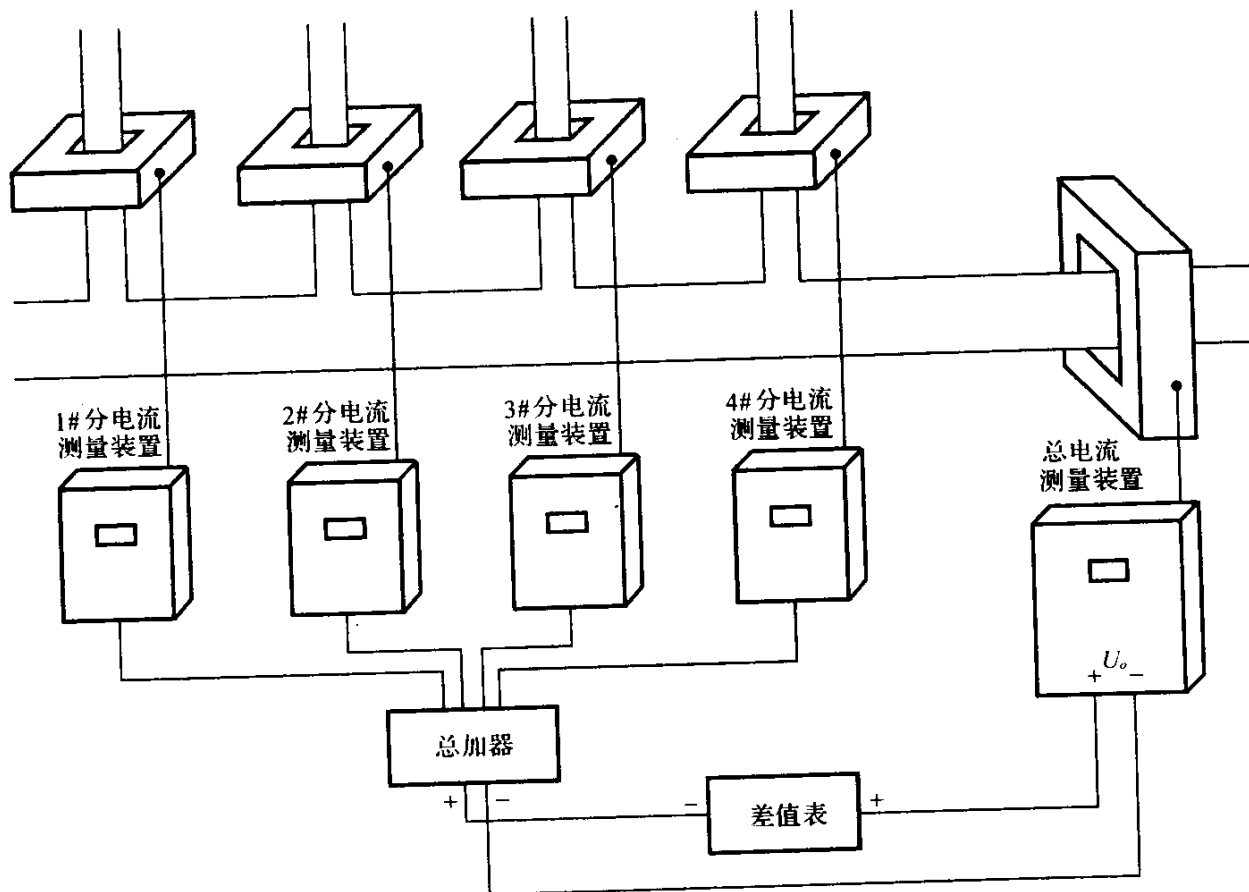
图 B1 传递标准采用电流测差法
对工作标准进行验证、核查图 B2 工作标准采用电压测差法
对电流测量装置进行在线校准

图 B3 总加器测量系统采用电压测差法对总电流测量装置进行在线校准

附录 C

总加测量系统的误差修正方法

整流系列的多台电流测量装置及一台总加器构成总加测量系统。当已测得其各台电流测量装置的误差为 $\epsilon_{CT1}, \epsilon_{CT2}, \epsilon_{CT3}, \dots, \epsilon_{CTk}, \dots, \epsilon_{CTn}$ 时, 总加测量系统的总加电流值 $I_{\Sigma i}$ 按下式进行修正:

$$I_{\Sigma i} = I'_{\Sigma i} \times (1 - \epsilon_{CT}) \quad (C-1)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{CT} &= \left(\frac{i'_1}{I'_{\Sigma i}} \times \epsilon_{CT1} + \frac{i'_2}{I'_{\Sigma i}} \times \epsilon_{CT2} + \dots + \frac{i'_k}{I'_{\Sigma i}} \times \epsilon_{CTk} + \dots + \frac{i'_n}{I'_{\Sigma i}} \times \epsilon_{CTn} \right) \% \\ &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{i'_k}{I'_{\Sigma i}} \times \epsilon_{CTk} \right) (\%) \end{aligned} \quad (C-2)$$

式中: $\epsilon_{CT1}, \epsilon_{CT2}, \dots, \epsilon_{CTk}, \dots, \epsilon_{CTn}$ ——现场各台电流测量装置在各自运行电流 $i'_1, i'_2, \dots, i'_k, \dots, i'_n$ 下的误差(%);

$i'_1, i'_2, \dots, i'_k, \dots, i'_n$ ——第1台, 第2台, $\dots$ 第 k 台, $\dots$ 第 n 台现场电流测量装置未修正的运行电流;

$I_{\Sigma i}$ ——修正后的总加电流, $I_{\Sigma i} = \sum_{k=1}^n i_k$;

$I'_{\Sigma i}$ ——未修正的总加电流;

ϵ_{CT} ——整流系列多台电流测量装置的总加误差。

附录 D

直流大电流测量系统计量确认报告格式

直流大电流测量系统

计量确认报告

测量系统单位名称：_____

测量系统规格：_____

实验室全称：_____

年 月 日

一、过程参数

1. 实验室建立的工作标准过程参数初始值
2. 现场验证确认的过程参数值

二、电力整流设备电流测量装置的计量确认数据

(数据表格式见附录 A 表 4)

三、电流测量装置运行过程参数确认

1. 电流测量装置运行过程参数确认结果
2. 被测直流大电流总电流测量装置运行过程参数确认结果

四、直流测量系统的系统误差及其测量不确定度评定

五、测试记录 (附件)

确认参加人员: _____

确认参加单位: _____

年 月 日

附录 E

直流大电流测量系统工作标准核查报告格式

直流大电流测量系统

工作标准核查报告

测量系统单位：_____

测量系统的规格：_____

实验室全称：_____

年 月 日

一、过程参数

1. 实验室建立的工作标准过程参数初始值
2. 现场验证确认的过程参数值

二、核查主要结果

1. 用户核查过程参数值
2. 实验室核查前后传递标准校准的最大误差值

三、结论

1. 现场工作标准核查不确定度评定
2. 结论性意见

确认人员： (签名)

确认主管： (签名)

年 月 日