

JJF(闽)1147—2024

JJF

福建省地方计量技术规范

JJF(闽)1147—2024

高频电刀分析仪校准规范

Calibration Specification for Electrosurgical Generator Analyzers

2024 - 05 - 30 发布

2024 - 08 - 30 实施

福建省市场监督管理局 发布

高频电刀分析仪校准规范

Calibration Specification of Electrosurgical
Generator Analyzers

JJF (闽) 1147—2024

归口单位：福建省市场监督管理局
主要起草单位：福建省计量科学研究院
参加起草单位：福建中医药大学附属人民医院
福建医科大学附属第一医院

本规范委托福建省计量规范技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

魏 鹏（福建省计量科学研究院）

董小龙（福建省计量科学研究院）

黄婉珏（福建省计量科学研究院）

参加起草人：

陈少游（福建中医药大学附属人民医院）

陈 峰（福建医科大学附属第一医院）

福建省计量规范技术委员会

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 高频电刀	(1)
3.2 高频电刀分析仪	(1)
3.3 额定输出功率	(1)
3.4 高频电流	(1)
3.5 高频漏电流	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 200 Ω 负载电阻	(2)
5.2 可变负载电阻	(2)
5.3 高频漏电流	(2)
5.4 高频电流	(2)
5.5 高频功率	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
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	(10)
附录 C 测量不确定度评定示例	(13)

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，JJF1001-2011《通用计量术语及定义》及 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。

本规范主要参考 JJF 1217-2009《高频电刀校准规范》、GB 9706.1-2020 医用电气设备 第 1 部分《基本安全和基本性能的通用要求》和 GB 9706.4-2022 医用电气设备 第 2-2 部分《高频手术设备安全专用要求》。

本规范为首次制定。

福建省计量规范技术委员会

高频电刀分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量频率范围在 300 kHz~1 MHz 的高频电刀分析仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1217-2009 高频电刀校准规范

GB 9706.1-2020 医用电气设备 第 1 部分：基本安全和基本性能的通用要求

GB 9706.4-2022 医用电气设备 第 2-2 部分：高频手术设备安全专用要求

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（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 高频电刀 electrosurgical generator

高频电刀（高频手术器）是一种取代机械手术刀进行组织切割的电外科器械。它通过有效电极尖端产生的高频高压电流与肌体接触时对组织进行加热，实现对肌体组织的分离和凝固，从而起到切割和止血的目的。

3.2 高频电刀分析仪 electrosurgical generator analyzer

用于校准高频电刀设备性能的分析仪器，内置可变无感电阻负载，具有高频电流和高频功率测量功能。

3.3 额定输出功率 rated output power

能够输入到无感电阻为 50 Ω ~ 2000 Ω 间的单极输出电路和 10 Ω ~ 1000 Ω 间的双极输出电路的高频功率。

3.4 高频电流 high-frequency current

能够输入到无感电阻为 50 Ω ~ 2000 Ω 间的单极输出电路和 10 Ω ~ 1000 Ω 间的双极输出电路的高频电流。

3.5 高频漏电流 high-frequency leakage current

高频电刀两输出电极对地的非功能性电流，对手术毫无作用并可造成患者的灼伤和环境污染。

4 概述

高频电刀分析仪（以下简称“分析仪”）是用于校准高频电刀设备的综合性能分

析仪器，除了可以测量高频电刀的高频漏电流、高频电流和高频输出功率外，有些分析仪还具有高频电刀中性电极的两片极板接触质量检测器的检测功能。

分析仪由内置可变无感电阻负载、高频电流采集单元、高频电压采集单元、显示控制部分和电源部分组成，有些分析仪还内置 $200\ \Omega$ 固定负载电阻作为高频电刀的高频漏电流测量的负载，分析仪结构示意图见图 1。

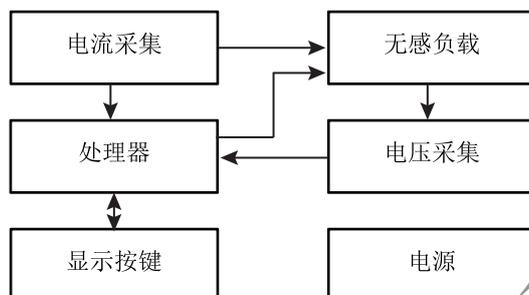


图 1 分析仪结构示意图

5 计量特性

5.1 $200\ \Omega$ 负载电阻

最大允许误差： $\pm 2.5\%$

5.2 可变负载电阻

测量范围： $10\ \Omega\sim 2000\ \Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 2.5\%$ 。

5.3 高频漏电流

测量范围： $10\ \text{mA}\sim 200\ \text{mA}$ ($300\ \text{kHz}\sim 1\ \text{MHz}$)；

最大允许误差： $\pm 2.5\%$ 。

如分析仪无校准高频漏电流接口可不进行此项校准。

5.4 高频电流

测量范围： $10\ \text{mA}\sim 1000\ \text{mA}$ ($300\ \text{kHz}\sim 1\ \text{MHz}$)；

最大允许误差： $\pm 2.5\%$ 。

5.5 高频功率

测量范围： $1\ \text{W}\sim 400\ \text{W}$ ($300\ \text{kHz}\sim 1\ \text{MHz}$)；

$\leq 50\ \text{W}$ 最大允许误差： $\pm(5\%\times F+1)\ \text{W}$ (F 为当前量程)；

$> 50\ \text{W}$ 最大允许误差： $\pm 5\%$ ；。

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准应在表 1 规定的环境条件下进行。

表 1 校准环境条件

影响量	参比值或参比范围	允许偏差
温度	20 °C	± 5 °C
相对湿度	≤ 80%	—
电源电压	220 V	± 10%
电源频率	50 Hz	± 2%
外磁场	无影响	—

6.2 测量标准及其他设备

校准时所需的测量标准设备见表 2，可根据实际采用的校准方法选择对应的测量标准设备。

表 2 校准用主要测量标准设备

序号	设备名称	参数	测量范围	最大允许误差
1	LCR 测量仪	电阻	10 Ω ~ 10 kΩ	± 0.5%
2	高频电刀分析仪 校准装置	电流 功率	电流: 10 mA ~ 1000 mA (300 kHz ~ 1 MHz) 功率: 1 W ~ 400 W (300 kHz ~ 1 MHz)	电流: ± 0.5% 功率: ± 1%

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

高频电刀分析仪的校准项目见表 3。

表 3 高频电刀分析仪校准项目一览表

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	200 Ω 负载电阻值	5.1	7.2.2
2	可变负载电阻值	5.2	7.2.3
3	高频漏电流	5.3	7.2.4
4	高频电流	5.4	7.2.5
5	高频功率	5.5	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

7.2.1.1 外观检查

目测观察被校分析仪的铭牌信息是否清晰标示, 检查内容一般包括(但不限于)型号、器具编号、接线端子和接线示意图等。

7.2.1.2 工作正常性检查

在规定环境条件下, 通电后, 分析仪可正常工作, 显示功能正常。

7.2.1.3 预热

校准用测量标准及被校分析仪应通电预热, 预热时间按说明书要求或不少于10min。

7.2.2 200 Ω 负载电阻值

按图 2 接好线路, 将分析仪 200 Ω 负载电阻连接至 LCR 测量仪的测量端。记录分析仪 200 Ω 负载电阻示值和标准值。按公式 (1) 计算负载电阻相对误差。



图 2 负载电阻校准接线示意图

$$\delta_R = \frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中

δ_R —— 200 Ω 负载电阻相对误差, %;

R_x —— 200 Ω 负载电阻示值, Ω;

R_0 —— 200 Ω 负载电阻标准值, Ω。

7.2.3 可变电阻负载电阻值

仪表连接如图 2 所示, 将分析仪可变负载电阻连接至 LCR 测量仪的测量端。记录分析仪可变负载电阻示值和标准值, 按公式 (2) 计算可变负载电阻相对误差。

$$\delta_{Rc} = \frac{R_{xc} - R_0}{R_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中

δ_{Rc} —— 可变负载电阻相对误差, %;

R_{xc} —— 可变负载电阻示值, Ω;

R_0 —— 可变负载电阻标准值, Ω。

7.2.4 高频漏电流

分析仪置于漏电流模式，负载电阻选择 $200\ \Omega$ ，如图 3 接线。分析仪校准装置依次在 300 kHz、500 kHz 和 1 MHz（如有）频率下，输出 10 mA、20 mA、50 mA、100 mA。记录分析仪高频漏电流测量值以及高频电刀分析仪校准装置高频漏电流标准值，按公式 (3) 计算高频漏电流相对误差。

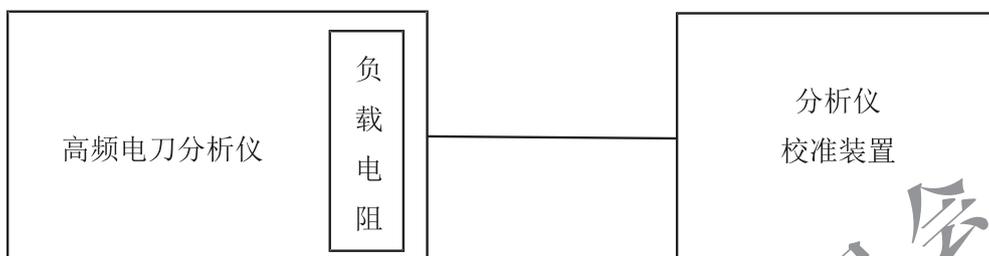


图 3 高频电刀分析仪电流功率测量接线图

$$\delta_{I_f} = \frac{I_{xf} - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ_{I_f} —— 高频漏电流相对误差，%；

I_{xf} —— 高频漏电流测量值，A；

I_0 —— 高频漏电流标准值，A。

7.2.5 高频电流

分析仪置于功率模式，负载电阻选择 $200\ \Omega$ ，如图 3 接线。高频电刀分析仪校准装置依次在 300 kHz、500 kHz 和 1 MHz（如有）频率下，输出 50 mA、100 mA、300 mA、500 mA、1000 mA。记录分析仪高频电流测量值以及高频电刀分析仪校准装置高频电流标准值，按公式 (4) 计算高频电流相对误差。

$$\delta_{I_x} = \frac{I_x - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ_{I_x} —— 高频电流相对误差，%；

I_x —— 高频电流测量值，A；

I_0 —— 高频电流标准值，A。

7.2.6 高频功率

分析仪置于功率模式，负载电阻选择 $200\ \Omega$ ，如图 3 接线。高频电刀分析仪校准装置依次在 300 kHz、500 kHz 和 1 MHz（如有）频率下，输出 10 W、50 W、100 W、200 W、300 W。记录分析仪高频功率测量值以及高频电刀分析仪校准装置高频功率标准值，按公式 (5) 计算高频功率相对误差。

$$\delta_p = \frac{P_x - P_0}{P_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

- δ_p —— 高频功率误差，%；
 P_x —— 高频功率测量值，W；
 P_0 —— 高频功率标准值，W。

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) 证书或报告的唯一性标识（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和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对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) 校准证书和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

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

表 A.1 高频电刀分析仪校准原始记录 (格式)

共 X 页, 第 X 页

证书编号: _____ 记录编号: _____
 客户名称: _____ 客户地址: _____
 型号规格: _____ 出厂编号: _____
 制造厂名: _____ 校准依据: _____
 环境条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ % 校准地点: _____
 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日 建议复校时间: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 校准员: _____ 核验员: _____

主要标准器

序号	标准器名称	型号规格	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书编号	有效期至

A.1 外观及通电检查: _____

A.2 工作正常性检查: _____

A.3 200 Ω 负载电阻输出误差:

200 Ω 负载电阻示值 / Ω	200 Ω 负载电阻值标准 / Ω	输出相对误差 / %

A.4 可变电阻负载电阻输出误差

可变负载电阻示值 / Ω	可变负载电阻标准值 / Ω	相对输出误差 / %

A.5 高频漏电流 (负载电阻 200 Ω)

测量频率	高频漏电流标准值 /mA	高频漏电流测量值 /mA
300 kHz		
500 kHz		
1 MHz		

A.6 高频电流 (负载电阻 200 Ω)

测量频率	高频电流标准值 /mA	高频电流测量值 /mA
300 kHz		
500 kHz		
1 MHz		

A.7 高频功率 (负载电阻 200 Ω)

测量频率	高频功率标准值 /W	高频功率测量值 /W
300 kHz		
500 kHz		
1 MHz		

福建省计量规范技术委员会

附录 B

表 B.1 高频电刀分析仪校准证书内页 (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 他		
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	不确定度或准确度等级或最大允许误差	检定 / 校准证书编号	证书有效期至

注:

1. XXXXX 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

第 X 页 共 X 页

6 高频电流 (负载电阻 200 Ω)

测量频率	高频电流标准值 /mA	高频电流测量值 /mA	相对误差 /%	测量不确定度 /A
300 kHz				
500 kHz				
1 MHz				

7 高频功率 (负载电阻 200 Ω)

测量频率	高频功率标准值 /W	高频功率测量值 /W	相对误差 /%	测量不确定度 /A
300 kHz				
500 kHz				
1 MHz				

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1—2012 的要求。

敬告:

1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。
3. 根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下 12 个月校准一次。

校准员: _____ 核验员: _____

第 X 页共 X 页

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 负载电阻测量不确定度评定

C.1.1 概述

测量标准：LCR 测量仪（TH2838）

被测对象：高频电刀分析仪（RIGEL Uni-Therm）

C.1.2 测量模型及不确定度来源

C.1.2.1 测量模型

被校高频电刀分析仪负载电阻的基本误差 δ 可表示为：

$$\delta = \frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ —— 电阻相对误差，%；

R_x —— 负载电阻示值， Ω ；

R_0 —— 负载电阻标准值， Ω 。

由公式 (C.1) 得不确定度传播公式：

$$u_c^2(\delta) = c^2(R_x)u^2(R_x) + c^2(R_0)u^2(R_0) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$u(R_x)$ —— 高频电刀分析仪引入的标准不确定度；

$u(R_0)$ —— LCR 测量仪引入的标准不确定度；

$c(R_x)$ —— 对 R_x 的灵敏系数；

$c(R_0)$ —— 对 R_0 的灵敏系数。

$$c(R_x) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(R_x)} = \frac{1}{R_0}$$

$$c(R_0) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(R_0)} = -\frac{R_x}{R_0^2}$$

C.1.2.2 不确定度来源分析

根据测量模型，基本误差的不确定来源包括以下几个部分：

- 1) 被校高频电刀分析仪测量重复性引入的不确定度；
- 2) LCR 测量仪准确度引入的不确定度；
- 3) 其它因素引入的不确定度；

C.1.3 标准不确定度分量的评定

C.1.3.1 被校高频电刀分析仪测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在重复性测量条件下，对被校高频电刀分析仪进行独立重复测量，结果如表 C.1.1 所示。

表 C.1.1 重复性测量数据

测量次数	高频电刀分析仪设定值 /(Ω)	直流标准表示值 /(Ω)
1	200	200.1
2	200	200.3
3	200	200.2
4	200	200.1
5	200	200.1
6	200	200.2
7	200	200.3
8	200	200.1
9	200	200.3
10	200	200.2

测量结果的平均值：200.19 Ω ；单次测量值的实验标准偏差：0.088 Ω 。

C.1.3.2 LCR 测量仪准确度引入的不确定度 u_2

LCR 测量仪经上级校准，给出的扩展不确定度为 0.05%，在区间内认为服从均匀分布，则：

$$u_2 = \frac{200 \times 0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.06 \Omega \quad (\text{C.3})$$

C.1.3.3 其它因素引入的不确定度 u_3

负载电阻在测量过程中由于接线及频率响应等其它因素引入的不确定度分量 $u_3=0.1\%$ 。

C.1.4 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表见表 C.1.2。

表 C.1.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	不确定度分量
被校高频电刀分析仪测量重复性引入的标准不确定度	正态分布	A 类评定	$\frac{1}{200 \Omega}$	0.04%
LCR 测量仪准确度引入的不确定度	均匀分布	B 类评定	$-\frac{200.19 \Omega}{(200 \Omega)^2}$	0.03%
其它因素引入的不确定度	均匀分布	B 类评定	1	0.1%

由于各不确定度分量独立不相关,且由于被校高频电刀分析仪以引用误差表示,则:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2} \approx 0.11\% \quad (\text{C.4})$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U = k \cdot u_c = 0.2\% \quad (\text{C.5})$$

C.1.6 测量结果的表述

在本实例中,被校高频电刀分析仪 200 Ω 点的测量结果为 200.19 Ω , 其扩展不确定度为: $U_{\text{rel}}=0.22\%$, ($k=2$)。

C.2 高频漏电流测量不确定度评定

C.2.1 概述

测量标准: 高频电刀分析校准装置 (TD7200)

被测对象: 高频电刀分析仪 (RIGEL Uni-Therm)

测量方法见 7.2.4 高频漏电流。

C.2.2 测量模型及不确定度来源

C.2.2.1 测量模型

被校高频电流的基本误差 δ 可表示为:

$$\delta_{If} = \frac{I_{xf} - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (\text{C.6})$$

式中:

δ_{If} —— 高频电流相对误差, %;

I_{xf} —— 高频电流测量值, A;

I_0 —— 高频电流标准值, A。

由公式 (C.6) 得不确定度传播公式:

$$u_c^2(\delta_{If}) = c^2(I_{xf})u^2(I_{xf}) + c^2(I_0)u^2(I_0) \quad (\text{C.7})$$

式中:

$u(I_{xf})$ —— 高频电刀分析仪引入的标准不确定度;

$u(I_0)$ —— 高频电刀分析校准装置引入的标准不确定度;

$c(I_{xf})$ —— 对 I_{xf} 的灵敏系数;

$c(I_0)$ —— 对 I_0 的灵敏系数。

$$c(I_{xf}) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(I_{xf})} = \frac{1}{I_0}$$

$$c(I_0) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(I_0)} = -\frac{I_{xf}}{I_0^2}$$

C.2.2.2 不确定度来源分析

根据测量模型，基本误差的不确定来源包括以下几个部分：

- 1) 被校高频电流测量重复性引入的不确定度；
- 2) 高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度；
- 3) 其它因素引入的不确定度。

C.2.3 标准不确定度分量的评定

C.2.3.1 被校高频电流测量重复性引入的不确定度 u_1

在重复性测量条件下，对被校高频电刀分析开展独立重复测量，结果如表 C.2.1 所示。

表 C.2.1 重复性测量数据

测量次数	高频电刀分析校准装置设定值 /mA	高频电刀分析校准装置显示值 /mA	被校高频电刀分析测得值 /mA
1	100	100.0	100
2	100	100.0	101
3	100	100.0	100
4	100	100.0	101
5	100	100.0	101
6	100	100.0	100
7	100	100.0	100
8	100	100.0	101
9	100	100.0	101
10	100	100.0	100

测量结果的平均值：100.5 mA；单次测量值的实验标准偏差：0.53 mA。

C.2.3.2 高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度 u_2

交流标准电流源经上级校准，给出的扩展不确定度 U 为 0.1%，则区间半宽度为： $a=U$ ，在区间内认为服从均匀分布，则：

$$u_2 = \frac{100 \times 0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ mA} \quad (\text{C.8})$$

C.2.3.3 其它因素引入的不确定度 u_3

测量过程中由于接线及频率响应等其它因素引入的不确定度分量 $u_3=0.1\%$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表见表 C.2.2。

表 C.2.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	不确定度分量
被校高频电流测量重复性引入的不确定度 u_1	正态分布	A 类评定	$\frac{1}{100 \text{ mA}}$	0.53%
高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度 u_2	均匀分布	B 类评定	$-\frac{100.5 \text{ mA}}{(100 \text{ mA})^2}$	0.06%
交流标准电流源稳定度引入的不确定度 u_3	均匀分布	B 类评定	1	0.1%

由于各不确定度分量独立不相关,且由于被校高频电刀分析仪以引用误差表示,则:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2} \approx 0.54\% \quad (\text{C.8})$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}} = k \cdot u_c = 1.1\% \quad (\text{C.9})$$

C.2.6 测量结果的表述

在本实例中,被校高频电刀分析仪电流 100 mA 点的测量结果为 100.5 mA, 其扩展不确定度为: 1.1%, $k=2$ 。

C.3 高频电流测量不确定度评定

C.3.1 概述

测量标准: 高频电刀分析校准装置 (TD7200)

被测对象: 高频电刀分析仪 (RIGEL Uni-Therm)

测量方法见 7.2.5 高频电流。

C.3.2 测量模型及不确定度来源

C.3.2.1 测量模型

被校高频电流的基本误差 δ 可表示为:

$$\delta_I = \frac{I_x - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (\text{C.10})$$

式中:

δ_I —— 高频电流相对误差, %;

I_x —— 高频电流测量值, A;

I_0 —— 高频电流标准值, A。

由公式 (C.10) 得不确定度传播公式:

$$u_c^2(\delta_I) = c^2(I_x)u^2(I_x) + c^2(I_0)u^2(I_0) \quad (\text{C.11})$$

式中：

$u(I_x)$ ——高频电刀分析仪引入的标准不确定度；

$u(I_0)$ ——高频电刀分析校准装置引入的标准不确定度；

$u(I_x)$ ——对 I_x 灵敏系数；

$u(I_0)$ ——对 I_0 的灵敏系数。

$$c(I_x) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(I_x)} = \frac{1}{I_0}$$

$$c(I_0) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(I_0)} = -\frac{I_x}{I_0^2}$$

C.3.2.2 不确定度来源分析

根据测量模型，基本误差的不确定来源包括以下几个部分：

- 1) 被校高频电流测量重复性引入的不确定度；
- 2) 高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度；
- 3) 其它因素引入的不确定度。

C.3.3 标准不确定度分量的评定

C.3.3.1 被校高频电流测量重复性引入的不确定度 u_1

在重复性测量条件下，对被校高频电刀分析开展独立重复测量，结果如表 C.3.1 所示。

表 C.3.1 重复性测量数据

测量次数	高频电刀分析校准装置设定值/(mA)	高频电刀分析校准装置显示值/(mA)	被校高频电刀分析测得值/(mA)
1	100	99.90	101
2	100	99.90	101
3	100	99.90	100
4	100	99.90	100
5	100	99.90	101
6	100	99.90	100
7	100	99.90	100
8	100	99.90	100
9	100	99.90	100
10	100	99.90	100

测量结果的平均值：100.4 mA；单次测量值的实验标准偏差：0.48 mA。

C.3.3.2 高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度 u_2

交流标准电流源经上级校准，给出的扩展不确定度 U 为 0.1%，则区间半宽度为： $a=U$ ，在区间内认为服从均匀分布，则：

$$u_2 = \frac{100 \times 0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ mA} \quad (\text{C.12})$$

C.3.3.3 其它因素引入的不确定度 u_3

测量过程中由于接线及频率响应等其它因素引入的不确定度分量 $u_3=0.1\%$ 。

C.3.4 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表见表 C.3.2。

表 C.3.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	不确定度分量
被校高频电流测量重复性引入的不确定度 u_1	正态分布	A 类评定	$\frac{1}{99.90 \text{ mA}}$	0.48%
高频电刀分析校准装置标准电流源准确度引入的不确定度 u_2	均匀分布	B 类评定	$-\frac{100.4 \text{ mA}}{(99.90 \text{ mA})^2}$	0.06%
交流标准电流源稳定度引入的不确定度 u_3	均匀分布	B 类评定	1	0.1%

由于各不确定度分量独立不相关，且由于被校高频电刀分析仪以引用误差表示，则：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2} \approx 0.49\% \quad (\text{C.13})$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = k \cdot u_c = 1.0\% \quad (\text{C.14})$$

C.3.6 测量结果的表述

在本实例中，被校高频电刀分析仪电流 100 mA 点的测量结果为 100.4 mA，其扩展不确定度为：1.0%，（ $k=2$ ）。

C.4 高频功率测量不确定度评定

C.4.1 概述

测量标准：高频电刀分析校准装置（TD7200）

被测对象：高频电刀分析仪（RIGEL Uni-Therm）

C.4.2 测量模型及不确定度来源

测量方法见 7.2.6 高频功率。

C.4.2.1 测量模型

$$\delta_p = \frac{P_x - P_0}{P_0} \times 100\% \quad (\text{C.15})$$

式中:

δ_p —— 高频功率相对误差, %;

P_x —— 高频功率测量值, W;

P_0 —— 高频功率标准值, W。

由公式 (C.15) 得不确定度传播公式:

$$u_c^2(\delta_p) = c^2(P_x)u^2(P_x) + c^2(P_0)u^2(P_0) \quad (\text{C.16})$$

式中:

$u(P_x)$ —— 高频电刀分析仪引入的标准不确定度;

$u(P_0)$ —— 高频电刀分析校准装置引入的标准不确定度;

$c(P_x)$ —— 对 I_x 的灵敏系数;

$c(P_0)$ —— 对 I_0 的灵敏系数。

$$c(P_x) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(P_x)} = \frac{1}{P_0}$$

$$c(P_0) = \frac{\partial(\delta)}{\partial(P_0)} = -\frac{P_x}{P_0^2}$$

C.4.2.2 不确定度来源分析

根据测量模型, 基本误差的不确定来源包括以下几个部分:

- 1) 被校高频功率测量重复性引入的不确定度;
- 2) 高频电刀分析校准装置标准功率源准确度引入的不确定度;
- 3) 其它因素引入的不确定度。

C.4.3 标准不确定度分量的评定

C.4.3.1 被校高频功率测量重复性引入的不确定度 u_1

在重复性测量条件下, 对被校高频功率开展独立重复测量, 结果如表 C.4.1 所示。

表 C.4.1 重复性测量结果

测量次数	高频电刀分析校准装置 设定值 /W	高频电刀分析校准装置 显示值 /W	被校高频电刀分析 测得值 /W
1	100	99.81	98
2	100	99.81	98
3	100	99.81	98
4	100	99.81	99
5	100	99.81	98

表 C.4.1 重复性测量结果 (续)

6	100	99.81	98
7	100	99.81	98
8	100	99.81	98
9	100	99.81	99
10	100	99.81	98

测量结果的平均值：98.2 W，单次测量值的实验标准偏差：0.42 W。

C.4.3.2 高频电刀分析校准装置标准功率源准确度引入的不确定度 u_2

高频电刀分析校准装置经上级校准，给出的扩展不确定度 U 为 0.1%，则区间半宽度为： $a=U$ ，在区间内认为服从均匀分布，则：

$$u_2 = \frac{100 \times 0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ W} \quad (\text{C.17})$$

C.4.3.3 其它因素引入的不确定度 u_3

测量过程中由于接线及频率响应等其它因素引入的不确定度分量 $u_3=0.1\%$ 。

C.4.4 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表见表 C.4.2。

表 C.4.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	不确定度分量
被校高频功率测量重复性引入的不确定度 u_1	正态分布	A 类评定	$\frac{1}{99.81 \text{ W}}$	0.42%
高频电刀分析校准装置标准功率源准确度引入的不确定度 u_2	均匀分布	B 类评定	$-\frac{98.2 \text{ W}}{(99.81 \text{ W})^2}$	0.06%
其它因素引入的不确定度 u_3	均匀分布	B 类评定	1	0.1%

由于各不确定度分量独立不相关，则：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2} \approx 0.44\% \quad (\text{C.18})$$

C.4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = k \cdot u_c = 0.88\% \quad (\text{C.19})$$

C.4.6 测量结果的表述

在本实例中，被校高频电刀分析仪功率测量结果为 98.2 W，其扩展不确定度为：

$U_{\text{rel}}=0.88\%$ ， $k=2$ 。