



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

微波治疗仪校准规范

Calibration Specification of Microwave Therapy Equipment

202x—xx—xx 发布

202x—xx—xx 实施

国家市场监督管理总局发布

微波治疗仪校准规范

Calibration Specification of Microwave Therapy
Equipment

JJF xxxx—202x

归口单位：全国医学计量技术委员会

主要起草单位：江苏省计量科学研究院

北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

天津市计量监督检测科学研究院

南京康友医疗科技有限公司

本规范委托全国医学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

顾加雨（江苏省计量科学研究院）

范培蕾（北京市计量检测科学研究院）

庞 侃（江苏省计量科学研究院）

参加起草人：

孙 劼（中国计量科学研究院）

季 青（江苏省计量科学研究院）

蒋君杰（天津市计量监督检测科学研究院）

宋 波（南京康友医疗科技有限公司）

目录

引言.....	III
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 微波治疗设备.....	1
3.2 医用微波设备附件.....	1
3.3 应用器.....	1
3.4 非接触应用器.....	2
3.5 匹配负载.....	2
3.6 非期望辐射.....	2
3.7 体模.....	2
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 工作频率.....	2
5.2 微波输出功率.....	2
5.3 非期望辐射.....	3
5.4 微波辐射泄漏.....	3
5.5 工作时间.....	3
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.....	4
7.1 外观及功能性检查.....	4
7.2 工作频率.....	4
7.3 微波输出功率.....	5
7.4 非期望辐射.....	5
7.5 微波辐射泄漏.....	6
7.6 工作时间.....	6
8 校准结果表达.....	6

9 复校时间间隔.....	7
附录 A 微波治疗仪校准原始记录（推荐）格式.....	8
附录 B 校准证书内页（推荐）格式.....	10
附录 C 输出功率测量不确定度评定示例.....	11
附录 D 工作频率测量不确定度评定示例.....	14
附录 E 工作时间测量不确定度评定示例.....	16

引言

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》和JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的校准方法和计量特性等主要参考了GB 9706.206—2020《医用电气设备 第2-6部分：微波治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》、YY 0838—2021《微波热凝设备》和YY 0899—2020《医用微波设备附件的通用要求》。

本规范为首次发布。

微波治疗仪校准规范

1 范围

本规范适用于工作频率范围为 300 MHz~3 GHz、输出功率不大于 250 W、具有连续波输出功能的微波治疗仪的校准，不适用于其附件穿刺测温针的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB 9706.206—2020 医用电气设备 第2-6部分：微波治疗设备的基本安全和基本性能专用要求

YY 0838—2021 微波热凝设备

YY 0899—2020 医用微波设备附件的通用要求

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

GB 9706.206—2020、YY 0838—2021 和 YY 0899—2020 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 微波治疗设备 microwave therapy equipment

通过传送频率范围超过300 MHz但不超过30 GHz的电磁波对患者进行治疗的医用设备。

[来源：GB 9706.206—2020，201.3.204]

3.2 医用微波设备附件 accessories of microwave equipment in medical practices

为完成治疗目的，与医用微波治疗仪配合使用的附件，包括输出线缆、转接器、辐射器、热凝器、穿刺测温针等。

[来源：YY 0899-2020，3.2]

3.3 应用器 applicator

对患者局部施加微波能量的微波辐射器。

[来源：GB 9706.206-2020，201.3.201]

3.4 非接触应用器 non-contact applicator

不与患者接触或触碰的应用器。

[来源：GB 9706.206-2020，201.3.205]

3.5 匹配负载 matched load

为复合负载，与其连接后可以使微波治疗设备输出最大微波功率到负载。

[来源：GB 9706.206-2020，201.3.203]

3.6 非期望辐射 unwanted radiation

用于治疗目的，但未入射到患者体表或体内治疗区域的微波辐射。

[来源：GB 9706.206-2020，201.3.208]

3.7 体模 phantom

为检测目的，用来模拟患者接受辐射微波能量的部件。

[来源：GB 9706.206-2020，201.3.206]

4 概述

微波是波长为 1 mm~1 m、频率为 300 MHz~30 GHz 的一种高频电磁波，具有传播速度快、穿透力强、抗干扰性好、能被某些物质吸收等特点，应用微波作用于人体以治疗疾病的方法，称为微波疗法。医用微波常用频率为 2450MHz、915MHz 和 433MHz。微波治疗仪一般由电源、微波源、微波电缆、应用器、控制装置和显示装置等组成，其中微波源是微波治疗仪的核心部件，是微波的发射源，常见的微波源可分为磁控管和固态源两类。微波治疗仪是利用微波在人体产生的热对患者的病变部位进行辐射，从而达到治疗的目的，它具有辐射能量的方向性好、加热面能量分布均匀、有效透热深度深等优点。目前微波治疗已广泛应用于妇产科、骨科、耳鼻喉科、康复理疗科等。其中妇产科可用于治疗息肉、阴道炎、术后伤口愈合、催乳等；骨科可用于治疗骨折愈合、扭挫伤等。

5 计量特性

5.1 工作频率

工作频率为 2450 MHz 时最大允许误差： ± 50 MHz；工作频率为 915 MHz 时最大允许误差： $\pm 10\%$ 。

5.2 输出功率

最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

5.3 非期望辐射

不超过 10 mW/cm^2 。

5.4 微波辐射泄漏

不超过 10 mW/cm^2 。

5.5 工作时间

定时器的最大允许误差： $\pm 0.5 \text{ min}$ 。

5.6 应用器的电压驻波比

接上配套输出线缆的应用器在其工作频率下的电压驻波比不超过 3。

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

6.1.1 环境温度： $(10\sim 30) \text{ }^\circ\text{C}$ ；

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ ；

6.1.3 周围无影响设备正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 功率计

频率范围： $300 \text{ MHz}\sim 3 \text{ GHz}$ ；

功率测量范围： $10 \text{ }\mu\text{W}\sim 100 \text{ mW}$ ；

校准因子测量不确定度： $1.2\%\sim 2\%$ ($k=2$)。

6.2.2 频谱分析仪

频率范围： $300 \text{ MHz}\sim 3 \text{ GHz}$ ；

功率范围： $10 \text{ }\mu\text{W}\sim 100 \text{ mW}$ ；

最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

6.2.3 微波辐射与泄漏测量仪

功率密度： $0\sim 10 \text{ mW/cm}^2$ ；

频率范围： $915 \text{ MHz}\sim 3 \text{ GHz}$ ；

最大允许误差： $\pm 2.75 \text{ dB}$ 。

6.2.4 衰减器

频率范围： $300 \text{ MHz}\sim 3 \text{ GHz}$ ；

功率范围：额定输出功率不小于 250 W。

衰减量：40 dB。

注：亦可根据功率计范围选择其他合适衰减量。

6.2.5 定向耦合器

频率范围：300 MHz~3 GHz；

功率范围：额定输出功率不小于 250 W；

耦合系数：40 dB。

6.2.6 网络分析仪

频率范围：300 MHz~3 GHz；

阻抗 50 Ω ；

电压驻波比：1~5。

6.2.7 电子秒表

测量范围：(0~3600) s，最大允许误差： ± 0.10 s/h。

6.2.8 匹配负载

输入功率不小于 250 W，阻抗 50 Ω 。

6.2.9 体模

材料为低损材料（如丙烯酸），直径为（20 ± 0.5 ）cm，长度为（50 ± 0.5 ）cm 的柱状容器，内注浓度为 0.9%的氯化钠水溶液。

6.2.10 钢直尺

测量范围：(0~500) mm，最大允许误差： ± 0.15 mm。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及功能性检查

7.1.1 微波治疗仪的表面应整洁，无机械损伤、划痕等缺陷。

7.1.2 标记应清晰可见，操作和调节机构应灵活、可靠，紧固件应无松动。

7.1.3 屏幕应显示清晰，无亮度不均缺陷；管路插接件应配合紧固，无松动。

7.1.4 治疗头表面应平整光洁。

7.2 工作频率

频谱分析仪使用前进行自校。微波治疗仪预热后取下其功率输出端的辐射器，将微波治疗仪功率输出端接入衰减器输入端，并将衰减器输出端接入频谱分析仪。

打开微波治疗仪，选取常用治疗功率。工作稳定后，调节频谱分析仪参数，待波形稳定显现后从频谱分析仪上观察波形所处的工作频率。按照公式（1）计算工作频率的相对偏差。

$$\Delta f = \Delta f = \frac{f_s - f_0}{f_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Δf ——工作频率示值误差，%；

f_0 ——微波治疗仪工作频率标称值，MHz；

f_s ——频谱分析仪测量值，MHz。

7.3 输出功率

7.3.1 方法一：衰减器法

功率计使用前进行调零和自校准。取下微波治疗仪功率输出端辐射器，将微波治疗仪功率输出端口接入衰减器输入端，然后将功率计接到衰减器的输出端，最后启动微波治疗仪。选取微波治疗仪输出功率的最小值或 10W（两者取较大者）、中间值以及最大值，每个功率校准点测量 3 次，取其平均值作为该点功率实测值，按公式（2）计算输出功率相对示值误差。

$$\delta = \frac{P_0 - \bar{P} \cdot 10^{\frac{A}{10}}}{\bar{P} \cdot 10^{\frac{A}{10}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ ——输出功率相对示值误差，%；

P_0 ——微波治疗仪设置值，W；

\bar{P} ——功率计测量值，W。

A ——衰减器的衰减量或定向耦合器的耦合系数，dB。

7.3.2 方法二：定向耦合器法

功率计使用前进行调零和自校准。取下微波治疗仪功率输出端的辐射器，将其功率输出端口接入定向耦合器输入端连接，然后将功率计和匹配负载分别接至定向耦合器的耦合端和输出端。启动微波治疗仪，选取其输出功率的最小值或 10W（二者取较大者）、中间值以及最大值，每个功率校准点测量 3 次，取其平均值作为该点功率实测值，按照公式（2）计算输出功率相对示值误差。

7.4 非期望辐射

在距体模 25cm 处（或在制造商推荐的距体模最远距离处）放置非接触应用

器，调节微波治疗仪非接触应用器输出到规定的最大输出功率。启动微波治疗仪后，在距离非接触应用器前方 1 m 及后方 0.25 m 处，用微波辐射与泄漏测量仪测量非预期辐射的功率密度，测量 5 次，取 5 次测量值的最大值即为被校微波治疗仪的非期望辐射。

按照上述步骤分别更换微波治疗仪各个非接触应用器测量非期望辐射。

7.5 微波辐射泄漏

将微波治疗仪连接到匹配负载，并在最大输出功率下运行。用微波辐射与泄漏测量仪测量被校设备、连接器和电缆的外表面出的微波功率密度，测量 5 次，取 5 次测量值的最大值作为被校设备的微波辐射泄漏。

7.6 工作时间

将微波治疗仪输出端口接上匹配负载，设置输出功率为 20 W（或其他常用输出功率）、治疗时间为 15 min。微波治疗仪开始工作的同时按下电子秒表开始计时，待其计时完成同时按下电子秒表，记下读数。治疗时间的示值误差按公式 (4) 计算。

$$\Delta T = T_0 - T_S \quad (4)$$

式中：

ΔT ——工作时间示值误差，min；

T_S ——工作时间实测值，min；

T_0 ——微波治疗仪工作时间设定值，min。

7.6 应用器的电压驻波比

网络分析仪使用前先设置频率等参数，然后使用校准件进行自校准。体模按照厂家说明书中的规定置于应用器前方，将应用器输出线缆连接至网络分析仪，逐个替换输出线缆另一端的应用器，并读取网络分析仪测量结果。

8 校准结果表达

微波治疗仪校准后，出具校准证书。证书内页推荐格式见附录 B。校准证书至少应包含以下信息：

- 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（如型号、产品编号等）；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 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) 对校准规范的偏离的说明
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的说明；
- p) 对校准规范的偏离的说明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 12 个月。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此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

微波治疗仪校准原始记录（推荐）格式

委托方		记录编号	
制造厂		仪器名称	
仪器型号		仪器编号	
温度、湿度		校准日期	
校准地点		校准依据	
计量标准器信息			
名称	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
1.外观及功能性检查： <input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求			
2.工作频率			
治疗功率（W）	仪器工作频率值(MHz)	测量值(MHz)	误差（%）
3.微波输出功率			
设定值（W）	测量值（W）	误差（%）	
4.非期望辐射： mW/cm^2			
5.微波泄露辐射： mW/cm^2			

微波治疗仪校准原始记录（推荐）格式（续）

6. 工作时间		
设定值 (min)	测量值 (min)	误差 (min)
7. 电压驻波比:		

附录 B

校准证书内页（推荐）格式

证书编号：XXXX-XXXX

校准结果

1.外观及功能性检查：符合要求 不符合要求

2.工作频率

相对误差： %，扩展不确定度 $U=$ _____ ($k=2$)

3.微波输出功率

校准点 (W)	相对误差 (%)	扩展不确定度 ($k=2$)

4.非期望辐射 _____ mW/cm^2 ，扩展不确定度 $U=$ _____ ($k=2$)5.微波泄露辐射 _____ mW/cm^2 ，扩展不确定度 $U=$ _____ ($k=2$)

6.工作时间

校准点 (min)	误差 (min)	扩展不确定度 ($k=2$)

7.电压驻波比 _____，扩展不确定度 $U=$ _____ ($k=2$)

以下空白

第 x 页 共 x 页

附录 C

输出功率测量不确定度评定示例

C.1 测量方法

微波治疗仪属于大功率治疗设备。在大功率设备测量中，通常采用衰减器、定向耦合器等设备将大功率信号转化为小功率，从而可以利用常规功率计完成对大功率信号的测量。

C.2 测量模型

$$\delta = \frac{P_0 - \bar{P} \cdot 10^{\frac{A}{10}}}{\bar{P} \cdot 10^{\frac{A}{10}}} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ ——输出功率相对示值误差，%；

P_0 ——微波治疗仪设置值，W；

\bar{P} ——功率计测量值，W。

A ——衰减器的衰减量，dB；

C.3 灵敏系数

由公式 C.1 可得： $\delta = (P_0 \times \bar{P}^{-1} \times 10^{-\frac{A}{10}}) - 1$

A 的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial A} = -\frac{P_0 \times \ln 10 \times 10^{-\frac{A}{10}}}{10 \times \bar{P}}$$

\bar{P} 的灵敏系数：

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial \bar{P}} = -\frac{P_0 \times 10^{-\frac{A}{10}}}{\bar{P}^2}$$

考虑各输入量的不确定度间不相关，合成不确定度为

$$u = \sqrt{c_1^2 u^2(A) + c_2^2 u^2(\bar{P})}$$

C.4 测量不确定度分析

输入量 A 引入的不确定度 $u(A)$ 主要是衰减器引入的不确定度分量；输入量 \bar{P} 引入的不确定度 $u(\bar{P})$ 主要有以下分量构成：功率计引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{P})$ ，衰减器与功率传感器失配引入的标准不确定度分量 $u_2(\bar{P})$ ，衰减器与被校设备失配引入的标准不确定度分量 $u_3(\bar{P})$ ，测量重复性引入的标准不确定度分量

$u_4(\bar{P})$ ，由被校设备分辨力引入的标准不确定度分量 $u_5(\bar{P})$ 。

C.5 标准不确定度评定

C.5.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{P})$

将微波治疗仪功率设置在 10 W，然后用微波治疗仪校准装置对其进行 10 次独立重复测量，得到测量数据为：1.02mW, 1.02 mW, 1.02mW, 1.03mW, 1.03mW, 1.04mW, 1.05mW, 1.04mW, 1.03mW, 1.04mW。则上述 10 次测量的平均值为 1.03 mW，单次测量的标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.042 \text{ mW}$$

输出功率实际测量次数为 3 次，则

$$u_1(\bar{P}) = \frac{s}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.024 \text{ mW}$$

C.5.2 由功率计引入的标准不确定度分量 $u_2(\bar{P})$

根据相关证书功率计校准因子的不确定度为 2%，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则功率计引入的标准不确定度为

$$u_2(\bar{P}) = \frac{2\% \times 1.03 \text{ mW}}{2} = 0.011 \text{ mW}$$

C.5.3 由衰减器与功率计失配引入的标准不确定度分量 $u_3(\bar{P})$

根据厂家指标，功率计的驻波比为 1.1，衰减器驻波比为 1.2，根据下式

$$\Gamma = \frac{VSWR-1}{VSWR+1}$$

式中

$VSWR$ ——电压驻波比；

Γ ——反射系数。

得到其反射系数分别 $\Gamma_1=0.048$ ， $\Gamma_2 =0.09$ 。

计算失配引入的最大允许误差为

$$M = \pm 2|\Gamma_1||\Gamma_2| \times 100\% = \pm 0.86\%$$

而其属于反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ 。计算得衰减器与功率计失配引入的标准不确定度分量为

$$u_3(\bar{P}) = \frac{0.86\% \times 1.03 \text{ mW}}{\sqrt{2}} = 0.007 \text{ mW}$$

C.5.4 由衰减器与被校设备失配引入的标准不确定度分量 $u_4(\bar{P})$

根据说明书或溯源证书衰减器驻波比为 1.2，根据厂家资料被校微波治疗仪

输出端的电压驻波比为 1.2，得到其反射系数分别 $\Gamma_2=0.09$ ， $\Gamma_3 =0.09$ 。同样计算得衰减器与被校设备失配引入的标准不确定度分量为 $u_4(\bar{P})=0.012 \text{ mW}$ 。

C.5.5 由衰减器衰减量引入的标准不确定度分量 $u(A)$

衰减器由衰减装置测量校准，其不确定度为 0.02 dB，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则

$$u(A) = \frac{0.02 \text{ dB}}{2} = 0.23\%$$

C.5.6 灵敏系数的计算

由于微波治疗仪输出示值为 10 W，微波功率计测量值为 10.08 W，取相对值进行计算，所有数值均乘以 10.08 W，可得

$$c_1 = 2.3 \times 10^{-5}$$

$$c_2 = -0.98 \times 10^{-5}$$

C.6 合成标准不确定度

表 C.1 标准不确定度分量一览表

不确定度分量		不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度
$u(A)$		衰减器衰减量引入	-0.22	0.23%
$u(\bar{P})$	$u_1(\bar{P})$	测量重复性引入子引入	942.6 W ⁻¹	0.024 mW
	$u_2(\bar{P})$	功率计校准因子引入		0.011 mW
	$u_3(\bar{P})$	衰减器与功率计失配引入		0.007 mW
	$u_4(\bar{P})$	衰减器与被校设备失配引入		0.012 mW

由于 $u(\bar{P})$ 各输入量不确定度之间不相关，则：

$$u(\bar{P}) = \sqrt{u_1^2(\bar{P}) + u_2^2(\bar{P}) + u_3^2(\bar{P}) + u_4^2(\bar{P})} = 0.03 \text{ mW}$$

标准不确定度分量汇总见表 C.1 所示。输入量 $u(\bar{P})$ 和 $u(A)$ 的不确定度间不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(A) + c_2^2 u^2(\bar{P})} = 2.8\%$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 6\%$$

附录 D

工作频率测量不确定度评定示例

D.1 测量方法

将微波治疗仪功率输出端接入衰减器输入端，并将衰减器输出端接入频谱分析仪。打开微波治疗仪，选取一常用治疗功率。工作稳定后，调节频谱分析仪参数，使波形稳定显现。从频谱分析仪上观察波形所处的工作频率。以工作频率 2.45GHz 为例。

D.2 测量模型

$$\Delta f = \frac{f_s - f_0}{f_0} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δf ——工作频率相对偏差，%；

f_0 ——微波治疗仪工作频率标称值，MHz；

f_s ——频谱分析仪测量值，MHz。

D.3 灵敏系数

依据不确定度传播律，忽略工作频率标称值引入的不确定度分量，可得：

$$u = c(f_s)u(f_s) \quad (\text{D.2})$$

其中 $c(f_s)$ 的灵敏系数为：

$$c(f_s) = \frac{\partial \Delta f}{\partial (f_s)} = \frac{1}{f_0}$$

D.4 测量不确定度分析

输入量 f_s 引入的不确定度 $u(f_s)$ 主要有以下分量构成：频谱分析仪误差引入的标准不确定度分量 $u_1(f_s)$ ，测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(f_s)$ 。

D.5 标准不确定度评定

D.5.1 由频谱分析仪误差引入的标准不确定度分量 $u_1(f_s)$

频谱分析仪的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，按照均匀分布，则频谱分析仪误差引入的标准不确定度分量为

$$u_1(f_s) = \frac{0.5\% \times 2.45\text{GHz}}{\sqrt{3}} = 0.007\text{ GHz}$$

D.5.2 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(f_s)$

将微波治疗设备功率设置在 10W，然后用微波治疗设备校准装置对其工作频率进行 10 次独立重复测量，得到测量数据为：2.461GHz, 2.461GHz, 2.459GHz, 2.463GHz, 2.465GHz, 2.457GHz, 2.457GHz, 2.465GHz, 2.462GHz, 2.458GHz。则平均值为 2.461 GHz，单次测量的标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.003 \text{ GHz}$$

工作频率实际测量次数为 1 次，则

$$u_2(f_s) = \frac{s}{\sqrt{1}} = 0.003 \text{ GHz}$$

D.6 合成标准不确定度

表 D.2 标准不确定度一览表

不确定度分量		不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度
$u(\lambda_x)$	$u_1(f_s)$	频谱分析仪误差入	0.41 GHz ⁻¹	0.007 GHz
	$u_2(f_s)$	测量重复性引入		0.003 GHz

标准不确定度汇总见表 D.2 所示。评定的各输入量不确定度之间不相关，可得合成标准不确定度为：

$$u_c = c(f_s)u(f_s) = c(f_s)\sqrt{u_1^2(f_s) + u_2^2(f_s)} = 0.3\%$$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 1\%$$

附录 E

工作时间测量不确定度评定示例

E.1 测量方法

将微波治疗仪输出端口接上匹配负载，设置输出功率为 20W（或其他常用输出功率）、治疗时间为 15 min。微波治疗仪开始工作的同时按下电子秒表开始计时，待其计时完成同时按下电子秒表，得到其工作时间。

E.2 测量模型

$$\Delta T = T_0 - T_S \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔT ——工作时间示值误差，min；

T_S ——工作时间实测值，min；

T_0 ——微工作时间设定值，min。

E.3 灵敏系数

由公式 E.1 可得：

T_S 的灵敏系数：

$$c_2 = -1$$

由于各输入量的不确定度间不相关，则根据不确定度传播律有

$$u = u(T_S)$$

E.4 测量不确定度分析

不确定度来源包括：测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(T_S)$ ，电子秒表误差引入的标准不确定度 $u_2(T_S)$ 。

E.5 标准不确定度评定

E.5.1 由工作时间测量重复性引入的标准不确定度分 $u_1(T_S)$

将微波治疗设备功率设置在 20 W，治疗时间为 15 min，然后用电子秒表对其进行 10 次独立重复测量，得到测量数据为：15.0min, 15.0min, 15.1min, 15.0min, 15.0min, 15.0min, 15.0min, 15.0min, 15.0min, 15.0min。则平均值为 15.01min，单次测量的标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.032 \text{ min}$$

工作时间实际测量次数为 1 次，则

$$u_1(T_S) = \frac{s}{\sqrt{1}} = 0.032 \text{ min}$$

E.5.2 由电子秒表误差引入的标准不确定度分量 $u_2(T_S)$

电子秒表最大允许误差为 $\pm 0.10\text{s/h}$ ，服从均匀分布，可得电子秒表误差引入的标准不确定度分量为

$$u_2(T) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ min}$$

E.6 合成标准不确定度

表 E.1 标准不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数 c_i	标准不确定度
$u_1(T_S)$	测量重复性	1	0.032 min
$u_2(T_S)$	电子秒表误差	1	0.0058 min

标准不确定度分量汇总见表 E.1 所示。各输入量的不确定度间不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2(T_S) + u_2^2(T_S)} = 0.03 \text{ min}$$

E.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 0.1 \text{ min}$$