



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

## 紫外治疗仪校准规范

Calibration Specification for Ultraviolet Therapy Apparatuses

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局发布

# 紫外治疗仪校准规范

JJFxxxx—202x

Calibration Specification for Ultraviolet Therapy

Apparatuses

---

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（江苏省能源计量数据中心）

徐州市检验检测中心

徐州市第一人民医院

参加起草单位：中国计量科学研究院

贵州省计量测试院

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(江苏省能源计量数据中心)]

陈曦(徐州市检验检测中心)

徐旭(徐州市第一人民医院)

**参加起草人：**

胡志雄(中国计量科学研究院)

赵才贤(贵州省计量测试院)

程曦[江苏省计量科学研究院(江苏省能源计量数据中心)]

肖亮[江苏省计量科学研究院(江苏省能源计量数据中心)]

# 目录

引言.....	III
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 紫外辐照强度.....	2
5.2 紫外辐照强度均匀性.....	3
5.3 紫外辐照强度的不稳定性.....	3
5.4 紫外照射剂量.....	2
5.5 非预期紫外辐射.....	3
5.6 紫外残留辐射.....	3
5.7 紫外辐射光谱.....	3
5.8 定时.....	3
6 校准条件.....	4
6.1 环境条件.....	4
6.2 测量标准及其他设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 外观及功能性检查.....	4
7.2 紫外辐照强度.....	4
7.3 紫外辐照强度均匀性.....	6
7.4 紫外辐照强度的不稳定性.....	6
7.5 紫外照射剂量.....	6
7.6 非预期紫外辐射.....	7
7.7 紫外残留辐射.....	8
7.8 紫外辐射光谱峰值波长误差.....	8
7.9 定时误差.....	8
8 校准结果表达.....	8
9 复校时间间隔.....	9

附录 A 紫外治疗仪校准原始记录（推荐）格式.....	10
附录 B 校准证书内页（推荐）格式.....	12
附录 C 紫外辐照强度测量不确定度评定示例.....	13
附录 D 紫外辐射光谱峰值波长示值测量不确定度评定示例.....	15
附录 E 紫外照射剂量示值测量不确定度评定示例.....	17

# 引言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《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。

本规范的计量特性及校准方法等主要参考了 YY/T 0901—2013《紫外治疗设备》。

本规范为首次发布。

# 紫外治疗仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于紫外治疗仪的校准,不适用于仅用于照射器械和材料的紫外消毒或杀菌设备、光固化机、紫外激光设备、紫外光敏治疗设备、血管内介入紫外照射设备和体外血液循环紫外照射设备的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

YY/T 0901 紫外治疗设备

凡是注日期的引用文件,仅所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

YY/T 0901—2013 中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 紫外治疗仪 ultraviolet therapy equipment

利用有效波长在 200 nm~400 nm 的紫外线对皮肤或者体腔表层进行照射治疗的设备。

注:通常情况下,紫外线分为以下三个波段:UVA(400 nm~320 nm)、UVB(320 nm~275 nm)、UVC(275 nm~200 nm)。

[来源:YY/T 0901—2013, 3.1]

### 3.2 有效受照区 enabled illuminated area

制造商规定的用于照射治疗的区域,通常包括受照面积、距离、角度、形状等信息。

[来源:YY/T 0901—2013, 3.2]

### 3.3 紫外辐照强度 ultraviolet irradiance

制造商规定的预期用于照射治疗波段内的光谱辐照度的积分,单位为毫瓦每平方米,符号为 $\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

[来源:YY/T 0901—2013, 3.4]

### 3.4 紫外照射剂量 ultraviolet irradiance dose

单位受照面积上的紫外辐射能量，等于紫外辐照强度与照射时间的乘积，单位为焦耳每平方米，符号为J/cm<sup>2</sup>。

[来源：YY/T 0901—2013，3.3]

### 3.5 有效紫外辐射 enabled ultraviolet radiation

在正常工作状态下及有效受照区内，预期用于照射治疗波段内的紫外辐射。

[来源：YY/T 0901—2013，3.5]

### 3.6 非预期紫外辐射 not anticipate ultraviolet radiation

在正常工作状态下及有效受照区内，预期用于照射治疗波段以外的紫外辐射，此部分紫外辐射不用于治疗。

[来源：YY/T 0901—2013，3.6]

### 3.7 紫外残留辐射 ultraviolet radiation leakage

切断紫外辐射输出后的紫外辐射。

[来源：YY/T 0901—2013，3.7]

## 4 概述

紫外治疗仪是利用紫外线（UV）波段电磁辐射进行疾病治疗的医疗设备，常用于皮肤、粘膜的消炎止痛和皮肤病（如白癜风、银屑病、湿疹等）患者的辅助治疗。按照照射人体的部位分类，一般可分为全身照射式设备、局部照射式设备和体腔照射式设备。其治疗原理基于紫外线对人体组织的光生物学效应：当特定波长的紫外线照射皮肤时，能够刺激皮肤细胞产生光化学反应。

紫外治疗仪通常包括主机、辐照器及其他附属部件（如护目镜或眼罩），其中主机一般包括机箱、电源模块、控制单元、显示模块。治疗仪的光源主要包括LED光源、荧光光源以及准分子光源等类型。

## 5 计量特性

### 5.1 紫外辐照强度

#### 5.1.1 紫外辐照强度

最大允许误差：±20%。

注：不适用于具备紫外辐照强度监测功能的紫外治疗仪。

#### 5.1.2 最大紫外辐照强度

应不大于 200 mW/cm<sup>2</sup>。

## 5.2 紫外辐照强度均匀性

不大于±25%。

## 5.3 紫外辐照强度的不稳定性

不大于±10%。

注：不适用具备紫外辐照强度监测功能的紫外治疗仪。

## 5.4 紫外照射剂量

UVA 波段：应不大于 200 J/cm<sup>2</sup>，最大允许误差：±20%；

UVB 波段：应不大于 5 J/cm<sup>2</sup>，最大允许误差：±20%；

UVC 波段：应不大于 2 J/cm<sup>2</sup>，最大允许误差：±20%。

## 5.5 非预期紫外辐射

应不大于表 1 中的规定值。

表 1 非预期紫外辐射的规定值

波段/nm	照射时间/s	紫外照射剂量/ (J/cm <sup>2</sup> )	紫外辐照强度/ (mW/cm <sup>2</sup> )
200~308	1~3×10 <sup>4</sup>	3×10 <sup>-3</sup>	/
309~314	1~3×10 <sup>4</sup>	6.3×10 <sup>-2</sup>	/
315~400	1~10	0.56t <sup>1/4</sup>	/
315~400	10~10 <sup>3</sup>	1.0	/
315~400	10 <sup>3</sup> ~3×10 <sup>4</sup>	/	1

注：t 为照射时间  
 示例：如制造商规定的预期用于照射治疗波段为 280 nm~320 nm，则非预期紫外辐射考虑 280 nm 以下和 320 nm 以上波段内的紫外辐射及对应的分段限值。

## 5.6 紫外残留辐射

设备停止工作 5s 后，紫外辐照强度应不大于正常工作状态下的 1%。

## 5.7 紫外辐射光谱

峰值波长最大允许误差：±3 nm。

## 5.8 定时

定时误差应不大于±2%。

注 1：若紫外治疗仪出光前需要预热，则预热完成前不应开始计时。

注 2：以上所有指标不用于符合性判定，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 温度：(10~40) °C；

6.1.2 相对湿度：不大于 80%；

6.1.3 工作电源：AC (220±22) V, (50±1) Hz。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 光谱辐射计

波长测量范围覆盖 (200~400) nm, 最大允许误差：±1 nm；

光谱辐射照度最大允许误差：±6%。

#### 6.2.2 电子秒表

测量范围：0.01 s~24 h, 最大允许误差：±1 s/1 h。

#### 6.2.3 钢直尺

测量范围：(0~300) mm, 最大允许误差：±0.10 mm。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观及功能性检查

7.1.1 被校紫外治疗仪（以下简称“被校治疗仪”）的各种标识应清晰完整，具有名称、型号、制造商和出厂编号。

7.1.2 被校治疗仪不应有影响工作性能的机械损伤，所有旋钮、开关、按键等均应功能正常。被校治疗仪外表面应光滑，无明显的凹凸、裂纹和毛刺。

7.1.3 在正常工作状态下，紫外辐射源应不出现肉眼可察觉的闪烁现象。

### 7.2 紫外辐照强度

#### 7.2.1 紫外辐照强度示值相对误差

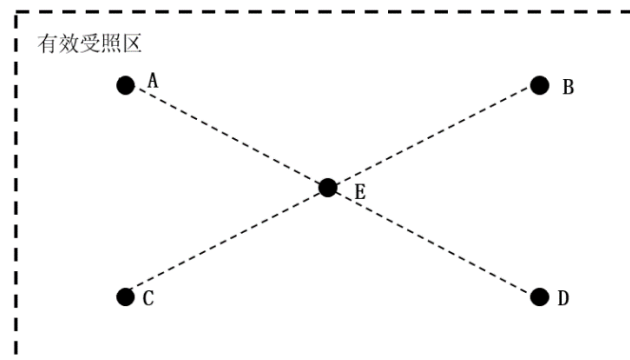


图 1 测量点分布图

启动被校治疗仪，待其达到制造商规定的预热时间后，将光谱辐射计的探测器接收面置于与被校治疗仪发光面光轴垂直的位置，并确保探测器中心与测量光轴重合。按照仪器说明书规定的工作距离，在如图 1 所示有效受照区内选择不少于 5 个测量点。按照仪器说明书确定预期治疗波段 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ，依次测量各点光谱辐照度，按公式（1）计算各测量点的紫外辐照强度，并取平均值，按公式（2）计算示值相对误差。

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中：

$E$ ——紫外辐照强度， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$E_{\lambda}(\lambda)$ ——光谱辐照度， $\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ ；

$d\lambda$ ——计算或测量时的波长间隔， $\text{nm}$ ；

$\lambda_1 \sim \lambda_2$ ——制造商规定的预期用于照射治疗波段，可以是 UVA、UVB、UVC 或其他紫外波段， $\text{nm}$ 。

$$\Delta E = \frac{E_0 - \bar{E}}{\bar{E}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\Delta E$ ——紫外辐照强度示值相对误差， $\%$ ；

$E_0$ ——紫外辐照强度的标称值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$\bar{E}$ ——紫外辐照强度测量平均值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

### 7.2.2 最大紫外辐照强度

对于不具备紫外辐照强度监测功能的被校治疗仪，将其紫外辐射设置在最大输出状态，用光谱辐射计测量在有效受照区内分布点（至少 5 个测量点）处的紫外辐照强度，读取其中的最大紫外辐照强度值。

对于具备紫外辐照强度监测功能的被校治疗仪，应在有效受照区内选取不少于 5 个测量点，分别测量各点的紫外辐照强度，计算其平均值 $\bar{E}_0$ ，并确定最大紫外辐照强度 $E'_{max}$ 及其所在位置。随后，重新启动被校治疗仪，在上述最大紫外辐照强度位置处进行连续测量。采样时间间隔设为 10 s，或采用用户建议的其他时间间隔，连续记录至设备单次运行周期结束，得到测量结果  $E_1 \sim E_n$ ，并读取其中的最大紫外辐照强度值 $E_{max}$ 。

### 7.3 紫外辐照强度均匀性

根据 7.2.1 测得的各测量点紫外辐射强度，按公式（3）计算各点的相对偏差，取其中偏差绝对值最大的结果作为紫外辐射强度均匀性。

$$g = \frac{E_i - \bar{E}}{\bar{E}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$g$ ——紫外辐照强度相对偏差，%；

$E_i$ ——测量点  $i$  处的紫外辐照强度测量值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$\bar{E}$ ——紫外辐照强度测量平均值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

### 7.4 紫外辐照强度的不稳定性

选取图 1 中 E 点位置作为测量点，采用光谱辐射计测量该点的辐照强度，在设备单次最长工作时间或 12 min 内（取二者中的较短者），等时间间隔读取 5 次测量值，并按公式（4）计算其稳定性。

$$S = \pm \frac{E_{max} - E_{min}}{2 \times \bar{E}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$S$ ——紫外辐照强度的不稳定性，%；

$E_{max}$ ——5 次测量中的最大值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$E_{min}$ ——5 次测量中的最小值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$\bar{E}$ ——5 次测量的平均值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

### 7.5 紫外照射剂量

#### 7.5.1 紫外照射剂量示值相对误差

对于不具备紫外辐照强度监测功能的被校治疗仪，将被校治疗仪的照射剂量设定为最大值，用电子秒表测量其单次最长照射时间，根据 7.2.1 测得的紫外辐照强度测量平均值，按公式（5）计算紫外照射剂量实测值，再按公式（6）计算紫外照射剂量的实测值与设定值的示值误差。

$$W = \bar{E} \times t \quad (5)$$

式中：

$W$ ——紫外照射剂量实测值， $\text{J}/\text{cm}^2$ ；

$\bar{E}$ ——紫外辐照强度测量平均值， $\text{mW}/\text{cm}^2$ ；

$t$ ——单次最长照射时间，s。

$$\Delta W = \frac{W_0 - W}{W} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\Delta W$ ——紫外照射剂量示值相对误差，%；

$W_0$ ——紫外照射剂量的设定值， $J/cm^2$ ；

$W$ ——紫外照射剂量实测值， $J/cm^2$ 。

对于具有紫外辐照强度监测功能的治疗仪，应按 7.2.2 的规定采集紫外辐照强度数据集 $E_j$ ，并对该数据集随时间变化进行积分，得到最大辐照强度位置处的紫外照射剂量。根据 7.2.2 测得的紫外辐照强度平均值 $\bar{E}_0$ 和最大紫外辐照强度 $E'_{max}$ ，按公式（7）计算有效受照区紫外照射剂量平均值，按公式（8）计算该平均值与设定值之间的相对误差。

$$\bar{W} = \frac{\sum_{j=1}^n E_j t_j}{E_{max}} \times \bar{E}_0 \quad (8)$$

式中：

$\bar{W}$ ——紫外照射剂量平均值， $J/cm^2$ ；

$E'_{max}$ ——最大紫外辐照强度， $mW/cm^2$

$\bar{E}_0$ ——紫外辐照强度平均值， $mW/cm^2$ 。

$E_j$ ——最大辐照强度位置处测量的紫外辐照强度数据集， $mW/cm^2$

$t_j$ ——最大辐照强度位置处各紫外辐照强度数据对应的测量时间间隔，s；

$n$ ——测量次数。

### 7.5.2 最大紫外照射剂量

对于具有和不具有紫外辐照强度监测功能的治疗仪，分别根据前述最大辐照强度测量结果以及被测治疗仪的紫外光谱曲线分别计算 UVA、UVB、UVC 波段对应的最大紫外照射剂量。

### 7.6 非预期紫外辐射

根据被校治疗仪的紫外光谱曲线，按公式（9）计算分别计算 UVA、UVB、UVC 非预期波段对应的紫外照射剂量。

$$E_n = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (9)$$

式中：

$E_n$ ——非预期紫外辐照强度， $mW/cm^2$ ；

$E_\lambda(\lambda)$ ——光谱辐照度， $mW/(cm^2 \cdot nm)$ ；

$d\lambda'$  ——计算或测量时的波长间隔带宽, nm;

$\lambda'_1 \sim \lambda'_2$  ——制造商规定的非预期用于照射治疗波段, nm。

### 7.7 紫外残留辐射

于被校治疗仪停止工作后 5 s (以倒计时结束或结束提示音作为设备停止工作的判定依据), 测量有效受照区中心点的紫外辐照强度, 并计算其与正常工作状态下该点辐照强度的比值。

### 7.8 紫外辐射光谱峰值波长误差

在紫外辐照有效受照区受照面的几何中心处, 采用光谱仪测量紫外辐射的光谱峰值波长, 并按公式 (10) 计算紫外辐射光谱峰值波长误差。

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_s \quad (10)$$

式中:

$\Delta\lambda$  ——紫外辐射光谱峰值波长误差, nm;

$\lambda_0$  ——紫外辐射光谱峰值波长标称值, nm;

$\lambda_s$  ——紫外辐射光谱峰值波长测量值, nm。

### 7.9 定时误差

采用电子秒表对被校治疗仪定时器的最大设置时间与 60 min 中的较小值进行计时测量, 按公式 (11) 计算定时误差。

$$\Delta t = \frac{t_0 - t_s}{t_s} \times 100\% \quad (11)$$

式中:

$\Delta t$  ——定时误差, %;

$t_0$  ——治疗时间设置值, s;

$t_s$  ——电子秒表时间测量值, s。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。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

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。

复校时间间隔建议为 12 个月。

## 附录 A

## 紫外治疗仪校准原始记录（推荐）格式

送校单位		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	
校准使用的测量标准及其他设备			
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
			有效期至

- 1.外观及功能性检查：符合要求    不符合要求
- 2.紫外辐照强度最大值：符合要求    不符合要求
- 3.紫外辐照强度示值误差：

测量点	A	B	C	D	E
测量值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					
测量平均值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					
标称值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					
示值误差/%					

- 4.紫外辐照强度均匀性：

测量点	A	B	C	D	E
测量值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					
测量平均值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					
各点均匀性/%					
均匀性/%					

- 5.紫外辐照强度的不稳定性：

测量次数	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
测量值/ (mW/cm <sup>2</sup> )					

稳定性/%	
-------	--

## 6. 紫外照射剂量:

单次最长照射时间/(s)	
紫外照射剂量测量值/ ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	
紫外照射剂量设定值/ ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	
紫外照射剂量示值误差/%	

## 7. 非预期紫外辐射:

非预期紫外辐射/ ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	
-------------------------------------	--

## 8. 紫外残留辐射:

紫外辐射残留/%	
----------	--

## 9. 紫外辐射光谱峰值波长误差:

紫外辐射光谱峰值波长测量值/nm	
紫外辐射光谱峰值波长标称值/nm	
紫外辐射光谱峰值波长示值误差/nm	

## 10. 定时误差:

时间测量值/s	
定时器时间标称值/s	
定时误差/%	
扩展不确定度 ( $k=2$ )	

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_

## 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			
2.紫外辐照强度最大值			
3.紫外辐照强度示值误差		扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )	
4.紫外辐照强度均匀性			
5.紫外辐照强度的不稳定性			
6.紫外照射剂量最大值			
7.紫外照射剂量示值误差		扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )	
8.非预期紫外辐射			
9.紫外残留辐射			
10.紫外辐射光谱峰值波长误差		扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )	
11.定时误差		扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )	

以下空白

## 附录 C

## 紫外辐照强度测量不确定度评定示例

## C.1 测量方法

以分辨力为  $0.1 \text{ mW/cm}^2$  的治疗仪为例，评定治疗仪在校准点  $4.5 \text{ mW/cm}^2$  时测量结果的不确定度。有效受照区内选择不少于 5 个测量点。

## C.2 测量模型

$$\Delta E = \frac{E_0 - \bar{E}}{\bar{E}} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta E$ ——紫外辐照强度示值误差，%；

$E_0$ ——紫外辐照强度的标称值， $\text{mW/cm}^2$ ；

$\bar{E}$ ——紫外辐照强度测量平均值， $\text{mW/cm}^2$ 。

由于紫外辐照强度的标称值  $E_0$  为固定值，因此测量模型中仅有  $\bar{E}$  一个影响量，则合成标准不确定度为：

$$u = |c(\bar{E})|u(\bar{E})$$

根据公式 (C.1) 计算灵敏系数为：

$$c(\bar{E}) = \frac{\partial \Delta E}{\partial (\bar{E})} = -\frac{E_0}{\bar{E}^2}$$

## C.3 输入量的不确定度来源分析

$u(\bar{E})$  不确定度来源包括：测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\bar{E})$ ，被校治疗仪示值分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(\bar{E})$  和紫外辐照计最大允许误差引入的标准不确定度分量  $u_3(\bar{E})$ 。

## C.4 标准不确定度评定

C.4.1 被校治疗仪测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(\bar{E})$ 

用紫外辐照计对被校治疗仪的辐照强度进行 10 次测量，数据见表 C.1

表 C.1 紫外辐照强度测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 ( $\text{mW/cm}^2$ )	3.25	4.07	3.91	3.86	3.77	3.65	3.88	3.54	3.93	3.45

上述 10 次测量的平均值为  $3.73 \text{ mW/cm}^2$ ，单次测量标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.254 \text{ mW/cm}^2$$

紫外辐照强度实际测量次数为 5 次，则重复性引入的标准不确定分量  $u_1(\bar{E})$  为：

$$u_1(\bar{E}) = 0.254 \text{ mW/cm}^2 / \sqrt{5} = 0.11 \text{ mW/cm}^2$$

#### C.4.2 被校治疗仪示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(\bar{E})$

被校治疗仪分辨力为  $0.1 \text{ mW/cm}^2$ ，采用 B 类评定方法。区间半宽  $a=0.05 \text{ mW/cm}^2$ ，该分布服从均匀分布，故

$$u_2(\bar{E}) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ mW/cm}^2 = 0.029 \text{ mW/cm}^2$$

#### C.4.3 紫外辐照计的最大允许误差引入的不确定度分量 $u_3(\bar{E})$

所用紫外辐照计的最大允许误差为  $\pm 6\%$ ，按均匀分布考虑，则

$$u_3(\bar{E}) = \frac{6\% \times 3.77 \text{ mW/cm}^2}{\sqrt{3}} = 0.13 \text{ mW/cm}^2$$

#### C.5 合成标准不确定度

表 C.2 标准不确定度分量一览表

输入量的标准不确定度评定				输出量的标准不确定度评定	
输入量	不确定度来源	符号	数值	灵敏系数 $c_i$	$ c_i u(x_i)$
$\bar{E}$	测量重复性	$u_1(\bar{E})$	$0.11 \text{ mW/cm}^2$	0.317 ( $\text{mW/cm}^2$ ) <sup>-1</sup>	0.035
	被校治疗仪分辨力	$u_2(\bar{E})$	$0.029 \text{ mW/cm}^2$		0.009
	紫外辐照计最大允差	$u_3(\bar{E})$	$0.13 \text{ mW/cm}^2$		0.041

标准不确定度汇总见表 C.2 所示。各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c^2 u_1^2(\bar{E}) + c^2 u_2^2(\bar{E}) + c^2 u_3^2(\bar{E})} = 5.5\%$$

#### C.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u = 11\% \quad (k=2)$$

## 附录 D

## 紫外辐射光谱峰值波长示值测量不确定度评定示例

## D.1 测量方法

以 UVB 紫外治疗仪为例，峰值波长为 311 nm，用光谱仪测量紫外治疗仪辐射光谱峰值波长。

## D.2 测量模型

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_S \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\Delta\lambda$ ——紫外辐射光谱峰值波长示值误差，nm；

$\lambda_0$ ——紫外辐射光谱峰值波长标称值，nm；

$\lambda_S$ ——紫外辐射光谱峰值波长测量值，nm。

由于定时设定值 $\lambda_0$ 为固定值，因此测量模型中仅有 $\lambda_S$ 一个影响量，则合成标准不确定度为：

$$u_c = |c(\lambda_S)|u(\lambda_S)$$

式中 $\lambda_S$ 的灵敏系数为：

$$c(\lambda_S) = \frac{\partial\Delta\lambda}{\partial(\lambda_S)} = -1$$

代入灵敏系数计算结果，则合成标准不确定度为：

$$u_c = u(\lambda_S)$$

## D.3 测量不确定度分析

$u(\lambda_S)$ 不确定度来源包括：测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\lambda_S)$ ，光谱仪最大允许误差引入的不确定度分量 $u_2(\lambda_S)$ 。

## D.4 标准不确定度评定

D.4.1 被校治疗仪测量重复性引入的标准不确定分量 $u_1(\lambda_S)$ 

用光谱仪对被校治疗仪的波长进行 10 次测量，数据见表 D.1

表 D.1 紫外辐射光谱峰值波长测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/nm	311.9	311.1	311.9	311.1	311.1	311.0	311.3	311.1	311.9	311.1

上述 10 次测量的平均值为 311.35nm，单次测量标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.39 \text{ nm}$$

紫外辐射光谱峰值波长实际测量次数为 3 次，则重复性引入的标准不确定分量  $u_1(\lambda_S)$  为：

$$u_1(\lambda_S) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.39 \text{ nm}}{\sqrt{3}} = 0.23 \text{ nm}$$

#### D.4.2 光谱仪最大允许误差引入的不确定度分量 $u_2(\lambda_S)$

光谱仪的最大允许误差为  $\pm 1 \text{ nm}$ 。服从均匀分布，故

$$u_2(\lambda_S) = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ nm} = 0.58 \text{ nm}$$

#### D.5 合成标准不确定度

表 D.2 标准不确定度分量一览表

输入量的标准不确定度评定				输出量的标准不确定度评定	
输入量	不确定度来源	符号	数值	灵敏系数 $c_i$	$ c_i u(x_i)$
$\lambda_S$	测量重复性	$u_1(\lambda_S)$	0.23 nm	-1	0.23 nm
	光谱仪最大允差	$u_2(\lambda_S)$	0.58 nm		0.58 nm

标准不确定度分量汇总见表 D.2 所示。各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c^2 u_1^2(\lambda_S) + c^2 u_2^2(\lambda_S)} = 0.6 \text{ nm}$$

#### D.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.6 \text{ nm} = 1.2 \text{ nm} \quad (k=2)$$

## 附录 E

## 紫外照射剂量示值测量不确定度评定示例

## E.1 测量方法

以分辨力为  $0.01 \text{ J/cm}^2$ 、适用于 UVB 波段的治疗仪为例，评定该治疗仪在紫外照射剂量设定值为  $5 \text{ J/cm}^2$  时的测量结果不确定度。在有效治疗区域内均匀分布的 5 个测量位置处分别读取紫外辐照强度，取其平均值；同时采用电子秒表测量单次最长照射时间，依据上述两项测量结果计算紫外照射剂量值

## E.2 测量模型

$$\Delta W = \frac{W_0 - W}{W} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中：

$\Delta W$ ——紫外照射剂量示值误差，%；

$W_0$ ——紫外照射剂量的设定值， $\text{J/cm}^2$ ；

$W$ ——紫外照射剂量值， $\text{J/cm}^2$ 。

由于紫外照射剂量的设定值  $W_0$  为固定值，因此测量模型中仅有  $W$  一个影响量，则合成标准不确定度为：

$$u = |c(W)|u(W)$$

根据公式 (E.1) 计算灵敏系数为：

$$c(W) = \frac{\partial \Delta W}{\partial (W)} = -\frac{W_0}{W^2}$$

## E.3 测量不确定度分析

$u(W)$  不确定度来源包括：测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(W)$ ，被校治疗仪示值分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(W)$  和紫外辐照计最大允许误差引入的标准不确定度分量  $u_3(W)$ 。

## E.4 标准不确定度评定

E.4.1 被校治疗仪测量重复性引入的标准不确定分量  $u_1(W)$ 

用紫外辐照计对被校治疗仪的波长进行 10 次测量，数据见表 E.1

表 E.1 紫外照射剂量测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/ $\text{J/cm}^2$	3.61	4.52	4.34	4.29	4.19	4.06	4.31	3.93	4.37	3.83

上述 10 次测量的平均值为  $4.15 \text{ J/cm}^2$ ，单次测量标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.28 \text{ J/cm}^2$$

紫外照射剂量实际测量次数为 3 次，则重复性引入的标准不确定分量  $u_1(W)$  为：

$$u_1(W) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.28 \text{ J/cm}^2}{\sqrt{3}} = 0.16 \text{ J/cm}^2$$

E.4.2 被校治疗仪示值分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2(W)$

被校治疗仪分辨力为  $0.01 \text{ J/cm}^2$ ，采用 B 类评定方法，区间半宽  $a=0.005 \text{ J/cm}^2$ ，该分布服从均匀分布，故

$$u_2(W) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ J/cm}^2 = 0.0029 \text{ J/cm}^2$$

E.4.3 紫外辐照计的最大允许误差引入的不确定度分量  $u_3(W)$

所用紫外辐照计的最大允许误差为  $\pm 6\%$ ，服从均匀分布，则

$$u_3(W) = \frac{6\% \times 4.18 \text{ J/cm}^2}{\sqrt{3}} = 0.14 \text{ J/cm}^2$$

E.5 合成标准不确定度

表 E.2 标准不确定度分量一览表

输入量的标准不确定度评定				输出量的标准不确定度评定	
输入量	不确定度来源	符号	数值	灵敏系数 $c_i$	$ c_i u(x_i)$
$W$	测量重复性	$u_1(W)$	$0.16 \text{ J/cm}^2$	0.29 $(\text{J/cm}^2)^{-1}$	0.046
	被校治疗仪分辨力	$u_2(W)$	$0.0029 \text{ J/cm}^2$		0.001
	紫外辐照计最大允差	$u_3(W)$	$0.14 \text{ J/cm}^2$		0.041

标准不确定度分量汇总见表 E.2 所示。各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c^2 u_1^2(W) + c^2 u_2^2(W)} = 6\%$$

E.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u = 12\%(k=2)$$